

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 1 (33)

2021

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- Еремченко О. З., Четина О. А., Арисова А. К., Ванышева Н. Д.*
Изменение содержания ионов K^+ , Ca^{2+} , Na^+ в листьях и корнях растений при смене реакции почвенной среды 3
- Кутихина Е. А., Курдюков Е. Е., Моисеева И. Я., Бибякова Л. Н., Финаёнова Н. В.* Методика количественного определения пигментов в листьях моринги 16
- Соболева О. М., Кондратенко Е. П., Сухих А. С., Курбанова М. Г., Просеков А. Ю.* Действие водного дефицита на содержание жирных кислот с очень длинной цепью в листьях проростков ячменя 24

БОТАНИКА

- Hoï Quach Van, Doudkin R. V., Khoi Nguyen Tuan.* The position of the genus *Camellia* L. (Theaceae) in some classification systems 33

ЗООЛОГИЯ

- Гапонов С. П., Теуэльде Р. Т.* Птицы и их клещи в связи с их эпидемиологическим значением в г. Воронеже 40
- Пастухова Ю. А., Стойко Т. Г., Смирнов Д. Г., Флягин А. А., Ембулаева Е. А.* Зоопланктонные сообщества в новом и старом руслах р. Суры на территории г. Пензы 57

ЭКОЛОГИЯ

- Арефьева О. А., Ольшанская Л. Н., Валиев Р. Ш.* Культивирование *Chlorella sorokiniana* в естественных условиях открытого воздуха Поволжского региона и лабораторного эксперимента под влиянием постоянного магнитного поля 74
- Асанов А. Ю.* Эффективность предотвращения «цветения» Сурского (Пензенского) водохранилища в зависимости от размера используемого рыбопосадочного материала толстолобика (*Hypophthalmichthys*) 87

UNIVERSITY PROCEEDINGS
VOLGA REGION

NATURAL SCIENCES

№ 1 (33)

2021

CONTENTS

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

- Eremchenko O.Z., Chetina O.A., Arisova A.K., Vanyшева N.D.* Changes of K^+ , Ca^{2+} , Na^+ ions content in plant leaves and roots during change of soil medium reaction 3
- Kutihina E.A., Kurdjukov E.E., Moiseeva I.Ja., Bibjakova L.N., Finajonova N.V.* Quantitative determination of pigments in moringa leaves 16
- Soboleva O.M., Kondratenko E.P., Sukhikh A.S., Kurbanova M.G., Prosekov A.Yu.* Effect of the water deficit on very long chain fatty acids in barley seedlings leaves..... 24

BOTANY

- Hoi Quach Van, Doudkin R.V., Khoi Nguyen Tuan.* The position of the genus *Camellia* L. (Theaceae) in some classification systems 33

ZOOLOGY

- Gaponov S.P., Tewelde R.T.* Epidemiological survey of birds and their mites in Voronezh 40
- Pastukhova Yu.A., Stojko T.G., Smirnov D.G., Flyagin A.A., Embulaeva E.A.* Zooplankton communities in the new and old Sura riverbeds in Penza..... 57

ECOLOGY

- Aref'eva O.A., Ol'shanskaya L.N., Valiev R.Sh.* Cultivation of *Chlorella sorokiniana* in natural open air conditions of the Volga region and in a laboratory experiment under the effect of a constant magnetic field 74
- Asanov A.Yu.* The effectiveness of preventing the "blooming" of the Surskoye (Penza) reservoir, depending on the size of the silver carp (*Hypophthalmichthys*) used for stocking 87

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

УДК 581.1 + 585.5

doi:10.21685/2307-9150-2021-1-1

Изменение содержания ионов K^+ , Ca^{2+} , Na^+ в листьях и корнях растений при смене реакции почвенной среды

О. З. Еремченко¹, О. А. Четина², А. К. Арисова³, Н. Д. Ваньшева⁴

^{1,2,3,4}Пермский государственный национальный исследовательский университет,
Пермь, Россия

¹eremch@psu.ru, ²chetoks@gmail.com, ³nast483@bk.ru, ⁴nata98van@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Устойчивость растений к неблагоприятным условиям определяется их биологическими особенностями и зависит от свойств почвы. Влияние pH почвенной среды на минеральное питание растений остается актуальной проблемой в связи с подкислением ранее известкованных почв и техногенным подщелачиванием. Цель исследований – определить содержание ионов Ca^{2+} , K^+ , Na^+ в корнях и листьях пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.), ржи посевной (*Secale cereale* L.) и гороха посевного (*Pisum sativum* L.) при изменении реакции среды в дерново-подзолистой почве. *Материалы и методы.* Для эксперимента использовали дерново-подзолистую почву (слой 0–10 см) с pH = 5,2. Нейтрализацию почвы (до pH = 7,3) провели путем внесения $CaCO_3$. Для формирования щелочной среды (до pH = 8,4) добавили Na_2CO_3 , после этого относительное содержание натрия в почве составило 0,2 %. Предварительно замоченные семена растений высадили в контейнеры с умеренно увлажненной почвой. Пшеницу и рожь выращивали в течение 8 дней, горох – в течение 18 дней. Концентрацию ионов Ca^{2+} , K^+ , Na^+ определяли методом пламенной фотометрии после озоления сухой навески листьев и корней растений. *Результаты.* При выращивании на кислой почве в листьях пшеницы и гороха установлено пониженное содержание ионов K^+ , возможно, это обусловлено блокировкой алюминием транспортных каналов в корневой системе. В опыте на щелочной слабозасоленной почве в пшенице и горохе также наблюдается уменьшение содержания ионов K^+ , связанное, по-видимому, с нарушениями процессов селективного поглощения ионов корнями. В листьях и корнях злаков на кислой и особенно на щелочной почве отмечается усиленное накопление ионов Ca^{2+} , которое можно рассматривать как реакцию приспособления к неблагоприятной среде. На фоне общего накопления ионов Na^+ в листьях и корнях растений, выращенных на щелочной слабозасоленной почве, проростки ржи отличаются меньшими нарушениями Na/K обмена. *Выводы.* При смене реакции среды в дерново-подзолистой почве отмечены изменения в содержании катионов, обусловленные как нарушениями минерального питания, так и адаптивными процессами в растениях. Избирательное накопление катионов свидетельствует об особенностях функционирования у растений высокоселективных каналов и переносчиков ионов.

© Еремченко О. З., Четина О. А., Арисова А. К., Ваньшева Н. Д., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Ключевые слова: пшеница, рожь, горох, кислые и щелочные почвы, селективное поглощение катионов

Для цитирования: Еремченко О. З., Четина О. А., Арисова А. К., Ваньшева Н. Д. Изменение содержания ионов K^+ , Ca^{2+} , Na^+ в листьях и корнях растений при смене реакции почвенной среды // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 1. С. 3–15. doi:10.21685/2307-9150-2021-1-1

Changes of K^+ , Ca^{2+} , Na^+ ions content in plant leaves and roots during change of soil medium reaction

O.Z. Eremchenko¹, O.A. Chetina², A.K. Arisova³, N.D. Vanysheva⁴

^{1,2,3,4}Perm State University, Perm, Russia

¹eremch@psu.ru, ²chetoks@gmail.com, ³nast483@bk.ru, ⁴nata98van@gmail.com

Abstract. *Background.* The resistance of plants to adverse conditions is determined by their biological characteristics and depends on the properties of the soil. The effect of the soil environment pH on the mineral nutrition of plants remains an urgent problem due to acidification of previously calcined soils and man-made alkalization. The purpose of the studies is to determine the content of Ca^{2+} , K^+ , Na^+ ions in the roots and leaves of spring wheat (*Triticum aestivum* L.), sown rye (*Secale cereale* L.) and sown peas (*Pisum sativum* L.) when the reaction of the medium in sod-podzolic soil changes. *Materials and methods.* For the experiment, sod-podzolic soil (layer 0–10 cm) with pH = 5,2 was used. Soil neutralization (to pH = 7,3) was carried out by adding $CaCO_3$. To form an alkaline medium (up to pH = 8,4), Na_2CO_3 was added, after which the relative sodium content in the soil was 0,2 %. Soaked plant seeds were planted in containers with moderately humid soil. Wheat and rye were grown for 8 days, peas for 18 days. The concentration of Ca^{2+} , K^+ , Na^+ was established by flame photometry after the dry suspension of leaves and roots of plants. *Results.* When growing on acidic soil in wheat and pea leaves, a reduced content of K^+ ions was established. Perhaps this is due to the blocking of transport channels in the root system by aluminum. A decrease in K^+ ion content is also observed in the alkaline low saline soil test in wheat and peas. This is most likely due to disruptions in the processes of selective absorption of ions by the roots. In the leaves and roots of cereals on acidic and, especially, on alkaline soil, there is an increased accumulation of Ca^{2+} ions. This can be seen as a reaction of adapting to an unfavourable environment. Against the background of the general accumulation of Na^+ ions in the leaves and roots of plants grown on alkaline slightly saline soil, rye seedlings are characterized by less disorders of Na/K exchange. *Conclusions.* When changing the reaction of the medium in sod-podzolic soil, changes in the content of cations were noted, due to both disturbances in mineral nutrition and adaptive processes in plants. Selective accumulation of cations indicates the peculiarities of functioning in plants of highly selective channels and ion transporters.

Keywords: wheat, rye, peas, acidic and alkaline soils, selective absorption of cations

For citation: Eremchenko O.Z., Chetina O.A., Arisova A.K., Vanysheva N.D. Changes of K^+ , Ca^{2+} , Na^+ ions content in plant leaves and roots during change of soil medium reaction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;1:3–15. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-1-1

Введение

К наиболее актуальным проблемам физиологии растений относится познание механизмов устойчивости растений к факторам окружающей среды.

Для возделывания большинства сельскохозяйственных растений неблагоприятны почвы с кислой и щелочной реакцией среды. Нейтрализация кислых почв путем известкования – основной прием повышения их плодородия. Но за последние два десятилетия в пахотном фонде страны доля кислых почв увеличилась на 2 %, что связано с резким уменьшением площади известкования, восстановлением кислотности ранее известкованных почв, а также с возвратом в сельскохозяйственный оборот части залежных кислых почв [1].

Техногенные выбросы предприятий и автотранспорта могут смещать реакцию почвенной среды в щелочную сторону [2]. Масштабы ощелачивания почв в мире будут увеличиваться в связи с глобальным потеплением, аридизацией климата, процессами опустынивания ландшафтов и развитием вторичного засоления почв.

В классических трудах по минеральному питанию растений отмечено, что подкисление корневой среды приводит к увеличению поглощения анионов, а подщелачивание стимулирует поглощение катионов [3]. В то же время известно, что устойчивость зависит от вида растений и свойств почвы. По этой причине является актуальной оценка последствий влияния разной реакции почвенной среды на минеральное питание сельскохозяйственных растений. Цель исследований – определить содержание ионов Ca^{2+} , K^+ , Na^+ в корнях и листьях пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.), ржи посевной (*Secale cereale* L.) и гороха посевного (*Pisum sativum* L.) при изменении реакции среды в дерново-подзолистой почве. Выбор изучаемых показателей обусловлен сложными взаимоотношениями катионов при поглощении корневой системой и разной их доступностью для растений в почвах с неблагоприятной реакцией среды.

Материалы и методы

Для эксперимента использовали дерново-подзолистую почву (слой 0–10 см) с pH = 5,2. Нейтрализацию почвы (до pH = 7,3) провели путем внесения карбоната кальция CaCO_3 . Дозу внесения (1,5 г/100 г почвы) рассчитали по величине насыщенности почвы водородом и алюминием (гидролитическая кислотность). Формирование щелочной среды (до pH = 8,4) провели путем добавления в почву карбоната натрия Na_2CO_3 из расчета 0,45 г/100 г почвы. После внесения соды относительное содержание натрия составило 0,2 %, что позволяет считать почву слабозасоленной. Реакцию почвенной среды контролировали путем измерения на иономере «ЭКОТЕСТ-120» (Россия).

В качестве объекта исследования использовали пшеницу яровую (*Triticum aestivum* L.) сорта Горноуральский, рожь посевную (*Secale cereale* L.) сорта Фаленская-4 и горох посевной (*Pisum sativum* L.) сорта Ямальский РС I.

Предварительно замоченные семена растений высадили в умеренно увлажненную почву (влажность 60 % от полной влагоемкости) в контейнеры размером 16 × 12 × 7 см. Исследуемые культуры выращивали при температуре 23 °С и длине светового дня – 18 ч; пшеницу и рожь в течение – 8 дней, горох – в течение 18 дней. Полив проводили дистиллированной водой, поддерживая влажность около 60 % от полной влагоемкости почвы.

Для определения ионов Ca^{2+} , K^+ , Na^+ сухую навеску листьев и корней растений озолили при температуре 500 °С; золу растворили соляной кислотой,

концентрацию катионов установили методом пламенной фотометрии на ФПА-2.

Биологическая и аналитическая повторность определения показателей – трехкратная. Сравнение выборок провели дисперсионным методом с применением критерия Краскела – Уоллиса; значимыми считали различия между сравниваемыми средними величинами с доверительной вероятностью 95 % и выше ($P < 0,05$). В тексте статьи результаты сравнения содержания ионов (%) приведены только в случае достоверных различий.

Результаты

Содержание катионов в листьях растений

Пшеница. При выращивании на нейтральной почве листья пшеницы содержали наибольшее количество K^+ (рис. 1). В варианте опыта с кислой почвой среднее количество K^+ меньше на 23 %, а на щелочной почве – на 44 %, чем в листьях пшеницы на нейтральной почве.

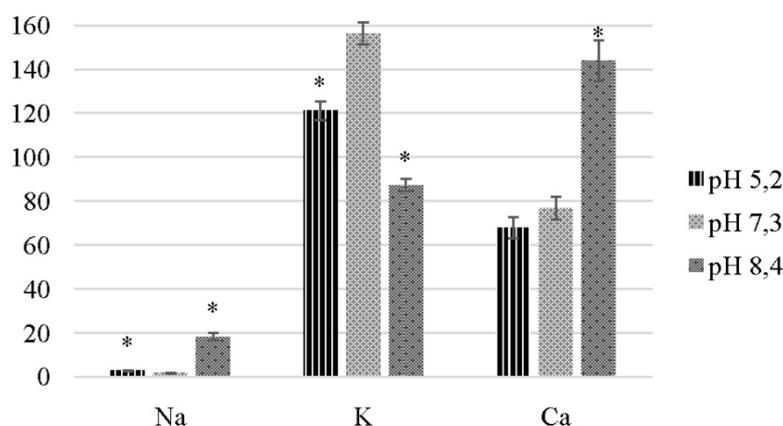


Рис. 1. Содержание катионов в листьях пшеницы, мг/100 г сырой массы:
* – значимые различия с содержанием катиона в растениях на нейтральной почве, выявленные с помощью критерия Краскела – Уоллиса при уровне $P < 0,05$

В листьях пшеницы, выращенной на кислой и нейтральной почве, в содержании Ca^{2+} не выявлено значимых различий. На щелочной почве аккумуляция этих ионов у пшеницы возросла и стала выше в среднем почти на 50 %, по сравнению с растениями на нейтральной почве.

Листья пшеницы аккумулировали меньше всего Na^+ в эксперименте с нейтральной почвой; на кислой почве они содержали немного Na^+ , но все же его среднее количество превысило (на 61 %) уровень содержания в листьях на кислой почве. В варианте опыта со щелочной слабозасоленной почвой пшеница накапливала Na^+ в 6,7 раза больше, чем при выращивании на нейтральной почве.

Рожь. В листьях ржи, выращенной на кислой почве, наблюдалось наибольшее накопление K^+ (рис. 2); среднее содержание было выше на 27 %, по сравнению с растениями на нейтральной почве. У растений на нейтральной и щелочной почвах значимых различий в содержании K^+ не установлено.

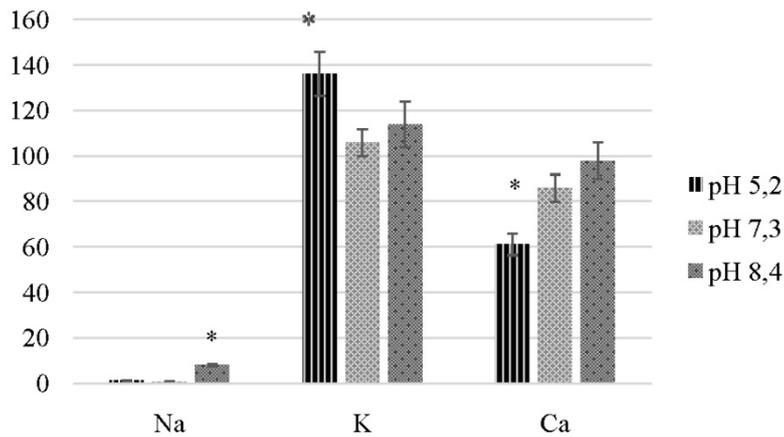


Рис. 2. Содержание катионов в листьях ржи, мг/100 г сырой массы:

* – значимые различия с содержанием катиона в растениях на нейтральной почве, выявленные с помощью критерия Краскела – Уоллиса при уровне $P < 0,05$

Наименьшее количество Ca^{2+} отмечено в листьях ржи, выращенной на кислой почве; среднее содержание ниже на 29 %, чем в растениях на нейтральной почве. В вариантах опыта с нейтральной и щелочной почвой у растений ржи значимых различий в содержании Ca^{2+} не установлено.

Растения ржи на кислой и нейтральной почве не отличались по количеству Na^+ в листьях. Аккумуляция Na^+ существенно возросла у ржи в варианте со щелочной слабозасоленной почвой, среднее содержание натрия в 11 раз превысило его накопление в листьях на нейтральной почве.

Горох. В листьях гороха наибольшее количество K^+ отмечено на нейтральной почве (рис. 3). При выращивании на кислой почве среднее содержание K^+ снижено на 20 %, а на щелочной почве – на 41 %, по сравнению с растениями в опыте с нейтральной почвой.

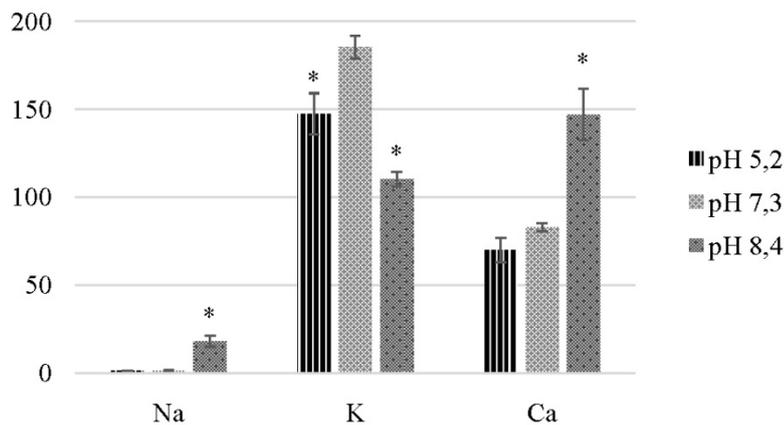


Рис. 3. Содержание катионов в листьях гороха, мг/100 г сырой массы:

* – значимые различия с содержанием катиона в растениях на нейтральной почве, выявленные с помощью критерия Краскела – Уоллиса при уровне $P < 0,05$

В листьях гороха, выращенного на кислой и нейтральной почвах, в накоплении Ca^{2+} значимых различий не установлено. Но растения на щелочной

почве аккумулировали в листьях в среднем на 79 % больше Ca^{2+} , чем растения на нейтральной почве.

У растений в варианте опыта с кислой и нейтральной почвой значимых различий в количестве Na^+ не отмечено. На щелочной слабозасоленной почве в листьях гороха среднее содержание Na^+ в 13 раз выше, чем у растений на нейтральной почве.

Содержание катионов в корнях растений

Пшеница. В корнях пшеницы больше всего ионов K^+ аккумулировалось в варианте опыта с кислой почвой (рис. 4), в среднем на 20 % выше, чем в варианте с нейтральной почвой. При выращивании на щелочной почве количество K^+ было наименьшим, на 49 % ниже содержания в корнях на нейтральной почве.

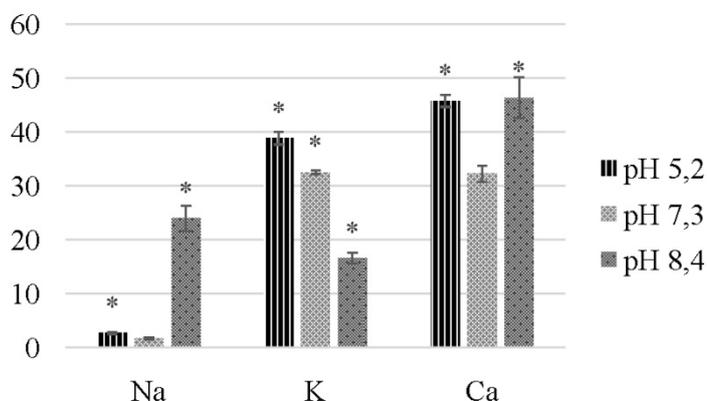


Рис. 4. Содержание катионов в корнях пшеницы, мг/100 г сырой массы:

* – значимые различия с содержанием катиона в растениях на нейтральной почве, выявленные с помощью критерия Краскела – Уоллиса при уровне $P < 0,05$

Наименьшее количество ионов Ca^{2+} в корнях пшеницы наблюдали при выращивании на нейтральной почве. По сравнению с этим уровнем в вариантах опыта с кислой и щелочной почвой среднее накопление Ca^{2+} выше на 42–44 %.

Пониженной аккумуляцией ионов Na^+ характеризовались корни пшеницы на нейтральной почве; на кислой почве среднее количество этих ионов выше на 68 %, а на щелочной слабозасоленной почве возросло в 14 раз.

Рожь. В корнях ржи наибольшее содержание ионов K^+ отмечено при выращивании на кислой почве (рис. 5), в среднем на 90 % выше, чем в растениях на нейтральной почве. В варианте опыта со щелочной почвой растения накапливали K^+ на 19 % больше, чем растения на нейтральной почве.

Наименьшее количество ионов Ca^{2+} в корнях ржи наблюдали при выращивании на нейтральной почве. По сравнению с этим уровнем в вариантах опыта с кислой и щелочной почвой среднее накопление Ca^{2+} выше на 42–43 %.

Аккумуляция ионов Na^+ понижена в корнях ржи на нейтральной почве; при выращивании на кислой почве их количество увеличилось в 2 раза, а на щелочной слабозасоленной почве – в 12 раз.

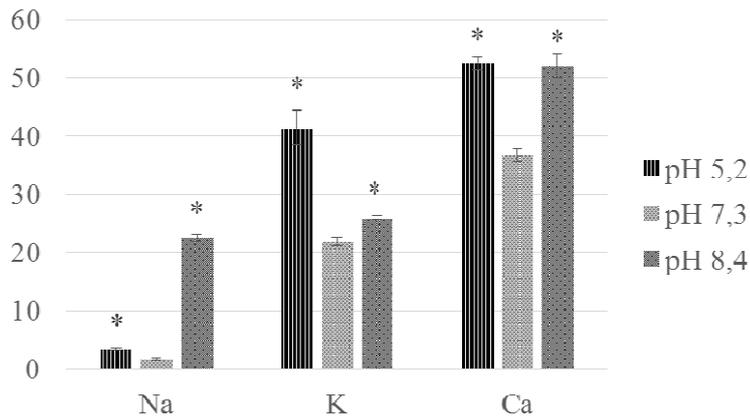


Рис. 5. Содержание катионов в корнях ржи, мг/100 г сырой массы:

* – значимые различия с содержанием катиона в растениях на нейтральной почве, выявленные с помощью критерия Краскела – Уоллиса при уровне $P < 0,05$

Горох. Наименьшее количество K^+ содержали корни гороха на кислой почве (рис. 6), в среднем на 87 % ниже, чем растения на нейтральной почве. По содержанию ионов калия в корнях на нейтральной и щелочной почвах значимых различий не выявлено.

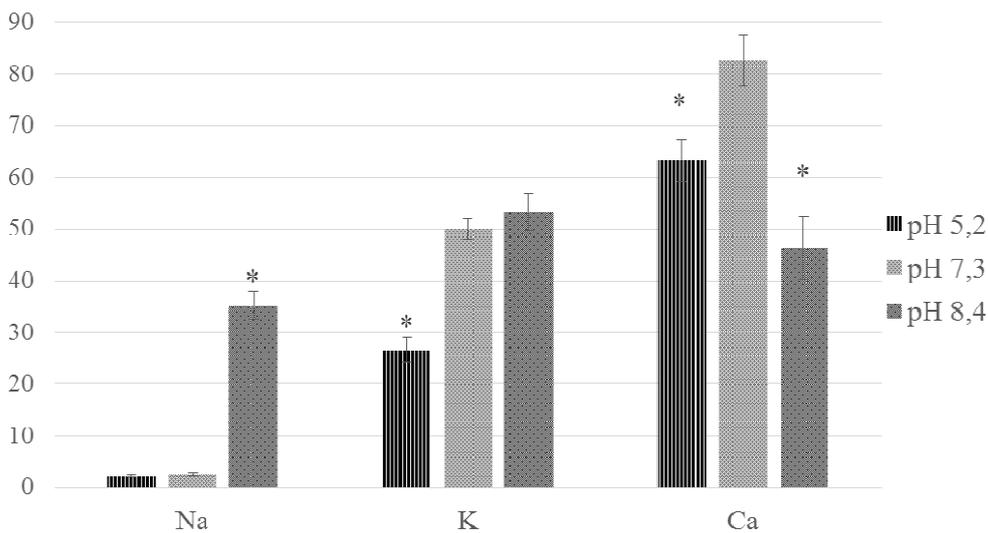


Рис. 6. Содержание катионов в корнях гороха, мг/100 г сырой массы:

* – значимые различия с содержанием катиона в растениях на нейтральной почве, выявленные с помощью критерия Краскела – Уоллиса при уровне $P < 0,05$

Больше всего ионов Ca^{2+} аккумулировали корни гороха на нейтральной почве. На кислой почве их среднее количество понижено на 23 %, а на щелочной почве – на 44 %, по сравнению с содержанием в корнях на нейтральной почве.

В корнях гороха, выращенного на кислой и нейтральной почвах, по количеству ионов Na^+ не установлено значимых различий. На щелочной слабозасоленной почве аккумуляция Na^+ в среднем возросла почти в 14 раз, по сравнению с растениями на нейтральной почве.

Проведенные эксперименты показали некоторые изменения в соотношении катионов в листьях и корнях растений в зависимости от реакции почвенной среды. В листьях исследуемых растений в вариантах опыта с кислой почвой катионы по степени накопления распределяются в ряд: $K^+ > Ca^{2+} \gg Na^+$; в эксперименте после известкования почвы этот ранжированный ряд сохраняется.

Выращенные на щелочной слабозасоленной почве растения усиленно накапливали в листьях Ca^{2+} ; в листьях пшеницы и гороха ионов Ca^{2+} содержалось больше, чем K^+ ($Ca^{2+} > K^+ > Na^+$). Следует отметить, что в листьях ржи на щелочной почве количество Na^+ было в 2 раза ниже по сравнению с остальными двумя видами растений, а между количеством K^+ и Ca^{2+} не было выявлено значимых различий ($K^+ = Ca^{2+} > Na^+$).

В корнях пшеницы, произрастающей на кислой почве, исследуемые катионы по уровню накопления распределяются в следующий ряд: $Ca^{2+} > K^+ \gg Na^+$. После нейтрализации почвенной кислотности этот ранжированный ряд изменяется: $K^+ = Ca^{2+} \gg Na^+$. После ощелачивания почвы в корнях пшеницы содержание Na^+ превышает количество ионов калия: $Ca^{2+} > Na^+ > K^+$.

В корнях ржи в вариантах с кислой и нейтральной почвой накапливается больше ионов Ca^{2+} ($Ca^{2+} > K^+ \gg Na^+$), на щелочной слабозасоленной почве значения количества одновалентных катионов в ранжированном ряду сближаются: $Ca^{2+} > K^+ \geq Na^+$.

В корнях гороха, выращенного на кислой и нейтральной почвах, катионы по содержанию образуют ранжированный ряд: $Ca^{2+} > K^+ \gg Na^+$. На щелочной почве из-за снижения количества кальция отмечаются следующие изменения: $K^+ > Ca^{2+} \geq Na^+$.

Обсуждение

В наших экспериментах при смене реакции почвенной среды изменилось количество ионов калия, натрия и кальция в листьях и корнях растений. На кислой почве в листьях пшеницы, в листьях и корнях гороха содержалось меньшее количество ионов K^+ , по сравнению с таковым в растениях на нейтральной почве. Кислые почвы характеризуются большим содержанием подвижного алюминия, который снижает эффективность работы K^+ -каналов в мембранах растительных клеток [5]. Однако в листьях ржи, выращенной на кислой почве отмечается усиленное накопление ионов K^+ . Стимулирующее воздействие кислой среды, возможно, обусловлено изменением поглотительной способности корневой системы. Так, например, в корнях ячменя при уменьшении pH возрастала проводимость калиевых селективных каналов клеточных мембран [6]. Разная реакция исследуемых растений на подкисление почвы, прежде всего, связана с их биологическими особенностями. Сельскохозяйственные культуры отличаются не только по своей толерантности к кислой реакции среды, но и по специфической толерантности к ионам алюминия [7].

Несмотря на то, что в почву с нейтральной реакцией среды был внесен карбонат кальция, усиленное накопление ионов Ca^{2+} в этом эксперименте нами не установлено. Только в листьях ржи и корнях гороха, по сравнению с выращиванием на кислой почве, выявлено некоторое повышение. В корнях злаков на кислой почве наблюдается повышенное накопление ионов Ca^{2+} ,

по сравнению с экспериментом на нейтральной почве. Цитозольный кальций содействует формированию сигнальной сети растительной клетки. На многих растительных объектах показано повышение устойчивости тканей и интактных растений к неблагоприятным факторам под действием экзогенного кальция [8]. Вероятно, выявленное в нашем эксперименте усиленное накопление кальция в корнях пшеницы и ржи указывает на существование адаптивных реакций растений к условиям кислой почвенной среды.

В эксперименте с кислой и нейтральной почвой у всех растений в листьях и корнях выявлено низкое содержание ионов натрия, что, на наш взгляд, связано с известной низкой физиологической потребностью растений в этом элементе. Однако листья и корни пшеницы и корни ржи, выращенные на кислой почве, отличаются повышенной аккумуляцией ионов Na^+ , по сравнению с растениями, выращенными на нейтральной почве. Возможно, в условиях недостатка катионов избирательное поглощение ионов Na^+ необходимо растениям для pH-регуляции внутренней среды.

Сравнительно более значимые изменения в содержании катионов установлены при выращивании растений на щелочной слабозасоленной почве. В листьях и корнях пшеницы и в листьях гороха существенно снизилось содержание ионов K^+ в эксперименте со щелочной почвой. Известно, что в цитоплазме клеток растений благодаря высокой селективности калиевых каналов концентрация ионов K^+ существенно превышает концентрацию ионов Na^+ . Имеются сведения о том, что щелочное засоление корневой среды нарушает проницаемость мембран, ионный баланс и селективную абсорбцию K^+/Na^+ [9, 10].

Растения ржи характеризуются меньшими нарушениями поглотительной способности в отношении калия на щелочной слабозасоленной почве, количество K^+ в листьях не отличается у растений, выращенных на щелочной слабозасоленной и нейтральной почве. В исследованиях Liu, Shi [11] отмечено, что при воздействии щелочных солей калий вносил основной вклад в регуляцию осмотического давления в клетках подсолнечника. Возможно, рожь характеризуется наличием калиевых каналов и калиевых переносчиков, селективность которых нарушается только при высокой концентрации Na^+ в окружающей среде [12].

На положительную роль кальция в адаптации не только к кислым, но и к щелочным почвам указывают данные по усиленному накоплению Ca^{2+} в органах злаков. Ионы кальция способны ингибировать неселективные ионные каналы [13]. Избирательное накопление Ca^{2+} злаками из кислой и щелочной дерново-подзолистой почвы, обедненной этим элементом, идет с затратами энергии. Эти данные соотносятся с результатами по ростовым показателям растений [4], когда более медленный рост позволяет освободить ресурсы (строительные блоки и энергию), необходимые для реализации защитной программы. Горох, выращенный на щелочной почве, отличается от злаков отсутствием общего накопления ионов Ca^{2+} , однако наблюдается их перераспределение в органах, а именно: снижение содержания в корнях и увеличение в листьях.

Внесение карбоната натрия Na_2CO_3 и ощелачивание дерново-подзолистой почвы способствуют значительному увеличению содержания ионов

Na^+ в органах пшеницы, ржи и гороха. При засолении корневой среды транспорт ионов Na^+ идет по электрохимическому градиенту через ионные каналы и (или) при участии переносчиков [12, 14]. В нашем эксперименте не представляется возможным отделить влияние слабого натриевого засоления от щелочности, однако имеются сведения о том, что щелочной стресс у растений развивается сильнее солевого стресса [15]. По этой причине мы не исключаем влияния щелочной реакции почвенной среды на баланс исследуемых катионов.

В отличие от галофитов [16] все три растения накапливали больше ионов Na^+ в корнях, чем в листьях. Рожь отличилась значительно меньшим содержанием ионов Na^+ в листьях, что, по-видимому, связано с более эффективным механизмом Na^+/K^+ транспорта, ограничивающего накопление токсичного натрия в надземной части растений. Способность некоторых сортов ячменя сдерживать поток ионов Na^+ из корней в надземную часть, ответственную за репродукцию, связывают с солеустойчивостью растений [17]. При засолении прикорневой среды в клетках корня растений может снижаться активность каналов для пассивного движения избыточных ионов и увеличиваться активность каналов (переносчиков), выводящих ионы из клетки [14].

При выращивании на кислой и щелочной почве потери надземной массы проростков ржи были ниже, чем у пшеницы и гороха [4]. Повышенная устойчивость ржи к неблагоприятной реакции прикорневой среды, вероятно, в некоторой степени связана с высокоселективным поглощением катионов.

Заключение

При смене реакции почвенной среды отмечены изменения в содержании и соотношении ионов K^+ , Ca^{2+} , Na^+ в листьях и корнях растений, обусловленные как нарушениями минерального питания, так и адаптивными процессами растений.

Пониженное содержание ионов K^+ в листьях пшеницы, в листьях и корнях гороха в эксперименте с кислой почвой, возможно, обусловлено блокировкой алюминием транспортных каналов клеток корня. При выращивании на щелочной слабозасоленной почве у пшеницы и гороха на фоне накопления ионов Na^+ наблюдается уменьшение содержания ионов K^+ , связанное, по-видимому, с нарушениями селективного поглощения этих катионов корнями.

Усиленное накопление ионов Ca^{2+} в органах злаков рассматривается нами как адаптивная реакция в процессе приспособления к кислым и особенно к щелочным почвам. Проростки ржи на щелочной слабозасоленной почве характеризовались наименьшими нарушениями Na/K обмена.

Процесс избирательного накопления катионов при смене реакции почвенной среды свидетельствует о существовании у растений высокоселективных каналов и переносчиков ионов.

Список литературы

1. Иванов А. Л., Столбовой В. С., Гребенников А. М. [и др.]. Ранжирование кислых почв по приоритетности проведения известкования в Российской Федерации // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2020. Вып. 103. С. 168–187.

2. Ларионов М. В. Агрохимическая характеристика почв в пределах урбанизированных территорий Поволжья // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 3. С. 307.
3. Сабинин Д. А. Физиологические основы питания растений. М. : Изд-во АН СССР, 1955. 512 с.
4. Боталова К. И., Еремченко О. З. Содержание органических кислот в *Triticum aestivum* L., *Secale cereale* L. и *Pisum sativum* L. при выращивании на кислой и щелочной почвах // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Химия. Биология. Фармация. 2020. № 4. С. 35–40.
5. Gassmann W., Schroeder J. I. Inward-rectifying K⁺-channels in root hairs of wheat (a mechanism of aluminium-sensitive low-affinity K⁺ uptake and membrane potential control // *Plant Physiol.* 1994. № 105. P. 1399–1408.
6. Amtmann A., Jelitto T. C., Sanders D. K⁺-Selective Inward-Rectifying Channel and Apoplastic pH in Barley Roots // *Journal of Plant Physiology.* 1999. Vol. 119. P. 331–338.
7. Пухальская Н. В. Проблемные вопросы алюминиевой токсичности // *Агрохимия.* 2005. № 8. С. 70–82.
8. Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. Киев : Основа, 2010. 352 с.
9. Guo R., Yang Z., Li F. [et al.]. Comparative metabolic responses and adaptive strategies of wheat (*Triticum aestivum*) to salt and alkali stress // *BMC Plant Biology.* 2015. T. 15, № 170. URL: bmcplantbiol.biomedcentral.com
10. Latif A. A. A., Tran L. S. Impacts of Priming with Silicon on the Growth and Tolerance of Maize Plants to Alkaline Stress // *Front. Plant Sci.* 2016. Vol. 7.
11. Liu J., Shi D.-C. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, inorganic ion and organic acid accumulations of sunflower in responses to salt and salt-alkaline mixed stress // *Photosynthetica.* 2010. Vol. 48 (1). P. 127–134.
12. Chen Z., Pottosin I. I., Cuin T. A. [et al.]. Root Plasma Membrane Transporters Controlling K⁺/Na⁺ Homeostasis in Salt-Stressed Barley // *Plant Physiology.* 2007. Vol. 145. P. 1714–1725.
13. Bressan R. A., Hasegawa P. M., Pardo J. M. Plants use calcium to resolve salt stress // *Trends Plant Sci.* 1998. Vol. 3. P. 411, 412.
14. Веселов Д. С., Маркова И. В., Кудоярова Г. Р. Реакция растений на засоление и формирование устойчивости // *Успехи современной биологии.* 2007. Т. 127, № 5. С. 482–493.
15. Lv B. S., Li X. W., Ma H. Y. [et al.]. Differences in Growth and Physiology of Rice in Response to Different Saline-Alkaline Stress Factors // *Agron. J.* 2013. Vol. 105. P. 1119–1128.
16. Розенцвет О. А., Нестеров В. Н., Богданова Е. С. Структурные и физиолого-биохимические аспекты солеустойчивости галофитов // *Физиология растений.* 2017. Т. 64, № 4. С. 251–265.
17. Леонова Т. Г., Гончарова Э. А., Ходоренко А. В., Бабаков А. В. Солеустойчивые и солечувствительные сорта ячменя и их характеристика // *Физиология растений.* 2005. Т. 52, № 6. С. 876–881.

References

1. Ivanov A.L., Stolbovoy V.S., Grebennikov A.M. [et al.]. Ranking of acidic soils according to the priority of liming in the Russian Federation. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V. V. Dokuchaeva* = Bulletin of V. V. Dokuchaev Soil Science Institute. 2020;103:168–187. (In Russ.)
2. Larionov M.V. Agrochemical characteristics of soils within the urbanized territories of the Volga region. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Contemporary issues of science and education. 2012;3:307. (In Russ.)

3. Sabinin D.A. *Fiziologicheskie osnovy pitaniya rasteniy* = Physiological bases of plant nutrition. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1955:512. (In Russ.)
4. Botalova K.I., Eremchenko O.Z. The content of organic acids in *Triticum aestivum* L., *Secale cereale* L. and *Pisum sativum* L. growing on acidic and alkaline soils. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* = Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2020;4: 35–40. (In Russ.)
5. Gassmann W., Schroeder J.I. Inward-rectifying K⁺-channels in root hairs of wheat (a mechanism of aluminium-sensitive low-affinity K⁺ uptake and membrane potential control. *Plant Physiol.* 1994;105:1399–1408.
6. Amtmann A., Jelitto T.C., Sanders D. K⁺-Selective Inward-Rectifying Channel and Apoplastic pH in Barley Roots. *Journal of Plant Physiology.* 1999;119:331–338.
7. Pukhal'skaya N.V. Issues of aluminum toxicity. *Agrokimiya* = Agrochemistry. 2005;8: 70–82. (In Russ.)
8. Kolupaev Yu.E., Karpets Yu.V. *Formirovanie adaptivnykh reaktsiy rasteniy na deystvie abioticheskikh stressorov* = Formation of adaptive plant responses to the action of abiotic stressors. Kiev: Osnova, 2010:352.
9. Guo R., Yang Z., Li F. [et al.]. Comparative metabolic responses and adaptive strategies of wheat (*Triticum aestivum*) to salt and alkali stress. *VMS Plant Biology.* 2015; 15(170). Available at: bmcplantbiol.biomedcentral.com
10. Latef A.A.A., Tran L.S. Impacts of Priming with Silicon on the Growth and Tolerance of Maize Plants to Alkaline Stress. *Front. Plant Sci.* 2016;7.
11. Liu J., Shi D.-C. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, inorganic ion and organic acid accumulations of sunflower in responses to salt and salt-alkaline mixed stress. *Photosynthetica.* 2010;48(1):127–134.
12. Chen Z., Pottosin I.I., Cui T.A. [et al.]. Root Plasma Membrane Transporters Controlling K⁺/Na⁺ Homeostasis in Salt-Stressed Barley. *Plant Physiology.* 2007;145: 1714–1725.
13. Bressan R.A., Hasegawa P.M., Pardo J.M. Plants use calcium to resolve salt stress. *Trends Plant Sci.* 1998;3:411,412.
14. Veselov D.S., Markova I.V., Kudoyarova G.R. Plant response to salinity and resistance formation. *Uspekhi sovremennoy biologii* = Advances in modern biology. 2007;127(5): 482–493. (In Russ.)
15. Lv B.S., Li X.W., Ma H.Y. [et al.]. Differences in Growth and Physiology of Rice in Response to Different Saline-Alkaline Stress Factors. *Agron. J.* 2013;105:1119–1128.
16. Rozentsvet O.A., Nesterov V.N., Bogdanova E.S. Structural and physiological, biological and chemical aspects of salt tolerance of halophytes. *Fiziologiya rasteniy* = Plant physiology. 2017;64(4):251–265. (In Russ.)
17. Leonova T.G., Goncharova E.A., Khodorenko A.V., Babakov A.V. Salt tolerance and salt sensitive barley varieties and their characteristics. *Fiziologiya rasteniy* = Plant physiology. 2005;52(6):876–881. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Ольга Зиновьевна Еремченко

доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии растений и экологии почв, Пермский государственный национальный исследовательский университет (Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15)

Olga Z. Eremchenko

Doctor of biological sciences, professor, head of the sub-department of plant physiology and soil ecology, Perm State University (15 Bukireva street, Perm, Russia)

E-mail: eremch@psu.ru

Оксана Александровна Четина

кандидат биологических наук, доцент
кафедры физиологии растений
и экологии почв, Пермский
государственный национальный
исследовательский университет
(Россия, г. Пермь, ул. Букирева, 15)

E-mail: chetoks@gmail.com

Oksana A. Chetina

Candidate of biological sciences, associate
professor of the sub-department of plant
physiology and soil ecology, Perm State
University (15 Bukireva street, Perm,
Russia)

Анастасия Каримовна Арисова

аспирант, Пермский государственный
национальный исследовательский
университет (Россия, г. Пермь,
ул. Букирева, 15)

E-mail: nast483@bk.ru

Anastasia K. Arisova

Postgraduate student, Perm State
University (15 Bukireva street, Perm,
Russia)

Наталья Дмитриевна Ванышева

магистрант, Пермский государственный
национальный исследовательский
университет (Россия, г. Пермь,
ул. Букирева, 15)

E-mail: nata98van@gmail.com

Natalya D. Vanysheva

Master degree student, Perm State
University (15 Bukireva street, Perm,
Russia)

Поступила в редакцию / Received 17.12.2020

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 18.01.2021

Принята к публикации / Accepted 19.01.2021

УДК 615.1: 615.322: 615.036
doi:10.21685/2307-9150-2021-1-2

Методика количественного определения пигментов в листьях моринги

Е. А. Кутихина¹, Е. Е. Курдюков², И. Я. Моисеева³,
Л. Н. Бибякова⁴, Н. В. Финаёнова⁵

¹Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

^{2,3,4,5}Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹guschina.v.a@pgau.ru, ^{2,4,5}e.e.kurdyukov@mail.ru, ³moiseeva_pharm@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Перспективным лекарственным сырьем моринги масличной являются листья. Листья содержат комплекс биологически активных соединений: белки, минералы, каротиноиды, витамины (тиамин, рибофлавин, аскорбиновая кислота), гликозиды, флавоноиды (рутин, кверцетин) [1, 2]. Основными комплексами природных пигментов в листьях моринги являются производные хлорофилла и каротиноиды, представленные хлорофиллом *a* и β -каротином [3, 4]. Каротиноиды обладают антиоксидантной, радиопротекторной и антиканцерогенной активностью [5–8]. Хлорофиллы оказывают противовоспалительное, ранозаживляющее и антибактериальное действие, также обладают антиоксидантным эффектом [5, 9]. В настоящее время актуальным является изучение биологически активных соединений (БАС), в частности пигментов, обладающих антибактериальными и противовоспалительными свойствами. В настоящее время на сырье моринги не разработаны методики количественного определения каротиноидов и хлорофилла, в данной работе представлен вариант методики количественного определения. Результаты исследования могут быть использованы для разработки нормативной документации на перспективное лекарственное растительное сырье. Цель исследования – разработка методики количественного определения содержания каротиноидов и хлорофилла в листьях моринги. *Материалы и методы.* Объектами исследования служили высушенные листья моринги. Качественный анализ пигментов проводили методом тонкослойной хроматографии (ТСХ) из ацетоновой фракции, используя систему растворителей: петролейный эфир – ацетон (6:4) [5, 9]. Для количественного определения каротиноидов и хлорофиллов в извлечениях из сырья моринги использовали спектрофотометрический метод [10–13]. Количественное определение каротиноидов и хлорофиллов в сырье моринги проводили с использованием спирта этилового 95 %, гексана, ацетона и смеси ацетона-гексана (1:2). Измерение оптической плотности проводили в максимумах поглощения каротиноидов (450 нм), хлорофилла *a* (664 нм). *Результаты.* С помощью ТСХ визуально определяются три пятна, одно из которых желтого цвета с $R_f = 0,91$ относится к β -каротину, пятна сине-зеленого и желто-зеленого цвета с $R_f = 0,9$ и $0,08$ относятся к хлорофиллам *a* и *b* соответственно. *Выводы.* Представлена концепция методики определения каротиноидов и хлорофилла. Было установлено, что лучшим экстрагентом для извлечения каротиноидов (66,31 мг%) является смесь ацетона-гексана (1:2); хлорофилла (0,23 %) – смесь ацетона-гексана (1:2).

Ключевые слова: *Moringa oleifera*, β -каротин, хлорофилл *a*, спектрофотометрия, тонкослойная хроматография

Для цитирования: Кутихина Е. А., Курдюков Е. Е., Моисеева И. Я., Бибякова Л. Н., Финаёнова Н. В. Методика количественного определения пигментов в листьях

Quantitative determination of pigments in moringa leaves

E.A. Kutihina¹, E.E. Kurdjukov², I.Ja. Moiseeva³,
L.N. Bibjakova⁴, N.V. Finajonova⁵

¹Penza State Agrarian University, Penza, Russia

^{2,3,4,5}Penza State University, Penza, Russia

¹guschina.v.a@pgau.ru, ^{2,4,5}e.e.kurdyukov@mail.ru, ³moiseeva_pharm@mail.ru

Abstract. *Background.* Moringa oleifera leaves are promising medicinal raw materials. Leaves contain a complex of biologically active compounds: proteins, minerals, carotenoids, vitamins (thiamine, riboflavin, ascorbic acid), glycosides, flavonoids (rutin, quercetin) [1, 2]. The main complexes of natural pigments in moringa leaves are chlorophyll derivatives and carotenoids represented by chlorophyll *a* and β -carotene [3, 4]. Carotenoids have antioxidant, radioprotective and anti-carcinogenic activity [5–8]. Chlorophylls have anti-inflammatory, wound-healing and antibacterial effects, and also have an antioxidant effect [5, 9]. Currently, it is important to study biologically active compounds (BAC), in particular pigments that have antibacterial and anti-inflammatory properties. Currently, methods for the quantitative determination of carotenoids and chlorophyll have not been developed on the moringa's raw materials, and a variant of the quantitative determination method is provided in this paper. The results of the study can be used to develop regulatory documentation for promising medicinal plant raw materials. The purpose of the study is to develop methods for quantitative determination of carotenoids and chlorophyll content in Moringa leaves. *Materials and methods.* The objects of research were dried Moringa leaves harvested in the Penza region. Qualitative analysis of pigments was performed by TLC from the acetone fraction using a system of solvents: petroleum ether-acetone (6:4) [5, 9]. For the quantitative determination of carotenoids and chlorophylls in extracts from raw materials of Moringa used spectrophotometric method [10–13]. Quantitative determination of carotenoids and chlorophylls in Moringa raw materials was performed using 95 % ethyl alcohol, hexane, acetone, and a mixture of acetone-hexane (1:2). Optical density was measured at the maximum absorption of carotenoids (450 nm) and chlorophyll *a* (664 nm). *Results.* 3 spots are visually determined, one of which is yellow with $R_f = 0,91$ refers to β -carotene, and blue-green and yellow-green spots with $R_f = 0,9$ and $0,08$ refer to chlorophylls *a* and *b*, respectively. *Conclusions.* The concept of a method for determining carotenoids and chlorophyll is presented. It was found that the best extractant for carotenoid extraction (66,31 mg%) is a mixture of acetone-hexane (1:2), chlorophyll (0,23 %) a mixture of acetone-hexane (1:2).

Keywords: *Moringa oleifera*, β -carotene, chlorophyll *a*, spectrophotometry, thin-layer chromatography

For citation: Kutihina E.A., Kurdjukov E.E., Moiseeva I.Ja., Bibjakova L.N., Finajonova N.V. Quantitative determination of pigments in moringa leaves. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;1:16–23. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-1-2

Введение

Моринга масличная (*Moringa oleifera* Lam.) семейства моринговых (Moringaceae) является небольшим, быстро растущим листопадным деревом, высотой до 10–12 м [1, 2].

Листья моринги являются перспективным лекарственным растительным источником получения биологически активных соединений для получения фармацевтических субстанций, обладающих широким спектром фармакологической активности, включая противовоспалительный, антибактериальный, антиоксидантный эффект. В листьях моринги содержится комплекс различных полифенольных соединений, за счет которого листья моринги проявляют перечисленные фармакологические эффекты [3, 4].

Материалы и методы

Объектами исследования служили высушенные листья моринги. Качественный анализ суммы каротиноидов и хлорофилла в листьях моринги проводили методом тонкослойной хроматографии из ацетоновой фракции в системе растворителей: петролейный эфир-ацетон (6:4), спирт метиловый-бензол-этилацетат (5:70:25) [5, 6, 9].

Количественное определение суммы каротиноидов и хлорофилла проводили методом прямой спектрофотометрии [10–13]. Масса сырья – 3 г (точная навеска), для извлечения использовали колбу вместимостью 50 мл, прибавляли 25 мл экстрагента, в течение 90 мин перемешивали. Полученный экстракт фильтровали через бумажный фильтр. Отбирали 1 мл извлечения и помещали в мерную колбу на 25 мл, доводили экстрагентом до метки. Определяли оптическую плотность на спектрофотометре СФ-104 при длине волны 450 и 664 нм.

Содержание суммы каротиноидов и хлорофилла в сырье моринги (X) в пересчете на β -каротин и хлорофилл a (мг%) вычисляли по стандартной формуле [5].

Статистическую обработку результатов экспериментального исследования проводили с помощью пакета статистических программ: русифицированная версия программы Statistica 6.0 (StatSoft – Russia, 1999), BIOSTAT (S. A. Glantz, McGrawHill, 1998), Microsoft Office (Microsoft Office Pro Plus 2019, договор № 028-20-223 от 25.05.2020 – бессрочный). Все измерения проведены в пятикратных аналитических повторностях, в таблицах приведены средние значения. Определялись основные статистические характеристики: среднее значение, ошибка среднего. Достоверность различий рассчитана с помощью T -критерия Стьюдента. Критическая величина уровня значимости принята равной 0,05. Во всех данных, приведенных в статье, количественные показатели выражены в виде $M \pm m$.

Результаты и обсуждение

На хроматографических пластинках обнаружили зоны адсорбции от желтого до ярко-оранжевого цвета. Полученные значения коэффициента замедления (R_f) сравнивали со стандартными значениями, описанными в литературе [5, 9, 14]. В системе петролейный эфир-ацетон (6:4) обнаружили зону оранжевого цвета с $R_f = 0,91$, которая соответствует β -каротину, две зоны адсорбции зеленого и желто-зеленого цвета с $R_f = 0,9$ и $R_f = 0,08$, соответствующие хлорофиллу a и хлорофиллу b .

Исходя из литературных данных, каротиноиды хорошо растворимы в 95 % этаноле, ацетоне, гексане, хлороформе [9–13].

Электронные спектры извлечения в диапазоне длин волн 400–500 нм имеют максимум оптической плотности при 450 ± 2 нм (рис. 1), характерные для β -каротина. В результате сравнения максимума поглощения на полученных УФ-спектрах из извлечения сырья моринги с литературными данными выяснилось, что полученное извлечение преимущественно содержит β -каротин [9–13].

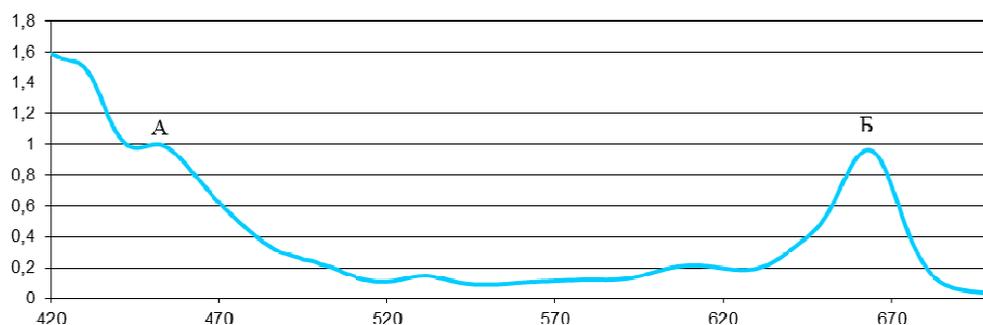


Рис. 1. УФ-спектр ацетон-гексанового (1:2) извлечения из листьев моринги:
а – максимум поглощения каротиноидов (β -каротин) при 450 нм;
б – максимум поглощения хлорофиллов (хлорофилл *а*) при 664 нм

В результате проведенного анализа установили, что лучшим экстрагентом для выделения каротиноидов из высушенных листьев моринги является ацетон-гексан (1:2), так как извлекается больше каротиноидов, по сравнению с другими экстрагентами (табл. 1).

Таблица 1

Влияние экстрагента на выход каротиноидов в листьях моринги

Экстрагент	Количество каротиноидов в пересчете на β -каротин, мг%
1. Ацетон	$55,90 \pm 0,87$
2. Гексан	$21,46 \pm 0,52^*$
3. Спирт 95 %	$32,65 \pm 0,37^*$
4. Ацетон-гексан (1:2)	$66,31 \pm 0,98^*$

Примечание. * Различия достоверны при $p \leq 0,05$.

Содержание каротиноидов в листьях моринги в пересчете на β -каротин составило 66,31 мг%. Результаты статистической обработки данных свидетельствуют о том, что ошибка единичного определения не превышает значения 1,31 %.

Количественное определения хлорофилла в листьях моринги проводили методом УФ-спектрофотометрии [5, 9]. Важной особенностью спектра поглощения хлорофилла *а* служит наличие ярко выраженного максимума при 664 нм (рис. 2).

В результате проведенного анализа установили, что лучшим экстрагентом для выделения хлорофилла из высушенных листьев моринги является

ацетон-гексан (1:2), так как извлекается больше хлорофиллов, по сравнению с другими экстрагентами (табл. 2).

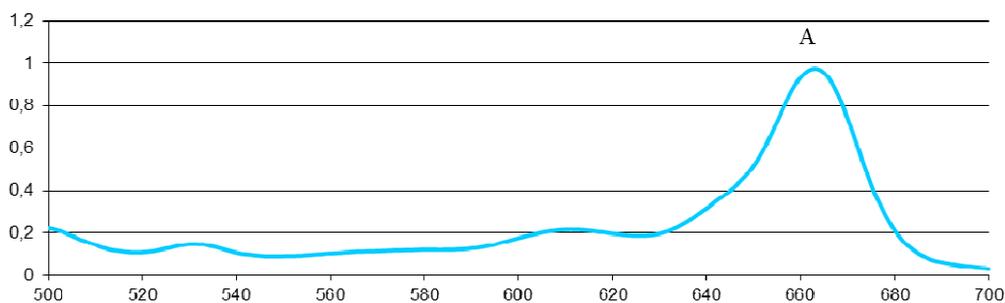


Рис. 2. УФ-спектр ацетон-гексанового (1:2) извлечения из листьев моринги:
а – максимум поглощения хлорофиллов (хлорофилл а) при 664 нм

Таблица 2

Влияние экстрагента на выход хлорофилла в листьях моринги

Экстрагент	Количество хлорофилла в пересчете на хлорофилл а, %
1. Ацетон	0,19 ± 0,04
2. Гексан	0,12 ± 0,02*
3. Спирт 95 %	0,14 ± 0,03*
4. Ацетон-гексан (1:2)	0,23 ± 0,02*

Примечание. * Различия достоверны при $p \leq 0,05$.

Содержание суммы хлорофилла в листьях моринги составило 0,23 % в пересчете на хлорофилл а и высушенное сырье. Результаты статистической обработки данных свидетельствуют о том, что ошибка единичного определения не превышает значения 4,55 %.

Заключение

1. Определены максимумы поглощения извлечения, при $\lambda = 450 \pm 2$ нм, $\lambda = 664 \pm 2$ нм для каротиноидов и хлорофилла соответственно.

2. Определено, что среднее значение содержания каротиноидов в сырье моринги составляет 66,31 мг%, содержания хлорофилла составляет 0,23 %.

Список литературы

1. Foidl N., Makkar H. P. S., Becker K. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses // The Miracle Tree: The Multiple Attributes of *Moringa* / ed. L. J. Fuglie. Dakar, Senegal : Church World Service, 2001. P. 45–76.
2. Ndhala A. R., Mulaudzi R., Ncube B. [et al.]. Antioxidant, antimicrobial and phytochemical variations in thirteen *Moringa oleifera* Lam. cultivars // *Molecules*. 2014. Vol. 19, № 7. P. 10 480–10 494. URL: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules190710480>
3. Amaglo N. K., Bennet R. N., Curto B. L. Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L., grown in Ghana // *J. of Food Chem.* 2010. Vol. 122, № 4. P. 1047–1054.

4. Bennett R. N., Mellon F. A., Foidl N. [et al.]. Profiling glucosinolates and phenolics in vegetative and reproductive tissues of the multi-purpose trees *Moringa oleifera* L. (Horseradish Tree) and *Moringa stenopetala* L. // *J. Agri Food Chem.* 2003. Vol. 51. P. 3546–3553.
5. Санникова Е. Г., Компанцева Е. В., Попова О. И., Айрапетова А. Ю. Определение пигментов в сырье ивы трехтычинковой (*Salix triandra* L.) методами тонкослойной хроматографии и спектрофотометрии // *Химия растительного сырья.* 2019. № 2. С. 119–127. doi:10.14258/jcrpm.2019024077
6. Фоминых М. М., Хомутов Т. О., Курдюков Е. Е. Новая методика количественного определения пигментов в листьях стевии // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки.* 2020. № 2. С. 23–31. doi:10.21685/2307-9150-2020-2-3
7. Печинский С. В., Курегян А. Г. Структура и биологические функции каротиноидов // *Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии.* 2013. № 9. С. 4–15.
8. Чечета О. В., Сафонова Е. Ф., Сливкин А. И. Стабильность каротиноидов в растительных маслах при хранении // *Фармация.* 2008. № 2. С. 12–14.
9. Первушкин С. В., Куркин В. А., Воронин А. В. [и др.]. Методики идентификации различных пигментов и количественного спектрофотометрического определения суммарного содержания каротиноидов и белка в фитомассе *S. platensis* (Nords.) Geilt. // *Растительные ресурсы.* 2002. № 1. С. 112–119.
10. Гергель А. В. Спектрофотометрическое определение количественного содержания хлорофиллов и каротиноидов в некоторых растениях представителей рода *Moringa* при использовании разных экстрагентов // *Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции.* 2010. № 64. С. 25–27.
11. Ульяновский Н. В., Косяков Д. С., Боголицын К. Г. Разработка экспрессных методов аналитической экстракции каротиноидов из растительного сырья // *Химия растительного сырья.* 2012. № 4. С. 147–152.
12. Писарев Д. И., Новиков О. О., Романова Т. А. Разработка экспресс-метода определения каротиноидов в сырье растительного происхождения // *Научные ведомости Белгородского государственного университета.* 2010. № 22. С. 119–122.
13. Karnjanawipagul P., Nittayanuntawech W., Rojsanga P., Suntornsuk L. Analysis of β -carotene in carrot by spectrophotometry // *Mahidol University Journal of pharmaceutical science.* 2010. Vol. 37, № 1-2. P. 8–16.
14. Арзамасцев А. П., Дорофеев В. Л., Садчикова Н. П. Государственные стандартные образцы в лекарственных веществах // *Ведомости научного центра экспертизы и государственного контроля лекарственных средств Минздрава России.* 2000. № 3. С. 24–26.

References

1. Foidl N., Makkar H.P.S., Becker K. The potential of *Moringa oleifera* for agricultural and industrial uses. *The Miracle Tree: The Multiple Attributes of Moringa.* Dakar, Senegal: Church World Service, 2001:45–76.
2. Ndhlala A.R., Mulaudzi R., Ncube B. [et al.]. Antioxidant, antimicrobial and phytochemical variations in thirteen *Moringa oleifera* Lam. cultivars. *Molecules.* 2014; 19(7):10 480–10 494. Available at: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules190710480>
3. Amaglo N.K., Bennet R.N., Curto B.L. Profiling selected phytochemicals and nutrients in different tissues of the multipurpose tree *Moringa oleifera* L., grown in Ghana. *J. of Food Chem.* 2010;122(4):1047–1054.
4. Bennett R.N., Mellon F.A., Foidl N. [et al.]. Profiling glucosinolates and phenolics in vegetative and reproductive tissues of the multi-purpose trees *Moringa oleifera* L. (Horseradish Tree) and *Moringa stenopetala* L. *J. Agri Food Chem.* 2003;51:3546–3553.

5. Sannikova E.G., Kompantseva E.V., Popova O.I., Ayrapetova A.Yu. Determination of pigments in *Salix triandra* L. raw by thin-layer chromatography and spectrophotometers. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw materials. 2019;2:119–127. doi:10.14258/jcprm.2019024077 (In Russ.)
6. Fominykh M.M., Khomutov T.O., Kurdyukov E.E. New method for quantitative determination of pigments in stevia leaves. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2020;2:23–31. doi:10.21685/2307-9150-2020-2-3 (In Russ.)
7. Pechinskiy S.V., Kuregyan A.G. Structure and biological functions of carotenoids. *Voprosy biologicheskoy, meditsinskoj i farmatsevticheskoy khimii* = Issues of biological, medical and pharmaceutical chemistry. 2013;9:4–15. (In Russ.)
8. Checheta O.V., Safonova E.F., Slivkin A.I. Storage stability of carotenoids in vegetable oils. *Farmatsiya* = Pharmacy. 2008;2:12–14. (In Russ.)
9. Pervushkin S.V., Kurkin V.A., Voronin A.V. [et al.]. Methods for the identification of various pigments and quantitative spectrophotometric determination of the total protein content in *S. platensis* (Nords.) Geilt phytomass. *Rastitel'nye resursy* = Plant resources. 2002;1:112–119. (In Russ.)
10. Gergel' A.V. Spectrophotometric determination of the quantitative content of chlorophylls and carotenoids in some Moreceae plants using different extractants. *Razrabotka, issledovanie i marketing novoy farmatsevticheskoy produktsii* = Development, research and marketing of new pharmaceutical products. 2010;64:25–27. (In Russ.)
11. Ul'yanovskiy N.V., Kosyakov D.S., Bogolitsyn K.G. Development of express methods for the analytical extraction of carotenoids from plant materials. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw materials. 2012;4:147–152. (In Russ.)
12. Pisarev D.I., Novikov O.O., Romanova T.A. Development of an express method for the determination of carotenoids in raw materials of plant origin. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta* = Bulletin of Belgorod State University. 2010;22:119–122. (In Russ.)
13. Karnjanawipagul P., Nittayanuntawech W., Rojsanga P., Suntornsuk L. Analysis of β -carotene in carrot by spectrophotometry. *Mahidol University Journal of pharmaceutical science*. 2010;37(1-2):8–16.
14. Arzamastsev A.P., Dorofeev V.L., Sadchikova N.P. State standard samples in medicinal substances. *Vedomosti nauchnogo tsentra ekspertizy i gosudarstvennogo kontrolya lekarstvennykh sredstv Minzdrava Rossii* = Bulletin of Scientific Centre for Expert Evaluation and State Control of Medical Products of the Ministry of Health of the Russian Federation. 2000;3:24–26. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Елена Алексеевна Кутихина

аспирант, Пензенский государственный аграрный университет (Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)

E-mail: guschina.v.a@pgau.ru

Elena A. Kutihina

Postgraduate student, Penza State Agrarian University (30 Botanicheskaya street, Penza, Russia)

Евгений Евгеньевич Курдюков

кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры общей и клинической фармакологии, Пензенский государственный университет (Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: e.e.kurdyukov@mail.ru

Evgeny E. Kurdyukov

Candidate of pharmaceutical sciences, associate professor of the sub-department of general and clinical pharmacology, Penza State University (40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Инеcса Яковлевна Моисеева

доктор медицинских наук, профессор,
заведующий кафедрой общей
и клинической фармакологии, декан
лечебного факультета, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: moiseeva_pharm@mail.ru

Inessa Ja. Moiseeva

Doctor of medical sciences, professor, head
of the sub-department of general and
clinical pharmacology, dean of the faculty
of medicine, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Лилия Наилевна Бибякова

студентка, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: e.e.kurdyukov@mail.ru

Lilija N. Bibjakova

Student, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Надежда Валерьевна Финаёнова

студентка, Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: e.e.kurdyukov@mail.ru

Nadezhda V. Finaenova

Student, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Поступила в редакцию / Received 14.12.2020

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 15.01.2021

Принята к публикации / Accepted 18.01.2021

Действие водного дефицита на содержание жирных кислот с очень длинной цепью в листьях проростков ячменя

О. М. Соболева¹, Е. П. Кондратенко², А. С. Сухих³,
М. Г. Курбанова⁴, А. Ю. Просеков⁵

^{1,3}Кемеровский государственный медицинский университет
Минздрава России, Кемерово, Россия

²Кузбасская государственная сельскохозяйственная академия, Кемерово, Россия

^{4,5}Кемеровский государственный университет, Кемерово, Россия

^{1,2}meer@yandex.ru, ³Suhih_as@list.ru, ⁴kurbanova-mg@mail.ru, ⁵rector@kemsu.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Получены данные, указывающие на потенциальную роль жирных кислот с очень длинной цепью (ЖКОДЦ) как сигнальных молекул в управлении как биотического, так и абиотического стресса, в том числе – осмотического. Цель исследований – изучить действие электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) и осмотического стресса на изменение профиля ЖКОДЦ в листьях проростков ячменя. *Материалы и методы.* Исследования проведены на месячных проростках ячменя, выращенных в почвенной культуре в смеси торфа и песка в лабораторных условиях. Схема эксперимента включала в себя шесть вариантов: 1) контроль, без СВЧ-обработки, нормальное увлажнение; 2) СВЧ-обработка мощностью 0,42 кВт, частотой 2,45 ГГц, с экспозицией 11 с, нормальное увлажнение; 3) СВЧ-обработка мощностью 0,70 кВт, частотой 2,45 ГГц, с экспозицией 11 с, нормальное увлажнение; 4–6) те же варианты эксперимента, но на растениях, выращиваемых в условиях водного дефицита. Содержание жирных кислот определяли масс-спектрометрически. *Результаты.* Действие электромагнитных полей мощности 0,42 кВт при выращивании проростков ячменя в нормальных условиях водоснабжения по отношению к выращиванию их в условиях дефицита воды проявлялось в увеличении содержания яруковой кислоты в 1,6 раза, а высокой мощности (0,70 кВт) – в 1,9 раза. Отмечается увеличение содержания арахидиновой и бегеновой жирных кислот. Показано, что совместное воздействие ЭМП СВЧ и водного дефицита меняет профиль жирных кислот с очень длинной цепью, что выражается в достоверном увеличении содержания эруковой кислоты во всех вариантах эксперимента. *Выводы.* При действии на растительный организм таких абиотических факторов, как засуха и электромагнитное поле сверхвысокой частоты средней и высокой мощности, отмечается изменение профиля жирных кислот с очень длинной цепью. Изменения профиля ЖКОДЦ в листьях под действием водного стресса и ЭМП связаны с активацией основных адаптационных систем в организме проростков ячменя.

Ключевые слова: жирные кислоты с очень длинной цепью, жирнокислотный состав, водный дефицит, проростки, ячмень, электромагнитное поле сверхвысокой частоты, засуха

Для цитирования: Соболева О. М., Кондратенко Е. П., Сухих А. С., Курбанова М. Г., Просеков А. Ю. Действие водного дефицита на содержание жирных кислот с очень длинной цепью в листьях проростков ячменя // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 1. С. 24–32. doi:10.21685/2307-9150-2021-1-3

Effect of the water deficit on very long chain fatty acids in barley seedlings leaves

O.M. Soboleva¹, E.P. Kondratenko², A.S. Sukhikh³,
M.G. Kurbanova⁴, A.Yu. Prosekov⁵

^{1,3}Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russia

²Kuzbass State Agricultural Academy, Kemerovo, Russia

^{4,5}Kemerovo State University, Kemerovo, Russia

^{1,2}meer@yandex.ru, ³Suhih_as@list.ru, ⁴kurbanova-mg@mail.ru, ⁵rector@kemsu.ru

Abstract. *Background.* The obtained data indicate the potential role of fatty acids with very long chain (VLCFA) as signaling molecules in the management of both biotic and abiotic stress, including osmotic stress. The purpose of the research is to study the effect of the electromagnetic microwave field (EMF) and osmotic stress on the change of the RFC profile in the leaves of barley seedlings. *Materials and methods.* The research was carried out on monthly barley seedlings grown in soil culture in a mixture of peat and sand under laboratory conditions. The scheme of the experiment included six options: 1) control, without microwave treatment, normal humidification; 2) microwave treatment with a power of 0,42 kW, frequency of 2,45 GHz, with an exposure of 11 seconds, normal humidification; 3) microwave treatment with a power of 0,70 kW, frequency of 2,45 GHz, with an exposure of 11 seconds, normal humidification; 4–6) the same options, but grown in conditions of water scarcity. The content of fatty acids was determined by mass spectrometry. *Results.* The effect of electromagnetic fields with a power of 0,42 kW when growing barley seedlings under normal water supply conditions in relation to growing them in conditions of water scarcity was manifested in an increase in the content of erucic acid by 1,6 times, and high power (0,70 kW) – by 1,9 times. The increase in the content of arachidic and begenic fatty acids. It is shown that the combined effect of microwave EMF and water deficiency changes the profile of fatty acids with a very long chain, which is expressed in a significant increase in erucic acid in all experimental variants. *Conclusions.* When the plant body is affected by such abiotic factors as drought and an ultra-high frequency electromagnetic field of medium and high power, a change in the profile of fatty acids with a very long chain is observed. Changes in the profile of the VLCFA in leaves under the influence of water stress and EMF are associated with the activation of the main adaptive systems in the body of barley seedlings.

Keywords: very long chain fatty acids, fatty acid composition, water deficit, seedlings, barley, electromagnetic microwave field, drought

For citation: Soboleva O.M., Kondratenko E.P., Sukhikh A.S., Kurbanova M.G., Prosekov A.Yu. Effect of the water deficit on very long chain fatty acids in barley seedlings leaves. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;1:24–32. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-1-3

Введение

Согласно проведенным исследованиям, жирные кислоты с очень длинной цепью (ЖКОДЦ) – это структурно разнообразные молекулы, имеющие от 20 до 28 и более углеродных атомов [1]. В растительных клетках встречаются как насыщенные ЖКОДЦ, так и ненасыщенные. Эти вещества важны для протекания многих жизнеобеспечивающих процессов, которые не могут быть реализованы за счет обычных более коротких (до 18 углеродных атомов) алифатических цепей химических веществ.

В большинстве работ говорится о низкой распространенности этих молекул в растительных организмах. Несмотря на то, что они встречаются в незначительных количествах в растительных клетках, очень длинноцепочечные жирные кислоты выполняют важнейшие функции в процессах развития. Когда их синтез нарушается на генетическом уровне, отмечаются заметные фенотипические последствия, которые варьируются от тяжелой задержки роста до эмбриональной летальности [2].

В последнее время накопилось достаточно данных, указывающих на потенциальную роль ЖКОДЦ в качестве сигнальных молекул в управлении биотического и абиотического стресса, как на внутриклеточном, так и на внеклеточном уровнях [2]. К абиотическим стрессам можно отнести повышенную или сниженную освещенность, засуху, засоленность, жару, холод, переувлажнение, дефицит питательных веществ и другие абиотические условия окружающей среды, которые являются основными лимитирующими факторами, влияющими на рост и развитие растений и приводящими к снижению урожайности сельскохозяйственных культур.

Помимо сигнальной, ЖКОДЦ выполняют структурную функцию в организме растения. Эти вещества являются компонентами и предшественниками эпикутикулярного воска. Данный факт подтверждает, что ЖКОДЦ имеют большое значение в формировании засухоустойчивости растений. Под действием водного стресса с участием ЖКОДЦ в растениях происходит образование гидрофобного слоя кутикулярного воска, который играет важную роль в формировании устойчивости растений к абиотическим и биотическим стрессам [3, 4].

Засуха, являющаяся одним из основных видов абиотического стресса сельскохозяйственных растений, создает огромные угрозы для глобальной продовольственной безопасности и здоровья наземных экосистем, ограничивая рост растений и их продуктивность. В глобальном масштабе потери урожая от засухи к 2025 г. достигнут 30 %, по сравнению с урожаем предыдущих лет [5].

В отличие от животных растения не могут покинуть неблагоприятное место обитания, поэтому они вынуждены переносить абиотические стрессы. Для выживания в условиях засушливого стресса растения через интегрированные молекулярные и клеточные реакции развивают комплексные механизмы физической адаптации. К таким адаптациям относятся глубокая корневая система, эффективная устьичная структура и морфология листьев, утолщение кутикулярного воска и кутинизация поверхности листа [4].

Кутикулярный воск обеспечивает существенный барьер для защиты растений от водного стресса (засухи). Засушливый стресс существенно влияет на биосинтез и жирнокислотный состав кутикулярного воска. Полевые физиологические исследования показали, что урожайность пшеницы и ячменя положительно связана с кутикулярным воском, особенно в условиях засушливого климата [6].

Жирнокислотный состав меняется и под действием других абиотических факторов, например, в результате действия электромагнитного поля сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ). В листьях и корнях проростков ячменя, развивающихся из семян после проведенной СВЧ-обработки, преобладающими среди предельных жирных кислот являются пальмитиновая, стеариновая,

бегеновая и лигноцериновая кислоты, в эндосперме и оболочках зерновки – пальмитиновая и стеариновая кислоты. Олеиновая и линолевая кислоты преобладают среди непредельных жирных кислот во всех органах проростка [7].

У растений невозможен дальний транспорт жирных кислот. Однако каждая клетка растительного организма содержит жирные кислоты в составе мембранных липидов. Это означает, что в каждой клетке должны быть ферменты биосинтеза жирных кислот. Синтез жирных кислот *denovo* всегда происходит в пластидах. По последним данным, значительное количество ферментов липидного обмена находится в плазмалемме. Удлинение углеводородной цепи происходит на эндоплазматическом ретикулуме с помощью элонгаз, а внедрение дополнительных двойных связей – десатураз. Этапы биосинтеза жирных кислот происходят с помощью мультиэнзимных комплексов [8].

Цель исследований – изучить изменение профиля ЖКОДЦ в листьях проростков ячменя под действием электромагнитного поля СВЧ и водного дефицита.

Материалы и методы исследования

Объектом исследований являлись проростки ярового ячменя сорта Никита. Схема эксперимента включала в себя шесть вариантов: 1) контроль, без СВЧ-обработки, нормальное увлажнение; 2) СВЧ-обработка мощностью 0,42 кВт, частотой 2,45 ГГц, с экспозицией 11 с, нормальное увлажнение; 3) СВЧ-обработка мощностью 0,70 кВт, частотой 2,45 ГГц, с экспозицией 11 с, нормальное увлажнение; 4) контроль, без СВЧ-обработки водный дефицит; 5) СВЧ-обработка мощностью 0,42 кВт, частотой 2,45 ГГц, с экспозицией 11 с, водный дефицит; 6) СВЧ-обработка мощностью 0,70 кВт, частотой 2,45 ГГц, с экспозицией 11 с, водный дефицит.

После СВЧ-обработки сухих семян в заданном режиме производили посев в горшки со смесью верхового нейтрализованного торфа (рН 5,5) и песка в соотношении 5:1. В возрасте 1 мес от всходов надземную массу растений экстрагировали смесью хлороформ : *n*-гексан по стандартной методике [9]. Затем аликвоту образца отдували аргоном почти досуха. К остатку добавляли 500 мкл 3 %-го раствора H₂SO₄ в метаноле и 100 мкл толуола. К полученному раствору добавляли внутренний стандарт (5 мкг метилундеcanoата). Затем образец нагревали при 90 °С в течение часа. Далее проводили экстракцию 700 мкл гексана (тримя порциями). Объем отобранной гексановой фракции концентрировали отдувкой растворителя до объема около 50 мкл. Полученную пробу, содержащую жирные кислоты в виде метиловых эфиров, использовали для анализа. Анализ проводили на хроматомасс-спектрометре Agilent 7000В (США). Объем пробы составлял 2 мкл, ввод производили без деления потока. Колонка: ZB-WAX, 30 м × 0,25 мм × 0,25 мкм. Условия хроматографирования следующие: OvenProgram при 100 °С от 0 мин, затем нагрев со скоростью 7 °С/мин до 260 °С – 10 мин, скорость потока – 1,2 мл/мин. Идентификацию осуществляли по масс-спектрам (библиотека масс-спектров NIST 02.L) и индексам удерживания. Расчет массового содержания метиловых эфиров жирных кислот производили относительно известного количества метилундеcanoата (внутренний стандарт). Калибровка выполнена с использованием стандартных образцов (Sigma-Aldrich), состоящих

из цепей различной длины и насыщенности (8:0, 16:0, 8:1, 20:4, 22:6). Все измерения проведены в трехкратной биологической и трехкратной аналитической повторностях (на графиках приведены средние значения). Полученные результаты обработаны статистически. Достоверность различий по сравнению с контролем выявляли по F -критерию при уровне значимости 0,05 (достоверные различия обозначены знаком *).

Результаты и обсуждение

В результате проведенных научных экспериментов по действию электромагнитных полей сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ) и водного дефицита на процессы количественного изменения содержания ЖКОДЦ в клетках листьев проростков ячменя установлено, что под действием электромагнитных полей и засухи происходят значительные изменения в жирнокислотном составе хлороформного экстракта листьев проростков ячменя (рис. 1).

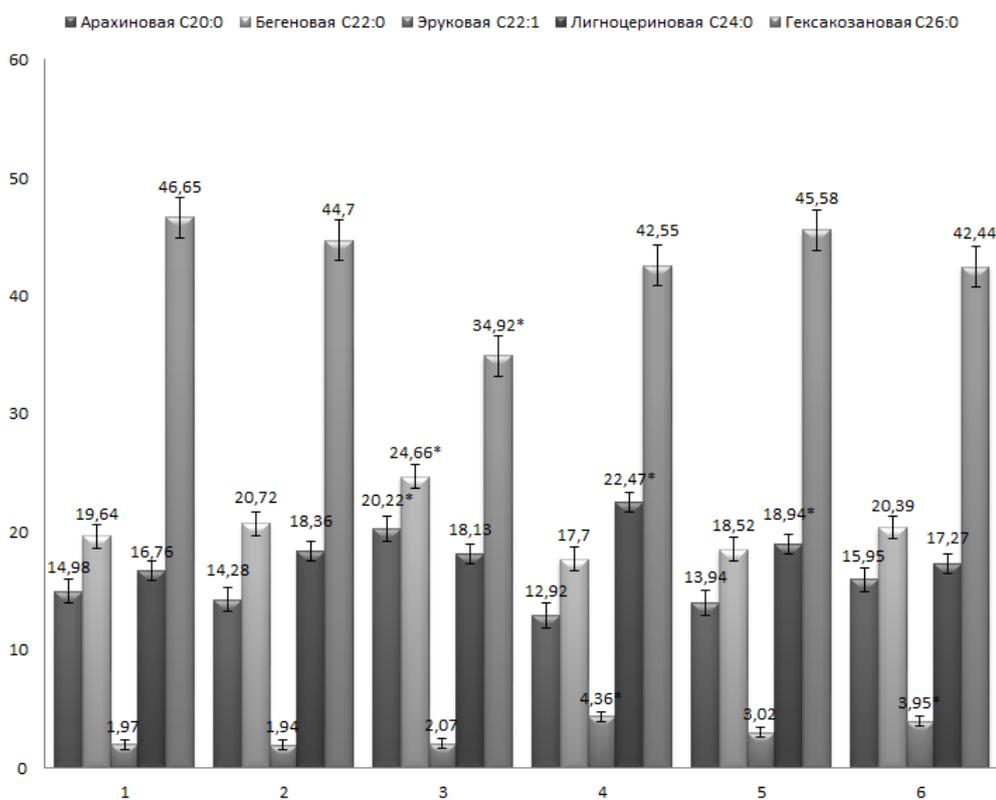


Рис. 1. Содержание ЖКОДЦ в листьях проростков ячменя под действием СВЧ и засухи, % хлороформного экстракта:

- 1) контроль, без СВЧ-обработки, нормальное увлажнение;
- 2) СВЧ-обработка мощностью 0,42 кВт, частотой 2,45 ГГц, с экспозицией 11 с, нормальное увлажнение;
- 3) СВЧ-обработка мощностью 0,70 кВт, частотой 2,45 ГГц, с экспозицией 11 с, нормальное увлажнение;
- 4) контроль, без СВЧ-обработки, засуха;
- 5) СВЧ-обработка мощностью 0,42 кВт, частотой 2,45 ГГц, с экспозицией 11 с, засуха;
- 6) СВЧ-обработка мощностью 0,70 кВт, частотой 2,45 ГГц, с экспозицией 11 с, засуха

При изучении совместного влияния водного дефицита и СВЧ средней и высокой мощности на профиль ЖКОДЦ установлено, что их воздействие приводит к достоверному уменьшению эруковой кислоты соответственно в 1,4 и 1,1 раза, по сравнению с контрольным вариантом (засуха), лигноцериновой в 1,2 и 1,3 раза. Массовая доля гексакозановой кислоты увеличивалась при действии ЭМП средней мощности и водного дефицита на 2,95 % и оставалась на том же уровне, что и контрольный вариант при увеличении мощности ЭМП.

При увеличении мощности ЭМП и водном дефиците, такое совместное действие этих абиотических факторов приводит к увеличению арахидиновой и бегеновой жирных кислот в листьях проростков ячменя.

Анализ полученных результатов позволил установить, что в листьях проростков ячменя синтезируется пять ЖКОДЦ, из них четыре предельные: арахидиновая C20:0, бегеновая C22:0, лигноцериновая C24:0, гексакозановая C26:0 и одна непредельная эруковая C22:1. Все они имеют от 20 до 26 углеродных атомов.

При сравнительном анализе двух вариантов развития растений – в условиях достаточного увлажнения и при водном дефиците – выявлено, что под влиянием недостатка воды сильно увеличивается массовая доля непредельной эруковой и предельной лигноцериновой кислот. Разница по содержанию этих жирных кислот у растений опыта и контроля в условиях нормального увлажнения составляет 1,22 раза (для эруковой кислоты) и 34,07 % (для лигноцериновой кислоты) соответственно. Таким образом, такой абиотический стресс, вызванный засухой, у ячменя в период роста и развития проростков приводит к выраженному увеличению массовой доли жирных кислот с очень длинной цепью.

Полученные экспериментальные данные позволяют предположить, что механизмы действия ЭМП и водного дефицита с данными характеристиками реализуют себя через активацию абиотического стресса, развитие которого связано с повышением продукции ЖКОДЦ. Наши исследования не противоречат полученным данным в других экспериментах. Так, содержание эруковой кислоты в составе масла семян рапса увеличивается при засухе [10].

При дефиците воды в период роста и развития проростков ячменя выявлено снижение в листьях массовой доли ЖКОДЦ с четным числом углеродных атомов C20:0, C22:0, C26:0 и увеличение C22:1 и C24:0.

Действия ЭМП средней мощности также оказывают влияние на процесс накопления ЖКОДЦ в клетках листьев проростков ячменя. Установлено увеличение C22:1 в 1,6 раза и снижение массовой доли C20:0 и C22:0, по сравнению с контрольным вариантом, – на 2,38 и 10,62 % соответственно.

В результате эксперимента было выявлено, что под влиянием магнитных волн после СВЧ высокой мощности без дефицита воды содержание арахидиновой и бегеновой кислот достоверно увеличивается в 1,3 раза, а гексакозановая уменьшается в 1,3 раза по сравнению с контрольным вариантом (без обработки). Содержание эруковой и лигноцериновой увеличивается на 0,1 и на 1,4 % соответственно.

В экспериментах нами было установлено, что водный дефицит приводит к повышению выработки эруковой кислоты (C22:1) в листьях проростков

ячменя в 1,6 раза, а действие ЭМП средней мощности – в 1,9 раза, по сравнению с контрольным вариантом.

Заключение

При действии на растительный организм таких абиотических факторов, как засуха и электромагнитное поле сверхвысокой частоты средней и высокой мощности, отмечается изменение профиля жирных кислот с очень длинной цепью. Выявлено достоверное увеличение содержания эруковой кислоты во всех вариантах опыта. При этом действие электромагнитных полей средней мощности при выращивании проростков ячменя без дефицита воды по отношению к выращиванию их в условиях дефицита воды приводило к увеличению количества эруковой кислоты в 1,6 раза.

При определении содержания эруковой кислоты при выращивании проростков ячменя с достаточным количеством воды и при водном дефиците установлено также достоверное увеличение продукции в листьях проростков ячменя этой кислоты в 2,2 раза. Также отмечается увеличение содержания арахидоновой и бегеновой жирных кислот.

Таким образом, изменения профиля ЖКОДЦ в листьях под действием водного стресса и ЭМП связаны с активацией основных адаптационных систем в организме проростков ячменя. При воздействии на семена злаков ЭМП СВЧ и водного дефицита они отвечают на эти абиотические факторы активной приспособительной реакцией, проявляющейся в колебаниях тех или иных жирных кислот с очень длинной цепью.

Список литературы

1. Bettaieb I., Zakhama N., Wannan W. A. [et al.]. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition // *Sci. Hortic.* 2009. № 120. P. 271–275. doi:10.1016/j.scienta.2008.10.016
2. De Bigault Du Granrut A., Cacas J. L. How very-long-chain fatty acids could signal stressful conditions in plants? // *Frontiers in plant science.* 2016. Т. 7. P. 1490. doi:10.3389/fpls.2016.01490
3. Zhu X., Xiong L. Putative megaenzyme DWA1 plays essential roles in drought resistance by regulating stress-induced wax deposition in rice // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2013. № 110. P. 17 790–17 795. doi:10.1073/pnas.1316412110
4. Xue D. [et al.]. Molecular and evolutionary mechanisms of cuticular wax for plant drought tolerance // *Frontiers in plant science.* 2017. Т. 8, № 621. P. 1–12. doi:10.3389/fpls.2017.00621
5. Zhang J. China's success in increasing per capita food production // *J. Exp. Bot.* 2011. Vol. 62. P. 3707–3711. doi:10.1093/jxb/err132
6. González A., Ayerbe L. Effect of terminal water stress on leaf epicuticular wax load, residual transpiration and grain yield in barley // *Euphytica.* 2010. Vol. 172. P. 341–349. doi:10.1007/s10681-009-0027-0
7. Соболева О. М., Кондратенко Е. П., Сухих А. С. Профиль высших жирных кислот проростков ячменя после обработки электромагнитными волнами сверхвысоко-частотного диапазона // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки.* 2019. № 4. С. 5–15. doi:10.21685/2307-9150-2019-4-1
8. Brown A. P., Slabas A. R., Rafferty J. B. Fatty acid biosynthesis in plants-metabolic pathways, structure and organization // *Lipids in photosynthesis.* Dordrecht : Springer, 2009. P. 11–34.

9. Захарова Ю. В. Влияние фосфолипаз грибов *Candidaalbicans* на клеточную стенку и биологические свойства бифидобактерий // Успехи медицинской микологии. 2018. Т. 18. С. 77–81.
10. Moradbeigi L. [et al.]. Effect of Drought Stress and Delay Cultivation on Grain Yield, Oil Yield and Fatty Acids Composition in Canola // Journal of agricultural science (University of Tabriz). 2019. Vol. 29, № 2. P. 135–151.

References

1. Bettaieb I., Zakhama N., Wannan W.A. [et al.]. Water deficit effects on *Salvia officinalis* fatty acids and essential oils composition. *Sci. Hort.* 2009;120:271–275. doi:10.1016/j.scienta.2008.10.016
2. De Bigault Du Granrut A., Cacas J.L. How very-long-chain fatty acids could signal stressful conditions in plants? *Frontiers in plant science*. 2016;7:1490. doi:10.3389/fpls.2016.01490
3. Zhu X., Xiong L. Putative megaenzyme DWA1 plays essential roles in drought resistance by regulating stress-induced wax deposition in rice. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2013;110:17 790–17 795. doi:10.1073/pnas.1316412110
4. Xue D. [et al.]. Molecular and evolutionary mechanisms of cuticular wax for plant drought toleranc. *Frontiers in plant science*. 2017;8(621):1–12. doi:10.3389/fpls.2017.00621
5. Zhang J. China's success in increasing per capita food production. *J. Exp. Bot.* 2011; 62:3707–3711. doi:10.1093/jxb/err132
6. González A., Ayerbe L. Effect of terminal water stress on leaf epicuticular wax load, residual transpiration and grain yield in barley. *Euphytica*. 2010;172:341–349. doi:10.1007/s10681-009-0027-0
7. Soboleva O.M., Kondratenko E.P., Sukhikh A.S. Profile of higher fatty acids of barley seeds after processing by electromagnetic waves of the microwave range. *Izvestiya vyzhikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2019;4:5–15. doi:10.21685/2307-9150-2019-4-1. (In Russ.)
8. Brown A.P., Slabas A.R., Rafferty J.B. Fatty acid biosynthesis in plants-metabolic pathways, structure and organization. *Lipids in photosynthesis*. Dordrecht: Springer, 2009:11–34.
9. Zakharova Yu.V. Effect of phospholipases of *Candidaalbicans* fungi on the cell wall and biological properties of bifidobacteria. *Uspekhi meditsinskoy mikologii = Advances in medical mycology*. 2018;18:77–81. (In Russ.)
10. Moradbeigi L. [et al.]. Effect of Drought Stress and Delay Cultivation on Grain Yield, Oil Yield and Fatty Acids Composition in Canola. *Journal of agricultural science (University of Tabriz)*. 2019;29(2):135–151.

Информация об авторах / Information about the authors

Ольга Михайловна Соболева

кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры микробиологии,
иммунологии и вирусологии,
Кемеровский государственный
медицинский университет Минздрава
России (Россия, г. Кемерово,
ул. Ворошилова, 22 А)

E-mail: meer@yandex.ru

Olga M. Soboleva

Candidate of biological sciences, associate
professor, associate professor of the
sub-department of microbiology,
immunology and virology, Kemerovo
State Medical University
(22 A Voroshilova street, Kemerovo,
Russia)

Екатерина Петровна Кондратенко

доктор сельскохозяйственных наук,
профессор, профессор кафедры
агрономии, селекции и семеноводства,
Кузбасская государственная
сельскохозяйственная академия
(Россия, г. Кемерово, ул. Марковцева, 5)

E-mail: meer@yandex.ru

Андрей Сергеевич Сухих

кандидат фармацевтических наук,
доцент, старший научный сотрудник,
Центральная научно-исследовательская
лаборатория, Кемеровский
государственный медицинский
университет Минздрава России (Россия,
г. Кемерово, ул. Ворошилова, 22 А)

E-mail: Suhih_as@list.ru

Марина Геннадьевна Курбанова

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой технологии
продуктов питания животного
происхождения, Кемеровский
государственный университет
(Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6)

E-mail: kurbanova-mg@mail.ru

Александр Юрьевич Просеков

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой
бионанотехнологий, Кемеровский
государственный университет
(Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6)

E-mail: rector@kemsu.ru

Ekaterina P. Kondratenko

Doctor of agricultural sciences, professor,
professor of the sub-department
of agronomy, breeding and seed production,
Kuzbass State Agricultural Academy
(5 Markovtseva street, Kemerovo, Russia)

Andrey S. Sukhikh

Candidate of pharmaceutical sciences,
associate professor, senior researcher,
Central Research Laboratory, Kemerovo
State Medical University
(22 A Voroshilova street, Kemerovo,
Russia)

Marina G. Kurbanova

Doctor of engineering sciences, professor,
head of the sub-department of food
technology of animal origin, Kemerovo
State University (6 Krasnaya street,
Kemerovo, Russia)

Alexander Yu. Prosekov

Doctor of engineering sciences, professor,
head of the sub-department
of bionanotechnology, Kemerovo State
University (6 Krasnaya street, Kemerovo,
Russia)

Поступила в редакцию / Received 15.12.2020

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 21.01.2021

Принята к публикации / Accepted 25.01.2021

УДК 582.823

doi:10.21685/2307-9150-2021-1-4

The position of the genus *Camellia* L. (Theaceae) in some classification systems

Quach Van Hoi¹, R.V. Doudkin², Nguyen Tuan Khoi³

^{1,2,3}Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

¹quachvanhoi@gmail.com, ²r_doudkin@mail.ru, ³khoint@bafu.edu.vn

Abstract. The genus *Camellia* was first established by Linnaeus in “Species Plantarum”. It is a genus of flowering plants in the family Theaceae. More than 400 species have been named and published, but the number has been reduced to between 80 and 280 species by combination during taxonomic revisions. Distribution of this species ranges from Bhutan, Northeastern India, China, Japan, to Southeast Asia. Many studies have been conducted to classify the genus *Camellia* based on morphological characteristics or molecular biological techniques. Through studies, it is shown that the morphological characteristics of fruits, flowers, and leaves are still important for the classification and arrangement of the *Camellia* genus in the classification system. Over different periods, the genus *Camellia* was classified into different positions in the classification systems. Some research on taxonomic systems of the Theaceae family determined the position of the genus *Camellia*. Although the genus *Camellia* can be categorized into different sub-families, tribes, or sub-tribes, the genus name *Camellia* has remained. The position of the genus *Camellia* belongs to the Theaceae family.

Keywords: *Camellia*, classification system, Theaceae, taxonomy, morphological characteristics

For citation: Hoi Quach Van, Doudkin R.V., Khoi Nguyen Tuan. The position of the genus *Camellia* L. (Theaceae) in some classification systems. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;1:33–39. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-1-4

Положение рода *Camellia* L. (Theaceae) в некоторых классификационных системах

Quach Van Hoi¹, R.V. Doudkin², Nguyen Tuan Khoi³

^{1,2,3}Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

¹quachvanhoi@gmail.com, ²r_doudkin@mail.ru, ³khoint@bafu.edu.vn

Аннотация. Род *Camellia* L. был впервые описан Линнеем в “Species Plantarum”. Это род цветковых растений относится к семейству Theaceae. Первоначально было описано более 400 видов, но их количество постоянно сокращалось до 80–280 видов в результате переписания во время таксономических пересмотров. Ареалы видов этого рода растений простираются от Бутана, Северо-Восточной Индии, Китая,

Японии до Юго-Восточной Азии. Было проведено множество исследований для уточнения классификации рода *Camellia* на основе морфологических характеристик или молекулярно-биологических методов. Исследования показали, что морфологические характеристики плодов, цветов и листьев по-прежнему часто используются для классификации видов и выяснения таксономического положения рода *Camellia*. В разные годы род *Camellia* занимал разные позиции в классификационных системах. Исследователи таксономической системы семейства Theaceae по-разному определили положение рода *Camellia*. Хотя род *Camellia* можно разделить на различные подсемейства, трибы или субтрибы первоначальное название рода *Camellia* сохранилось.

Ключевые слова: *Camellia*, система классификации, Theaceae, таксономия, морфологические характеристики

Для цитирования: Hoi Quach Van, Doudkin R.V., Khoi Nguyen Tuan. The position of the genus *Camellia* L. (Theaceae) in some classification systems // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 1. С. 33–39. doi:10.21685/2307-9150-2021-1-4

Introduction

Camellia L. is the largest genus in the Theaceae family [1–4]. The first understanding of the *Camellia* was a tea tree. In addition to being used as a beverage, the *Camellia* was served widely in China as a kind of herb that significantly benefited human health. Linnaeus reported this species in “Species Plantarum” with the name *Thea sinensis*, then renamed *Camellia sinensis* [5]. He further documented the *Camellia japonica*, an ornamental plant grown in Japan. Additionally, the author established two genera *Thea* and *Camellia*: *Thea sinensis* belonged to the genus *Thea* (Class Polyandria Monogynia) and *Camellia japonica* belonged to the genus *Camellia* (Class Monadelphina Polyandria). That the *Camellia* genus was first established by Linnaeus in “Species Plantarum” is considered the foundation for studying the classification of *Camellia* later [5].

Seemann is the last author who remained *Thea* and *Camellia* names as two distinguished genera [6]. After Seemann, two genera *Thea* and *Camellia* were merged into a consistent name, *Camellia*. Many studies have been conducted to classify the genus *Camellia* based on morphological characteristics [1, 3, 7–10] or molecular biological techniques [11]. Over different periods, the genus *Camellia* was classified into different positions in the classification systems. Some taxonomic systems of the Theaceae were reviewed for an overview of the position of the genus *Camellia*.

Materials and methods

Some taxonomy systems of the Theaceae family and documents related to the genus *Camellia* have been studied to determine the position of the genus *Camellia* in the taxonomic system. The main systems studied include the morphological classification system of Airy-Shaw [7], Sealy [10], Keng [9], Chang [1, 8], and Ming & Bartholomew [3], and molecular biology techniques of Prince & Parks [11].

Results and discussion

The classification system of Airy-Shaw (1936)

Airy-Shaw’s system divides the family Theaceae into two tribes, Camellieae and Gordonieae. The tribe Camellieae includes the subtribe Camelliinae (*Camellia*,

Tutcheria, *Piquetia*, and *Stereocarpus*) and the subtribe Laptaceinae (*Laplacea*, *Polyspora*, and *Pyrenaria*). The tribe Gordonieae includes the subtribe Gordiniinac (*Gordonia*, *Franklinia*, and *Schima*) and the subtribe Stewartiinae (*Stewartia*) (Table 1).

The study of Airy-Shaw is based on flower and fruit characteristics [7]. In the Theaceae family, Airy-Shaw characterized the tribe Camellieae as a pedicel with many bracteate leaves, petals and sepals randomly arranged in a spiral fashion, and a fruit capsule with a persistent columella [7]. He further divided the tribe Camellieae into two sub-tribes Camelliinae and Laplaceinae based on the difference between wingless seeds and winged seeds or drupaceous berries. He then divided the Camelliinae sub-tribe into several genera, including *Camellia*. To conclude, according to this classification system, the *Camellia* genus belongs to the sub-tribe Camelliinae, the tribe Camellieae of the Theaceae family.

The classification system of Sealy (1958)

Sealy's system classified the family Theaceae into one tribe Gordonieae including the sub-tribe Camelliinae (*Camellia*, *Pyrenaria*, *Yunnanea*, and *Tutcheria*), the sub-tribe Gordiniinac (*Gordonia*, *Laplacea*), and the sub-tribe Schiminae (*Schima*, *Hartia*, and *Franklinia*) (Table 1).

The classification system of Sealy was strongly influenced by the fruit dehiscence, the gross morphology, as well as seed characteristics such as the presence or absence of petals and the amount of endosperm [10]. In the tribal classification systems, Sealy's explanatory text is limited or entirely lacking treatments. As a conclusion, the *Camellia* genus belongs to the sub-tribe Camelliinae and the tribe Gordonieae of the Theaceae family.

The classification system of Keng (1962)

Keng's system divides the family Theaceae into two tribes, Camellieae and Gordonieae. The tribe Camellieae includes the sub-tribe Camelliinae (*Camellia*, *Stereocarpus*, *Piquetia*, and *Yunnanea*) and the sub-tribe Pyrenariinae (*Pyrenaria* and *Tutcheria*). The tribe Gordonieae includes the sub-tribe Gordiniinac (*Gordonia* and *Laplacea*), the sub-tribe Schiminae (*Schima* and *Franklinia*), and the subtribe Stuartiinae (*Hartia* and *Stewartia*) (Table 1).

Keng concurred with Sealy's classification system in the use of fruit and seed characteristics for classification [9]. However, he stated that the classification would be better if more fruits and seeds' characteristics were used. Despite reusing the morphological characteristics of Sealy (1958), he examined more detailed characteristics such as whether the endosperm is copious or scanty and whether the columella center lacked or absence. Besides, he added anatomical characteristics such as the sclereid distribution in the leaves. Keng categorized the fruit with a persistent central columella, seeds having a thin endosperm, and a large embryo into the tribe Gordonieae. Characteristics such as central columella, unwinged seeds without endosperm, and large embryo referred to the tribe Camellieae. According to the classification of Keng, the Theaceae family consists of two tribes in which the tribe Camellieae is divided into two sub-tribes Camelliinae and Pyrenariinae. Also, the sub-tribe Camelliinae is subdivided into four genera, including the *Camellia* genus. To sum up, in the system of Keng (1962), the genus *Camellia* belongs to the sub-tribe Camelliinae and the tribe Gordonieae of the family Theaceae.

Table 1

The position of the genus *Camellia* in the classification systems
(CAPITAL letters are sub-family or tribe, underlines are sub-tribes, *italics* are genus)

Airy-Shaw (1936)	Sealy (1958)	Keng (1962)	Chang (1984, 1998)	Prince & Parks (2001)	Ming & Bartholomew (2007)
CAMELLIEAE <u>Camelliinae</u> <i>Camellia</i> <i>Tutcheria</i> <i>Piquetia</i> <i>Stereocarpus</i> <u>Laplacinae</u> <i>Laplacea</i> <i>Polyspora</i> <i>Pyrenaria</i> GORDONIEAE Gordiniinae <i>Gordonia</i> <i>Laplacea</i> <i>Schuminae</i> <i>Schima</i> <i>Hartia</i> <i>Franklinia</i>	GORDONIEAE <u>Camelliinae</u> <i>Camellia</i> <i>Pyrenaria</i> <i>Yunnanea</i> <i>Tutcheria</i> <u>Gordiniinae</u> <i>Gordonia</i> <i>Laplacea</i> <i>Schuminae</i> <i>Schima</i> <i>Hartia</i> <i>Franklinia</i>	CAMELLIEAE <u>Camelliinae</u> <i>Camellia</i> <i>Stereocarpus</i> <i>Piquetia</i> <i>Yunnanear</i> <u>Pyrenariinae</u> <i>Pyrenaria</i> <i>Tutcheria</i> GORDONIEAE <u>Gordiniinae</u> <i>Gordonia</i> <i>Laplacea</i> <i>Schimininae</i> <i>Schima</i> <i>Franklinia</i> <u>Stuartiinae</u> <i>Hartia</i> <i>Stuartia</i>	THEEAE <i>Camellia</i> <i>Polyspora</i> <i>Pyrenaria</i> <i>Laplacea</i> <i>Apterosperma</i> GORDONIEAE <i>Franklinia</i> <i>Gordonia</i> <i>Schima</i> STEWARTIEAE <i>Stewartia</i>	THEEAE <i>Camellia</i> <i>Polyspora</i> <i>Pyrenaria</i> <i>Laplacea</i> <i>Apterosperma</i> GORDONIEAE <i>Franklinia</i> <i>Gordonia</i> <i>Schima</i> STEWARTIEAE <i>Stewartia</i>	Subfam. THEOIDEAE <i>Camellia</i> <i>Pyrenaria</i> <i>Polyspora</i> <i>Apterosperma</i> <i>Schima</i> <i>Stewartia</i> Subfam. TERNSTROEMIOIDEAE <i>Ternstroemia</i> , <i>Anneslea</i> , <i>Eurya Euryodendron</i> , <i>Adinandra</i> <i>Cleyera</i>

The classification system of Chang (1984, 1998)

Chang's system divides the family Theaceae into four tribes Theeae (*Camellia* and *Tutcheria*), Gordonieae (*Gordonia*, *Schima*, and *Apterosperma*), Stewartieae (*Hartia* and *Stewartia*), and Pyrenarieae (*Pyrenaria* and *Parapyrenaria*) (Table 1).

In Chang's system (1984, 1998), the explanatory text is limited or entirely lacking treatments [1, 8]. This system divided the Theaceae family into tribes but did not divide them into sub-tribes. Moreover, he did not use the name Camellieae to replace the name Theeae. In Chang's system, the genus *Camellia* belongs to the tribe Theeae of the Theaceae family.

The classification system of Prince & Parks (2001)

Prince & Parks' system divides the family Theaceae into three tribes Theeae (*Camellia*, *Polyspora*, *Pyrenaria*, *Laplacea*, and *Apterosperma*), Gordonieae (*Franklinia*, *Gordonia*, and *Schima*), and Stewartieae (*Stewartia*) (Table 1).

Prince & Parks (2001) based on molecular biology techniques to classify the Theaceae family [11]. This classification system remained three tribes Theeae, Gordonieae, and Stewartieae; simultaneously, erased the tribe Pyrenarieae from Chang's system (1998). In their system, the tribe Theeae has the largest number of genera (five genera), including the *Camellia* genus. All things considered, in this system, the position of the genus *Camellia* is similar to in the system of Chang (1998), relating to the tribe Theeae of the Theaceae family.

The classification system of Ming & Bartholomew (2007)

Ming & Bartholomew' system divides the family Theaceae into two sub-families Theoideae (*Camellia*, *Pyrenaria*, *Polyspora*, *Apterosperma*, *Schima*, and *Stewartia*) and Ternstroemioideae (*Ternstroemia*, *Anneslea*, *Eurya*, *Euryodendron*, *Adinandra*, and *Cleyera*) (Table 1).

The classification system of Ming & Bartholomew (2007) is based on characteristics of bisexual or unisexual flowers, characteristics of stamens, capsular or baccate fruits, dehiscent, drupaceous, or indehiscent fruits to classify the Theaceae family into two sub-families Theoideae and Ternstroemioideae [3]. The sub-family Theoideae is divided into six genera, including the genus *Camellia*. The genus *Camellia* is distinguished from other genera by its large fruit size, wingless seeds, and dehiscent capsule from the apex. By and large, according to Ming & Bartholomew' system (2007), the genus *Camellia* belongs to the sub-family Theoideae of the Theaceae family.

Conclusion

Through studies, it is shown that the morphological characteristics of fruits, flowers, and leaves are still important for the classification and arrangement of the *Camellia* genus in the classification system. The main features for identifying this genus are: Shrubs or small trees, rarely large trees or evergreens; petiolate or rarely sessile and amplexicaul leaves; narrowly elliptic, elliptic, oblong-elliptic, oblong, obovate, oval, and glabrous leaf blade; acuminate, acute or obtuse leaf apex; acute, obtuse or nearly rounded leaf base; serrate, serrulate, or rarely entire margin; pedicellate or sessile flowers; bracteoles differentiated or not differentiated from sepals;

numerous stamens; capsule fruit, rarely drupe; elliptic, flattened-globose, globose, ovoid, obovoid, 3–5-loculed, sometimes reduced to 1- or 2-loculed shape; persistent columella; globose, semi-globose, or polygonal seeds; full and fleshy with high oil content cotyledons; absent endosperm.

Through research into the classification systems of the plant taxonomists, it can be stated that there are many views and many classifications of the family Theaceae. Although the genus *Camellia* can be classified into different sub-families, tribes, or sub-tribes, the genus name *Camellia* has remained. The position of genus *Camellia* belongs to the Theaceae family.

References

1. Chang H. T., Bartholomew B. *Camellias*. London : B. T. Bastford Ltd., 1984. 211 p.
2. Ho P. H. Theaceae // *Cây cỏ Việt Nam* [An illustrated flora of Vietnam]. Ho Chi Minh City : Youth Publishing House, 1999. Vol. 1. P. 424–432.
3. Ming T. L., Bartholomew B. Theaceae // *Flora of China*. Vol. 12. Hippocastanaceae through Theaceae / eds.: Z.-Y. Wu, P. H. Raven, D. Y. Hong. St. Louis : Science Press : Beijing and Missouri Botanical Garden Press, 2007. P. 366–478.
4. Orel G., Curry A. S. In pursuit of hidden Camellias; or 32 new *Camellia* species from Vietnam and China // *Theaceae Exploration Associates*. Sydney, Australia, 2015. 339 p.
5. Linnaeus C. *Camellia* // *Species Plantarum II*. 1753. 698 p.
6. Seemann B. Synopsis of the Genera *Camellia* and *Thea* // *Transactions of the Linnean Society of London*. 1859. Vol. 22, № 4. P. 337–352.
7. Airy-Shaw H. K. Notes on the genus *Schima* and on the classification of the Theaceae – Camellioideae // *Bulletin of Miscellaneous Information (Royal Botanic Gardens, Kew)*. 1936. Vol. 1936. P. 496–499.
8. Chang H. T. Theaceae // *Flora Republ. Pop. Sin.* / ed. Z. Y. Wu. N. Y. : Science Press, 1998. Vol. 49. P. 195–251.
9. Keng H. Comparative morphological studies in Theaceae // *Univ. Calif. Publ. Bot.* 1962. Vol. 33. P. 269–384.
10. Sealy J. R. A revision of the genus *Camellia* // *Royal Horticultural Society*. London, 1958. 239 p.
11. Prince L. M., Parks C. Phylogenetic relationships of Theaceae inferred from chloroplast DNA sequence data // *Am. J. Bot.* 2001. Vol. 88. P. 2309–2320.

References

1. Chang H.T., Bartholomew B. *Camellias*. London: B. T. Bastford Ltd., 1984:211.
2. Ho P.H. Theaceae. *Cây cỏ Việt Nam* [An illustrated flora of Vietnam]. Ho Chi Minh City: Youth Publishing House, 1999;1:424–432.
3. Ming T.L., Bartholomew B. Theaceae. *Flora of China*. Vol. 12. *Hippocastanaceae through Theaceae*. Science Press: Beijing and Missouri Botanical Garden Press, 2007:366–478.
4. Orel G., Curry A.S. In pursuit of hidden Camellias; or 32 new *Camellia* species from Vietnam and China. *Theaceae Exploration Associates*. Sydney, Australia, 2015:339.
5. Linnaeus C. *Camellia*. *Species Plantarum II*. 1753:698.
6. Seemann B. Synopsis of the Genera *Camellia* and *Thea*. *Transactions of the Linnean Society of London*. 1859;22(4):337–352.
7. Airy-Shaw H.K. Notes on the genus *Schima* and on the classification of the Theaceae – Camellioideae. *Bulletin of Miscellaneous Information (Royal Botanic Gardens, Kew)*. 1936;1936:496–499.
8. Chang H.T. *Theaceae*. *Flora Republ. Pop. Sin.* N. Y.: Science Press, 1998;49:195–251.
9. Keng H. Comparative morphological studies in Theaceae. *Univ. Calif. Publ. Bot.* 1962;33:269–384.

10. Sealy J.R. A revision of the genus *Camellia*. *Royal Horticultural Society*. London, 1958:239.
11. Prince L.M., Parks C. Phylogenetic relationships of Theaceae inferred from chloroplast DNA sequence data. *Am. J. Bot.* 2001;88:2309–2320.

Информация об авторах / Information about the authors

Quach Van Hoi

аспирант, Дальневосточный
федеральный университет (Россия,
г. Владивосток, п. Аякс, 10)

E-mail: quachvanhoi@gmail.com

Quach Van Hoi

Postgraduate student, Far Eastern Federal
University (10 Ajax Bay, Vladivostok,
Russia)

Roman Vasильевич Дудкин

кандидат биологических наук, доцент
кафедры биоразнообразия и морских
биоресурсов, Дальневосточный
федеральный университет (Россия,
г. Владивосток, п. Аякс, 10)

E-mail: r_doudkin@mail.ru

Roman V. Doudkin

Candidate of biological sciences, associate
professor of the sub-department of
biodiversity and marine bioresources,
Far Eastern Federal University
(10 Ajax Bay, Vladivostok, Russia)

Nguyen Tuan Hoi

аспирант, Дальневосточный
федеральный университет (Россия,
г. Владивосток, п. Аякс, 10)

E-mail: khoint@bafu.edu.vn

Nguyen Tuan Khoi

Postgraduate student, Far Eastern Federal
University (10 Ajax Bay, Vladivostok,
Russia)

Поступила в редакцию / Received 27.10.2020

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 20.11.2020

Принята к публикации / Accepted 27.01.2021

УДК 595.421./422
doi:10.21685/2307-9150-2021-1-5

Птицы и их клещи в связи с их эпидемиологическим значением в г. Воронеже

С. П. Гапонов¹, Р. Т. Теуэльде²

^{1,2}Воронежский государственный университет, Воронеж, Россия

¹gaponov2003@mail.ru, ²teweldert@gmail.com

Аннотация. Паразитические клещи, связанные с птицами и их гнездами, играют существенную эпидемиологическую роль в качестве резервуаров и переносчиков возбудителей различных заболеваний. Это особенно актуально в условиях городов. В г. Воронеже в 2017–2020 гг. обследовано 1547 гнезд птиц и 5017 особей 27 видов птиц-хозяев (Arodiformes: *Apus apus*; Columbiformes: *Columba livia*; Passeriformes: *Riparia riparia*, *Delichon urbicum*, *Hirundo rustica*, *Passer domesticus*, *P. montanus*, *Fringillacoelbs*, *Luscinia luscinia*, *Ficedula hypoleuca*, *Erithacus rubecula*, *Muscicapa striata*, *Turdus philomelos*, *Turdus pilaris*, *Sturnus vulgaris*, *Pica pica*, *Corvus monedula*, *C. cornix*, *C. frugilegus*, *Motacilla alba*, *Curruca (Sylvia) communis*, *Sylvia borin*, *Parus major*, *Cyanistes caeruleus*, *Remizpendulinus*, *Sitta europaea*, *Phylloscopus sibilatrix*). Собрано 19 456 особи 14 видов паразитических клещей, относящихся к отрядам Mesostigmata (90,92 % от всех особей) Trombidiformes: Trombiculidae (6,19 %), Ixodida (2,24 %). Выявлено 13 видов мезостигматных (81,25 % от общего количества видов), один вид краснотелковых (6,25 %) и два вида иксодовых клещей (12,50 %). По типу экологических связей с птицами-хозяевами обнаруженные виды паразитических клещей являются гнездо-норовыми паразитами, кроме *Ixodes ricinus*. Семь видов клещей (43,75 %) – облигатные гематофаги: *Ixodes ricinus*, *I. lividus*, *Ornithonyssus sylviarum*, *Dermanyssus gallinae*, *D. hirundinis*, *D. passerinus* и личиночные стадии *Eutrombicula* sp. Остальные девять видов (56,25 %) являются факультативными гематофагами как птиц, так и мелких млекопитающих. Весной и ранним летом отмечен обмен паразитами между перелетными, кочующими и оседлыми видами птиц. Наивысшее видовое разнообразие клещей и их наивысшая численность зарегистрированы с апреля по июль. Осенью и зимой лишь три вида гамазовых клещей продолжают размножение на оседлых видах птиц и в их гнездах. Активный обмен паразитами между птицами наблюдается во время размножения, совместного гнездования, кормления, насиживания яиц и ухода за потомством. Некоторые виды клещей способны активно передвигаться по поверхности почвы или переносятся форетически на мухах-кровососах. Экологические связи между мелкими млекопитающими и птицами через их общих клещей-перезитов являются важными звеньями в циркуляции возбудителей в урбосистемах г. Воронежа.

Ключевые слова: Воронеж, птицы, гамазовые клещи, иксодовые клещи, краснотелковые клещи, эпидемиологическое значение

Для цитирования: Гапонов С. П., Теуэльде Р. Т. Птицы и их клещи в связи с их эпидемиологическим значением в г. Воронеже // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 1. С. 40–56. doi:10.21685/2307-9150-2021-1-5

© Гапонов С. П., Теуэльде Р. Т., 2021. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Epidemiological survey of birds and their mites in Voronezh

S.P. Gaponov¹, R.T. Tewelde²

^{1,2}Voronezh State University, Voronezh, Russia

¹gaponov2003@mail.ru, ²teweldert@gmail.com

Abstract. Parasitic mites associated with the birds play an epidemiological role as reservoirs and vectors of different pathogens. It is especially important in the urban areas. Ecological interrelations between birds and their acaroid parasites were studied. In Voronezh in 2017–2020, 1547 bird nests and 5017 birds of 27 species: Apodiformes: *Apus apus*; Columbiformes: *Columba livia*; Passeriformes: *Riparia riparia*, *Delichon urbicum*, *Hirundo rustica*, *Passer domesticus*, *P. montanus*, *Fringillacoerebs*, *Luscinia luscinia*, *Ficedula hypoleuca*, *Erithacus rubecula*, *Muscicapa striata*, *Turdus philomelos*, *Turdus pilaris*, *Sturnus vulgaris*, *Pica pica*, *Corvus monedula*, *C. cornix*, *C. frugilegus*, *Motacilla alba*, *Curruca (Sylvia) communis*, *Sylvia borin*, *Parus major*, *Cyanistes caeruleus*, *Remizpendulinus*, *Sitta europaea*, *Phylloscopus bilatrix* were examined. 19 456 parasitic mites and mites belonging to the orders Mesostigmata (17 806 mites, 90,92 %) Trombidiformes: Trombiculidae (1212 mites, 6,19 %), Ixodida (438 ticks, 2,24 %) of 14 species were collected. 13 species of mesostigmatid (81,25 % of species), one species of velvet (6,25 %) mites, and two species of ixodid mites (12,50 %) were identified. According to the type of ecological connections with host birds, the parasitic mites are nest-burrow parasites, except *Ixodes ricinus*. 7 species of determined parasites (43,75 %) are obligate hematophages: *Ixodes ricinus*, *I. lividus*, *Ornithonyssus sylviarum*, *Dermanyssus gallinae*, *D. hirundinis*, *D. passerinus* and larval stages of *Eutrombicula* sp., while 9 mesostigmatic mite species (56,25 %) are optional hematophages of birds and small mammals. In spring and early summer an exchange of parasites between migratory, nomadic and sedentary birds take place. The highest species diversity of the mites as well as their highest number were registered from April to July. In the autumn and winter only three mite species continue their reproduction on the birds' bodies. Active exchanging of the parasites between the birds is noticed during feeding, grooming, reproductive activity and nestling. Some mites are spreading by active moving or phoretic on the loose flies. Ecological connections between small mammals and birds through their common parasitic mites serve as an important links in pathogens circulation in the urban ecosystems of Voronezh.

Keywords: Voronezh, birds, gamasid mites, hard mites, velvet mites, epidemiology

For citation: Gaponov S.P., Tewelde R.T. Epidemiological survey of birds and their mites in Voronezh. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;1:40–56. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-1-5

Введение

Антропогенная трансформация окружающей среды, особенно в условиях урбанизации, ведет к нарушению механизмов саморегуляции паразитарных систем, что нередко сопровождается паразитарными экспрессией, экспансией и сукцессией [1–3]. В условиях современного мегаполиса наблюдается не только формирование специфической фауны позвоночных животных, но и их паразитов. Синантропные виды птиц в городских условиях обладают высокой численностью и имеют повышенный уровень контактов с человеком [4–6], а складывающиеся связи с кровососущими членистоногими представляют высокую эпидемиологическую опасность [7–9].

Актуальность и цели

Роль птиц в распространении арбовирусов и других возбудителей заболеваний неоднократно доказана многими авторами [10–13]. Перелетные птицы связаны с распространением возбудителей лихорадки Западного Нила, птичьего гриппа, Лайм-боррелиоза, облегчая передвижение клещей на новые территории [14, 15]. Во время миграций птицы способствуют распространению возбудителей заболеваний в новые места обитания и на гораздо большие расстояния в сравнении с мелкими млекопитающими [16], а также обеспечивают перенос клещей-переносчиков [17]. Во время перелетов между птицами разных видов осуществляется обмен патогенами и эктопаразитами. До 67 % клещей, попадающих на территорию США каждый год с перелетными птицами, представлены неотропическими видами, типичными для Центральной и Южной Америки (от 4 до 39 млн особей) [15]. В весенний период осуществляется контакт перелетных птиц с оседлыми, обмен паразитами и возбудителями [18]. Во многих регионах России отмечается проникновение иксодовых клещей в крупные города и освоение ими в качестве прокормителей синантропных грызунов и хищных млекопитающих [7]. Город Воронеж не является исключением [19, 20], на его территории и в Воронежской области регистрируются трансмиссивные природно-очаговые заболевания, в циркуляции возбудителей которых принимают участие птицы и их эктопаразиты (лихорадка Западного Нила, Лайм-боррелиоз, Ку-лихорадка, туляремия) [21].

Целью исследования было изучение формирования между птицами и клещами экологических связей, имеющих эпидемиологическое значение на территории г. Воронежа.

Материалы и методика

На территории г. Воронежа в 2017–2020 гг. обследовано 1547 гнезд и 5017 особей 27 видов птиц-хозяев. Собрано 19 456 особей 16 видов паразитических клещей, относящихся к надотрядам Parasitiformes (отряд Mesostigmata (Gamasida)) (17 806 особей, 90,92 %) и Acariformes (отряд Trombidiformes: Trombiculidae (1212 особей, 6,19 %), отряд Ixodida (Metastigmata) (438 особей, 2,24 %)). Сбор, фиксация материала проводились по стандартным методикам [22, 23]. Для идентификации мезостигматных клещей использована монография Н. Г. Брегетовой [24]. Рассчитаны индекс встречаемости (ИВ) (гнезда, птицы) – процент объектов, на которых обнаружены эктопаразиты данного вида или группы видов, по отношению к общему числу проанализированных проб; индекс доминирования (ИД) – отношение числа особей данного вида к общему числу видов данной группы; индекс обилия (ИО) – количество особей обнаруженных паразитов, приходящееся на общее число исследованных хозяев; интенсивность инфекации (ИИ) – среднеарифметический показатель числа паразитов, приходящихся на одну зараженную особь хозяина. Проведены наблюдения за контактами птиц одного вида и разных видов во время гнездостроения, кормления, совместного поселения. Изучены случаи поражения людей клещами, паразитирующими на птицах.

Результаты и обсуждение

Обязательным компонентом ценозов птичьих гнезд являются мезостигматные (гамазовые) клещи (Mesostigmata) [25]. В Словакии [26] выявлено 229 видов клещей на 110 видах птиц; 97 % от собранных клещей – паразиты

26 видов птиц, шесть видов – типичные птичьи паразиты [27]. В Польше гамазовые клещи отмечены в гнездах воробьев [28, 29]. В северо-восточной Болгарии Р. Д. Давидова и В. М. Васильев [30] исследовали гнезда *Parus major*, *Ficedula semitorquata* и *Sitta europaea*, обнаружили 726 особей гамазовых клещей пяти видов, из которых преобладали *Dermanyssus gallinae* и *Ornithonyssus sylviarum*. Исследованы клещи, населяющие гнезда птиц в Ивановской области [31], Верхневолжье [32], Нижнем Поволжье [33], Москве и Московской области [18], Татарстане [34], Предбайкалье [35], Забайкалье [36], Сибири [37, 38], Южной Карелии [39]. В Прибайкалье Н. А. Никулина [40] обнаружила 10 видов клещей рода *Haemogamasus*, из которых семь оказались переносчиками возбудителей природно-очаговых заболеваний, таких как клещевой энцефалит, лихорадка Ку, орнитоз. А. А. Тагильцев [41–43] исследовал экологию гамазид, формирование их связей с арбовирусами в природных очагах заболеваний. В Воронежской области клещи, паразитирующие в гнездах, были исследованы для скворца [44], домового и полевого воробьев [45, 46] и некоторых других птиц [47].

Обнаруженные виды паразитических клещей относятся к гнездо-норовым паразитам, кроме собачьего клеща – *Ixodes ricinus*, являющегося пастбищным подстерегателем, нападающим на хозяев с растительности [48]. В экологическом отношении среди гамазовых клещей выделяются облигатные кровососы [34, 48], гнездо-норовые паразиты (факультативные гематофаги), гнездо-норовые паразиты (облигатные гематофаги), гамазиды мелких млекопитающих, а также непаразитические мезостигматные клещи [34, 49, 50]. Выявлено 13 видов мезостигматных (81,25 % видов), один вид краснотелковых (6,25 %) и два вида иксодовых клещей (12,50 %) (табл. 1). Для осуществления размножения и завершения жизненного цикла иксодовым клещам требуется прием крови на каждой из стадий развития. Гонотрофический цикл четко выражен у иксодид, дерманиссид, *Ornithonyssus sylviarum*.

Отряд Mesostigmata

Сем. Macronyssidae

1. *Ornithonyssus sylviarum* (Canestrini et Fanzago, 1877). Облигатный гематофаг. Собрано 996 клещей из гнезд и с птиц 10 видов (см. табл. 1). Большую часть жизненного цикла, включая период размножения, проводит на теле хозяина. В период выкармливания птенцов в гнездах, например, грачей, голубей, домовых и полевых воробьев, скворцов численность этого вида может быть высокой. Нападает на человека, способен вызывать у человека дерманиссиоз, крысиный клещевой дерматит и птичий клещевой дерматит. Отмечается в течение года на голубях, воробьях, пик численности отмечен в июне-июле.

Сем. Laelapidae

2. *Androlaelaps casalis* (Berlese, 1887). Факультативный гематофаг, может вызывать дерматит. Собрано 4600 клещей с птиц 16 видов (см. табл. 1). Нападает на человека, вызывает дерматит. Способен вызывать у человека дерманиссиоз, крысиный клещевой дерматит и птичий клещевой дерматит.

3. *Androlaelaps glasgowi* (Ewing, 1925). Факультативный гематофаг, может вызывать дерматит. Обычен в норах грызунов и насекомых. Собрано 282 клеща с пяти видов птиц (см. табл. 1). Носитель возбудителей клещевого риккетсиоза. В природных очагах туляремии в Тюменской области является носителем возбудителя [51]. Нападает на человека, вызывает дерматит.

Таблица 1

Паразитические клещи в гнездах птиц в г. Воронеже (2017–2020)

(над чертой – в гнездах, под чертой – на птицах;

*на птицах и птенцах)

№	Вид клеща	Виды-хозяева	ИИ	ИВ	ИО	ИД
1	2	3	4	5	6	7
1.	<i>Ornithonyssus sylviarum</i> *	<i>Passer domesticus</i> , <i>Passer montanus</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Sturnus vulgaris</i> , <i>Curruca communis</i> , <i>Corvus frugilegus</i> , <i>Columba livia</i> , <i>Parus major</i> , <i>Pica pica</i> , <i>Sylvia borin</i>	5,11	$\frac{18,93}{6,20}$	0,12	5,59
2.	<i>Androlaelaps casalis</i>	<i>Delichon urbicum</i> , <i>Hirundo rustica</i> , <i>Passer montanus</i> , <i>Passer domesticus</i> , <i>Luscinia luscinia</i> , <i>Ficedula hypoleuca</i> , <i>Erithacus rubecula</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Turdus pilaris</i> , <i>Sturnus vulgaris</i> , <i>Pica pica</i> , <i>Coloeus monedula</i> , <i>Corvus frugilegus</i> , <i>Curruca communis</i> , <i>Cyanistes caeruleus</i> , <i>Parus major</i>	5,65	64,00	3,62	25,83
3.	<i>Androlaelaps glasgowi</i>	<i>Passer montanus</i> , <i>Passer domesticus</i> , <i>Luscinia luscinia</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Turdus pilaris</i>	10,44	6,66	0,69	1,58
4.	<i>Haemogamasus nidi</i>	<i>Passer domesticus</i>	8,50	1,00	0,08	0,09
5.	<i>Haemogamasus hirsutus</i>	<i>Luscinia luscinia</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Turdus pilaris</i>	20,00	9,09	1,82	0,57
6.	<i>Haemogamasus hirsutosimilis</i>	<i>Erithacus rubecula</i> , <i>Turdus philomelos</i>	20,50	28,57	5,86	0,46
7.	<i>Haemogamasus ambulans</i>	<i>Turdus pilaris</i> , <i>Motacilla alba</i>	8,20	10,42	0,16	0,23
8.	<i>Eulaelaps stabularis</i>	<i>Passer montanus</i> , <i>Passer domesticus</i> , <i>Fringilla coelebs</i> , <i>Luscinia luscinia</i> , <i>Erithacus rubecula</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Turdus pilaris</i> , <i>Pica pica</i> , <i>Coloeus monedula</i> , <i>Curruca communis</i> , <i>Sylvia borin</i>	3,61	18,41	0,66	4,28
9.	<i>Eulaelaps oudemansi</i>	<i>Luscinia luscinia</i> , <i>Muscicapa striata</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Turdus pilaris</i>	4,00	47,62	1,90	0,67
10.	<i>Hirstionyssus isabellinus</i> Oudemans, 1913	<i>Apus apus</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Turdus pilaris</i>	3,81	21,62	0,82	0,35

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
11.	<i>Dermanyssus gallinae</i> *	<i>Columba livia</i> , <i>Passer montanus</i> , <i>Passer domesticus</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Turdus pilaris</i> , <i>Sturnus vulgaris</i> , <i>Pica pica</i> , <i>Coloeus monedula</i> , <i>Corvus frugilegus</i> , <i>Sitta europaea</i> , <i>Cyanistes caeruleus</i> , <i>Parus major</i>	14,07	$\frac{22,74}{2,95}$	$\frac{3,20}{1,02}$	23,17
12.	<i>Dermanyssus hirundinis</i> *	<i>Apus apus</i> , <i>Delichon urbicum</i> , <i>Hirundo rustica</i> , <i>Passer montanus</i> , <i>Passer domesticus</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Pica pica</i> , <i>Coloeus monedula</i> , <i>Corvus frugilegus</i> , <i>Corvus cornix</i> , <i>Riparia riparia</i>	19,15	$\frac{16,75}{6,13}$	$\frac{3,21}{1,17}$	20,33
13.	<i>Dermanyssus passerinus</i> *	<i>Riparia riparia</i> , <i>Passer montanus</i> , <i>Passer domesticus</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Pica pica</i> , <i>Coloeus monedula</i> , <i>Corvus frugilegus</i> , <i>Sylvia borin</i> , <i>Curruca communis</i> , <i>Remiz pendulinus</i>	8,75	$\frac{33,24}{11,61}$	$\frac{2,91}{1,02}$	16,85
14.	<i>Eutrombicula</i> sp.*	<i>Columba livia</i> , <i>Passer domesticus</i> , <i>Passer montanus</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Sturnus vulgaris</i> , <i>Pica pica</i> , <i>Coloeus monedula</i> , <i>Corvus frugilegus</i> , <i>Cyanistes caeruleus</i>	6,88	$\frac{16,78}{5,92}$	$\frac{1,16}{0,41}$	100
15.	<i>Ixodes ricinus</i> (l, n)*	<i>Passer montanus</i> , <i>Passer domesticus</i> , <i>Turdus philomelos</i> , <i>Sturnus vulgaris</i> , <i>Pica pica</i> , <i>Coloeus monedula</i> , <i>Corvus frugilegus</i> , <i>Corvus corax</i> , <i>Motacilla alba</i> , <i>Phylloscopus sibilatrix</i> , <i>Parus major</i>	4,04	2,88	0,17	96,19
16.	<i>Ixodes lividus</i> *	<i>Riparia riparia</i> , <i>Passer domesticus</i>	2,42	1,07	0,003	3,81

Сем. Haemogamasidae

4. *Haemogamasus nidi* A. D. Michael, 1892. Факультативный гематофаг. Обычен в норах грызунов и насекомоядных. Собрано 17 особей из гнезд *Passer domesticus*. Обеспечивает экологические связи птиц с мелкими млекопитающими.

5. *Haemogamasus hirsutus* Berlese, 1889. Факультативный гематофаг. Обычен в норах грызунов и насекомоядных. Собрано 100 особей клещей из гнезд трех видов птиц (см. табл. 1). Обеспечивает экологические связи птиц с мелкими млекопитающими.

6. *Haemogamasus hirsutosimilis* Willmann, 1952. Факультативный гематофаг. Обычен в норах грызунов и насекомоядных. Собрано 82 особи клещей из гнезд двух видов птиц (см. табл. 1). Обеспечивает экологические связи птиц с мелкими млекопитающими.

7. *Haemogamasus ambulans* Thorell, 1872. Факультативный гематофаг. Обычен в норах грызунов и насекомоядных. Собрана 41 особь клещей из гнезд двух видов птиц (см. табл. 1). Обеспечивает экологические связи птиц с мелкими млекопитающими.

8. *Eulaelaps stabularis* (Koch, 1839). Факультативный гематофаг. Обычен в норах грызунов и насекомоядных. Собрано 762 особи клещей из гнезд 11 видов птиц (см. табл. 1). Иногда нападает на человека, вызывает дерматит. Обеспечивает экологические связи птиц с мелкими млекопитающими.

9. *Eulaelaps oudemansi* Turk, 1945. Факультативный гематофаг. Обычен в норах грызунов и насекомоядных. Собрано 120 особей клещей из гнезд 4 видов птиц (см. табл. 1). Обеспечивает экологические связи птиц с мелкими млекопитающими.

Сем. Hirstionyssidae

10. *Hirstionyssus isabellinus* Oudemans, 1913. Факультативный гематофаг. Обычен в норах грызунов и насекомоядных. Собрана 61 особь клещей из гнезд трех видов птиц (см. табл. 1). Нападает на человека, вызывает дерматит. Носитель возбудителей клещевого риккетсиоза. Обеспечивает экологические связи птиц с мелкими млекопитающими. Клещи рода *Hirstionyssus* способны распространять туляремию среди грызунов в природных очагах этой инфекции.

Сем. Dermanyssidae

11. *Dermanyssus gallinae* (DeGeer, 1778). Облигатный гематофаг птиц. Собрано 4125 особей клещей с птиц 12 видов (см. табл. 1). Известен как возбудитель дерманиссоза (одного из гамазоидозов), возникающего при питании кровью человека [52–54] и как один из переносчиков Лайм-боррелиоза, Ку-лихорадки, вируса птичьего гриппа А [55]. Способен вызывать у человека крысиный клещевой дерматит и птичий клещевой дерматит. Он может участвовать в механическом переносе *Salmonella enterica* [56], *Chlamydia psittaci* [57]. В Чехии он отмечен в качестве возможного переносчика *Bartonella quintana* [58]. В городских условиях источником куриного клеща оказываются гнезда птиц, расположенные на чердаках, крышах, карнизах, под подоконниками, откуда клещи проникают в жилые помещения, привлекаемые светом, вибрациями и источниками тепла (лампы, включенные приборы и т.п.). Известны случаи массового нападения *Dermanyssus gallinae* на человека, в том числе в городских условиях. Куриные клещи имеют непрерывный цикл. В одной кладке может быть от 3 до 20 яиц в зависимости от количества потребленной крови; питаются в течение 1–2 ч, посещая хозяина каждые 2–3 дня. В оптимальных условиях клещи проходят от 5 до 8 гонотрофических циклов. Пик численности отмечается в мае-июле.

12. *Dermanyssus hirundinis* (Hermann, 1804). Облигатный гематофаг птиц. Собрано 3620 особей клещей с птиц 11 видов (см. табл. 1). Нападает на человека, вызывает дерматит. Чаще всего поражаются жители верхних этажей домов и работники птицеводческих хозяйств. В жилые и производственные помещения клещи проникают с чердаков, где гнездятся голуби, через

вентиляционные устройства, мусоропроводы, по стенам зданий. Способен вызывать у человека дерманиссиоз, крысиный клещевой дерматит и птичий клещевой дерматит. Носитель возбудителей клещевого риккетсиоза. Размножение отмечено в весенне-летний период (конец апреля – конец июня). В осенне-зимний период отмечаются лишь протонимфы этого клеща.

13. *Dermanyssus passerinus* Berlese et Trouessart, 1889. Облигатный гематофаг птиц. Собрано 3000 особей клещей с птиц 10 видов (см. табл. 1). Нападает на человека, вызывает дерматит. Активное размножение, сопровождающееся резким увеличением численности, отмечено в весенне-летний период (конец апреля – конец июня); после вылета птенцов численность паразита уменьшалась. На воробьях, сороках, галках и в их гнездах клещ отмечается круглогодично; его численность подвержена колебаниям и возрастает в периоды размножения хозяина. Клещ в условиях г. Воронежа обладает непрерывным циклом.

Отряд Trombidiformes

Сем. Trombiculidae. Краснотелковые клещи.

14. *Eutrombicula* sp. Личинки – гематофаги, отмечаются на коже и в оперении хозяина. Отмечено 1212 особей на птицах девяти видов (см. табл. 1). Отряд Ixodida Иксодовые клещи.

15. *Ixodes ricinus* (L., 1758). Треххозяинный иксодовый клещ. Личинки и нимфы в количестве 421 сняты с птиц 11 видов (см. табл. 1). Взрослые клещи и нимфы могут нападать на человека. В качестве прокормителей личинки и нимфы обычно используют мелких млекопитающих. В процессе жизненного цикла собачий клещ может вовлекать птиц в процесс циркуляции возбудителей зоонозов. В Воронежской области является переносчиком возбудителей клещевого боррелиоза, моноцитарного эрлихиоза, гранулоцитарного анаплазмоза, пироплазмоза, лихорадки Западного Нила, туляремии, Ку-лихорадки.

16. *Ixodes lividus* Koch, 1844. Специализированный паразит ласточек-береговушек. Обнаружено 17 взрослых клещей на двух видах птиц – типичном хозяине *Riparia riparia* – и на домовом воробье, использовавшем под гнездо брошенную нору ласточки-береговушки.

В урбосистемах г. Воронежа между птицами и их паразитами складываются экологические связи разной степени прочности и активности. По трофическим связям семь видов клещей (43,75 %) относятся к группе облигатных гематофагов: это *Ixodes ricinus*, *Ixodes lividus* (на всех стадиях развития) (Ixodida), *Ornithonyssus sylviarum* (семейство Macronyssidae), *Dermanyssus gallinae*, *Dermanyssus hirundinis*, *Dermanyssus passerinus* (сем. Dermanyssidae) (Mesostigmata) и личиночные стадии *Eutrombicula* sp. (сем. Trombiculidae) (Trombidiformes). К группе факультативных гематофагов относятся девять видов мезостигматных клещей (56,25 %) из семейств: *Androlaelaps casalis*, *Androlaelaps glasgowi*, *Haemogamasus nidi*, *Haemogamasus hirsutus*, *Haemogamasus hirsutosimilis*, *Haemogamasus ambulans*, *Eulaelaps stabularis*, *Eulaelaps oudemansi*, *Hirstionyssus isabellinus*. Среди мезостигматных клещей доминантными видами оказались *Androlaelaps casalis*, *Dermanyssus gallinae* и *Dermanyssus hirundinis*. Среди обнаруженных нами видов имеются специализированные паразиты птиц: представители семейств Macronyssidae и Dermanyssidae, а также *Ixodes lividus*. Значительная часть видов гамазовых клещей

(Laelapidae, Haemogamasidae, Hirstionyssidae), а также *Eutrombicula* sp. и *Ixodes ricinus* использует в качестве хозяев грызунов и птиц, осуществляя связь этих двух групп хозяев и оказываясь передаточным звеном в циркуляции возбудителей заболеваний. В условиях г. Воронежа птицы и переносчики, являясь резервуарами возбудителя, оказываются вблизи человека. Безусловно, особое место занимают синантропные виды птиц в силу близких и разнообразных контактов с человеком. Исследовано 13 случаев обращения жителей по поводу обнаружения гамазид в жилых помещениях и связанных с этим дерматитов. В девяти случаях имело место проникновение клеща *Dermanyssus gallinae* в квартиры на верхних этажах многоэтажных строений. Оказалось, что эти клещи активно заселяли гнезда голубей на чердаках этих зданий. В одном случае обнаружен *Ornithonyssus sylviarum*, проникший в квартиру из домовых воробьев, спрятавшихся в укрытии этого же строения и заселенных этим клещом. В трех случаях в жилых помещениях был обнаружен клещ *Dermanyssus hirundinis*, проникший, по-видимому, из гнезд городских ласточек, размещенных под карнизом подоконника. Распространение клещей осуществляется их активным переползанием (по поверхности почвы, деревьев, кустарников, стенам строений). В эпидемиологическом отношении важен обмен паразитами между разными видами и экологическими группами птиц. В городских условиях синантропные виды птиц обладают высокой численностью. Гнезда часто располагаются близко друг к другу, что облегчает контакты как между птицами одного вида, так и разных видов. Наблюдения за птицами в условиях г. Воронежа выявили многочисленные случаи кормления больших групп голубей, часто совместно с домовыми воробьями и реже синицами, воронами, сороками, грачами и галками. Мы предполагаем наличие обмена эктопаразитами при совместном или близком гнездовании, что нередко имеет место в городских условиях. В осенне-зимний период клещи-гематофаги с непрерывным циклом и широким спектром хозяев (*D. gallinae*, *D. passerinus*, *O. sylviarum*) размножаются на теле птиц, преимущественно синантропных, что было отмечено для домового и полевого воробьев, сизого голубя, большой синицы.

Заключение

1. В результате проведенных исследований в урбосистемах г. Воронежа выявлено 16 видов клещей, паразитирующих на птицах или в их гнездах. Из них мезостигматные клещи представлены 13 видами из шести родов и пяти семейств, тромбидиформные клещи одним видом и иксодовые – двумя видами.

2. Среди мезостигматных клещей доминантными видами оказались *Androlaelaps casalis*, *Dermanyssus gallinae* и *Dermanyssus hirundinis*.

3. В соответствии с трофическими связями из обнаруженных клещей семь видов (43,75 %) представлены облигатными гематофагами, девять видов (56,25 %) – факультативными гематофагами. Специализированными паразитами птиц являются пять видов.

4. Представители семейств Laelapidae, Haemogamasidae, а также *Eutrombicula* sp. (сем. Trombiculidae) и *Ixodes ricinus* (Ixodida) осуществляют связь двух групп хозяев – птиц и грызунов. Клещи с непрерывным циклом – *D. gallinae*, *D. passerinus*, *O. sylviarum* обладают широким кругом хозяев, а зимой связаны преимущественно с синантропными видами птиц.

5. В случае проникновения возбудителя природно-очагового заболевания в урбосистемы имеются условия для включения его в систему «птица-хозяин» – «эктопаразит» с последующим развитием антропоургического очага инфекции.

Список литературы

1. Сонин М. Д., Беэр С. А., Ройтман В. А. Паразитарные системы в условиях антропопрессии (проблемы паразитарного загрязнения) // *Паразитология*. 1997. № 5. С. 453–457.
2. Сонин М. Д., Беэр С. А., Ройтман В. А. [и др.] Закономерность формирования паразитарного загрязнения среды в урбанизированных экосистемах // *Медицинская паразитология и паразитарные болезни*. 2000. С. 7–11.
3. Краснощеков Г. П. Экологические адаптации паразитов // *Материалы IV Всероссийской школы по теоретической и морской паразитологии*. Калининград : Атлант НИРО, 2007. С. 118–121.
4. Андрейчев А. В. Грызуны и насекомоядные млекопитающие урбанизированных территорий Мордовии // *Научные ведомости Белгородского государственного университета. Сер.: Естественные науки*. 2015. № 21 (219). С. 71–77.
5. Русаков А. В., Стариков В. П. Население мелких млекопитающих и типизация незастроенных территорий города Кургана // *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2013. Т. 15, № 3 (3). С. 1142–1145.
6. Garonov S. P. Epidemiological survey of mammals and hard ticks in urban and peri-urban areas of Voronezh in 2001–2016 // *Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Химия, Биология, Фармация*. 2017. № 2. С. 48–58.
7. Успенский И. В. Кровососущие клещи (Acarina: Ixodidae) как существенный компонент городской среды // *Зоологический журнал*. 2017. Т. 96, № 8. С. 871–898.
8. Петухов В. А., Стариков В. П., Вершинин Е. А. [и др.]. Структура сообществ мелких млекопитающих и их эктопаразиты города Сургута // *Экология урбанизированных территорий*. 2018. № 3. С. 19–25.
9. Garonov S. P. Tick borne zoonotic diseases in urban ecosystems of Voronezh region // *Современные проблемы зоологии позвоночных и паразитологии : материалы IV Междунар. науч. конф. «Чтения памяти профессора И. И. Барабаш-Никифорова»*. Воронеж, 2012. С. 63–74.
10. Гембицкий А. С. Обитатели гнезд синантропных птиц на территории Белоруссии и их роль в распространении возбудителей заболеваний человека и животных : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 1966. 19 с.
11. Никифоров Л. П. Биоценогические связи птиц в природных очагах арбовирусов // *Трансконтинентальные связи перелетных птиц и их роль в распространении арбовирусов*. Новосибирск, 1972. С. 277–279.
12. Львов Д. К., Ильичев В. Д. Миграции птиц и перенос возбудителей инфекций. М. : Наука, 1979. 270 с.
13. Коренберг Э. И., Горелова Н. Б., Ковалевский Ю. В. Основные черты природной очаговости иксодовых клещевых боррелиозов в России // *Паразитология*. 2002. Т. 36, № 3. С. 177–191.
14. Москвитина Н. С., Романенко В. Н., Терновой В. А. [и др.]. Выявление вируса Западного Нила и его генотипирование в иксодовых клещах (Acari: Ixodidae) в Томске и его пригородах // *Паразитология*. 2008. Т. 42, № 3. С. 210–225.
15. Cohen E. B., Auckland L. D., Marra P. P., Hamer S. A. Avian migrants facilitate invasions of Neotropical ticks and tick-borne pathogens into the United States // *Applied and Environmental Microbiology*. 2015. Vol. 81, № 24. P. 8366–8378.

16. Newman E. A., Eisen L., Eisen R. J. [et al.]. *Borrelia burgdorferi* Sensu Lato Spirochetes in Wild Birds in Northwest California: Associations with Ecological Factors, Bird Behavior and Tick Infestation // PLOS ONE. 2015. № 10. P. e0118146. URL: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118146>
17. Ogden N. H., Barker I. K., Francis C. M., Heagy A., Lindsay L. R., Hobson K. A. How far north are migrant birds transporting the tick *Ixodes scapularis* in Canada? Insights from stable hydrogen isotope analysis of feathers // Ticks and Tick-borne Diseases. 2015. Vol. 6, № 6. P. 715–720.
18. Матюхин А. В. Эктопаразиты и симбиотические микроартроподы птиц в условиях мегаполиса : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 27 с.
19. Гапонов С. П., Солодовникова О. Г., Федорук С. А. Иксодовые клещи (Ixodidae) на урбанизированных территориях Воронежской области в 2003–2009 гг. // Вестник Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского. 2011. № 2-2. С. 45–51.
20. Гапонов С. П., Стекольников А. А. Особенности динамики численности мелких млекопитающих и их эктопаразитов в градиенте урбанизации в Воронежской области // Экология урбанизированных территорий. 2013. № 3. С. 86–92.
21. Гапонов С. П., Стекольников А. А., Простаков Н. И., Федорук С. А. Динамика численности иксодовых и гамазовых клещей в условиях антропопрессии // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Химия. Биология. Фармация. 2013. № 1. С. 92–97.
22. Гапонов С. П. Паразитология. Воронеж : Изд. дом ВГУ, 2011. 711 с.
23. Гапонов С. П., Хицова Л. Н., Солодовникова О. Г. Методы паразитологических исследований. Воронеж : Изд. дом ВГУ, 2009. 180 с.
24. Брегетова Н. Г. Гамазовые клещи (Gamasoidea). – М. ; Л. : Изд-во Академии наук СССР, 1956. 250 с.
25. Белоусова Н. М. Функциональная структура микроценозов гнезд синантропных птиц в условиях Южного Приморья // Научные ведомости. Сер.: Естественные науки. 2011. № 5 (110), вып. 10. С. 48–55.
26. Fend'a P. Mites (Mesostigmata) inhabiting bird nests in Slovakia (Western Carpathians) // Trends in Acarology. 2010. P. 199–205.
27. Ambros M., Krištofik J., Šustek Z. The mites (Acari, Mesostigmata) in the birds' nests in Slovakia // Biologia. 1992. № 47. P. 369–381.
28. Fend'a P., Pinowsky J. The mites (Acarina: Mesostigmata) in the nests of sparrows (*Passer domesticus* and *Passer montanus*) in suburban villages of Warsaw (Poland) // International Studies on sparrows. 1997. P. 37–47.
29. Krumpál M., Cyprich D., Fend'a P., Pinowski J. Invertebrate fauna in nests of the house sparrow *Passer domesticus* and the tree sparrow *Passer montanus* in central Poland. International Studies on sparrows. 2001. № 27–28. P. 35–58.
30. Davidova R. D., Vasilev V. M. Gamasid mites (Acari, Mesostigmata) in the nest of three passerine species from Kamcha Mountain (Northeastern Bulgaria) // Sci. Parasitol. 2011. Vol. 12, № 3. P. 203–209.
31. Смирнова Ю. Г. Фауна и экология паразитических членистоногих у птиц Ивановской области : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Иваново, 2002. 25 с.
32. Малунев С. Н., Егоров С. В. Фауна и биотопическое распределение клещей семейства Ixodidae в агроценозах Восточного Верхневолжья // Российский паразитологический журнал. 2008. № 1. С. 1–4.
33. Денисов А. А. Фауна и биотопическое распределение клещей семейства Ixodidae на территории Нижнего Поволжья // Теория и практика паразитарных болезней. 2009. № 10. С. 154–156.
34. Борисова В. И. Итоги изучения экологии гнездово-норовых паразитов птиц ТАССР // Паразитология. 1972. Т. 6, № 5. С. 457–464.

35. Еропов В. И., Липин С. И., Сонин В. Д. Гамазовые клещи птиц и их гнезд в Предбайкалье // II акарологическое совещание : тезисы докл. Ч. 1. Киев : Наукова думка, 1970. С. 204–206.
36. Гончарова А. А., Буякова Т. Г., Исакова Т. Т., Волкова Г. Н. Биоценотические связи некоторых видов гамазовых клещей из гнезд птиц Забайкалья // Фауна и экология наземных членистоногих Сибири. Иркутск : Изд-во ИГУ, 1981. С. 133, 134.
37. Богданов И. И., Якименко В. В. Клещи (Acari) и блохи (Siphonaptera) гнезд птиц мелких млекопитающих на озерных сплавиных в природных очагах Омской геморрагической лихорадки // Природноочаговые болезни человека. Омск, 1987. С. 103–109.
38. Давыдова М. С., Никольский В. В. Гамазовые клещи Западной Сибири. Новосибирск : Наука, 1986. 123 с.
39. Маршалова Н. А. К фауне гамазовых клещей воробьиных птиц (отр. Passeriformes) в Южной Карелии // Паразитологические исследования в Карельской АССР и Мурманской области. Петрозаводск : Карельское книжное изд-во, 1976. С. 21–26.
40. Никулина Н. А. Эпизоотологическая и эпидемиологическая значимость гамазовых клещей (сем. Haemogamasidae, Oudms., 1926, р. *Haemogamasus* Berl., 1889) мелких млекопитающих на территории Прибайкалья // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. 2006. № 2 (48). С. 111–114.
41. Тагильцев А. А. О значении жизненных схем гамазоидных клещей для оценки участия этих клещей в циркуляции возбудителя лихорадки Ку в природных очагах степного типа // Проблемы медицинской паразитологии и профилактики инфекций. М., 1964. С. 650–662.
42. Тагильцев А. А., Тарасевич Л. Н., Богданов И. И. О возможных путях формирования адаптаций арбовирусов, связанных с птицами в умеренной зоне // Вторая Всесоюзная конференция по миграциям птиц. Ч. 2. Алма-Ата, 1978. С. 278–280.
43. Тарасевич Л. Н., Тагильцев А. А. О связях паразитов птиц с арбовирусами на юге Омской области // Трансконтинентальные связи птиц и их роль в распространении арбовирусов : материалы V симп. по изучению роли перелетных птиц в распространении арбовирусов. Новосибирск, 1972. С. 358–361.
44. Труфанова Е. И., Попова М. С. Паразитические членистоногие в гнездах обыкновенного скворца в Усманском бору // Современные проблемы зоологии и паразитологии : материалы VIII Междунар. науч. конф. «Чтения памяти профессора И. И. Барабаш-Никифорова». Воронеж : Изд. дом ВГУ, 2016. С. 218–225.
45. Теуэльде Р. Т., Гапонов С. П. Паразитические насекомые в гнездах *Passer domesticus* (Linnaeus, 1758) и *P. montanus* (Linnaeus, 1758) (Aves: Passeriformes) в г. Воронеже // Полевой журнал биолога. 2020а. № 2. С. 48–60.
46. Теуэльде Р. Т., Гапонов С. П. Паразитические клещи (Acari: Mesostigmata, Trombidiformes, Acariformes) в гнездах птиц на территории г. Воронежа // Современные проблемы общей и прикладной паразитологии : сб. науч. ст. по материалам XIV науч.-практ. конф. памяти профессора В. А. Ромашова (Воронежский государственный заповедник, 8–9 октября 2020 г.). Воронеж : Воронежский ГАУ, 2020б. С. 48–56.
47. Гапонов С. П., Теуэльде Р. Т. Клещи – паразиты гнезд *Passer domesticus* L. и *Passer montanus* L. (Aves: Passeriformes) в г. Воронеже // Актуальные вопросы экологии и паразитологии : материалы онлайн-конф. с междунар. участием памяти д.б.н., профессора Л. Н. Хицовой. Воронеж, 2020. С. 24–29.
48. Леонович С. А. Поисковое поведение иксодовых клещей (Ixodidae) в онтогенезе // Паразитология. 2015. Т. 49, № 4. С. 273–288.
49. Борисова В. И. Гамазовые клещи в гнездах птиц Волжско-Камского заповедника // Паразитология. 1977. Т. XI, № 2.
50. Земская А. А. О паразитических гамазовых клещах (Gamasoidea) на птицах // Зоологический журнал. 1969. Т. 48, № 4. С. 512–518.

51. Зуевский А. П. К роли гамазовых клещей в эпизоотии туляремии // Паразитология. 1976. Т. 10, № 6. С. 531–535.
52. Cafiero M. A., Camarda A., Galante D. [et al.]. Outbreaks of red mite (*Dermanyssus gallinae*) dermatitis in city-dwellers: an emerging urban epizoonosis // Hypothesis in Clinical Medicine. 2013. P. 413–424.
53. Raele D. A., Galante D., Pugliese N. [et al.]. Mesostigmata, Acari, related to urban outbreaks of dermatitis in Italy // New Microbes and New Infections. 2018. Vol. 23. P. 103–109.
54. Rosen S., Yeruham I., Braverman Y. Dermatitis in humans associated with the mites *Pyemotes tritici*, *Dermanyssus gallinae*, *Ornithonyssus bacoti* and *Androlaelaps casalis* in Israel // Medical and Veterinary Entomology. 2002. Vol. 16, № 4. P. 442–444.
55. Boseret G., Losson B., Mainil J. G. [et al.]. Zoonoses in pet birds: review and perspectives // Vet. Res. 2013. Vol. 20, № 44. P. 36.
56. Valiente Moro C., De Luna C. J., Tod A. [et al.]. The poultry red mite, *Dermanyssus gallinae*: a potential vector of pathogenic agents // Exp. Appl. Acarol. 2009. Vol. 48. P. 93–104.
57. Circella E., Pugliese N., Todisco G. [et al.]. *Chlamydia psittaci* infection in canaries heavily infested by *Dermanyssus gallinae* // Exp. Appl. Acarol. 2011. Vol. 55. P. 329–338.
58. Melter O., Arvand M., Votypka J., Hulinska D. *Bartonella Quintana* transmission from mite to family with high socio-economic status // Emerg. Infect. Dis. 2012. Vol. 18. P. 163–165.

References

1. Sonin M.D., Beer S.A., Roytman V.A. Parasitic systems in conditions of anthropopression (problems of parasitic pollution). *Parazitologiya* = Parasitology. 1997;5:453–457. (In Russ.)
2. Sonin M.D., Beer S.A., Roytman V.A. [et al.]. Regularity of the formation of parasitic pollution of the environment in urbanized ecosystems. *Meditsinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni* = Medical parasitology and parasitic diseases. 2000:7–11. (In Russ.)
3. Krasnoshchekov G.P. Ecological adaptations of parasites. *Materialy IV Vserossiyskoy shkoly po teoreticheskoy i morskoy parazitologii* = Proceedings of the 4th All-Russian school on theoretical and marine parasitology. Kaliningrad: Atlant NIRO, 2007: 118–121. (In Russ.)
4. Andreychev A.V. Rodents and insectivorous mammals of the urbanized territories of Mordovia. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki* = Bulletin of Belgorod State University. Series: Natural sciences. 2015;21(219):71–77. (In Russ.)
5. Rusakov A.V., Starikov V.P. Population of small mammals and typification of undeveloped territories of Kurgan. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* = Proceedings of Samara Scientific Centre of the Russian Academy. 2013;15(3):1142–1145. (In Russ.)
6. Gaponov S.P. Epidemiological survey of mammals and hard ticks in urban and peri-urban areas of Voronezh in 2001–2016. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Khimiya, Biologiya, Farmatsiya* = Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2017;2:48–58.
7. Uspenskiy I.V. Blood-sucking ticks (Acarina: Ixodidoidea) as an essential component of the urban environment. *Zoologicheskij zhurnal* = Zoological journal. 2017;96(8): 871–898. (In Russ.)
8. Petukhov V.A., Starikov V.P., Vershinin E.A. [et al.]. The structure of communities of small mammals and their ectoparasites of Surgut. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* = Ecology of urbanized areas. 2018;3:19–25. (In Russ.)

9. Gaponov S.P. Tick borne zoonotic diseases in urban ecosystems of Voronezh region. *Sovremennye problemy zoologii pozvonochnykh i parazitologii: materialy IV Mezhdunar. nauch. konf. «Cheniya pamyati professora I. I. Barabash-Nikiforova»* = Modern problems of vertebrate zoology and parasitology: proceedings of the 4th International scientific conference “Readings commemorating professor I.I. Barabash-Nikiforov”. Voronezh, 2012:63–74.
10. Gembitskiy A.C. *Obitateli gnezd sinantropnykh ptits na territorii Belorussii i ikh rol' v rasprostraneniі vzbuditeley zabolovaniy cheloveka i zivotnykh: avtoref. dis. kand. biol. nauk* = Inhabitants of nests of synanthropic birds on the territory of Belarus and their role in the spread of causative agents of human and animal diseases: author’s abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences. Minsk, 1966:19.
11. Nikiforov L.P. Biocenotic connections of birds in natural foci of arboviruses. *Transkontinental'nye svyazi pereletnykh ptits i ikh rol' v rasprostraneniі arbovirusov* = Transcontinental connections of migratory birds and their role in the spread of arboviruses. Novosibirsk, 1972:277–279. (In Russ.)
12. L'vov D.K., Il'ichev V.D. *Migratsii ptits i perenos vzbuditeley infektsiy* = Bird migration and transmission of infectious agents. Moscow: Nauka, 1979:270. (In Russ.)
13. Korenberg E.I., Gorelova N.B., Kovalevskiy Yu.V. The main features of the natural focality of ixodic tick-borne borreliosis in Russia. *Parazitologiya* = Parasitology. 2002; 36(3):177–191. (In Russ.)
14. Moskvitina N.S., Romanenko V.N., Ternovoy V.A. [et al.]. Detection of West Nile virus and its genotyping in ixodid ticks (Acari: Ixodidae) in Tomsk and its suburbs. *Parazitologiya* = Parasitology. 2008;42(3):210–225. (In Russ.)
15. Cohen E.B., Aukland L.D., Marra P.P., Hamer S.A. Avian migrants facilitate invasions of Neotropical ticks and tick-borne pathogens into the United States. *Applied and Environmental Microbiology*. 2015;81(24):8366–8378.
16. Newman E.A., Eisen L., Eisen R.J. [et al.]. *Borrelia burgdorferi* Sensu Lato Spirochetes in Wild Birds in Northwest California: Associations with Ecological Factors, Bird Behavior and Tick Infestation. *PLOS ONE*. 2015;10:e0118146. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0118146>
17. Ogden N.H., Barker I.K., Francis C.M., Heagy A., Lindsay L.R., Hobson K.A. How far north are migrant birds transporting the tick *Ixodes scapularis* in Canada? Insights from stable hydrogen isotope analysis of feathers. *Ticks and Tick-borne Diseases*. 2015;6(6): 715–720.
18. Matyukhin A.V. *Ektoparazity i simbioticheskie mikroartropody ptits v usloviyakh megapolisa: avtoref. dis. kand. biol. nauk* = Ectoparasites and symbiotic microarthropodia of birds in a metropolis: author’s abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences. Moscow, 2004:27. (In Russ.)
19. Gaponov S.P., Solodovnikova O.G., Fedoruk S.A. Ixodid ticks (Ixodidae) in the urbanized territories of the Voronezh region in 2003–2009. *Vestnik Nizhegorodskogo gosudarstvennogo universiteta imeni N. I. Lobachevskogo* = Bulletin of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod. 2011;2-2:45–51. (In Russ.)
20. Gaponov S.P., Stekol'nikov A.A. Features of the dynamics of the small mammals’ number and their ectoparasites in the urbanization gradient in the Voronezh region. *Ekologiya urbanizirovannykh territoriy* = Ecology of urbanized areas. 2013;3:86–92. (In Russ.)
21. Gaponov S.P., Stekol'nikov A.A., Prostakov N.I., Fedoruk S.A. Dynamics of the number of ixodid and gamasid ticks under anthropopressive conditions. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* = Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy 2013;1: 92–97. (In Russ.)

22. Gaponov S.P. *Parazitologiya* = Parasitology. Voronezh: Izd. dom VGU, 2011:711. (In Russ.)
23. Gaponov S.P., Khitsova L.N., Solodovnikova O.G. *Metody parazitologicheskikh issledovaniy* = Parasitological research methods. Voronezh: Izd. dom VGU, 2009:180. (In Russ.)
24. Bregetova N.G. *Gamazovye kleshchi (Gamasoidea)* = Gamasid mites (*Gamasoidea*). Moscow; Leningrad: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1956:250. (In Russ.)
25. Belousova N.M. Functional structure of microcenoses of nests of synanthropic birds in the conditions of South Primorye. *Nauchnye vedomosti. Ser.: Estestvennye nauki* = Scientific bulletin. Series: Natural sciences. 2011;5(110):48–55. (In Russ.)
26. Fend'a P. Mites (Mesostigmata) inhabiting bird nests in Slovakia (Western Carpathians). *Trends in Acarology*. 2010:199–205.
27. Ambros M., Krištofik J., Šustek Z. The mites (Acari, Mesostigmata) in the birds' nests in Slovakia. *Biologia*. 1992;47:369–381.
28. Fend'a P., Pinowsky J. The mites (Acarina: Mesostigmata) in the nests of sparrows (*Passer domesticus* and *Passer montanus*) in suburban villages of Warsaw (Poland). *International Studies on sparrows*. 1997:37–47.
29. Krumpál M., Cyprich D., Fend'a P., Pinowski J. Invertebrate fauna in nests of the house sparrow *Passer domesticus* and the tree sparrow *Passer montanus* in central Poland. *International Studies on sparrows*. 2001;27–28:35–58.
30. Davidova R.D., Vasilev V.M. Gamasid mites (Acari, Mesostigmata) in the nest of three passerine species from Kamcha Mountain (Northeastern Bulgaria). *Sci. Parasitol*. 2011;12(3):203–209.
31. Smirnova Yu.G. *Fauna i ekologiya paraziticheskikh chlenistonogikh u ptits Ivanovskoy oblasti: avtoref. dis. kand. biol. nauk* = Fauna and ecology of parasitic arthropods in birds of the Ivanovo region: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the candidate of biological sciences. Ivanovo, 2002:25. (In Russ.)
32. Malunov S.N., Egorov S.V. Fauna and biotopic distribution of ticks of the Ixodidae family in agrocenoses of the Eastern Upper Volga region. *Rossiyskiy parazitologicheskii zhurnal* = Russian parasitologic journal. 2008;1:1–4. (In Russ.)
33. Denisov A.A. Fauna and biotopic distribution of ticks of the Ixodidae family on the territory of the Lower Volga region. *Teoriya i praktika parazitarnykh bolezney* = Theory and practice of parasitic diseases. 2009;10:154–156. (In Russ.)
34. Borisova V.I. Results of the study of the ecology of nest-burrowing parasites of birds of the TASSR. *Parazitologiya* = Parasitology. 1972;6(5):457–464. (In Russ.)
35. Eropov V.I., Lipin S.I., Sonin V.D. Gamasid mites of birds and their nests in Baical region. *II akarologicheskoe soveshchanie: tezis dokl. Ch. 1* = The 2nd acarological meeting: abstracts. Part 1. Kiev: Naukova dumka, 1970:204–206. (In Russ.)
36. Goncharova A.A., Buyakova T.G., Isakova T.T., Volkova G.N. Biocenotic relationships of some species of gamasid mites from bird nests of Transbaikalia. *Fauna i ekologiya nazemnykh chlenistonogikh Sibiri* = Fauna and ecology of terrestrial arthropods of Siberia. Irkutsk: Izd-vo IGU, 1981:133,134. (In Russ.)
37. Bogdanov I.I., Yakimenko V.V. Mites (Acari) and fleas (Siphonapter) nests of birds of small mammals on lake floats in natural foci of Omsk hemorrhagic fever. *Prirodno-ochagovye bolezni cheloveka* = Natural focal human diseases. Omsk, 1987:103–109. (In Russ.)
38. Davydova M.S., Nikol'skiy V.V. *Gamazovye kleshchi Zapadnoy Sibiri* = Gamasid mites of Western Siberia. Novosibirsk: Nauka, 1986:123. (In Russ.)
39. Marshalova N.A. To the fauna of gamasid ticks of passerine birds (otr. Passeriformes) in South Karelia. *Parazitologicheskie issledovaniya v Karel'skoy ASSR i Murmanskoy oblasti* = Parasitological research in the Karelian ASSR and the Murmansk region. Petrozavodsk: Karel'skoe knizhnoe izd-vo, 1976:21–26. (In Russ.)

40. Nikulina N.A. Epizootological and epidemiological significance of gamasid mites (sem. Haemogamasidae, Oudms., 1926, r. Haemogamasus Berl., 1889) of small mammals on the territory of the Baikal region. *Byulleten' VSNTs SO RAMN* = Bulletin of the Eastern Siberian Scientific Center of the Siberian Department of the Russian Academy of Medical Sciences. 2006;2(48):111–114. (In Russ.)
41. Tagil'tsev A.A. On the significance of the life patterns of gamazoid mites for assessing the participation of these mites in the circulation of the causative agent of Q fever in natural foci of the steppe type. *Problemy meditsinskoy parazitologii i profilaktiki infektsiy* = Problems of medical parasitology and infection prevention. Moscow, 1964: 650–662. (In Russ.)
42. Tagil'tsev A.A., Tarasevich L.N., Bogdanov I.I. Possible formation ways of arboviruses' adaptation associated with ptitis in the temperate zone. *Vtoraya Vsesoyuznaya konferentsiya po migratsiyam ptits. Ch. 2* = The Second All-Union Conference on Bird Migration. Part 2. Alma-Ata, 1978:278–280. (In Russ.)
43. Tarasevich L.N., Tagil'tsev A.A. On the relationship of bird parasites with arboviruses in the south of the Omsk region. *Transkontinental'nye svyazi ptits i ikh rol' v rasprostraneni arbovirusov: materialy V simp. po izucheniyu roli pereletnykh ptits v rasprostraneni arbovirusov* = Transcontinental communications of birds and their role in the spread of arboviruses: proceedings of the 5th symposium on the study of the role of migratory birds in the spread of arboviruses. Novosibirsk, 1972:358–361. (In Russ.)
44. Trufanova E.I., Popova M.S. Parasitic arthropods in the nests of the common starling in the Usmansky pine forest. *Sovremennye problemy zoologii i parazitologii: materialy VIII Mezhdunar. nauch. konf. «Chteniya pamyati professora I. I. Barabash-Nikiforova»* = Modern problems of zoology and parasitology: proceedings of the 8th International scientific conference “Readings commemorating professor I.I. Barabash-Nikiforov”. Voronezh: Izd. dom VGU, 2016:218–225. (In Russ.)
45. Teuel'de R.T., Gaponov S.P. Parasitic insects in nests *Passer domesticus* (Linnaeus, 1758) and *P. montanus* (Linnaeus, 1758) (Aves: Passeriformes) in Voronezh. *Polevoy zhurnal biologa* = Biologist field journal. 2020a;2:48–60. (In Russ.)
46. Teuel'de R.T., Gaponov S.P. Parasitic mites (Acari: Mesostigmata, Trombi-diformes, Acariformes) in birds' nests in Voronezh. *Sovremennye problemy obshchey i prikladnoy parazitologii: sb. nauch. st. po materialam XIV nauch.-prakt. konf. pamyati professora V. A. Romashova (Voronezhskiy gosudarstvennyy zapovednik, 8–9 oktyabrya 2020 g.)* = Modern problems of general and applied parasitology: proceedings of the 14th scientific and practical conference commemorating professor V.A. Romashov (Voronezh State Preserve, October 8–9, 2020). Voronezh: Voronezhskiy GAU, 2020b:48–56. (In Russ.)
47. Gaponov S.P., Teuel'de R.T. Mites are nests' parasites *Passer domesticus* L. i *Passer montanus* L. (Aves: Passeriformes) in Voronezh. *Aktual'nye voprosy ekologii i parazitologii: materialy onlayn-konf. s mezhdunar. uchastiem pamyati d.b.n., professora L. N. Khitsovoy* = Topical issues of ecology and parasitology: proceedings of online-conference with international participation commemorating doctor of biological sciences, professor L.N. Khitsovoy. Voronezh, 2020:24–29. (In Russ.)
48. Leonovich S.A. Searching behavior of ixodid ticks (Ixodidae) in ontogenesis. *Parazitologiya* = Parasitology. 2015;49(4):273–288. (In Russ.)
49. Borisova V.I. Gamasid mites in the nests of birds of the Volzhsko-Kama nature reserve. *Parazitologiya* = Parasitology. 1977;XI(2). (In Russ.)
50. Zemskaya A.A. On parasitic gamasid mites (Gamasoid) on birds. *Zoologicheskij zhurnal* = Zoological journal. 1969;48(4):512–518. (In Russ.)
51. Zuevskiy A.P. To the role of gamasid mites in the epizootic of tularemia. *Parazitologiya* = Parasitology. 1976;10(6):531–535. (In Russ.)
52. Cafiero M.A., Camarda A., Galante D. [et al.]. Outbreaks of red mite (*Dermanyssus gallinae*) dermatitis in city-dwellers: an emerging urban epizoonosis. *Hypothesis in Clinical Medicine*. 2013:413–424.

53. Raelle D.A., Galante D., Pugliese N. [et al.]. Mesostigmata, Acari, related to urban outbreaks of dermatitis in Italy. *New Microbes and New Infections*. 2018;23:103–109.
54. Rosen S., Yeruham I., Braverman Y. Dermatitis in humans associated with the mites *Pyemotes tritici*, *Dermanyssus gallinae*, *Ornithonyssus bacoti* and *Androlaelaps casalis* in Israel. *Medical and Veterinary Entomology*. 2002;16(4):442–444.
55. Boseret G., Losson B., Mainil J.G. [et al.]. Zoonoses in pet birds: review and perspectives. *Vet. Res.* 2013;20(44):36.
56. Valiente Moro C., De Luna C.J., Tod A. [et al.]. The poultry red mite, *Dermanyssus gallinae*: a potential vector of pathogenic agents. *Exp. Appl. Acarol.* 2009;48:93–104.
57. Circella E., Pugliese N., Todisco G. [et al.]. *Chlamydia psittaci* infection in canaries heavily infested by *Dermanyssus gallinae*. *Exp. Appl. Acarol.* 2011;55:329–338.
58. Melter O., Arvand M., Votypka J., Hulinska D. *Bartonella Quintana* transmission from mite to family with high socio-economic status. *Emerg. Infect. Dis.* 2012;18:163–165.

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Петрович Гапонов

доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры зоологии
и паразитологии, Воронежский
государственный университет (Россия,
г. Воронеж, Университетская площадь, 1)

E-mail: gaponov2003@mail.ru

Sergey P. Gaponov

Doctor of biological sciences, professor,
professor of the sub-department of zoology
and parasitology, Voronezh State University
(1 Universitetskaya square, Voronezh,
Russia)

Руссом Теклай Теуэльде

аспирант, Воронежский государственный
университет (Россия, г. Воронеж,
Университетская площадь, 1)

E-mail: teweldert@gmail.com

Russom Teklay Tewelde

Postgraduate student, Voronezh State
University (1 Universitetskaya square,
Voronezh, Russia)

Поступила в редакцию / Received 16.10.2020

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 02.12.2020

Принята к публикации / Accepted 08.12.2020

Зоопланктонные сообщества в новом и старом руслах р. Суры на территории г. Пензы

Ю. А. Пастухова¹, Т. Г. Стойко², Д. Г. Смирнов³,
А. А. Флягин⁴, Е. А. Ембулаева⁵

^{1,2,3}Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

^{4,5}ООО «Горводоканал», Пенза, Россия

¹yuliya.pastukhova.98@mail.ru, ²tgstojko@mail.ru, ³eptesicus@mail.ru,

⁴flyagman@yandex.ru, ⁵ltkosk@bk.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Река Сура в г. Пензе и ее окрестностях с 1942–1943 гг. испытала значительное естественное и антропогенное (строительство плотин) воздействие, что вызвало изменение ее русла. В ходе естественного меандрирования образовалась протока, которая после прорыва в 1945 г. плотины стала основным руслом, а старая Сура превратилась в старицу. В 1970 г. после создания выше города Пензенского водохранилища состояние водотока и прилежащих к нему водоемов еще больше изменилось, равно как и состав населяющих их гидробионтов. На гидрологический режим Суры определенное влияние оказывает и созданное в 1959 г. водохранилище у ТЭЦ-1. Таким образом, за прошедшие 75 лет сформировались отдельные водные экосистемы двух русловых водотоков Суры, сходство и различие которых можно оценить по особенностям присутствующих в них зоопланктонных сообществ. Цель работы – изучить зоопланктонные сообщества в новом и старом руслах реки Суры, выявить ключевые факторы и их влияние на формирование структуры этих сообществ. *Материалы и методы.* Материалом для исследования послужили пробы зоопланктона, взятые в современном русле р. Суры на семи станциях: в районе с. Засечное (I), до впадения (IIa) и после впадения (IIб) р. Мойки, до впадения (IIIa) и после впадения (IIIб) р. Кашаевки, за плотиной ТЭЦ-1 (IV), после очистных сооружений (V), а также в старом русле на восьми станциях: в протоке Барковки (ПБ1 и ПБ2), отстойнике (O), старичном озере Алтарка (A1, A2), в микрорайоне Ахуны в р. Старая Сура (CC) и в двух старичных озерах: Калашный Затон (K3) и Старица Подковка (CCП). Всего обработано по общепринятым методикам 55 проб, которые отбирали ежемесячно в весенне-летний период 2020 г. Физико-химические параметры среды анализировали по пробам воды, отобранным в августе 2020 г. *Результаты.* Всего в сообществах зоопланктона обнаружено 82 вида. Самое высокое число видов отмечено на одной из станций современного русла р. Суры, а самое низкое – в водотоках стариц. По структурным параметрам (численность, число видов, их встречаемость, доля доминантных видов) сообщества зоопланктона р. Суры на станциях вблизи плотины ТЭЦ-1 значительно отличаются по сравнению с другими пунктами отбора проб на реке. Причина связана с превращением водотока на этом участке в водохранилище, т.е. со значительным снижением проточности реки. В августе на станциях разнотипных водных объектов в старом русле р. Суры pH воды и содержание таких компонентов, как NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , БПК₅, взвешенные вещества и жесткость воды – ниже, чем в новом русле. Самые высокие значения этих параметров в р. Суре на станциях IV, V обусловлены аккумуляцией загрязняющих веществ, поступающих в водоток в черте города и непосредственно в местах их расположения. Статистически значимыми оказались зависимости обилия 11 из 18 видов доминантов

от 19 параметров среды. Показатели численности индикаторных видов и структурных параметров сообществ зоопланктона свидетельствуют о загрязненности исследуемых водных объектов и характеризуют их как мезотрофные и эвтрофные. *Выводы.* Отличия зоопланктонных сообществ нового и старого русел р. Суры обусловлены разным гидрологическим режимом (скорость течения, зарастаемость и пр.) и антропогенным воздействием. В старом русле, а также на последней станции р. Суры в связи с замедленным течением и накоплением органических веществ в результате отмирания высшей водной растительности, многочисленных водорослей, а также поступления органики особенности зоопланктонных сообществ указывают на переход водных объектов от мезотрофного к эвтрофному типу.

Ключевые слова: водные объекты, зоопланктонные сообщества, коловратки, ветвистоусые и веслоногие ракообразные, доминанты, мезотрофный, эвтрофный

Для цитирования: Пастухова Ю. А., Стойко Т. Г., Смирнов Д. Г., Флягин А. А., Ембулаева Е. А. Зоопланктонные сообщества в новом и старом руслах р. Суры на территории г. Пензы // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 1. С. 57–73. doi:10.21685/2307-9150-2021-1-6

Zooplankton communities in the new and old Sura riverbeds in Penza

Yu.A. Pastukhova¹, T.G. Stojko², D.G. Smirnov³,
A.A. Flyagin⁴, E.A. Embulaeva⁵

^{1,2,3}Penza State University, Penza, Russia

^{4,5}“Gorvodokanal” LLC, Penza, Russia

¹yuliya.pastukhova.98@mail.ru, ²tgstojko@mail.ru, ³eptesicus@mail.ru,

⁴flyagman@yandex.ru, ⁵itkosk@bk.ru

Abstract. Background. The Sura River in Penza and its vicinity undergo significant natural and anthropogenic (dam construction) impacts in 1942–1943, which caused a change in the riverbed. In the course of its natural meandering a channel was formed, which has become the main in 1945 after the breakthrough of water through the hydroconstruction, and the old Sura turned into the former riverbed. In 1970, after the creation of the Penza reservoir above the city, the state of the watercourse and adjacent reservoirs, as well as the hydrobionts inhabiting them, changed even more. The river regime is also affected by the reservoir created in 1959 at Heat Electropower Station-1. Over the past 75 years, aquatic ecosystems have been formed, the similarities and differences of which can be studied on the example of zooplankton communities that respond quickly to changes in the environment. The aim of the work is to study zooplankton communities in the new and old riverbeds of the Sura River, as well as to identify key factors and their possible influence on the formation of the structure of these communities. *Materials and methods.* Material for the study consists of zooplankton samples taken in the modern channel of the Sura river 7 stations: in village Zasechnoe of (I) to the confluence (IIa) and after the confluence (IIb) of the Moyka river, to the confluence (IIIa) and after the confluence (IIIb), Kashaevka river, behind the dam of Heat Electropower Station-1 (IV), after sewage treatment plant (V), and in the old riverbed at 8 stations: flow Barkovki (PB1 and PB2), sedimentation tank (O), oxbow lake Altarca (A1, A2), in the Akhuny microdistrict in the Staraya Sura river (SS) and two oxbow lakes: Kalashny Zaton (KZ) and the Podkovka oxbow (SSP). In total, 55 samples were processed according to generally accepted methods, which were taken monthly in the spring-summer period of 2020. The physicochemical parameters of the environment were analyzed in August. *Results.* Totally 82 species have been found in zooplankton communities. The highest number of species was recorded at one of the stations of the modern Sura

riverbed Sura, and the lowest – in the Staritsa watercourses. According to structural parameters (population, number of species, their occurrence, proportion of dominant species), the zooplankton communities of the Sura River at stations near the Heat Electropower Station-1 dam are significantly different compared to other sampling points on the river. The reason is due to the transformation of the watercourse in this area into a reservoir, i.e. with a significant decrease in the flow of the river due to the construction of the dam. The pH of water and the content of such components as NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , BOC_5 , suspended substances and water hardness are lower than in the new riverbed in August at stations of different types of water bodies in the old riverbed of the Sura River. The highest values of these parameters in the Sura River at stations IV, V are due to the accumulation of pollutants entering the watercourse within the city and directly at their locations. The dependences of the abundance of 11 of the 18 dominant species on 19 environmental parameters were statistically significant. Parameters of the indicator species number and structural parameters of zooplankton communities indicate the contamination of the studied water bodies and characterize them as mesotrophic and eutrophic. *Conclusions.* Differences in zooplankton communities of the new and old Sura River beds are due to different regimes (flow rate, overgrowth, etc.) and anthropogenic impact. In the old riverbed, as well as at the last station of the Sura River, due to the slow flow and accumulation of organic substances as a result of the death of vascular vegetation, numerous algae, as well as the arrival of organic matter, zooplankton communities indicate the transition of water bodies from mesotrophic to eutrophic type.

Keywords: water bodies, zooplankton communities, Rotifera, Cladocera and Copepoda, dominants, mesotrophic, eutrophic

For citation: Pastukhova Yu.A., Stojko T.G., Smirnov D.G., Flyagin A.A., Embulaeva E.A. Zooplankton communities in the new and old Sura riverbeds in Penza. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2021;1:57–73. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-1-6

В настоящее время трудно найти водные объекты, которые в той или иной степени не испытывали бы различного рода воздействия (естественные, антропогенные) и не подвергались структурным изменениям ее компонентов. Для речных систем такие преобразования связаны с деформацией, или смещением русловой части, что приводит к обязательным перестройкам гидрологического режима и общего состояния гидробиоты. На территории Пензенской области с 1942 г. в результате строительства плотин таким воздействием была подвержена р. Сура в окрестностях г. Пензы. При развитии процесса меандрирования образовалась протока, которая после прорыва плотины в 1945 г. стала основным руслом, а старая Сура превратилось в старицу. В 1970 г. выше города было создано Пензенское водохранилище. Его строительство еще более повлияло на состояние как основного водотока, так и прилежащих к нему водоемов, а также гидробионтов их населяющих. На гидрологический режим Суры определенное влияние оказывает и созданное в 1959 г. водохранилище у ТЭЦ-1.

Зоопланктонные сообщества являются одними из важнейших компонентов экосистем водоемов и водотоков. Они играют большую роль в процессах биологического самоочищения и круговорота веществ и являются одними из индикаторов состояния среды. Общеизвестно, что сообщества зоопланктона являются динамичными системами, которые быстро реагируют на происходящие изменения среды. Используя информацию о времени масштабных изменений и перестройки реки, имеется уникальная возможность

изучить результат 75-летнего развития сообществ зоопланктона в близко расположенных, но разных водотоках р. Суры.

Цель работы – изучить зоопланктонные сообщества в новом и старом руслах р. Суры, выявить ключевые факторы и их влияние на формирование структуры этих сообществ.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили пробы зоопланктона, взятые в современном и старом руслах р. Суры (рис. 1). В р. Суре зоопланктон взят на семи станциях (с юга на север): в районе с. Засечное (I), до впадения (IIa) и после впадения (IIб) в нее р. Мойки, до впадения (IIIa) и после впадения (IIIб) р. Кашаевки, за плотиной ТЭЦ-1 (IV), после очистных сооружений (V). Река Мойка в низовьях заключена в прямоугольный коллектор, диаметром около 1,8 м. Русло реки очень сильно заилено и в него сбрасывают сточные воды. Река Кашаевка в черте г. Пензы заключена в коллектор длиной 3,7 км, (высотой 2,5 м и шириной 3–4 м). Из этой реки в р. Суру попадают все виды сточных вод. На участке р. Суры вблизи плотины ТЭЦ-1 гидрологический режим изменен. По мнению некоторых исследователей, строительство этой плотины привело к образованию вверх по течению так называемого «городского водохранилища» длиной 13 км [1, 2].

В старом русле пробы ($n = 8$) отбирали в небольших водотоках и старичных водоемах. Исследовали две протоки (ПБ1 и ПБ2) в микрорайоне Барковка: отстойник (О) и старичное озеро Алтарка (А1, А2). Ниже по течению на расстоянии 2,5 км в микрорайоне Ахуны пробы отбирали в р. Старая Сура (СС) и в двух старичных озерах: Калашный Затон (КЗ) и Старица Подковка (ССП). Последнее до 90-х годов прошлого века использовалось для сброса сточных (канализационных) вод микрорайона Ахуны.

Поверхностную воду объемом 100 л (на р. Суре) и 30 л (на старичных водных объектах) процеживали через сеть Апштейна (размер ячеек 67 мкм). Пробы фиксировали 4 %-м формалином. Зоопланктон подсчитывали в камере Богорова обычным счетным методом [3]. Организмы идентифицировали с использованием книги «Определитель зоопланктона.., 2010» [4]. Всего обработано по общепринятым в гидробиологии методам 55 проб, которые отбирали в весенне-летний период 2020 г. На каждой станции измеряли температуру воды, а также визуально учитывали особенности прибрежной и водной растительности, скорость течения.

Для характеристики зоопланктонных сообществ использовали такие показатели, как численность (тыс. экз./м³), число видов, их встречаемость (отношение числа проб, где вид был обнаружен, к общему числу проб), трофические и топические характеристики [5]. Доминантными считали виды, доля которых от общей численности организмов в пробе превышала уровень 10 % [6]. Для выявления сходства сообществ зоопланктона по видовому составу и структуре использован кластерный анализ (метод среднего присоединения) на основе матрицы индекса сходства Раупа – Крика. На основе анализа таксономической структуры зоопланктона дана характеристика трофического статуса водных объектов с использованием показателя коэффициента трофии [7].

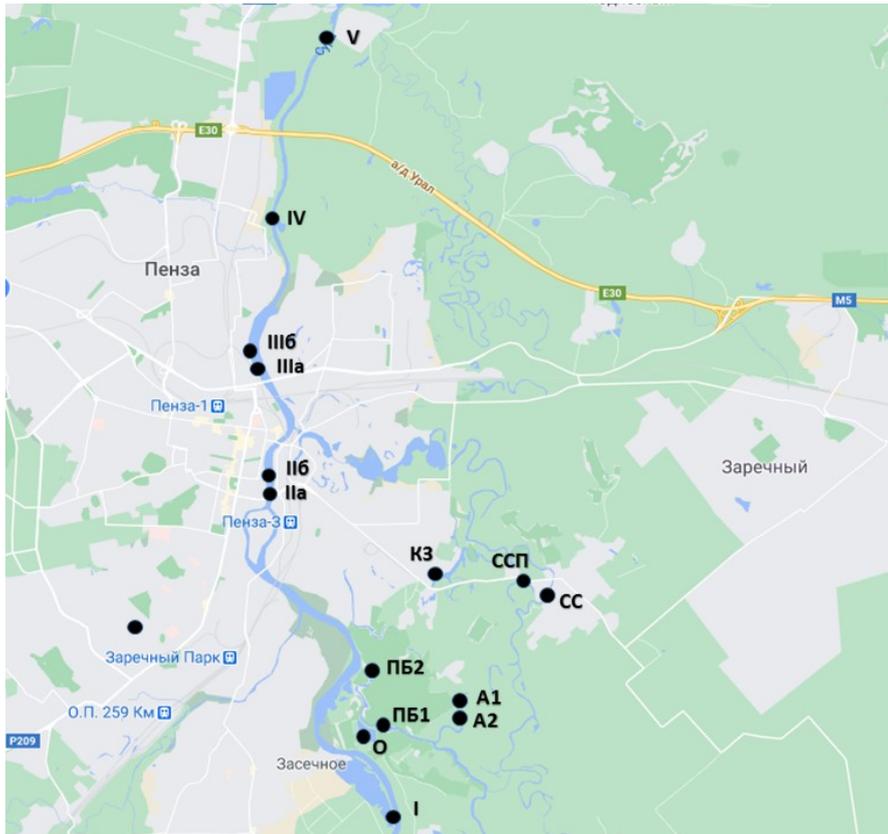


Рис. 1. Станции взятия проб. Новое русло р. Суры: в районе с. Засечное (I), до впадения (IIa) и после впадения (IIб) в нее р. Мойки, до впадения (IIIa) и после впадения (IIIб) в нее р. Кашаевки, за плотиной ТЭЦ-1 (IV), после очистных сооружений (V). Старое русло: протоки Барковки (ПБ1 и ПБ2), отстойник (О), старичное озеро Алтарка (А1, А2), р. Старая Сура (СС) и два старичных озера: Калашный Затон (КЗ) и Старица Подковка (ССП)

В августе одновременно со всех станций были взяты пробы воды на гидрохимический анализ, который проводили согласно общепринятым руководствам [8, 9]. Определение общей щелочности (ммоль/дм^3), общей жесткости ($^{\circ}\text{Ж}$), а также содержания хлоридов (Cl^-) (мг/дм^3), сульфатов (SO_4^{2-}) (мг/дм^3), алюминия (мг/дм^3), кальция (Ca^{2+}) (мг/дм^3) и БПК₅ (мг/дм^3) проводили с помощью титриметрических методов. Потенциометрический метод использовали для измерения водородного показателя (ед. рН) и содержания фторидов (F^-) (мг/дм^3). Содержание ионов аммония (NH_4^+) (мг/дм^3), общего железа (мг/дм^3), нитратов (NO_3^-) (мг/дм^3), нитритов (NO_2^-) (мг/дм^3), марганца (мг/дм^3) проводили фотометрическим методом. Гравиметрический метод применяли для измерения содержания взвешенных веществ (взвеш.) (мг/дм^3).

С целью установления сходства объектов исследования по физико-химическим свойствам применяли иерархический кластерный анализ с использованием алгоритма невзвешенного парного сравнения на основе арифметического среднего (UPGMA) и дистанции Эвклида. Для классификации водных объектов по отношению к физическим и химическим показателям среды и численности видов проводили статистическую ординацию их

показателей методом главных компонент. Критерием для правильности определения объема факторного пространства служили собственные значения факторов. Вклады показателей оценивали по величине факторных нагрузок, которые были коэффициентами чувствительности переменной к координате.

Структуру распределения видов по отношению к водным объектам изучали с помощью анализа соответствия. В качестве критерия проверки значимости связи переменными «вид» и «станция» использовали непараметрический критерий Пирсона (χ^2). По значениям критерия χ^2 и количества наблюдений определяли инерцию, которую использовали при описании видовых предпочтений.

Зависимость между изменениями численности видов и основными физико-химическими параметрами среды устанавливали по коэффициенту ранговой корреляции Спирмена (R_s).

Данные обрабатывали с помощью программ MS Excel 2010 и Past 2.15 [10].

Результаты и обсуждение

В ходе исследования обнаружено 82 вида зоопланктонных организмов: Rotifera – 42, Cladocera – 28 и Copepoda – 12. Почти на всех станциях (73 %) отмечены ветвистоусые ракообразные *Scapholeberis mucronata*, *Chydorus sphaericus* и коловратки *Lecane bulla*, *Euchlanis dilatata*, последняя отсутствует на станциях КЗ, ССП, СС, ПБ1, а также *Synchaeta tremula*, предпочитающая в основном проточные водные объекты (все станции р. Сура, р. Старая Сура и проток на Барковке). Повсеместная встречаемость отмечена у *Rotaria* sp., копеподных личинок и науплиев веслоногих ракообразных. 18 видов зоопланктов обнаружено только в р. Сура и 22 – только в старом русле. Их относительное обилие не превышало 20 %.

Наибольшее число видов зоопланктов отмечено на станции, расположенной ниже впадения загрязненной р. Кашаевки (Шб), а самое низкое – на водотоках в Барковке (ПБ1 и ПБ2) (рис. 2,а). Почти на всех станциях водотоков зоопланктонные сообщества характеризуются низкой численностью (13–54 тыс. экз./м³) (рис. 2,б). В то же время в старичных озерах (КЗ и ССП) она была значительно выше (164–417 тыс. экз./м³).

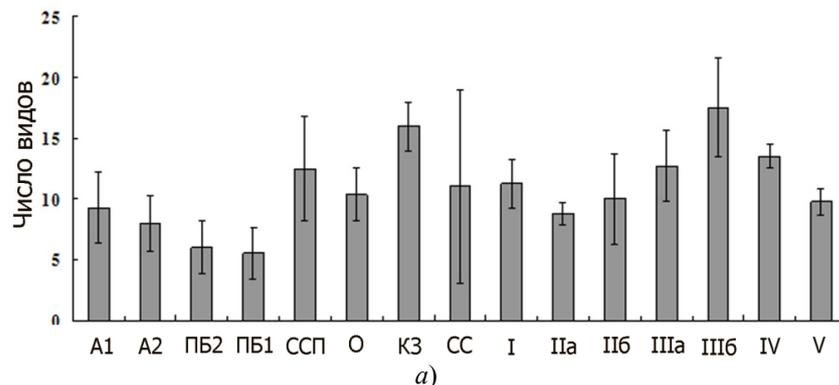


Рис. 2. Среднее число видов (а) и численность зоопланктонных организмов, тыс. экз./м³ (б) в сообществах исследуемых водотоков (I, IIa, IIб, IIIa, IIIб, IV, V) и старичных озерах (A1, A2, ПБ1, ПБ2, ССП, О, КЗ, СС). Обозначения станций такие же, как и на рис. 1 (начало)

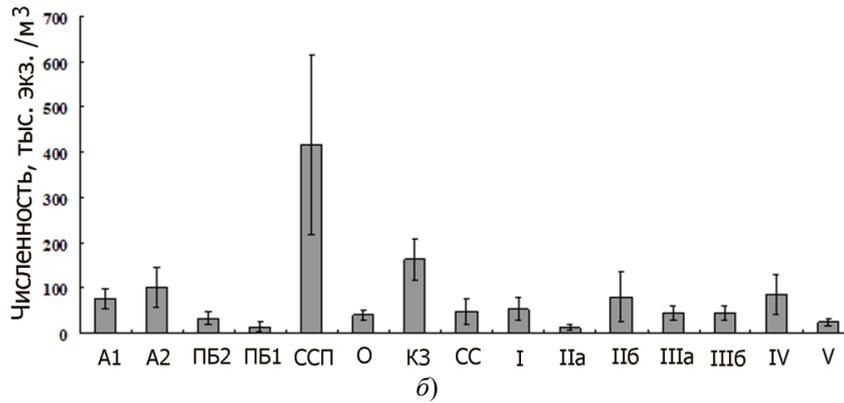


Рис. 2. Среднее число видов (а) и численность зоопланктонных организмов, тыс. экз./м³ (б) в сообществах исследуемых водотоков (I, IIa, IIб, IIIa, IIIб, IV, V) и старичных озера (A1, A2, ПБ1, ПБ2, ССП, О, КЗ, СС).
Обозначения станций такие же, как и на рис. 1 (окончание)

Анализ видовой структуры показал, что по индексу разнообразия Раупа – Крика сообщества разделились на две группы, отличающиеся между собой более чем на 55 % (рис. 3). В первую группу включены все речные сообщества нового русла р. Суры, а также отличающееся на 36 % сообщество из старого русла (озеро ССП).

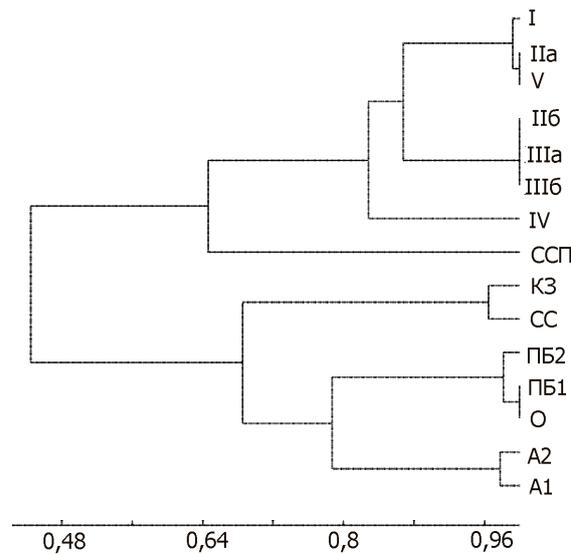


Рис. 3. Сходство видового состава зоопланктонных сообществ водных объектов (индекс Раупа – Крика) экосистемы р. Суры.
Обозначения станций такие же, как на рис. 1.

Вторая группа объединяет сообщества зоопланктона из станций, находящихся в микрорайонах Барковка и Ахуны. При этом ахунские и барковские сообщества разделились на две подгруппы. В каждой из них отмечено структурное сходство кластеров по распределению проточных и стоячих водоемов,

несмотря на различия их гидрофизических свойств. Возможно, это связано с территориальной близостью этих объектов и возможным обменом гидробионтами на близко расположенных участках.

Оценка качества воды

В связи с тем, что зоопланктеры чувствительны к состоянию среды, была проведена оценка трофического статуса и уровня загрязнения этих водных объектов. В списке выявленных зоопланктеров отмечено 54 вида-индикатора.

Согласно коэффициенту трофии (табл. 1) водоемы, на которых расположены станции ПБ1, ПБ2, ССП, О и V, соответствуют эвтрофному типу, а воду в них можно определить как «грязная». На высокое содержание органических веществ в этих водоемах указывает обильное развитие водной, околоводной растительности и накопление их остатков на дне. На станции ССП такая повышенная аккумуляция органики связана также с использованием водоема для сброса сточных (канализационных) вод из микрорайона Ахуны. Вблизи станций ПБ1 и ПБ2 расположены участки частного сектора, с которых органика с дождевыми стоками поступает в водоток. На V станции в р. Суру поступает вода из города после очистных сооружений, которая также содержит большое количество органических веществ. Остальные водные объекты по коэффициенту трофии соответствуют мезотрофному типу, а вода в них характеризуется как «умеренно чистая».

Таблица 1

Коэффициенты трофии (E) водных объектов экосистемы р. Суры, полученные по результатам исследований зоопланктонных сообществ

A1	A2	ПБ2	ПБ1	ССП	О	КЗ	СС	I	IIa	IIб	IIIa	IIIб	IV	V
0,48	0,40	1,77	1,80	1,08	1,08	0,46	0,26	0,38	0,48	0,36	0,65	0,60	0,89	1,25

Примечание. Обозначения станций такие же, как и на рис. 1. Жирным шрифтом выделены эвтрофные значения.

В начале августа, когда сообщества зоопланктона достаточно развиты, были проведены исследования зависимости их структурных показателей с физико-химическими параметрами среды обитания.

По отношению к химическим и физическим факторам среды все станции, на которых отбирали пробы, на 15 %-м уровне различий эвклидовых дистанций разделены на три кластера (рис. 4,а). Первый объединяет станции р. Суры – I, IIa, IIб, IIIa и IIIб. Второй кластер включает станции старого русла реки – ПБ2, A2, СС, ПБ1, КЗ и О. С этим же кластером объединяется территориально близко расположенная станция A1. Однако она имеет с кластерной группой различия, превышающие 15 %-й уровень, поэтому должна рассматриваться отдельно. Третий включает станции р. Суры, расположенные ниже по течению – IV и V. Наконец, максимальную дистанцию (>90 %) от всех имеет станция ССП, которая характеризуется крайне высоким содержанием в воде ионов хлора.

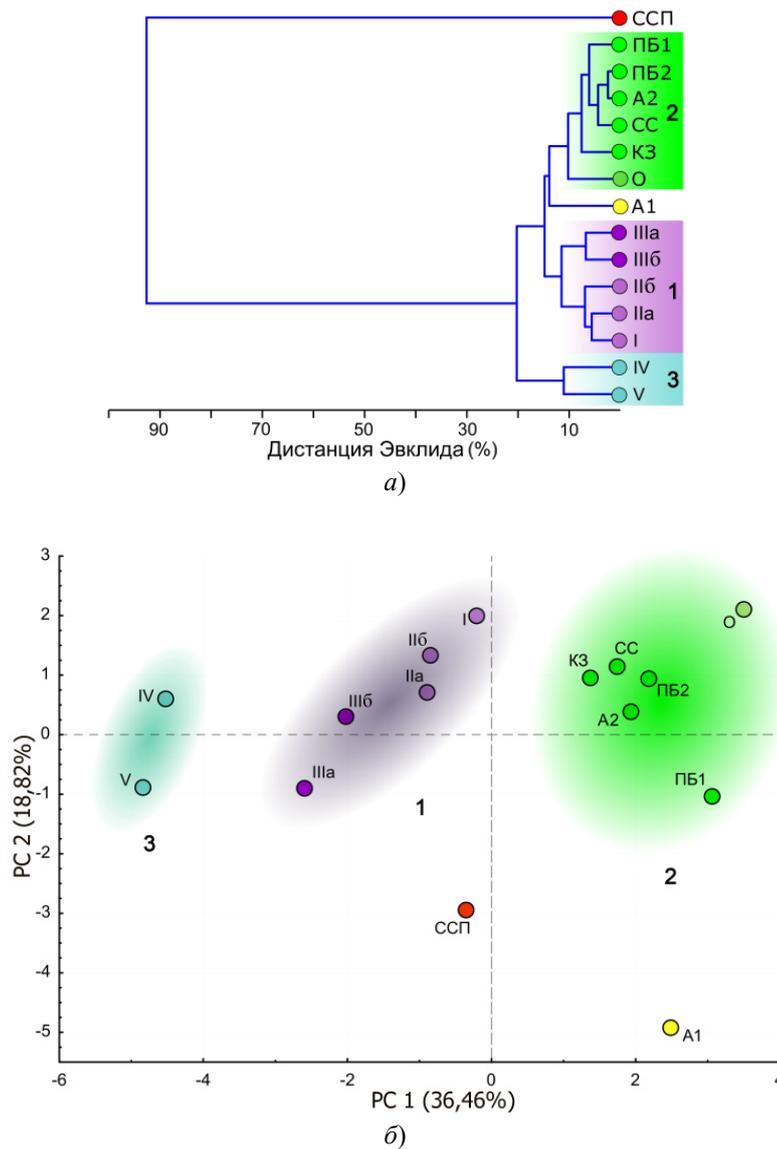


Рис. 4. Результаты классификации станций по физическим и химическим показателям среды, полученные при одновременном взятии проб в августе 2020 г.: *a* – кластерный анализ; *б* – анализ главных компонент (облака вокруг точек – эллипсы рассеивания). Цифрами обозначены кластеры и соответствующие им эллипсы рассеивания: 1 – станции I, IIa, IIб, IIIa и IIIб; 2 – ПБ2, А2, СС, ПБ1, КЗ, О; 3 – IV и V. Обозначения станций такие же, как и на рис. 1

Выделенные в процессе кластеризации группы хорошо согласуются с результатами анализа главных компонент (рис. 4,б). Данные по станциям сравнительно хорошо факторизуются (первые две латентные переменные описывают 55,3 % общей дисперсии), что свидетельствует об имеющихся между ними статистических различий по физическим и химическим показателям. В пространстве первых двух главных компонент станции делятся на те же три хорошо обособленных группы. Их дифференциация в основном

происходит по первой компоненте (собственное число – 6,9), которая отрицательно максимально скоррелирована с показателями pH, NO_2^- , NO_3^- , БПК₅, Ca^{2+} , SO_4^{2-} , взвеш. и °Ж (табл. 2).

Таблица 2
Факторные нагрузки показателей среды в анализе главных компонент (PC1, PC2), полученных на основе одновременного взятия проб в августе 2020 г.

Компоненты	T °C	mS	ppt	pH	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	БПК ₅	Взвеш.	Ca^{2+}
PC1	-0,295	-0,514	-0,557	-0,738	-0,463	-0,810	-0,911	-0,784	-0,710	-0,848
PC2	0,415	-0,367	-0,407	0,535	-0,480	0,019	0,242	-0,341	-0,360	-0,143

Компоненты	SO_4^{2-}	Cl	Fe_2 и Fe_3	F^-	Mn	Щел	°Ж	Al	O_2
PC1	-0,726	-0,148	0,196	-0,161	0,436	-0,555	-0,840	0,095	-0,597
PC2	0,478	-0,402	-0,815	-0,640	-0,531	-0,180	-0,245	0,418	0,498

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения факторов, имеющие наибольшую нагрузку при классификации объектов. Принятые сокращения: температура (T °C), электропроводность (mS), жесткость (ppt), водородный показатель (ед. pH); содержание в мг/дм³: ионы аммония (NH_4^+), нитриты (NO_2^-), нитраты (NO_3^-), БПК₅, взвешенные вещества (Взвеш.), кальций (Ca^{2+}), сульфаты (SO_4^{2-}), хлориды (Cl), общее железо (Fe_2 и Fe_3), фториды (F^-), марганец (Mn), алюминий (Al), растворенный кислород (O_2); жесткость (°Ж), щелочность (Щел) моль/дм³.

Распределение станций по первой компоненте показывает, что те из них, которые относятся ко второму кластеру, имеют наименьшие значения этих показателей, а к третьему – наибольшие. Вторая главная компонента (собственное число – 3,6) показывает структурированность факторного пространства относительно содержания в воде окисленного железа, где наибольшие его значения отмечены на станциях А1 и ССП.

По видовому составу зоопланктонные сообщества делятся на два больших кластера (рис. 5). Первый включает те из них, которые были обнаружены в водоемах, где вода имеет низкие значения pH, NO_2^- , NO_3^- , БПК₅, Ca^{2+} , SO_4^{2-} , взвеш. и °Ж. Наибольшее сходство здесь демонстрируют сообщества ПБ1, ПБ2, ССП и СС, а самым специфическим является – КЗ. Второй кластер объединяет сообщества станций, где значения перечисленных выше химических показателей, наоборот, завышены. Однако и в этом случае отмечается разделение кластера на две хорошо различимые по видовому составу группы. Одна из них включает станции Па и ПБ, другая – Пб и Ша, I, V и IV.

Распределение видов по типам станций наиболее точно иллюстрирует анализ соответствия (рис. 6). В ходе стандартизации данных между переменными *доминантный вид – станция* выявлена достаточно сильная связь ($\chi^2 = 1589$, $df = 238$, $p < 0,001$), поэтому она может использоваться как анализирующая при описании предпочтений. В пространстве полученных размерностей все виды группируются согласно своим ассоциациям к соответствующим станциям. Наибольший вклад в статистику χ^2 Пирсона дает первая размерность, объясняющая 28 % инерции.

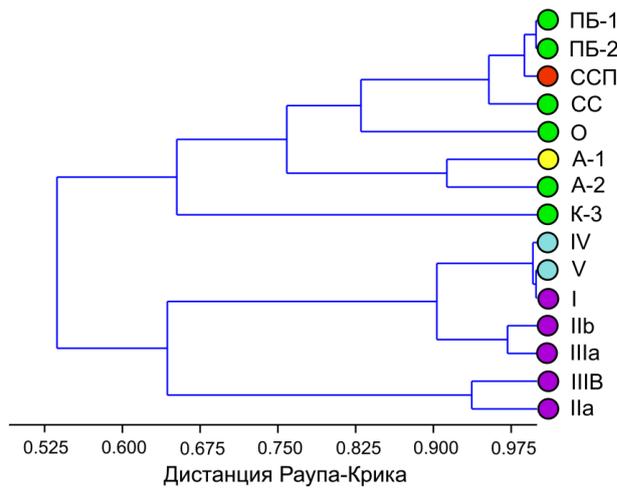


Рис. 5. Результаты классификации (кластерный анализ) станций по видовому составу зоопланктонных сообществ, полученные при единовременном взятии проб в августе 2020 г. Обозначения пунсонов такие же, как на рис. 1 и 5

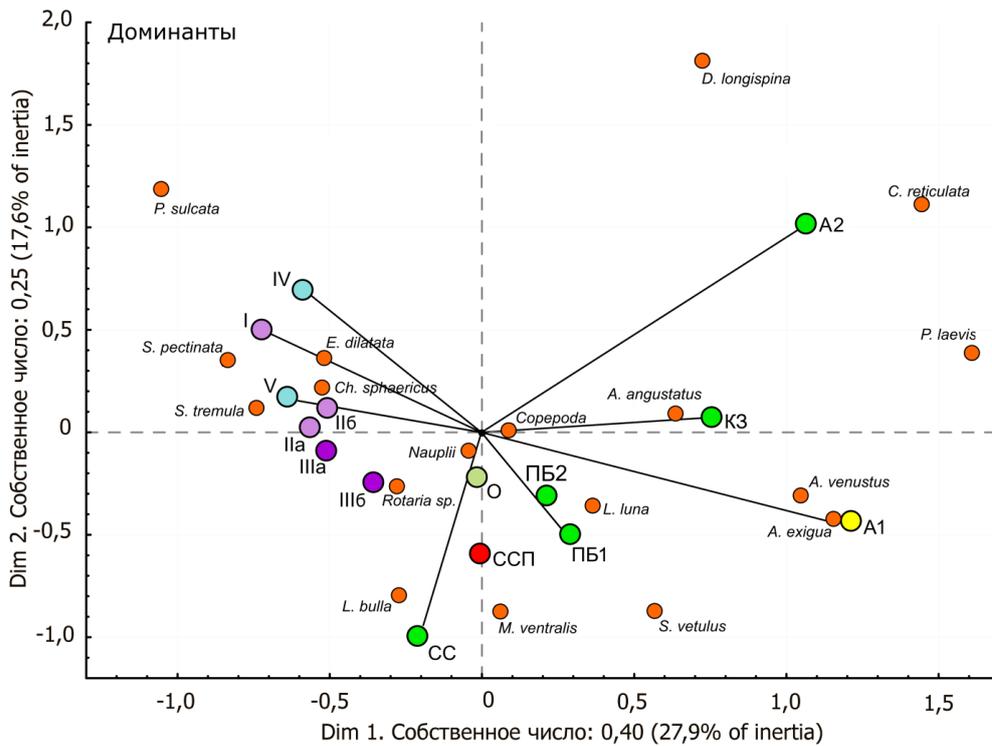


Рис. 6. Распределение доминантных видов в пространстве двух размерностей, построенных на основе данных по их встречаемости на различных станциях в августе 2020 г. Обозначения такие же, как на рис. 1 и 5

Максимальные значения по первой размерности имеют сообщества A1, A2 и K3, где преимущественно встречаются эвритопные рачки *Ceriodaphnia*

reticulata, *Daphnia longispina*, *Acanthocyclops venustus*, *Alonella exigua* и *Picrip-leuroxus laevis*. Противоположное положение занимают сообщества станций I, IV, V, IIa, IIб, IIIa и IIIб, в которых доминантами являются планктонные коловратки: *Synchaeta tremula*, *S. pectinata*, *Euchlanis dilatata* и эвритопная кладоцера *Chydorus sphaericus*. Вторая размерность объясняет только 18 % от общей инерции. По этой размерности наиболее обособлено зоопланктонное сообщество СС, где преимущественно представлены прибрежные виды коловраток – *Mytilina ventralis* и *Lecane bulla*, достигающие своей максимальной численности. Личинки разного возраста веслоногих ракообразных и пиявководные коловратки *Rotaria* sp., которые предпочитают зарастающие водоемы, имеют центральное положение в системе координат описанных выше размерностей, что связано с их присутствием в большинстве исследованных станций и указывает на их «обычность» для сообществ экосистемы р. Суры. В целом, результаты анализа соответствия хорошо согласуются с результатами классификации сообществ по видовому составу, полученными в ходе кластерного анализа.

С целью выявления зависимости между численностью гидробионтов и факторами среды был проведен непараметрический статистический корреляционный анализ (табл. 3). Статистически значимые корреляционные связи были отмечены только для 11 из 18 видов доминантов с 19 параметрами среды. Для трех параметров среды (Al, Mn и F⁻) связи с численностью выявлено не было. Наиболее чувствительными к воздействию большинства факторов оказались планктонные преимущественно речные коловратки *S. pectinata* и *S. tremula*, для численности которых были получены исключительно положительные корреляционные связи с анализируемыми показателями среды. Такая же прямая связь, но по отношению только к четырем факторам, выявлена у эвритопной кладоцеры *Ch. sphaericus*, к трем – у прибрежной фитофильной коловратки *E. dilatata*, к одному – у планктонной коловратки – *Pompholyx sulcata* и фитофильной – *Rotaria* sp. В то же время отрицательная зависимость численности отмечены с рядом факторов у *A. venustus* и *A. exigua*. Наконец, только у личинок копепод, предпочитающих зарастающие водоемы, численность положительно коррелирует со степенью зарастания водоемов и отрицательно – с силой течения.

Изучение структуры сообществ зоопланктона различных станций по характеру распределения их значений разнообразия и выравненности показало полное отсутствие ($R_S = 0,16$) их согласованности (рис. 7). По относительному обилию наибольшая выравненность отмечена для сообществ ПБ2, ПБ1 и СС, где выявлены наименьшие показатели рН, NO₂⁻, NO₃⁻, БПК₅, Ca²⁺, SO₄²⁻ и °Ж. Максимальное же разнообразие (наибольшее количество видов) отмечается для сообщества, выявленного вблизи плотины ТЭЦ-1 в Городском водохранилище – IIIб.

Изучение степени сопряженности комплекса исследованных факторов и информационными индексами сообществ показало отсутствие корреляционных связей. Исключение составляет только связь индекса выравненности и показателей содержания кислорода в воде (рис. 8). Согласно полученной зависимости наибольшие значения индекса разнообразия отмечаются на тех станциях, где было зарегистрировано наименьшее содержание кислорода в воде.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции Спирмена (R_s) между численностью доминантных видов и показателями физико-химических параметров среды (по данным августа 2020 г.)

Параметры	<i>E. dilatata</i>	<i>P. sulcata</i>	<i>Rotaria</i> sp.	<i>S. pectinata</i>	<i>S. tremula</i>	<i>A. angustatus</i>	<i>A. exigua</i>	<i>Ch. sphaericus</i>	<i>P. laevis</i>	<i>A. venustus</i>	Ювенильные особи колепод
T °C	0,3	-0,06	0,27	0,57	0,24	0,35	-0,19	0,48	-0,41	-0,29	0,05
mS	0,18	0,3	0,44	0,54	0,75	-0,58	-0,47	0,27	-0,39	-0,38	0,19
ppt	0,22	0,31	0,31	0,57	0,77	-0,65	-0,61	0,12	-0,46	-0,21	0,12
pH	0,49	0,59	0,06	0,47	0,57	-0,41	-0,47	0,48	-0,41	-0,73	-0,24
NH ₄ ⁺	0,35	-0,07	0,17	0,52	0,42	-0,3	0,27	0,46	0,04	-0,18	0,36
NO ₂ ⁻	0,59	0,36	0,3	0,78	0,82	-0,47	-0,34	0,66	-0,49	-0,74	-0,09
NO ₃ ⁻	0,43	0,34	0,24	0,69	0,68	-0,48	-0,3	0,56	-0,42	-0,74	-0,14
БПК ₅	0,53	0,17	0,14	0,76	0,8	-0,38	-0,06	0,56	-0,1	-0,27	0,32
Взвеш. вещества	0,43	0,23	0,2	0,68	0,76	-0,45	-0,1	0,49	-0,01	-0,25	0,23
Ca ²⁺	0,21	0,05	0,41	0,7	0,76	-0,24	-0,55	0,27	-0,32	-0,23	0,37
SO ₄ ²⁻	0,46	0,4	-0,03	0,64	0,51	-0,35	-0,54	0,41	-0,4	-0,64	-0,28
Cl ⁻	0,14	0,06	0,59	0,49	0,59	-0,18	-0,16	0,45	-0,28	-0,51	0,4
Fe ₂ и Fe ₃	-0,29	-0,21	0,07	0,16	0,05	-0,23	0,02	-0,42	0,23	0,61	0,45
Щел	0,2	0,15	0,04	0,76	0,51	-0,04	-0,36	0,29	-0,07	-0,08	0,19
°Ж	0,21	0,15	0,37	0,67	0,79	-0,41	-0,67	0,2	-0,49	-0,18	0,24
O ₂	0,67	0,42	0,04	0,43	0,53	-0,16	-0,2	0,59	-0,48	-0,69	-0,02
Зарастаемость	-0,14	-0,18	0,21	0,34	0,25	0,39	0,45	0,19	0,45	0,22	0,88
Антропогенные	0,39	0,02	0,33	0,48	0,46	0,1	0,05	0,7	-0,17	-0,6	0,25
Течение	0,19	0,42	-0,06	0,23	0,25	-0,31	-0,64	0,05	-0,64	-0,33	-0,67

Примечание. Жирным шрифтом отмечены статистически значимые ($p < 0,05$) значения корреляции Спирмена. Обозначения такие же, как в табл. 2.

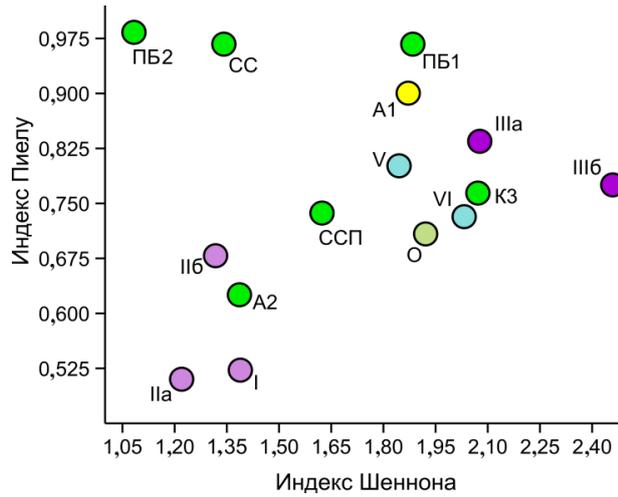


Рис. 7. Диаграмма рассеивания значений информационного индекса Шеннона и индекса выравненности Пиелу сообществ зоопланктона на станциях экосистемы р. Суры (по данным августа 2020 г.). Обозначения такие же, как на рис. 1

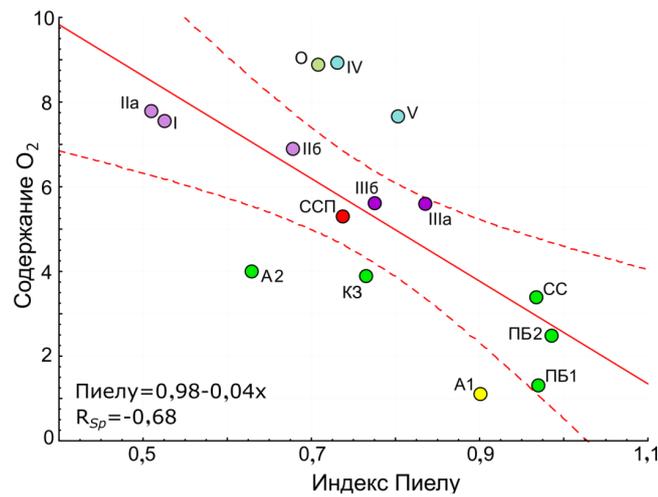


Рис. 8. Регрессионная модель зависимости индекса выравненности Пиелу зоопланктонных сообществ от содержания кислорода в воде на станциях экосистемы р. Суры (по данным августа 2020 г.) Пунктирная линия – 95 % доверительный интервал. Обозначения такие же, как на рис. 1

Заключение

За весь период наблюдений в сообществах зоопланктона экосистемы р. Суры обнаружено 82 вида, при одноразовой съемке (начало августа) на всех станциях – 48. Наибольшее число видов отмечено на станции р. Суры (IIIб), расположенной ниже впадения загрязненной малой реки Кашаевки, а наименьшее – на водотоках (ПБ1 и ПБ2) в Барковке. На всех станциях р. Суры и водотоках в районе Барковки выявлена низкая численность зоопланктеров, которая достигает самых высоких значений только в старичных озерах (КЗ и ССП) микрорайона Ахуны. Видовое разнообразие сообществ р. Суры и

старичных водных объектов не совпадает по ряду таксонов, а по структурным параметрам зоопланктоценозы двух станций р. Суры (Ша, Шб) отличаются от остальных водотоков. В связи с близостью плотины ТЭЦ-1 и образованием вверх по течению «Городского водохранилища» длиной 13 км на этом участке р. Суры гидрологический режим значительно отличается от такового на других станциях исследований [1, 2]. Данные по структурным параметрам изученных здесь сообществ зоопланктона свидетельствуют о неоднородности по течению вверх так называемого «Городского водохранилища» по физико-химическим показателям. Поэтому этот участок русла р. Суры следует рассматривать как водоток с замедленным течением (станции I, Па, Пб).

Зоопланктонное сообщество района Ахун (ССП) по структурным параметрам отличается от всех остальных. В этом водоеме отмечается самое высокое содержание ионов хлора, которое, возможно, связано с накоплением на дне загрязняющих веществ со времени начала использования его для сброса сточных (канализационных) вод из микрорайона Ахуны.

Анализируя абиотические факторы, установлено, что по сравнению с водными объектами на новом русле р. Суры, станции водных объектов разных типов на старом русле характеризуются низкими значениями pH, т.е. более кислой средой. Возможно, это связано с проходящими в этих водоемах окислительными реакциями, вызванными процессами гниения водорослей и водной растительности, а также опавшей листвы. Содержание в воде этих водоемов таких компонентов, как NO_2^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , БПК₅, взвеш. и °Ж, также оказалось более низким, чем на станциях р. Суры. По всей видимости, эта особенность водных объектов старого русла р. Суры связана с тем, что эти вещества концентрируются у дна из-за слабого течения или полного его отсутствия. Обнаруженные высокие значения этих средовых параметров на станциях IV и V обусловлены, по нашему мнению, активной аккумуляцией загрязняющих веществ, поступающих в водоток в черте города и непосредственно с местом расположения этих станций.

Выявленная зависимость между численностью гидробионтов и факторами среды статистически значимой оказалась – только для 11 из 18 видов доминантов и 19 параметров среды. Только у двух видов планктонных колеровок *S. pectinata* и *S. tremula* существует прямая связь роста численности с ростом показателей большинства факторов среды.

Оценка качества вод исследуемых водных объектов с использованием показателей численности индикаторных видов и структурных параметров сообществ зоопланктона свидетельствует об их загрязненности. Многие водные объекты в старом русле р. Суры, а также новое русло р. Суры в своем развитии находятся на переходной стадии от мезотрофного к эвтрофному типу.

Список литературы

1. Иванов А. И., Чернышов Н. В., Кузин Е. Н. Природные условия Пензенской области. Современное состояние. Т. 1. Геологическая среда, рельеф, климат, поверхностные воды, почвы, растительный покров : монография. Пенза : РИО ПГАУ, 2017. 236 с. ISBN 978-5-94338-873-6
2. Асанов А. Ю. Рыбохозяйственное значение водохранилищ, образованных русловыми водоподъемными сооружениями // Сурский вестник. 2019. № 3. С. 22–28. eISSN 2619-1202.

3. Методы биологического анализа пресных вод : сб. науч. работ / отв. ред. Г. Г. Винберг. Л. : Зоологический ин-т АН СССР, 1976. 168 с.
4. Определитель зоопланктона и зообентоса пресных вод Европейской России. Т. 1. Зоопланктон / ред. В. Р. Алексеев, С. Я. Цалохин. М. ; СПб. : Товарищество научных изданий КМК, 2010. 495 с.
5. Чуйков Ю. С. Материалы к кадастру планктонных беспозвоночных бассейна Волги и Северного Каспия. Коловратки (Rotatoria). Тольятти : ИЭВБ РАН, 2000. 195 с.
6. Абакумов В. А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
7. Мяземетс А. Х. Изменения зоопланктона // Антропогенное воздействие на малые озера. Л. : Наука, 1980. С. 54–64.
8. Лобачев А. Л., Степанова Р. Ф., Лобачева И. В. Анализ неорганических загрязнителей питьевых и природных вод : учеб. пособие. Самара : Изд-во Самарского ун-та, 2006. 42 с.
9. Стойкова Е. Е., Медянцева Э. П., Евтюгин Г. А. Гидрохимический анализ. Казань : Казанский (Приволжский) федеральный ун-т, 2010. 49 с.
10. Hammer Ø., Harper D. A. T., Ryan P. D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis // *Palaeontologia electronica*. 2001. Vol. 4, iss. 1, art. 4. 9 p. URL: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

References

1. Ivanov A.I., Chernyshov N.V., Kuzin E.N. *Prirodnye usloviya Penzenskoy oblasti. Sovremennoe sostoyanie. T. 1. Geologicheskaya sreda, rel'ef, klimat, poverkhnostnyye vody, pochvy, rastitel'nyy pokrov: monografiya* = Natural conditions of the Penza region. Contemporary state. Volume 1. Geological environment, relief, climate, surface waters, soils, vegetation cover: monograph. Penza: RIO PGAU, 2017:236. ISBN 978-5-94338-873-6. (In Russ.)
2. Asanov A.Yu. Fishery value of reservoirs formed by channel water-carrying structures. *Surskiy vestnik* = Sursky bulletin. 2019;3:22–28. eISSN 2619-1202. (In Russ.)
3. Vinberg G.G. ed. *Metody biologicheskogo analiza presnykh vod: sb. nauch. rabot* = Methods for biological analysis of fresh water: collected papers. Leningrad: Zoologicheskii in-t AN SSSR, 1976:168. (In Russ.)
4. Alekseev V.R., Tsalokhin S.Ya. ed. *Opredelitel' zooplanktona i zoobentosa presnykh vod Evropeyskoy Rossii. T. 1. Zooplankton* = Keys to zooplankton and zoobenthos of fresh waters in European Russia. Volume 1. Zooplankton. Moscow; Saint-Petersburg: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2010:495. (In Russ.)
5. Chuykov Yu.S. *Materialy k kadastru planktonnykh bespozvonochnykh basseyna Volgi i Severnogo Kaspiya. Kolovratki (Rotatoria)* = Materials for the inventory of planktonic invertebrates in the Volga and North Caspian basin. Rotifers (Rotatory). Tolyatti: IEVB RAN, 2000:195. (In Russ.)
6. Abakumov V.A. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* = Guidance for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems. Saint-Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992:318. (In Russ.)
7. Myaemets A.Kh. Zooplankton changes. *Antropogennoe vozdeystvie na malye ozera* = Anthropogenic impact on small lakes. Leningrad: Nauka, 1980:54–64. (In Russ.)
8. Lobachev A.L., Stepanova R.F., Lobacheva I.V. *Analiz neorganicheskikh zagryazniteley pit'evykh i prirodnykh vod: ucheb. posobie* = Analysis of inorganic pollutants of drinking and natural waters: textbook. Samara: Izd-vo Samarskogo un-ta, 2006:42. (In Russ.)
9. Stoykova E.E., Medyantseva E.P., Evtugin G.A. *Gidrokhimicheskii analiz* = Hydrochemical analysis. Kazan: Kazanskiy (Privolzhskiy) federal'nyy un-t, 2010:49. (In Russ.)

10. Hammer Ø., Harper D.A.T., Ryan P.D. PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia electronica*. 2001;4(1):9. Available at: http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm

Информация об авторах / Information about the authors

Юлия Александровна Пастухова

магистрант, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: yuliya.pastukhova.98@mail.ru

Julija A. Pastuchova

Master degree student, Penza State
University (40 Krasnaya street, Penza,
Russia)

Тамара Григорьевна Стойко

кандидат биологических наук, доцент,
профессор кафедры зоологии и экологии,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: tgstojko@mail.ru

Tamara G. Stojko

Candidate of biological sciences, associate
professor, professor of the sub-department
of zoology and ecology, Penza State
University (40 Krasnaya street, Penza,
Russia)

Дмитрий Григорьевич Смирнов

доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры зоологии и экологии,
Пензенский государственный
университет (Россия, г. Пенза,
ул. Красная, 40)

E-mail: eptesicus@mail.ru

Dmitriy G. Smirnov

Doctor of biological sciences, professor,
professor of the sub-department of zoology
and ecology, Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Александр Александрович Флягин

главный технолог, ООО «Горводоканал»
(Россия, г. Пенза, ул. Кривозерье, 24)

E-mail: flyagman@yandex.ru

Aleksandr A. Fliagin

Production manager, "Gorvodokanal" LLC
(24 Krivoserye street, Penza, Russia)

Елена Александровна Ембулаева

кандидат биологических наук, начальник
лаборатории, ООО «Горводоканал»
(Россия, г. Пенза, ул. Совхозная, 27 А)

E-mail: ltkosk@bk.ru

Elena A. Embulaeva

Candidate of biological sciences, head of
the laboratory, "Gorvodokanal" LLC
(27 A Sovkhoznaya street, Penza, Russia)

Поступила в редакцию / Received 07.12.2020

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 26.01.2021

Принята к публикации / Accepted 02.02.2021

УДК 606.604
doi:10.21685/2307-9150-2021-1-7

Культивирование *Chlorella sorokiniana* в естественных условиях открытого воздуха Поволжского региона и лабораторного эксперимента под влиянием постоянного магнитного поля

О. А. Арефьева¹, Л. Н. Ольшанская², Р. Ш. Валиев³

^{1,2}Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А., Саратов, Россия

³Медицинский университет «Ревиз», Саратов, Россия

¹oarefeva@inbox.ru, ²ecos123@mail.ru, ³rw_84@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* *Chlorella sorokiniana* используется для производства биотоплива и выделения биологически активных веществ. Биомасса может быть выращена в малоэнергос затратных и экономичных условиях. Цель данной работы – оценить влияние условий культивирования микроводорослей *Ch. Sorokiniana* на открытом воздухе и влияние постоянного магнитного поля в лабораторных условиях на размножение, рост и развитие микроводоросли. *Материалы и методы.* Рост популяции оценивали по оптической плотности суспензии хлореллы и дальнейшего подсчета в камере Горяева на количество млн клеток в мл. Для статистических анализов результатов экспериментов использовалась программная среда R версии 3.4.0. В работе проведены сравнения количественных показателей размножения, а также размеров клеток хлореллы после и без воздействий постоянного магнитного поля (ПМП). Для оценки зависимости скорости роста хлореллы от температуры атмосферного воздуха был проведен регрессионный анализ. *Результаты.* Визуально (под микроскопом) выявлено, что растущая популяция в биореакторе, размещенном на открытом воздухе, отличается большей долей клеток вытянутой формы (молодые клетки) и меньшей – округлой формы (старые клетки). Интенсивный рост и развитие клеток происходит в июле и августе с минимальным количеством пасмурных дней. Оптимальный температурный режим для постоянного обновления клеток хлореллы достигался при 27–30 °С. При анализе влияния ПМП напряженностью 2 кА/м на рост и размножение хлореллы в лабораторных условиях был выявлен интенсивный рост клеток в течение первых 3 сут культивирования. Прирост биомассы увеличился в 3–4 раза и достигал значения 7,5 млн кл/мл. При воздействии ПМП напряженностью 0,5 и 1,0 кА/м прироста концентрации клеток в течение всего периода культивирования не наблюдалось. *Выводы.* В результате проделанной работы установлено, что воздействие постоянно высоких температур (30–36 °С) в условиях открытого воздуха без подвода дополнительной аэрации является неблагоприятным фактором для развития микроводорослей *Ch. sorokiniana*. Оптимальный температурный режим для постоянного обновления, роста и развития клеток хлореллы в естественных условиях достигался при 27–30 °С. В ходе исследований, проведенных в лабораторных условиях, выявлен максимальный прирост клеток хлореллы при воздействии ПМП напряженностью 2 кА/м в течение первых 3 сут культивирования, после чего

наблюдалась фаза стабилизации. Показано, что использование магнитного поля способствует агрегированию клеток.

Ключевые слова: микроводоросль, хлорелла, *Chlorella sorokiniana*, культивирование, биомасса, постоянное магнитное поле

Финансирование: Результаты работы получены в рамках выполнения Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014–2020» по теме: «Разработка и внедрение инновационных биотехнологий переработки микроводорослей *Chlorella sorokiniana* и ряски *Lemna minor*».

Для цитирования: Арефьева О. А., Ольшанская Л. Н., Валиев Р. Ш. Культивирование *Chlorella sorokiniana* в естественных условиях открытого воздуха Поволжского региона и лабораторного эксперимента под влиянием постоянного магнитного поля // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 1. С. 74–86. doi:10.21685/2307-9150-2021-1-7

Cultivation of *Chlorella sorokiniana* in natural open air conditions of the Volga region and in a laboratory experiment under the effect of a constant magnetic field

O.A. Aref'eva¹, L.N. Ol'shanskaya², R.Sh. Valiev³

^{1,2}Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia

³Saratov Medical University "Reaviz", Saratov, Russia

¹oarefeva@inbox.ru, ²ecos123@mail.ru, ³rw_84@mail.ru

Abstract. *Background.* *Chlorella sorokiniana* is used for the production of biofuels and the release of biologically active substances. Biomass can be grown in low-energy and economical conditions. The purpose of this work is to assess the influence of the cultivation's conditions of microalgae *Ch. sorokiniana* in the open air and the effect of a constant magnetic field in laboratory conditions on the reproduction, growth and development of microalgae. *Materials and methods.* Population growth was assessed by the optical density of the chlorella suspension and further counting in the Goryaev chamber for the number of million cells per ml. For statistical analysis of the experimental results, we used the R version 3.4.0 software environment. In this work, we compared the quantitative indicators of reproduction, as well as the sizes of chlorella cells after and without the effects of constant magnetic field (CMF). Regression analysis was carried out to assess the dependence of the growth rate of chlorella on the air temperature. *Results.* Visually (under a microscope), it was revealed that the growing population in a bioreactor placed in the open air has a larger proportion of elongated cells (young cells) and a smaller proportion of rounded cells (old cells). Intensive growth and development of cells occurs in July and August with a minimum of cloudy days. The optimal temperature regime for constant renewal of chlorella cells was reached at 27–30 °C. When analyzing the influence of CMF with a strength of 2 kA/m on the growth and reproduction of chlorella in laboratory conditions, an intensive growth of cells was revealed during the first 3 days of cultivation. The increase in biomass increased 3–4 times and reached 7,5 million cells/ml. When exposed to CMF with a strength of 0,5 and 1,0 kA/m, no increase in cell concentration was observed during the entire cultivation period. *Conclusions.* As a result of the work done, it was found that exposure to constantly high temperatures (30–36 °C) in open air without additional aeration is an unfavorable factor for the development of *Ch. sorokiniana*. The optimal temperature regime for constant renewal, growth and development of chlorella cells in natural conditions was achieved at 27–30 °C. In the course of studies carried out in laboratory conditions, the maximum increase in chlorella cells was revealed when exposed to CMF with a voltage of

2 kA/m during the first 3 days of cultivation, after which a stabilization phase was observed. It has been shown that the use of a magnetic field promotes cell aggregation.

Keywords: microalgae, chlorella, *Chlorella sorokiniana*, cultivation, biomass, constant magnetic field

Acknowledgments: the research results have been obtained within the framework of the Federal Target Program “Research and development in priority fields of the Russian scientific and technological complex development in 2014–2020” in the topic “Development and implementation of innovative biotechnologies of *Chlorella sorokiniana* and *Chlorella sorokiniana* processing”.

For citation: Aref'eva O.A., Ol'shanskaya L.N., Valiev R.Sh. Cultivation of *Chlorella sorokiniana* in natural open air conditions of the Volga region and in a laboratory experiment under the effect of a constant magnetic field. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2021;1:74–86. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-1-7

Введение

В последние годы для получения ценных питательных компонентов и энергии из биомассы с целью минимизации вреда окружающей среде в качестве объектов часто применяют высшие и низшие растения. В ряде работ [1–3] показано, что микроводоросли хлорелла обладают высокой продуктивностью, большим запасом хлорофилла и комплексом редчайших питательных веществ (белки, пектины, липиды и др.). Биомасса может быть выращена в условиях с минимальными затратами площадей, что является малоэнергетическим и экономичным. В последнее время рассматривают использование хлореллы для производства биотоплива, поскольку она содержит значительное количество насыщенных и мононенасыщенных жирных кислот [4–7].

Для культивирования хлореллы в естественных природных условиях, а также в биореакторах на открытом воздухе наиболее подходящими являются климатические условия с длительным теплым периодом. Для интенсификации процесса размножения, роста и развития клеток растений используют различные физические факторы [8–11]. Известно, что воздействие магнитного поля (МП) может проявляться либо как стимулятор, либо как замедлитель роста и развития клеток растений. На ход этих процессов оказывает влияние не только сила, но и напряженность, и направление МП [10–12]. Это действие на физиологические функции растений может проявляться либо как результат влияния на генетический аппарат, например через деление клетки, либо вследствие непосредственного воздействия на обмен веществ. Поэтому целесообразно провести эксперимент по влиянию МП на прирост биомассы *Ch. sorokiniana*, поскольку данный фактор в объемах производства не является энергетическим.

Цель данной работы – оценить возможность культивирования микроводорослей *Ch. sorokiniana* на открытом воздухе и влияние постоянного магнитного поля (ПМП) в лабораторных условиях на размножение, рост и развитие микроводоросли *Ch. sorokiniana*, используемой для получения биогаза и выделения широкого круга биологически активных веществ.

Объекты и методы исследований

Объектами исследования в работе служил исходный штамм микроводоросли *Ch. sorokiniana*. Штамм микроводоросли был предоставлен Геттингенским университетом (Германия).

Культивирование водоросли в лабораторных условиях и на открытом воздухе осуществляли в питательной среде для выращивания хлореллы, используя состав, приведенный в табл. 1.

Таблица 1

Состав питательной среды для культивирования хлореллы

Наименование вещества	Концентрация, мг/л
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	100,00
CuSO ₄ ·5H ₂ O	10,00
CoSO ₄ ·7H ₂ O	100,00
MnCl ₂ ·4H ₂ O	500,00
H ₃ BO ₃ ·WF	50,00
Na ₂ MoO ₄ ·2H ₂ O	100,00
FeCl ₃ ·6H ₂ O	4,00
Na ₂ EDTA·2H ₂ O	6,00
KNO ₃	3,03
KH ₂ PO ₄	0,32
MgSO ₄ ·7H ₂ O	2,40

Посев хлореллы в обоих вариантах эксперимента осуществляли из чистой популяции, сформированной в диапазоне температур 19–23 °С и освещенности лампой дневного света 2500 люкс.

Культивирование хлореллы в лабораторных условиях при воздействии ПМП. Для проведения эксперимента по воздействию ПМП на прирост биомассы хлореллы в лабораторных условиях использовали:

- источник питания постоянного тока Б5-43, подключенный к медной катушке (рис. 1). Напряженность постоянного магнитного поля составляла (H, кА/м: 0,5; 1,0; 2,0);
- аэратор воздуха с расходом 1,5 л/мин;
- лампы дневного света (ЛДС), интенсивность освещенности 1300 Лк;
- контрольный образец (культивирование без воздействия магнитного поля).

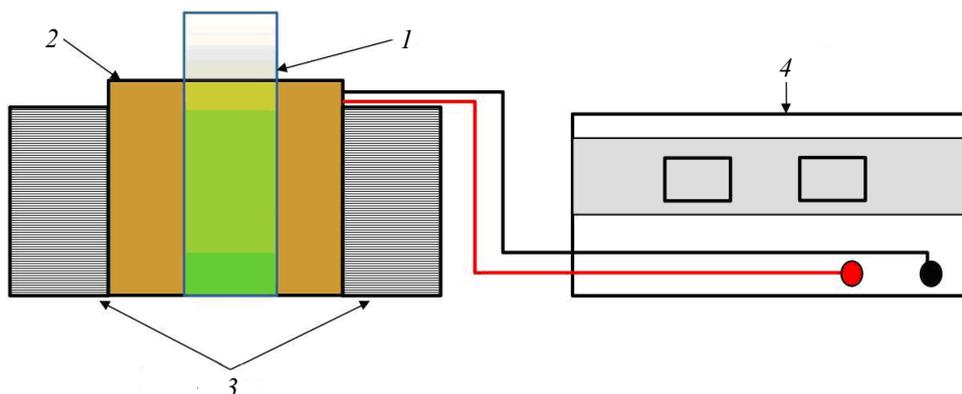


Рис. 1. Схема установки с постоянными магнитными полями:

1 – фитобиореактор; 2 – медная катушка; 3 – металлические пластины;
4 – источник питания постоянного тока Б5-43

Культивирование проводили в режиме «день/ночь» (16/8 ч) в фотобиореакторе, который представлял собой стеклянный сосуд цилиндрической формы с толщиной стенок 2–3 мм, высотой 380 мм, диаметром 50 мм, куда помещалась питательная среда в количестве 500 мл.

Температура раствора суспензии составляла $26 \pm 0,3$ °С.

Рост популяции оценивали по оптической плотности суспензии хлореллы, с помощью спектрофотометра марки КФК – 3-01 при длине волны 750 нм и дальнейшего подсчета в камере Горяева на количество млн клеток в мл.

Измерение pH среды осуществляли с помощью pH-метра (Преобразователь ионометрический И-500 Аквилон), что является обязательным в начале и конце опыта; при хроническом эксперименте – в дни учета биологических показателей.

Культивирование хлореллы на открытом воздухе также проводили в режиме 16/8 ч в местах с хорошей солнечной освещенностью, дополнительная аэрация не проводилась. В качестве фотобиореактора использовали сосуд прямоугольной формы с толщиной стенок 2–3 мм, длиной 320 мм, шириной 150 мм, высотой 210 мм. Период наблюдения июль–сентябрь.

Статистические методы. Для статистических анализов результатов экспериментов использовалась программная среда R версии 3.4.0 [13]. В работе проводились сравнения количественных показателей размножения, а также размеров клеток хлореллы после и без воздействий ПМП. Проверка на нормальность распределения данных проводилась путем вычисления критерия Шапиро – Уилка *W*. Данный критерий – один из наиболее эффективных критериев для проверки нормальности распределения случайных величин, в том числе и в малых выборках [14, 15]. Для проверки равенства дисперсий в выборках использовался критерий Бартлетта *T*. Уровень значимости принимали равным 0,05. Для оценки зависимости скорости роста хлореллы от температуры атмосферного воздуха был проведен регрессионный анализ.

Результаты и обсуждение

Для естественных природных условий Саратовской области характерен теплый период – с мая по сентябрь. Первый теплый период начинается в мае и заканчивается в первой декаде июня; второй – продолжается до середины августа, когда устанавливается среднесуточная температура +15 °С; третий период длится до третьей декады сентября. Средняя температура воздуха днем может составлять в июне – 19 °С, в июле – 24 °С, в августе – 23 °С, в сентябре – 15 °С. Для Саратовской области характерны также засушливые периоды с температурой воздуха 30–36 °С.

Интенсивность освещения в теплый период достигает 4000 люкс в солнечные дни и 1300–2000 Лк в пасмурные. В исследованиях выращивание водорослей *Ch. sorokiniana* на открытом воздухе в условиях Поволжского региона было проведено начиная с июля.

Интенсивный рост клеток наблюдался с первых дней и продолжался в течение всего периода культивирования (рис. 2) при обновлении питательной среды через каждые 7 сут и регулировании pH.

Было проведено исследование зависимости скорости роста хлореллы от температуры воздуха окружающей среды (рис. 3). Результаты статистического

анализа этой зависимости с проверкой значимости коэффициентов уравнения регрессии приведены в табл. 2 и 3. Результаты свидетельствуют о линейном характере зависимости.

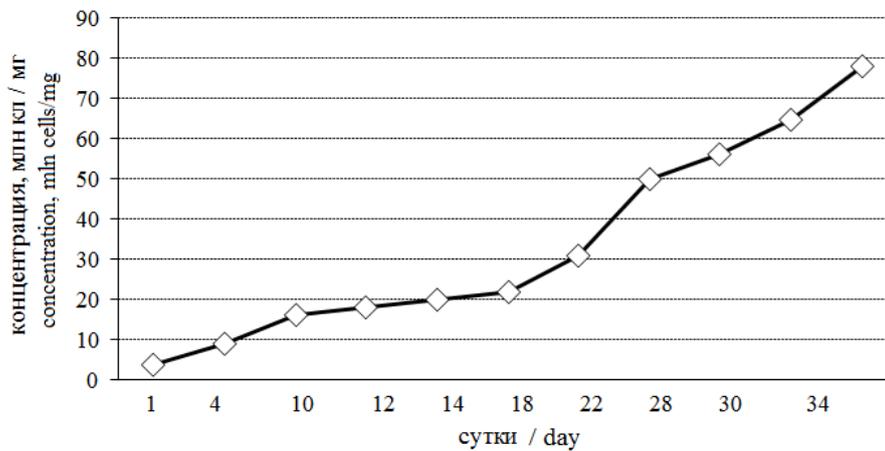


Рис. 2. Зависимость концентрации клеток *Ch. sorokiniana* от продолжительности культивирования в условиях открытого воздуха

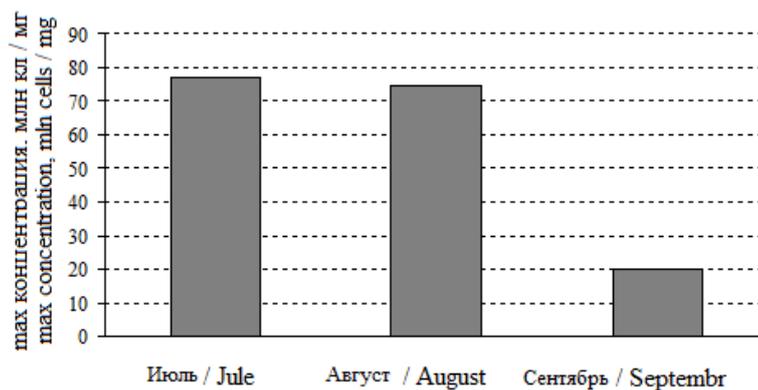


Рис. 3. Максимумы прироста клеток *Ch. sorokiniana* в зависимости от месяца года

Таблица 2

Дисперсионный анализ проверки значимости регрессионной модели

Показатели	Число степеней свободы	Сумма квадратов отклонений	Усредненные квадраты отклонений	F-критерий	p-значение
Регрессия	1	1,1821	1,1821	139,1647	0,0003
Остатки	4	0,0340	0,0085		
Итого	5	1,2161			

Визуально (под микроскопом) выявлено, что растущая популяция отличается большей долей клеток вытянутой формы (молодые клетки) и

меньшей – округлой формы (старые клетки). При этом интенсивность роста зависела от суточных колебаний температур. В стоячей среде на открытом воздухе с ярким солнечным освещением на начальном этапе происходило очень быстрое размножение клеток, но затем в условиях воздействия постоянных длительных высоких температур (30–36 °С) наблюдалось снижение размножения и развития молодых клеток и, в конечном итоге, их гибель.

Таблица 3

Значимость коэффициентов регрессии

Показатели	Коэффициенты	Средне-квадратическое отклонение	<i>t</i> -статистика	<i>p</i> -значение
Свободный член (пересечение) линии оценки	-1,3517	0,3297	-4,1005	0,0149
Температура	0,1372	0,0116	11,7968	0,0003

Таким образом, воздействие постоянно высоких температур является неблагоприятным фактором для роста микроводорослей.

Проведенный анализ условий годовой сезонности для выращивания хлореллы на открытом воздухе показал, что активное размножение, рост и развитие клеток происходят в июле и августе с минимальным количеством пасмурных дней (см. рис. 3). Оптимальный температурный режим для постоянного обновления клеток хлореллы достигался при 27–30 °С (рис. 4). Цвет суспензии в этот период был насыщенно зеленым, и постоянно увеличивалась концентрация клеток. В сентябре прирост биомассы сокращался, что связано с уменьшением светового дня, уменьшением солнечной активности и понижением суточной температуры.

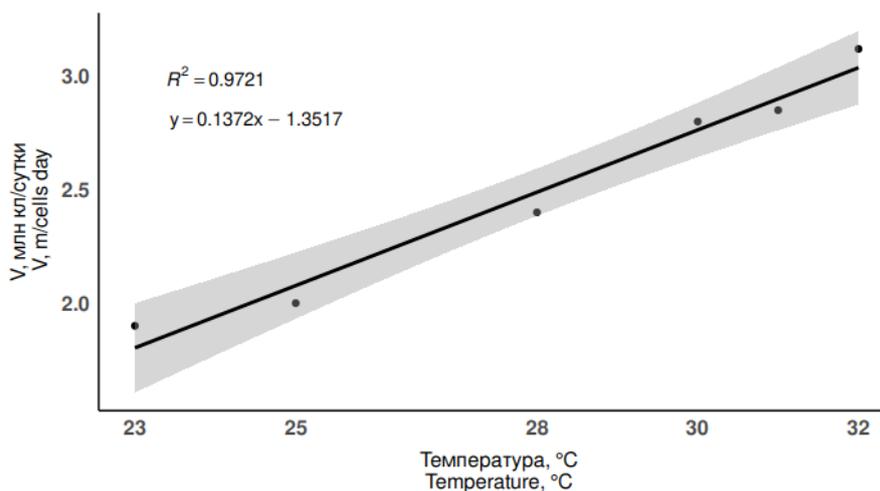


Рис. 4. Зависимость скорости роста клеток *Ch. sorokiniana* от дневной температуры атмосферы. Серым цветом показана 95 % доверительная область линии регрессии

Таким образом, культивирование хлореллы в естественных условиях Поволжского региона в биореакторе рекомендуется проводить в теплый период времени года с мая по сентябрь. Необходимо еженедельно в аппарат дополнительно вносить раствор свежей питательной среды для поддержания необходимой концентрации микроэлементов и оптимальных параметров pH.

При анализе влияния ПМП напряженностью 2 кА/м на рост и размножение хлореллы в лабораторных условиях был выявлен интенсивный рост клеток в течение первых 3 сут культивирования. Прирост биомассы увеличился в 3–4 раза и достигал значения 7,5 млн кл/мл при начальном количестве клеток в суспензии 2,5 млн кл/мл (производили подсчет клеток в камере Горяева в заданном объеме жидкости по известной величине оптической плотности суспензии клеток при длине волны 750 нм). По истечении 3 сут наступала фаза стабилизации (рис. 5). Визуально наблюдалась агглютинация и осаждение клеток.

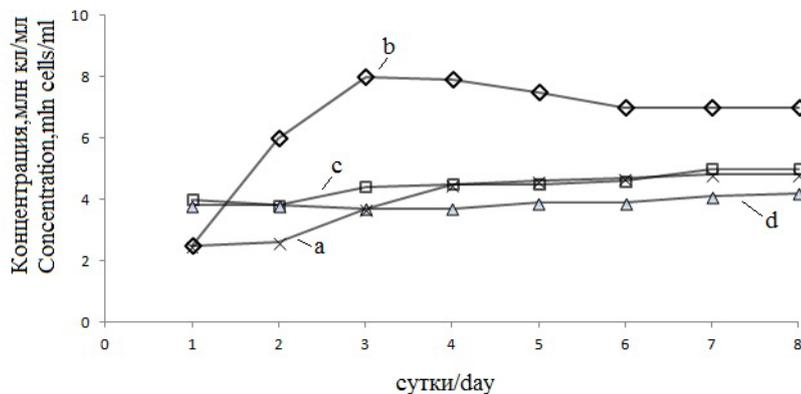


Рис. 5. Зависимость концентрации клеток *Ch. sorokiniana* при воздействии ПМП ($H = 0,5; 1; 2$ кА/м):
 a – без ПМП; b – ПМП, 2 кА/м; c – ПМП, 1 кА/м; d – ПМП, 0,5 кА/м

При воздействии ПМП напряженностью 0,5 и 1,0 кА/м прироста концентрации клеток в течение всего периода культивирования не наблюдалось.

Известно, что изменение pH среды служит интегральным косвенным показателем состояния культуры [16]. Чем выше жизнеспособность водорослей, тем значительнее изменяется при действии инсоляции реакция среды (подщелачивание) (рис. 6) в результате фотосинтетической ассимиляции углекислоты. Проведенные исследования величины pH (см. рис. 6) показали, что благоприятное влияние на жизнеспособность водоросли оказывает совместное воздействие освещения лампой дневного света (ЛДС) 1300 люкс и ПМП напряженностью 2 кА/м. Через 5 сут pH достигает 11 единиц и стабилизируется.

Было исследовано влияние ПМП 2 кА/м на размеры клеток хлореллы после культивирования в среде с аэрацией (рис. 7).

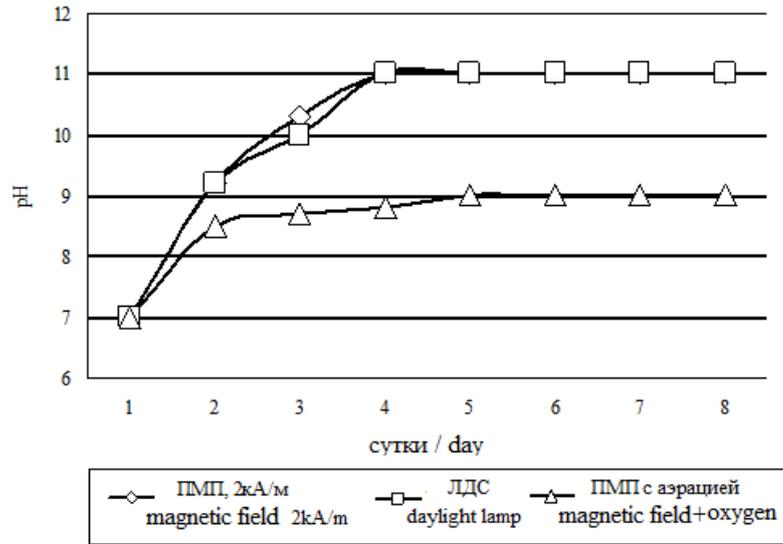


Рис. 6. Зависимость pH среды от длительности культивирования *Ch. sorokiniana* в среде при воздействии различных факторов (ПМП, ЛДС, аэрации)

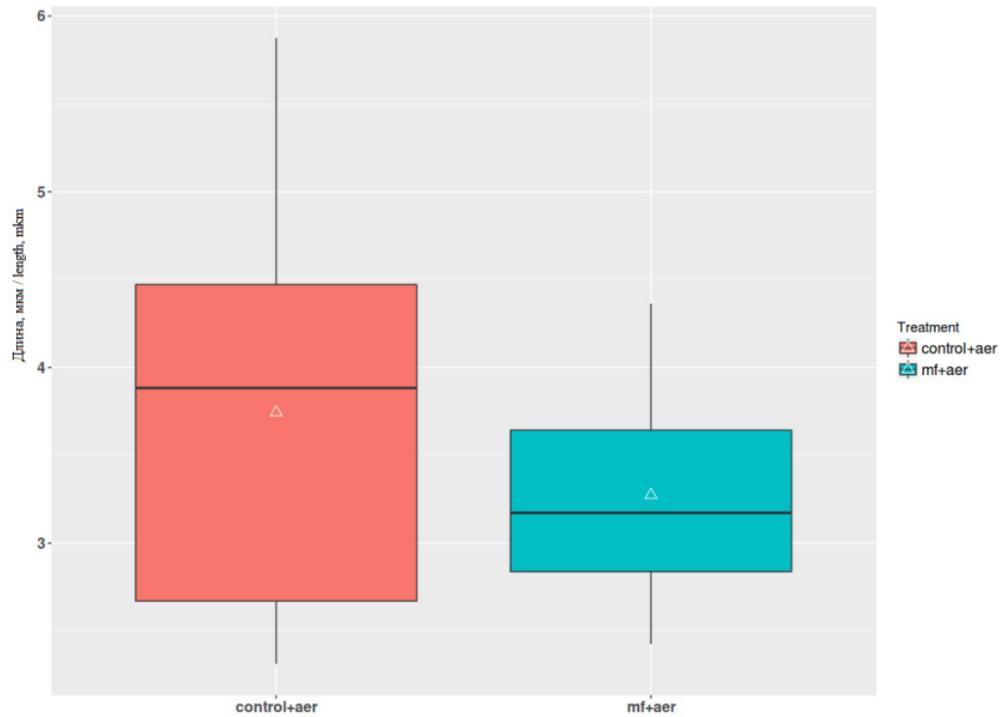


Рис. 7. Размеры клеток хлореллы в опыте с постоянным магнитным полем (бокспот-график, «ящики с усами»). Control + aer – контрольная группа (без действия постоянного магнитного поля + аэрация), mf + aer – после действия постоянного магнитного поля, 2 кА/м + аэрация. Нижняя и верхняя границы «ящиков» – 0,25- и 0,75-процентили соответственно. Линии внутри «ящиков» – медианы. Вертикальные линии, проведенные от «ящиков», указывают на минимальные и максимальные значения в выборках. Треугольниками обозначены средние значения, $n = 10$

Для выбора метода статистической обработки результатов сначала был проведен анализ выборок на равенство дисперсий и нормальность распределения значений. Результат расчета критерия Бартлетта ($T = 2,7914$, $df = 1$, p -значение = 0,0950) свидетельствует об однородности дисперсий в выборке. Проведенный тест Шапиро – Уилка показал нормальность распределения величины размера клеток ($W = 0,9400$, p -значение = 0,5527 – для выборки после действия ПМП; $W = 0,9280$, p -значение = 0,4249 – для контрольной выборки, без воздействия ПМП). На основании этих результатов был выбран однофакторный параметрический дисперсионный анализ для проверки гипотезы о различии между групповыми средними. Результаты анализа свидетельствуют об отсутствии влияния ПМП 2 кА/м на размеры клеток хлореллы ($F = 1,158$, $df = 1,15$, p -значение = 0,2961).

Заключение

В результате проведенных исследований установлено, что воздействие постоянно высоких температур (30–36 °С) в условиях открытого воздуха без подвода дополнительной аэрации является неблагоприятным фактором для развития микроводорослей *Ch. sorokiniana*.

Оптимальный температурный режим для постоянного обновления, роста и развития клеток хлореллы в естественных условиях достигался при 27–30 °С.

В ходе исследований, проведенных в лабораторных условиях, выявлен максимальный прирост клеток хлореллы при воздействии ПМП напряженностью 2 кА/м в течение первых 3 сут культивирования, после чего наблюдалась фаза стабилизации. Прирост биомассы увеличивался в 3–4 раза. Показано, что использование магнитного поля способствует агрегированию клеток. При воздействии ПМП напряженностью 0,5 и 1,0 кА/м видимого прироста концентрации клеток хлореллы по сравнению с контролем не наблюдалось в течение всего периода культивирования.

Таким образом, *Ch. sorokiniana* хорошо адаптируется к культивированию в естественных природных условиях Саратовской области, что может быть применено на практике для создания биофермы по получению биогаза и выделению большого круга биологически активных веществ.

Список литературы

1. Dvoretzky D. S., Dvoretzky S. I., Peshkova E. V. Optimization of the Process of Cultivation of Microalgae *Chlorella Vulgaris* Biomass with High Lipid Content for Biofuel Production // Chemical Engineering Transactions. 2015. № 43. P. 361–366.
2. Politaeva N. A., Atamanyuk I. V., Smyatskaya Y. A. [et al.]. Waste-free technology of *Chlorella sorokiniana* microalgae biomass usage for lipids and sorbents production // Известия высших учебных заведений. Сер.: Химия и Химическая технология. 2018. Т. 61, № 12. С. 137–143.
3. Богданов Н. И. Хлорелла: зеленый корм круглый год // Комбикорма. 2004. № 3. С. 66–72.
4. Пилигаев А. В., Сорокина К. Н., Брянская А. В. [и др.]. Исследование биоразнообразия микроводорослей Западной Сибири для применения в процессах получения биотоплива третьего поколения // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2013. Т. 17, № 2. С. 359–367.

5. Сорокина К. Н., Яковлев В. А., Пилигаев А. В. [и др.]. Потенциал применения микроводорослей в качестве сырья для биоэнергетики // Катализ в промышленности. 2012. № 2. С. 63–72.
6. Мещерякова Ю. В., Нагорнов С. А. Получение сырья для биодизельного топлива на основе масла микроводоросли хлорелла // Инновации в сельском хозяйстве. 2013. № 3. С. 39–41.
7. Смятская Ю. А., Политаева Н. А. Получение биогаза путем сбраживания остаточной биомассы микроводорослей и ряски // Бутлеровские сообщения. 2019. Т. 60, № 12. С. 146–151.
8. Politaeva N., Smyatskaya Y., Slugin V. [et al.]. Effect of laser radiation on the cultivation rate of the microalga *Chlorella sorokiniana* as a source of biofuel // IOP Conference. Ser.: Earth and Environmental Science. 2018. Vol. 115. P. 012001.
9. Богданова А. А., Суховский Н. А. Влияние различного напряжения и времени воздействия электростатического поля на морфофизиологические показатели *CHLORELLA VULGARIS* ИФР № С-111 // Материалы докладов : XXI Всерос. молодеж. науч. конф. экологии (посвящ. 70-летию А. И. Таскаева). Сыктывкар : УрО РАН, 2014. 372 с.
10. Богатина Н. И., Шейкина Н. В. Влияние магнитных полей на растения // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Сер.: Биология, химия. 2010. Т. 23, № 4. С. 45–55.
11. Ольшанская Л. Н., Титоренко О. В., Еремеева Ю. А. Влияние постоянного магнитного поля и ультрафиолетового излучения на рост высших растений и фиторемедиацию почвы от нефтепродуктов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2015. № 5. С. 43–45. ISSN 0023-1126.
12. Olshanskaja L. N., Russkikh M. L., Arefeva O. A., Vlasova E. L. Intensification of heavy metal extraction from effluent by phytoremediation using electromagnetic radiation energy and NaCl additive // Chemical and Petroleum Engineering . 2013. Vol. 49, № 7-8. P. 555–558.
13. R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, 2020. URL: <https://www.R-project.org/>
14. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М. : Физматлит, 2006. 816 с.
15. Брагазин А. А., Радаев А. А., Нижегородцев А. А., Гелашвили Д. Б. Статистический анализ экстерьерных признаков рабочих особей пород медоносной пчелы *Apis mellifera carnica* Pollmann и *Apis mellifera* // Вестник Нижегородского университета имени Н. И. Лобачевского. 2012. № 2. С. 119–122.
16. Об утверждении Методических указаний по разработке нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения : приказ Федерального агентства по рыболовству от 4 августа 2009 г. № 695 [с изм. и доп.]. URL: <https://www.base.garant.ru>

References

1. Dvoretzky D.S., Dvoretzky S.I., Peshkova E.V. Optimization of the Process of Cultivation of Microalgae *Chlorella Vulgaris* Biomass with High Lipid Content for Biofuel Production. *Chemical Engineering Transactions*. 2015;43:361–366.
2. Politaeva N.A., Atamanyuk I.V., Smyatskaya Y.A. [et al.]. Waste-free technology of *Shlorella sorokiniana* microalgae biomass usage for lipids and sorbents production. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Ser.: Khimiya i Khimicheskaya tekhnologiya* = University proceedings. Series: Chemistry and chemical technology. 2018;61(12): 137–143.
3. Bogdanov N.I. *Chlorella*: Green food all year round. *Kombikorma* = Combined feed. 2004;3:66–72. (In Russ.)

4. Piligaev A.V., Sorokina K.N., Bryanskaya A.B. [et al.]. Investigation of the biodiversity of microalgae in Western Siberia for use in the production of third-generation biofuel. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilovsky journal of genetics and selection. 2013;17(2):359–367. (In Russ.)
5. Sorokina K.N., Yakovlev V.A., Piligaev A.V. [et al.]. Potential application of microalgae as raw material for bioenergy. *Kataliz v promyshlennosti* = Industrial catalysis. 2012;2:63–72. (In Russ.)
6. Meshcheryakova Yu.V., Nagornov S.A. Obtaining raw materials for biodiesel fuel based on chlorella microalgae oil. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve* = Agricultural innovation. 2013;3:39–41. (In Russ.)
7. Smyatskaya Yu.A., Politaeva N.A. Biogas production by fermentation of residual biomass of microalgae and duckweed. *Butlerovskie soobshcheniya* = Butlerov messages. 2019;60(12):146–151. (In Russ.)
8. Politaeva N., Smyatskaya Y., Slugin V. [et al.]. Effect of laser radiation on the cultivation rate of the microalga *Chlorella sorokiniana* as a source of biofuel. *IOP Conference. Ser.: Earth and Environmental Science*. 2018;115:012001.
9. Bogdanova A.A., Sukhovskiy N.A. Influence of different voltage and time of exposure to electrostatic field on morphological parameters *CHLORELLA VULGARIS* IFR No. S-111. *Materialy dokladov: XXI Vseros. molodezh. nauch. konf. ekologii (posvyashch. 70-letiyu A. I. Taskaeva)* = Proceedings of the 21st All-Russian youth scientific conference of ecology (dedicated to the 70th anniversary of A.I. Taskaev). Syktyvkar: UrO RAN, 2014:372. (In Russ.)
10. Bogatina N.I., Sheykina N.V. The effect of magnetic fields on plants. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Ser.: Biologiya, khimiya* = Scientific notes of Tavrida National V.I. Vernadsky University. Series: Biology, chemistry 2010;23(4):45–55. (In Russ.)
11. Ol'shanskaya L.N., Titorenko O.V., Ereemeeva Yu.A. Effect of constant magnetic field and ultraviolet radiation on the growth of higher plants and phytoremediation of soil from oil products. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie* = Chemical and oil and gas engineering. 2015;5:43–45. ISSN 0023-1126. (In Russ.)
12. Olshanskaja L.N., Russkikh M.L., Arefeva O.A., Vlasova E.L. Intensification of heavy metal extraction from effluent by phytoremediation using electromagnetic radiation energy and NaCl additive. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2013;49(7-8): 555–558.
13. *R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing*. Vienna, 2020. Available at: <https://www.R-project.org/>
14. Kobzar' A.I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* = Applied mathematical statistics. For engineers and scientists. Moscow: Fizmatlit, 2006:816. (In Russ.)
15. Bragazin A.A., Radaev A.A., Nizhegorodtsev A.A., Gelashvili D.B. Statistical analysis of the exterior features of working individuals of the honeybee breeds *Apis Mellifer Karnitz Pohlmann* and *Apis Mellifer Vestnik Nizhegorodskogo universiteta imeni N. I. Lobachevskogo* = Bulletin of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod. 2012;2:119–122. (In Russ.)
16. *Ob utverzhdenii Metodicheskikh ukazaniy po razrabotke normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya: prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 4 avgusta 2009 g. № 695 [s izm. i dop.]*. = On approval of guidelines on developing water quality standards for fishery water basins, including the standards of maximum permissible concentration of hazardous substances in waters of fishery water basins: the order of the Federal Agency for Fishery of 04.08.2009 No. 695 [amended and supplemented]. Available at: <https://www.base.garant.ru> (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Оксана Анатольевна Арефьева

кандидат биологических наук, доцент
кафедры природной и техносферной
безопасности, Саратовский
государственный технический
университет имени Гагарина Ю. А.
(Россия, г. Саратов,
ул. Политехническая, 77)

E-mail: oarefeva@inbox.ru

Oksana A. Aref'eva

Candidate of biological sciences, associate
professor of the sub-department of natural
and technosphere safety, Yuri Gagarin
State University of Saratov
(77 Politekhnikeskaya street,
Saratov, Russia)

Любовь Николаевна Ольшанская

доктор химических наук, профессор,
профессор кафедры природной
и техносферной безопасности,
Саратовский государственный
технический университет
имени Гагарина Ю. А. (Россия,
г. Саратов, ул. Политехническая, 77)

E-mail: ecos123@mail.ru

Lubov N. Ol'shanskaya

Doctor of chemical sciences, professor,
professor of the sub-department of natural
and technosphere safety, Yuri Gagarin
State Technical University of Saratov
(77 Politekhnikeskaya street, Saratov,
Russia)

Ренат Шавкатович Валиев

кандидат биологических наук, ассистент
кафедры медико-биологических
дисциплин, Медицинский университет
«Реавиз» (Россия, г. Саратов,
ул. Верхний Рынок, 10)

E-mail: rw_84@mail.ru

Renat Sh. Valiev

Candidate of biological sciences, assistant
of the sub-department of medical and
biological disciplines, Saratov Medical
University "Reaviz" (10 Verkhny rynok
street, Saratov, Russia)

Поступила в редакцию / Received 09.11.2020

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 18.12.2020

Принята к публикации / Accepted 14.01.2021

УДК 639.2.053.4. 597.2/.5
doi:10.21685/2307-9150-2021-1-8

**Эффективность предотвращения «цветения»
Сурского (Пензенского) водохранилища
в зависимости от размера используемого рыбопосадочного
материала толстолобика (*Hypophthalmichthys*)**

А. Ю. Асанов

Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия
kfvniro-as@list.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Сурское (Пензенское) водохранилище является самым крупным искусственным водоемом Сурского края (Пензенской области, Республики Мордовия), главным источником водоснабжения г. Пенза и г. Заречный, основным рыбохозяйственным водоемом с промысловыми запасами рыб, местом отдыха населения. Для предотвращения «цветения» водоема в 2000, 2002 и 2003 гг. в водохранилище были вселены растительноядные рыбы и проведена альголизация хлореллой. Зарыбление проводилось и в последующие годы, что позволяло удерживать экологический баланс в водохранилище и избегать масштабного «цветения» до 2018 г. Однако в 2018 и 2019 гг. произошло массовое развитие планктона с концентрациями, создающими угрозу прекращения водоснабжения городов. Одной из причин вспышки численности планктона является снижение запасов растительноядных рыб в водохранилище по причине выедания хищниками малоразмерного рыбопосадочного материала, используемого с 2011 г. Поэтому целью данной работы является оценка эффективности предотвращения «цветения» Сурского (Пензенского) водохранилища в зависимости от размера зарыбляемого толстолобика с определением оптимальных параметров его рыбопосадочного материала. *Материалы и методы.* В работе использованы материалы по судаку *Sander lucioperca* – возрастной состав, размерно-весовые показатели, доля ихтиомассы судака от общего запаса рыб; по толстолобику *Hypophthalmichthys* – масса особи и объем зарыбляемой молоди рыб. Материалы получены в результате мониторинга водных биологических ресурсов в Сурском водохранилище в 2009–2019 гг. и зарыбления в период 2000–2019 гг. *Результаты.* В 2000–2006 гг. зарыбление толстолобика производилось в Сурском водохранилище двухлеткой с навеской 300–400 г, в 2011–2016, 2019 гг. сеголеткой массой 15–25 г. Запасы основного хищника судака в водоеме в этот период находились на максимальном уровне, составляя в среднем за последние 9 лет – $18,3 \pm 4,6$ % от общего запаса рыб. Подобный показатель в ряде волжских водохранилищ, где выедаемость хищниками сеголеток толстолобика достигает 95 %, в 6–9 раз ниже, т.е. зарыбляемые в Сурском водохранилище с 2011 г. сеголетки толстолобика, имеющие с судаком общие места нагула, фактически полностью выедаются. Численность старших поколений толстолобика 2000–2006 гг. в результате естественной убыли и вылова значительно сократилась. *Выводы.* Использование толстолобика в качестве рыбы-мелиоратора для предотвращения «цветения» Сурского водохранилища давало положительные результаты на протяжении 17 лет. При этом в качестве рыбопосадочного материала использовался толстолобик с навеской 300–400 г из рыбопитомников Пензенской области. Вероятно, улучшение экологического состояния водохранилища способствовало уменьшению гибели молоди судака и росту его численности, благодаря чему возрос пресс на молодь рыб. Поэтому, несмотря на зарыбление сеголетками толстолобика в период 2011–2019 гг., не удалось сформировать

необходимые запасы толстолобика новых поколений на фоне убыли прежних и защитить водохранилище в 2018, 2019 гг. от критически массового развития планктона. Рекомендуемые размеры рыбопосадочного материала толстолобика, избегающего воздействия со стороны судака, составляют особи массой свыше 200 г, длиной свыше 22 см, в возрасте двухлетка и старше. Использование рыбопосадочного материала из пензенских рыбопитомников ускоряет его адаптацию в водохранилище.

Ключевые слова: Сурское (Пензенское) водохранилище, фитопланктон, рыбопосадочный материал, зарыбление, толстолобик, судак

Для цитирования: Асанов А. Ю. Эффективность предотвращения «цветения» Сурского (Пензенского) водохранилища в зависимости от размера используемого рыбопосадочного материала толстолобика (*Hypophthalmichthys*) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2021. № 1. С. 87–97. doi:10.21685/2307-9150-2021-1-8

The effectiveness of preventing the “blooming” of the Surskoye (Penza) reservoir, depending on the size of the silver carp (*Hypophthalmichthys*) used for stocking

A.Yu. Asanov

Penza State Agricultural University, Penza, Russia

kfvniro-as@list.ru

Abstract. Background. The Surskoye (Penza) reservoir is the largest artificial reservoir of the Sursky Territory (Penza Region, the Republic of Mordovia), the main source of water supply for Penza and Zarechny, the main fishery reservoir with commercial fish stocks, and a recreation site for the population. To prevent “blooming” of the reservoir in 2000, 2002 and 2003 herbivorous fish were brought into the reservoir and algolization with chlorella was carried out. Stocking was carried out in subsequent years, which made it possible to maintain the ecological balance in the reservoir and avoid large-scale “blooming” until 2018. However, in 2018 and 2019, there was a massive development of plankton with concentrations that threaten to cut off the water supply to cities. One of the reasons for the outbreak of plankton numbers is a decrease in the stocks of planktivorous fish in the reservoir due to the fact that predators eat them, since 2011 they have been constantly populated by too small fish. Therefore, the purpose of this work is to assess the effectiveness of preventing the “blooming” of the Surskoe (Penza) reservoir depending on the size of the silver carp stocked with determination of the optimal parameters of its fish stocking material. **Materials and methods.** The work used materials on pike perch *Sander lucioperca* – age composition, size and weight indicators, the share of pike perch ichthyomass from the total fish stock; for silver carp *Hypophthalmichthys* – the weight of the individual and the volume of fish fry stocked. The materials were obtained as a result of monitoring of aquatic biological resources in the Surskoe reservoir in 2009–2019 and stocking in the period 2000–2019. **Results.** In 2000–2006 silver carp was released in the Surskoye reservoir at two years of age weighing 300–400 g, in 2011–2016, 2019 yearlings weighing 15–25 g. The stocks of the main predator of pike perch in the reservoir during this period were at the maximum level, averaging over the past 9 years – $18,3 \pm 4,6$ % of the total fish stock. A similar indicator in a number of Volga reservoirs, where the loss of silver carp under-yearlings from predators reaches 95 %, is 6–9 times lower. That is, under-yearlings of silver carp, stocked in the Surskoe reservoir since 2011, having common feeding grounds with pike-perch, are practically completely consumed. The number of older generations of silver carp 2000–2006 due to natural loss and catch has decreased significantly. **Conclusions.** The use of silver carp as a melioration fish for preventing the “blooming” of the Surskoye

reservoir gave positive results for 17 years. At the same time, a silver carp weighing 300–400 g from fish hatcheries of the Penza region was used for the introduction. Probably, the improvement of the ecological state of the reservoir contributed to a decrease in the mortality of juvenile zander and an increase in its number, due to which the pressure on juvenile fish increased. Therefore, despite the stocking of silver carp under the year in 2011–2019 it was not possible to form the necessary stocks of silver carp of new generations against the background of the decline of the previous ones and to protect the reservoir in 2018, 2019 from the critical mass development of plankton. The recommended sizes of juvenile silver carp, avoiding eating by pike-perch, are individuals weighing more than 200 g, more than 22 cm in length, at the age of two years and older. The use of silver carp from Penza fish hatcheries accelerates their adaptation in the reservoir.

Keywords: Surskoye (Penza) reservoir, phytoplankton, juveniles of cultivated fish, stocking, silver carp, pike perch

For citation: Asanov A.Yu. The effectiveness of preventing the “blooming” of the Surskoye (Penza) reservoir, depending on the size of the silver carp (*Hypophthalmichthys*) used for stocking. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2021;1:87–97. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2021-1-8

Введение

Сурское (Пензенское) водохранилище является самым крупным искусственным водоемом регионов Сурского края – Пензенской области и Республики Мордовия, главным источником водоснабжения г. Пенза, г. Заречный, рыбохозяйственным водоемом высшей категории с промысловыми запасами рыб и местом отдыха населения [1–3]. К началу 2000-х гг. в результате поступления в него с водосборной площади избыточного количества органических и биогенных веществ, ежегодно возрастающего поступления аллохтонных веществ, произошло ухудшение качества воды и развитие сине-зеленых водорослей, вызывающих «цветение» воды с накоплением избыточной массы [4]. В результате возникли трудности при подаче воды в городскую водопроводную сеть, ухудшился ее химический состав, санитарные показатели, из-за дефицита кислорода отмечалась массовая гибель молоди рыб наиболее требовательных к его содержанию – судака *Sander lucioperca* и окуня *Perca fluviatilis* [3].

Для нормализации экологического состояния в 2000, 2002 и 2003 гг. в водохранилище были зарыблены растительноядные рыбы (белый толстолобик *Hypophthalmichthys molitrix*, пестрый толстолобик *H. nobilis*, белый амур *Stenopharyngodon idella*) и проведена альголизация хлореллой *Chlorella*. В результате, несмотря на содержание биогенов в воде, благоприятных для «цветения», массового и затяжного развития сине-зеленых водорослей в 2001–2003 гг. не наблюдалось. Большая роль в снижении численности водорослей в водохранилище принадлежала растительноядным рыбам [4, 5]. И в дальнейшем четырнадцать лет водохранилище не «цвело».

По сообщению ООО «Горводоканал» с июня по сентябрь 2018 г. на водозаборе плотины стало отмечаться содержание планктона до 0,6 миллиона клеток/литр (млн кл./л) в сентябре. В 2019 г. планктон наблюдался в тот же период с двумя максимумами: в июле – 2,2 млн кл./л, в сентябре – 1,6 млн кл./л. При подобных концентрациях возникла реальная угроза прекращения водоснабжения г. Пензы и г. Заречный. В 2019 г. первоначально

фитопланктон был представлен сине-зелеными и зелеными водорослями, затем до конца августа преобладал один вид – представитель диатомовых *Synedra* sp. В конце августа – начале сентября диатомовые водоросли стали замещаться сине-зелеными и с 6 сентября преобладающим видом стал представитель сине-зеленых *Oscillatoria* sp. Кроме фитопланктона, отмечалось массовое присутствие и зоопланктона.

Одной из причин вспышки численности планктона, по нашему мнению, является снижение численности растительноядных видов рыб в водохранилище, обусловленное выеданием хищниками рыбопосадочного материала. Поэтому целью данной работы является оценка эффективности зарыбления водохранилища растительноядными видами рыб в зависимости от размера рыбопосадочного материала и определение его оптимальных параметров для дальнейшей биомелиорации водоема.

Материалы и методы

Автор в составе комиссий принимал участие в зарыблении Сурского (Пензенского) водохранилища в период 2011–2019 гг. В работе использовались материалы по зарыблению, предоставленные: Пензенским отделом Средневолжского управления Росрыболовства, Министерством сельского хозяйства Пензенской области, Министерством лесного, охотничьего хозяйства и природопользования Пензенской области. Приводятся материалы по состоянию популяции судака, ихтиомассе рыб водохранилища, полученные в результате выполнения нами государственного задания «Комплексное изучение водных биологических ресурсов и среды их обитания в пресноводных водоемах Краснодарского и Ставропольского краев, республик Адыгея, Калмыкия, Мордовия, Карачаево-Черкессия, Пензенской области» за 2009–2017 гг. [2, 6, 7]. Информация по составу уловов в Сурском водохранилище в 2018–2019 гг. взята из материалов Волжско-Камского научно-промыслового совета Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна (2019, 2020).

Для определения размеров потребляемых судаком Сурского водохранилища рыб-жертв использовали данные по возрастному составу, размерно-весовым характеристикам судака за три года (2012–2014). Размеры массы тела белого толстолобика в зависимости от длины рассчитывали по формуле

$$V = 0,017413 l^{3,03},$$

где V – масса тела; l – длина тела [8].

Работа по эффективности зарыбления растительноядными видами рыб выполнялась в 2019 г. в рамках комплексных исследований по заказу Министерства сельского хозяйства Пензенской области «Разработка рекомендаций по нейтрализации вспышки численности водорослей Пензенского водохранилища путем реконструкции его ихтиофауны» под общим руководством профессора А. И. Иванова (ФГБОУ ВО «Пензенский государственный аграрный университет»).

Результаты и обсуждение

Для борьбы с сине-зелеными водорослями зарыбление белого и пестрого толстолобиков в Сурское водохранилище проводилось с 2000 г. (табл. 1). В 2000–2006 гг. толстолобик зарыблялся с навеской 300–400 г в количестве

4,7–10,2 тыс. экземпляров. В 2011–2014 гг. массой 25 г; в 2011–2013 гг. в количестве 2,6–2,8 тыс. экземпляров, в 2014 г. – 0,4 тыс. экземпляров. В 2015 г. было зарыблено 9,9 тыс. экземпляров навеской 20 г, в 2019 г. – 26,4 тыс. экземпляров навеской 15 г. Зарыбленный пестрый толстолобик в 2000 г. в возрасте 1+ (двухлетки) массой 375 г, в 2002 г. при отловах в Приплотинном плесе в возрасте 3+ достиг массы 1,1–1,5 кг, в возрасте 5+ – 3,0 кг [4].

Таблица 1

Зарыбление Пензенского (Сурского) водохранилища
в период 2000–2019 гг.

Годы	Виды рыб	Масса, г	Зарыблено, кг	Место зарыбления
2000–2004	Толстолобик	375	8500,0	Приплотинный плес (насосная станция)
	Белый амур	75	1125,0	
	Буффало	50	625,0	
2005	Толстолобик	400	1880	
	Белый амур	400	520	
2006	Толстолобик	300	3060	
	Белый амур	400	600	
2011	Толстолобик	25	720,74	
	Белый амур	25		
2012	Толстолобик	25	650,01	
	Белый амур	25		
2013	Толстолобик	25	671,03	
	Белый амур	25		
2014	Толстолобик	25	11	
	Белый амур	25	9	
	Сазан	25	710	
2015	Толстолобик	20	1978	
	Белый амур	20	14	
	Сазан	20	1150	
2016	Толстолобик	25	759	
2017	Сазан	20–250	806	
	Стерлядь	11	63	
2018	–	–	–	
2019	Толстолобик	15	3963	
	Сазан	20	221	
	Стерлядь	3	19	

Также в рыбохозяйственных целях в водохранилище производился выпуск буффало *Ictiobus bubalus*, сазана *Cyprinus carpio*, волжской стерляди *Acipenser ruthenus* (см. табл. 1).

К 2015 г. сказались естественная убыль поколений толстолобика зарыбленного в нулевые годы, а также появление и активное использование специализированных удочек для его отлова рыбаками-любителями, браконьерский лов в местах скопления крупного толстолобика в водохранилище (здесь ставной сетью был отловлен самый крупный экземпляр массой 25 кг).

В результате его запасы в значительной степени были снижены. Тем не менее благодаря достаточной ихтиомассе толстолобика в водоеме до 2018 г. не отмечалось столь значительных всплесков биомассы планктона.

Толстолобик как пелагическая рыба с прогонистым телом подвержен воздействию со стороны хищных рыб. Главным пелагическим хищником водохранилища является судак, численность других хищных рыб невелика. Запасы судака находятся в очень хорошем состоянии (рис. 1), достигая в отдельные годы около 28 % от общего запаса рыб, в среднем за последние 9 лет $18,3 \pm 4,6$ %. Для сравнения с другими водоемами, где судак является объектом промышленного лова, его доля составляет: Саратовское водохранилище – 2 %, Куйбышевское – 3 %, Чебоксарское – 3 %, оз. Ильмень – 6 % [9].

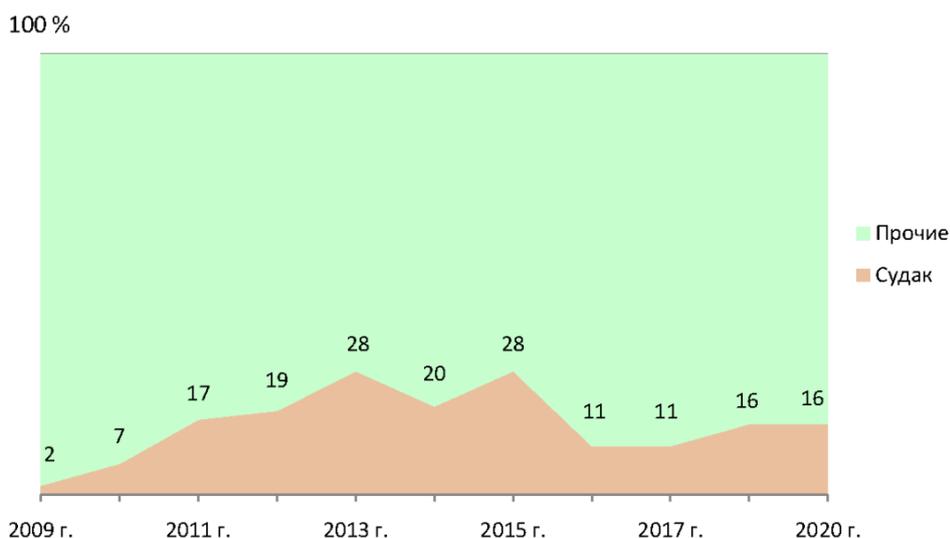


Рис. 1. Доля ихтиомассы судака от общего запаса рыб Сурского водохранилища в 2009–2020 гг.

Исследования воздействия хищников на рыб-жертв в Саратовском водохранилище показали, что растительноядные рыбы длиной до 15 см выедаются до 95 %, 15–20 см – до 80 %, 20–25 см – до 30 %. В Куйбышевском водохранилище промвозврат от выпуска рыб длиной 11–14 см с навеской 30–52 г составил менее 1 % [9]. При постоянном научно-исследовательском отлове рыб набором исследовательских сетей по сетке станций в Срединном, Узинском и Сурском плесах Сурского водохранилища за последние десять лет всего отловлено около 10 тыс. экземпляров рыб, из которых лишь 6 экземпляров толстолобика навеской 0,5–1,2 кг.

Учитывая, что рыбы-вселенцы в большей степени подвержены воздействию рыб-хищников [10], при существующей численности судака в Сурском водохранилище, зарыбление растительноядных рыб сеголетками массой 15–25 г совершенно неэффективно. Очевидно, подобное относится к сазану и стерляди.

Наиболее типичные показатели популяции судака за рассматриваемый период приведены в табл. 2.

Таблица 2

Численность и размерно-весовой состав судака
Сурского водохранилища по возрастам за ряд лет

Год	Возраст, лет								
	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+
Численность, %									
2012	–	6,3	16,7	24,6	27,0	15,9	4,7	4,0	–
2013	1,6	1,6	12,0	13,6	35,2	20,8	12,0	1,6	1,6
2014	–	1,3	23,1	9,0	14,1	21,8	26,9	3,8	–
Линейный рост, см									
2012	–	25,8	30,1	32,9	38,1	43	52,3	56,2	–
2013	17,5	22,5	30,2	34,9	39,1	43,2	47,6	54	57,6
2014	–	23	29,6	35,3	39,2	43,3	48,9	53	–
Весовой рост, г									
2012	–	232	350	479	827	1127	2060	2640	–
2013	73	153	376	604	862	1180	1523	2033	2700
2014	–	178	372	577	883	1190	1655	2193	–

Размеры «жертв» судака по средним показателям табл. 2 с учетом формулы зависимости массы тела толстолобика от длины приведены в табл. 3.

Таблица 3

Размеры «жертв» судака по средним показателям 2012–2014 г.

Хищник	Судак								
	1+	2+	3+	4+	5+	6+	7+	8+	9+
Возраст, лет									
Численность, %	0,5	3,1	17,3	15,7	25,4	19,5	14,5	3,1	0,5
Масса, г	73	188	366	553	857	1166	1746	2289	2700
Длина, см	17,5	23,8	30,0	34,4	38,8	43,2	49,6	54,4	57,6
Жертва	Толстолобик								
Длина, см	7,0	9,5	12,0	13,8	15,5	17,3	19,8	21,8*	20,2
Масса, г	6	16	32	50	70	98	148	198*	157

Примечание. * Максимальные размеры «жертв» судака в Сурском водохранилище.

По литературным данным, размеры рыб-жертв судака до достижения им длины 50–55 см, составляют до 40 % длины тела, у более крупных судаков данный процент снижается (см. табл. 3) [10]. Таким образом, зарыбляемый в водохранилище толстолобик массой 15–20 г становился добычей судака с двухлетнего возраста, массой 25 г – с трехлетнего. Судак в возрасте 7+, численность которого еще достаточно велика (14,5 %), способен выедать 4 % рыб длиной 20 см и массой 150 г. Не подвержены выеданию толстолобики, достигшие длины – 21,8 см и массы 198 г. Возрастной судак 8+ и старше

очевидно уже утрачивает бросковую скорость и не способен охотиться на более крупных рыб-жертв.

Кроме того, из-за недостаточно залитых в нерестовый период нерестилищ в 2018–2019 гг. воспроизводство рыб в водохранилище было ограничено. Соответственно, из-за недостатка корма пресс судака на зарыбляемую молодь также в настоящее время возрос.

Исходя из полученных результатов, во избежание гибели зарыбляемого толстолобика от хищников рекомендуемые размеры рыбопосадочного материала составляют особи массой свыше 200 г, длиной свыше 22 см, в возрасте 2 года и старше. Например, рекомендуемая навеска толстолобика для зарыбления Саратовского водохранилища составляет 200–220 г [9].

Зарыбление в 2000–2006 гг. осуществлялось из рыбопитомников Пензенской области. Двухлетки толстолобиков в прудах по нормативам достигали 400 г и они использовались как рыбопосадочный материал [11]. В настоящий период в связи со смещением рыбоводных зон темп роста двухлетка толстолобика в пензенских прудах увеличился до 600 г [12]. При увеличении плотности посадки можно получать и меньшие навески, хотя при использовании растительноядных рыб имеет значение не численность, а биомасса, по которой определяется объем потребления фитопланктона, кормовой коэффициент – 40–50 [4, 7, 13].

Рыбопосадочный материал из пензенских рыбопитомников районирован и имеет все необходимое для успешной адаптации в водохранилище [14]. Сеголетки толстолобика и сазана, поставляемые из саратовских рыбопитомников, судя по черной окраске спины из-за постоянного пребывания в верхнем слое воды и низкой упитанности, очевидно, выращивалась при высоких плотностях посадки, дефиците кислорода и естественной кормовой базы, высоких температурах воды. При попадании в Сурское водохранилище им необходима длительная адаптация к условиям водоема, выработке поведенческих защитных реакций на хищника и набора оптимальной упитанности для их успешной реализации.

Традиционное место зарыбления рыбопосадочным материалом в водохранилище является Приплотинный плес (насосная станция). Однако в Приплотинном плесе существуют не только наиболее благоприятные условия обитания для толстолобика, но и для судака – большие глубины, проточность, кислородный режим, свободные от укрытий площади нагула. Кроме того, в отличие от других участков водохранилища, где ведется постоянная охота на судака рыбаками-любителями и спортсменами, лов на данном плесе запрещен.

Анализируя ситуацию за прошедшие десятилетия, выяснено, что зарыбление Сурского водохранилища сеголетками толстолобика и, возможно, другими ценными видами рыб совершенно не эффективно.

Заключение

Использование толстолобика в качестве рыбы-мелиоратора по предотвращению «цветения» Сурского водохранилища показывало положительные результаты на протяжении 17 лет. При этом в качестве рыбопосадочного материала использовался толстолобик с навеской 300–400 г из рыбопитомников Пензенской области. Вероятно, улучшение экологического состояния

водохранилища способствовало уменьшению гибели молоди судака и росту его численности, в несколько раз превышающую долю судака в волжских водохранилищах с развитым промыслом. Высокая численность судака не позволяет производить зарыбление сеголетками толстолобика и, возможно, других видов из-за их тотальной выедаемости. Поэтому, несмотря на зарыбление сеголетками толстолобика в период 2011–2019 гг. в сумме более высокой численностью, чем в предыдущие годы, его запасов оказалось недостаточно для сохранения водохранилища в 2018, 2019 гг. от критически массового развития планктона. Расчетные рекомендуемые размеры рыбопосадочного материала толстолобика, избегающего воздействия со стороны судака, составляют особи массой свыше 200 г, длиной свыше 22 см, в возрасте двухлетки и старше. Также с целью эффективного использования планктона на акватории водоема зарыбление толстолобика целесообразно проводить и на других плесах водохранилища. С целью оптимальной адаптации рекомендуется использовать рыбопосадочный материал из рыбопитомников Пензенской области.

Список литературы

1. Иванов А. И., Чернышов Н. В., Кузин Е. Н. Природные условия Пензенской области. Современное состояние. Т. 1. Геологическая среда, рельеф, климат, поверхностные воды, почвы, растительный покров : монография. Пенза : РИО ПГСХА, 2017. 236 с. ISBN 978-5-94338-873-6
2. Правила рыболовства для Волжско-Каспийского рыбохозяйственного бассейна : приказ Минсельхоза России от 18.11.2014 № 453 [ред. от 25.07.2019]. URL: <https://www.base.garant.ru>
3. Асанов А. Ю. Водные биологические ресурсы Пензенской области. Сурское водохранилище // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство. 2015. № 1. С. 14–25. ISSN 2073-5529
4. Богданов Н. И. Биологические основы предотвращения «цветения» Пензенского водохранилища синезелеными водорослями. Пенза : РИО ПГСХА, 2007. 76 с.
5. Богданов Н. И., Парамонов В. К. Роль растительноядных рыб в биологической мелиорации Пензенского водохранилища // Химическое загрязнение среды обитания и проблемы экологической реабилитации нарушенных экосистем : сб. материалов науч.-практ. конф. Пенза, 2003. С. 21, 22.
6. Асанов А. Ю., Осипов В. В. Прогнозы возможного вылова рыбы в Пензенской области в 2017 г. // Наука, образование и инновации : сб. ст. Уфа : МЦИИ ОМЕГА САЙНС, 2016. Ч. 5. С. 32–35.
7. Асанов А. Ю. Перспективы рыбохозяйственного использования Сурского водохранилища // Нива Поволжья. 2017. № 4. С. 10–16. ISSN 1998-6092
8. Москул Г. А. Биологические основы рыбохозяйственного освоения внутренних водоемов Северного Кавказа : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1995. 51 с.
9. Современное состояние рыбного хозяйства на внутренних водоемах России / под ред. Д. И. Иванова, А. С. Печникова. – СПб. : Комплекс, 2004. 580 с.
10. Шаповалов М. Е. Результаты интродукции судака *Sander lucioperca* в озеро Ханка // Известия ТИНРО. 2018. Т. 192. С. 47–63. ISSN 1606-9919
11. Богданов Н. И., Асанов А. Ю. Прудовое рыбоводство Пензенской области. Пенза : РИО ПГСХА, 2005. 68 с.
12. Шаляпин Г. П. Последствия изменения климата в России для рыбоводства // Рыбоводство. 2009. № 3–4. С. 18, 19.
13. Козлов В. И., Иванова Ю. С. Эколого-рыбохозяйственная оценка озера Сенеж // Рыбное хозяйство. 2013. № 1. С. 18–25. ISSN 0131-6184

14. Асанов А. Ю. Развитие рыбоводства в Пензенской области // Рыбоводство. 2020. № 1–2. С. 26–29.

References

1. Ivanov A.I., Chernyshov N.V., Kuzin E.N. *Prirodnye usloviya Penzenskoy oblasti. Sovremennoe sostoyanie. T. 1. Geologicheskaya sreda, rel'ef, klimat, poverkhnostnye vody, pochvy, rastitel'nyy pokrov: monografiya* = Natural conditions of the Penza region. Contemporary state. Volume 1. Geological environment, relief, climate, surface waters, soils, vegetation cover: monograph. Penza: RIO PGSKhA, 2017:236. ISBN 978-5-94338-873-6. (In Russ.)
2. *Pravila rybolovstva dlya Volzhsko-Kaspiyskogo rybokhozyaystvennogo basseyna: prikaz Minsel'khoza Rossii ot 18.11.2014 № 453 [red. ot 25.07.2019]* = Fishing rules for the Volga-Caspian fishery basin: order of the Ministry of Agriculture of Russia from November 18, 2014 No. 453 (edited from July 25, 2019). Available at: [https:// www. base.garant.ru](https://www.base.garant.ru). (In Russ.)
3. Asanov A.Yu. Aquatic biological resources of the Penza region. Surskoye reservoir. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo univer-siteta. Ser.: Rybnoe khozyaystvo* = Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fishery. 2015; 1:14–25. ISSN 2073-5529. (In Russ.)
4. Bogdanov N.I. *Biologicheskie osnovy predotvrashcheniya «tsveteniya» Penzenskogo vodokhranilishcha sinezelenymi vodoroslyami* = Biological bases of “blooming” prevention of the Penza reservoir with blue-green algae. Penza: RIO PGSKhA, 2007:76. (In Russ.)
5. Bogdanov N.I., Paramonov V.K. The role of herbivorous fish in biological reclamation of the Penza reservoir. *Khimicheskoe zagryaznenie sredy obitaniya i problemy ekologicheskoy rehabilitatsii narushennykh ekosistem: sb. materialov nauch.-prakt. konf.* = Chemical pollution of the habitat and problems of ecological rehabilitation of disturbed ecosystems: proceedings of scientific and practical conference. Penza, 2003:21, 22. (In Russ.)
6. Asanov A.Yu., Osipov V.V. Forecasts of possible fish catch in the Penza region in 2017. *Nauka, obrazovanie i innovatsii: sb. st.* = Science, education and innovations: collected articles. Ufa: MTsII OMEGA SAYNS, 2016;5:32–35. (In Russ.)
7. Asanov A.Yu. Prospects for the fishery use of the Surskoye reservoir. *Niva Povolzh'ya* = Field of the Volga region journal. 2017;4:10–16. ISSN 1998-6092. (In Russ.)
8. Moskul G.A. *Biologicheskie osnovy rybokhozyaystvennogo osvoeniya vnutrennikh vodoemov Severnogo Kavkaza: avtoref. dis. d-ra biol. nauk* = Biological bases of fishery development of inland water bodies of the North Caucasus: author's abstract of dissertation to apply for the degree of the doctor of biological sciences. Moscow, 1995:51. (In Russ.)
9. Ivanova D.I., Pechnikova A.S. ed. *Sovremennoe sostoyanie rybnogo khozyaystva na vnutrennikh vodoemakh Rossii* = The current state of fisheries in inland water bodies of Russia. Saint-Petersburg: Kompleks, 2004:580. (In Russ.)
10. Shapovalov M.E. The results of the introduction of the pike perch Sander luchiperch into Lake Khanka. *Izvestiya TINRO* = Proceedings of Transactions of the Pacific Research Institute of Fisheries and Oceanography. 2018;192:47–63. ISSN 1606-9919. (In Russ.)
11. Bogdanov N.I., Asanov A.Yu. *Prudovoe rybovodstvo Penzenskoy oblasti* = Pond fish farming of the Penza region. Penza: RIO PGSKhA, 2005:68. (In Russ.)
12. Shalyapin G.P. Consequences of climate change in Russia for fish farming. *Rybovodstvo* = Fish breeding. 2009;3–4:18,19. (In Russ.)
13. Kozlov V.I., Ivanova Yu.S. Ecological and fisheries assessment of Lake Senezh. *Rybnoe khozyaystvo* = Fishery. 2013;1:18–25. ISSN 0131-6184. (In Russ.)

14. Asanov A.Yu. Development of fish farming in the Penza region. *Rybovodstvo* = Fish breeding. 2020;1–2:26–29. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Алик Юсупович Асанов

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Приволжский научный центр аквакультуры и водных биоресурсов, Пензенский государственный аграрный университет (Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)

E-mail: kfvniro-as@list.ru

Alik Yu. Asanov

Candidate of biological sciences, senior researcher, Volga Research Center of Aquaculture and Aquatic Bioresources, Penza State Agricultural University (30 Botanicheskaya street, Penza, Russia)

Поступила в редакцию / Received 29.12.2020

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 19.01.2021

Принята к публикации / Accepted 22.01.2021

Уважаемые читатели!

Для гарантированного и своевременного получения журнала **«Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки»** рекомендуем вам оформить подписку.

Журнал выходит 4 раза в год по тематике • биология.

Стоимость одного номера журнала – 500 руб. 00 коп.

Для оформления подписки через редакцию необходимо заполнить и отправить заявку в редакцию журнала: тел. (841-2) 64-32-89; E-mail: VolgaVuz@mail.ru

Подписку можно оформить по объединенному каталогу «Пресса России», тематические разделы: «Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов», «Природа. Мир животных и растений. Экология», «Химия. Нефтехимия. Нефтегазовая промышленность». Подписной индекс – 70238.

ЗАЯВКА

Прошу оформить подписку на журнал «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки» на 20__ г.

№ 1 – _____ шт., № 2 – _____ шт., № 3 – _____ шт., № 4 – _____ шт.

Наименование организации (полное) _____

ИНН _____ КПП _____

Почтовый индекс _____

Республика, край, область _____

Город (населенный пункт) _____

Улица _____ Дом _____

Корпус _____ Офис _____

ФИО ответственного _____

Должность _____

Тел. _____ Факс _____ E-mail _____

Руководитель предприятия _____

(подпись)

(ФИО)

Дата «___» _____ 20__ г.