

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 3 (43)

2023

СОДЕРЖАНИЕ

БОТАНИКА

- Зверева Г. К.* Сравнительное исследование хлоренхимы вегетативных органов у *Phragmites australis* и *Molinia caerulea* (Poaceae, Arundinoideae)..... 3
- Лысенко Т. М.* Ассоциация *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* из Пензенской области..... 19
- Шарая Л. С., Иванова А. В., Аристова М. А., Кузнецова Р. С., Костина Н. В., Розенберг Г. С.* Зависимость числа основных таксонов флор от климатических показателей на территории центральной части Волжского бассейна 29

ЗООЛОГИЯ

- Асанов А. Ю.* Особенности формирования естественной рыбопродуктивности мелководного водоема свободного от ихтиофауны на западном склоне Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области 43
- Золина Н. Ф.* Характеристика популяций бездомных кошек в городе Пензе 57

ЭКОЛОГИЯ

- Рыжова Ю. А.* Популяционная структура *Scilla sibirica* Haw. в условиях северной лесостепи 70

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- Михайлова И. Д., Лукаткин А. С.* Влияние регуляторов роста на каллусогенез *in vitro* у огурца и редиса 80
- Рассохина И. И., Маракаев О. А.* Оценка морфофизиологических параметров и продуктивности обыкновенного ячменя (*Hordeum vulgare* L.) при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 92

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Леонтьев И. С.* Особенности развития пушистого коконопряда (*Eriogaster lanestris* Linnaeus, 1758) в лабораторных и природных условиях 105

UNIVERSITY PROCEEDINGS VOLGA REGION

NATURAL SCIENCES

№ 3 (43)

2023

CONTENTS

BOTANY

- Zvereva G.K.** Comparative study of chlorenchyma of vegetative organs in *Phragmites australis* and *Molinia caerulea* (Poaceae, Arundinoideae).....3
- Lysenko T.M.** Association of *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* from Penza region.....19
- Sharaya L.S., Ivanova A.V., Aristova M.A., Kuznetsova R.S., Kostina N.V., Rozenberg G.S.** Dependence of main flora taxa number of flora on climatic indicators in the central Volga basin.....29

ZOOLOGY

- Asanov A.Yu.** The features of the natural fish productivity formation of a shallow reservoir free of ichthyofauna on the western slope of the Volga upland within Penza region.....43
- Zolina N.F.** Characteristics of stray cat populations in Penza57

ECOLOGY

- Ryzhova Yu.A.** Population structure of *Scilla sibirica* Haw. in the conditions of the northern forest-steppe70

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

- Mikhailova I.D., Lukatkin A.S.** The effect of growth regulators on *in vitro* callus formation in cucumber and radish80
- Rassokhina I.I., Marakaev O.A.** Assessment of morphophysiological parameters and productivity of *Hordeum vulgare* under the action of *Pseudomonas* sp. GEOT18 strain suspension.....92

BRIEF MESSAGES

- Leontiev I.S.** Features of the development of fluffy cocoon moths (*Eriogaster lanestris* Linnaeus, 1758) in laboratory and natural conditions.....105

УДК 581.823:582.52/.59

doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-1

Сравнительное исследование хлоренхимы вегетативных органов у *Phragmites australis* и *Molinia caerulea* (Poaceae, Arundinoideae)

Г. К. Зверева

Новосибирский государственный педагогический университет,
Новосибирск, Россия;

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН,
Краснообск, Новосибирская обл., Россия

labspp@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Описание ассимиляционной ткани у злаков подсемейства Arundinoideae проводилось на поперечных сечениях надземных органов. Целью работы было сравнительное изучение пространственной формы ассимиляционных клеток и структуры хлоренхимы вегетативных органов у *Phragmites australis* и *Molinia caerulea* как представителей подсемейства Arundinoideae, имеющих арундиноидный тип листовой анатомии. *Материалы и методы.* У *P. australis* и *M. caerulea* исследовалось анатомическое строение хлорофиллоносной паренхимы листовых пластинок и листовых влагалищ, расположенных в средней части генеративного побега, а также стебля в верхней его части на поперечных и продольных срезах под световым микроскопом. Растительные образцы фиксировались в смеси Гаммалунда. *Результаты.* Хлоренхима вегетативных органов *P. australis* представлена преимущественно разными вариантами ячеистых и лопастных клеток, как плоскими, когда сложные проекции имеются только в одном направлении, так и более усложненными, имеющими сложные контуры в двух и трех направлениях. Ассимиляционная ткань вегетативных органов *M. caerulea* в основном состоит из плоских ячеистых клеток. *Выводы.* В вегетативных органах *P. australis* и *M. caerulea* наблюдается достаточно плотное расположение небольших по размерам клеток хлоренхимы, особенно под эпидермами, листья обоих видов близки по плотности заполнения их хлоропластами. В то же время эти злаки различаются по строению мезофилла листовых пластинок и разнообразию форм ассимиляционных клеток в хлоренхиме вегетативных органов.

Ключевые слова: арундиноидный тип листовой анатомии злаков, хлоренхима, ячеистые клетки, лопастные клетки, сложные ячеисто-лопастные формы клеток

Для цитирования: Зверева Г. К. Сравнительное исследование хлоренхимы вегетативных органов у *Phragmites australis* и *Molinia caerulea* (Poaceae, Arundinoideae) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 3. С. 3–18. doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-1

Comparative study of chlorenchyma of vegetative organs in *Phragmites australis* and *Molinia caerulea* (Poaceae, Arundinoideae)

G.K. Zvereva

Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia;
Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian
Academy of Sciences, Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

labspp@yandex.ru

Abstract. *Background.* The description of assimilatory tissue in grasses of the subfamily Arundinoideae was carried out on cross-sections of aboveground organs. The purpose of the work was a comparative study of the spatial form of assimilatory cells and the structure of the chlorenchyma of vegetative organs in *Phragmites australis* and *Molinia caerulea*, as representatives of the subfamily Arundinoideae, which have an arundinoid type of leaf anatomy. *Materials and methods.* At *P. australis* and *M. caerulea*, the anatomical structure of the chlorophyll-bearing parenchyma of leaf blades and leaf sheaths located in the middle part of the generative shoot, as well as the stem in its upper part, was studied in transverse and longitudinal sections under a light microscope. Plant samples were fixed in mixture of Hammalunda. *Results.* The chlorenchyma of vegetative organs of *P. australis* is represented by different variants of cellular and lobed cells, both flat, when complex projections are available only in one direction, and more complicated, having complex contours in two and three directions. The assimilation tissue of the vegetative organs of *M. caerulea* mainly consists of flat cellular cells. *Conclusions.* In the vegetative organs of *P. australis* and *M. caerulea*, a fairly dense arrangement of small-sized chlorenchyma cells, especially under the epidermis, is observed, the leaves of both species are close in their density of filling with chloroplasts. At the same time, these grasses differ in the structure of the mesophyll of leaf blades and the variety of forms of assimilatory cells in the chlorenchyma of vegetative organs.

Keywords: arundinoid type of leaf anatomy of grasses, chlorenchyma, cellular cells, lobed cells, complex cellular-lobed forms of cells

For citation: Zvereva G.K. Comparative study of chlorenchyma of vegetative organs in *Phragmites australis* and *Molinia caerulea* (Poaceae, Arundinoideae). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2023;(3):3–18. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-1

Введение

У злаков подсемейства Arundinoideae выделяют арундиноидный тип листовой анатомии, для которого характерно наличие крупноклетной паренхимной обкладки пучков без хлоропластов и относительно слабое развитие внутренней обкладки, при этом клетки мезофилла расположены плотно и отчасти радиально вокруг пучков [1, 2]. В то же время отмечалось, что это подсемейство является таксономически проблематичной группой, не имеющей надежных диагностических признаков [3]. Так, для листьев многих видов этого таксона выделялось отсутствие радиального расположения мезофилла, состоящего в основном из равносторонних клеток, но у *Phragmites australis* описывают клетки со впячиваниями [4]. В то же время в качестве характерных признаков подсемейства рассматривают наличие ассимиляционных клеток с выростами внутрь полости (armcells) и отсутствие фузоидных клеток (fusoidcells) [5].

В рамках подсемейства Arundinoideae в классификации Н.Н. Цвелёва [2] *Phragmites australis* (Cav.) Steud. и *Molinia caerulea* Moench относились соответственно к трибам Arundineae и Molinieae, в современной классификации с использованием методов молекулярной филогенетики родство этих видов усиливается, так как они включены в кладу PACMAD, трибу Molinieae и подтрибу Moliniinae [6].

Считается, что *P. australis* относится к числу древнейших из современных злаков [7]. Это мощное влаголюбивое многолетнее корневищное растение, часто доминирующее в травостое, может приспосабливаться к различным условиям среды, формируя экотипы с разной фенотипической пластичностью [8]. Листья *P. australis* широкие, но жесткие и достаточно ксероморфные, строение их мезофилла описывается как состоящее из однородных плотно сомкнутых вытянутых палисадообразных клеток [9], в то же время отмечается широкое присутствие клеток сложной формы «armcells» [10]. В сложении ассимиляционной ткани листовых пластинок выделяют также внешнюю и внутреннюю части мезофилла [11]. Внешняя часть присутствует под обеими поверхностями листа и состоит из нескольких слоев плотно прижатых клеток, внутренняя часть представлена более крупными и рыхло расположенными клетками нерегулярной формы. В фотосинтетической паренхиме листьев тростника нами были выделены ячеистые и лопастные клетки, по-разному ориентированные в листовом пространстве [12].

Molinia caerulea – рыхлодерновинное многолетнее растение с укороченным и утолщенным корневищем, отличается высокой морфологической пластичностью, нередко образует молиниевые луга, произрастает в основном на бедных кислых почвах на болотах, влажных лугах и в сырых лесах, отличается светолюбием и достаточной устойчивостью к выпасу скота [13]. В узких листьях *M. caerulea* выделяют крупные моторные клетки и устьица на обеих сторонах, а также мелкие, плотно сомкнутые и многоугольные клетки хлорофиллоносного мезофилла на поперечных сечениях и более рыхлое их расположение на продольных срезах [14–15]. Нами показано, что мезофилл листовых пластинок этого вида представлен мелкими ячеистыми клетками [12].

В стеблях *P. australis* и *M. caerulea* хлоренхима развита слабо и при изучении их анатомического строения основное внимание уделялось расположению и мощности покровных и проводящих тканей, а также воздухоносных каналов и склеренхимы [14, 16–18 и др.].

Задачей настоящей работы было сравнительное изучение формы ассимиляционных клеток и структуры хлоренхимы вегетативных органов у *P. australis* и *M. caerulea* как представителей подсемейства Arundinoideae, имеющих арундиноидный тип листовой анатомии.

Материал и методика

Анатомическое строение ассимиляционной ткани листьев и стеблей генеративных побегов *P. australis* и *M. caerulea* изучали на поперечных и продольных срезах под световым микроскопом. Образцы растений *P. australis* отбирали в Приобской лесостепи Западной Сибири, а *M. caerulea* – в Ботаническом саду Поволжского государственного технологического университета (г. Йошкар-Ола) и фиксировали в смеси Гаммалунда [19].

Исследовали организацию хлоренхимы листовых пластинок и листовых влагалищ, расположенных в средней части генеративного побега и стебля в верхней его части. Продольные срезы листа осуществляли параллельно поверхности (тангентальный срез) и, в частности, около эпидермы (парадермальный срез), а также в плоскости, параллельной проводящим пучкам и перпендикулярной эпидерме (продольный боковой срез). Продольные срезы стебля проводили перпендикулярно радиусу под эпидермой (парадермальный срез) и через его середину по диаметру (радиальный срез).

При описании формы ассимиляционных клеток выделяли простые (округлые или вытянутые без выраженных складок) и сложные (отличающиеся наличием хорошо выраженных выростов и складок) проекции [12, 20]. Клетки сложных конфигураций, в свою очередь, подразделяли на ячеистые (состоящие из секций или клеточных ячеек, напоминающих палисадные клетки) и лопастные (с многочисленными округлыми или овальными выростами). При этом возможны промежуточные формы, сочетающие ячеистые или лопастные очертания с элементами губчатости. Лопастные клетки своими наибольшими проекциями обнаруживаются на поперечных сечениях, ячеистые клетки расположены вдоль органа и образуют две группы. Клетки первой группы ориентированы эллипсоидными секциями перпендикулярно поверхности органа и по аналогии с мезофиллом двудольных растений соответствуют палисадной ткани. Ячеистые клетки второй группы своими звеньями располагаются параллельно эпидерме и по своей роли приближаются к губчатой паренхиме. Клетки сложной формы могут быть плоскими, если сложные контуры имеются только в одном направлении, и сверхсложными, если они обнаруживаются в двух или трех направлениях, основными среди последних являются ячеисто-лопастные.

Число хлоропластов в клетке подсчитывали на мацерированных препаратах [21]. Для определения плотности клеток и хлоропластов в единице поверхности органов и их частей использовали подходы, предложенные рядом авторов [22, 23]. Количественные показатели обработаны методами вариационной статистики, в таблицах показаны средние значения и стандартные ошибки. Достоверность различий между показателями определяли по *t*-критерию Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Листовые пластинки рассматриваемых злаков амфистоматические, для них характерны слабая ребристость верхней поверхности и хорошо выраженные моторные клетки, высота которых на поперечных срезах у *P. australis* колеблется от 100 до 150 мкм, а у *M. caerulea* – от 40 до 60 мкм, что составляет 36–73% от толщины листа в этом месте (рис. 1 и 2). Толщина листовых пластинок в области проводящих пучков у *P. australis* в 1,9 раза больше по сравнению с *M. caerulea*. Достоверно более мощная эпидерма у обоих видов наблюдается в листовых влагалищах, особенно это проявляется у тростника (табл. 1). От листовых пластинок к стеблю возрастает утолщение наружных стенок эпидермы по отношению к ее толщине: у *P. australis* от 35 до 44 %, а у *M. caerulea* – от 22 до 39 %.

Под эпидермой располагается ассимиляционная ткань, которая у злаков представлена клетками хлорофиллоносной паренхимы и клетками паренхимной обкладки.

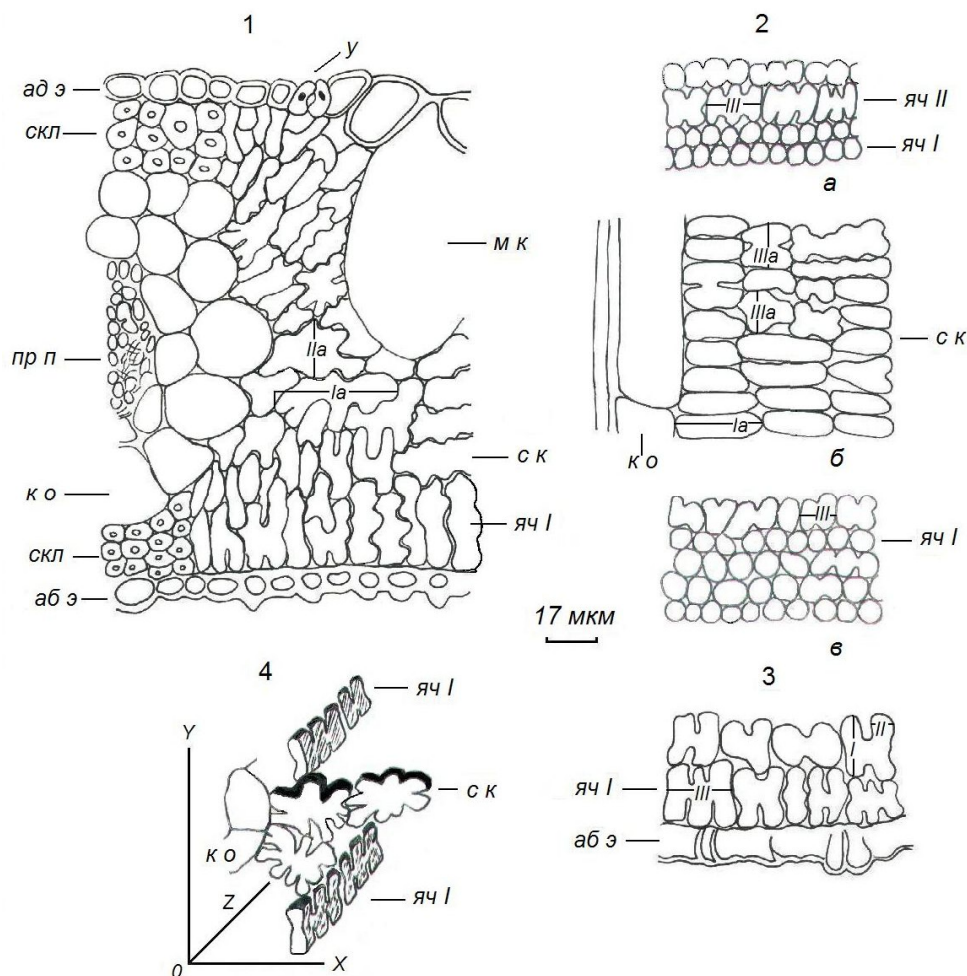


Рис. 1. Анатомическое строение мезофилла (1–3) и схема расположения ассимиляционных клеток (4) в листовых пластинках *Phragmites australis*. Срез: 1 – поперечный; 2 – тангентальный (а – у адаксиальной эпидермы; б – в центре листа; в – у абаксиальной эпидермы); 3 – расположение клеток мезофилла у абаксиальной эпидермы на продольном боковом срезе; аб э – абаксиальная эпидерма; пр п – проводящий пучок; ск – склеренхима; м к – моторные клетки, к о – клетки паренхимной обкладки, у – устьице. Проекция: яч I – ячеистых клеток первой группы; яч II – ячеистых клеток второй группы; с к – срединных клеток. Размеры ячеистых клеток на продольных срезах: I – высота секции; II – ширина секции; III – длина клетки. Размеры срединных клеток: Ia – длина; IIa – ширина; IIIa – толщина. Оси листовой пластинки: OX – ширина; OY – толщина; OZ – длина

Клетки паренхимной обкладки вытянуты вдоль проводящих пучков, часто они плохо различимы в стебле, в среднем их длина превышает ширину в 2–4 раза (табл. 2). Считается, что у арундиноидных злаков в этих клетках хлоропласты отсутствуют [1]. В то же время многие исследователи отмечали наличие зеленых пластид в клетках обкладки листьев *P. australis* [11, 24, 25], при этом в разных местообитаниях эти клетки различаются по длине на продольных срезах [26]. У рассмотренных нами *P. australis* и *M. caerulea* немногочисленные хлоропласты содержались в отдельных клетках паренхимной

обкладки вегетативных органов. Наибольшая плотность этих клеток характерна для листовых пластинок, в листовых влагалищах и стеблях она в 1,7–2,3 раза меньше, при этом более высокие значения наблюдались у *M. caerulea*, что, вероятно, обусловлено их мелкими размерами.

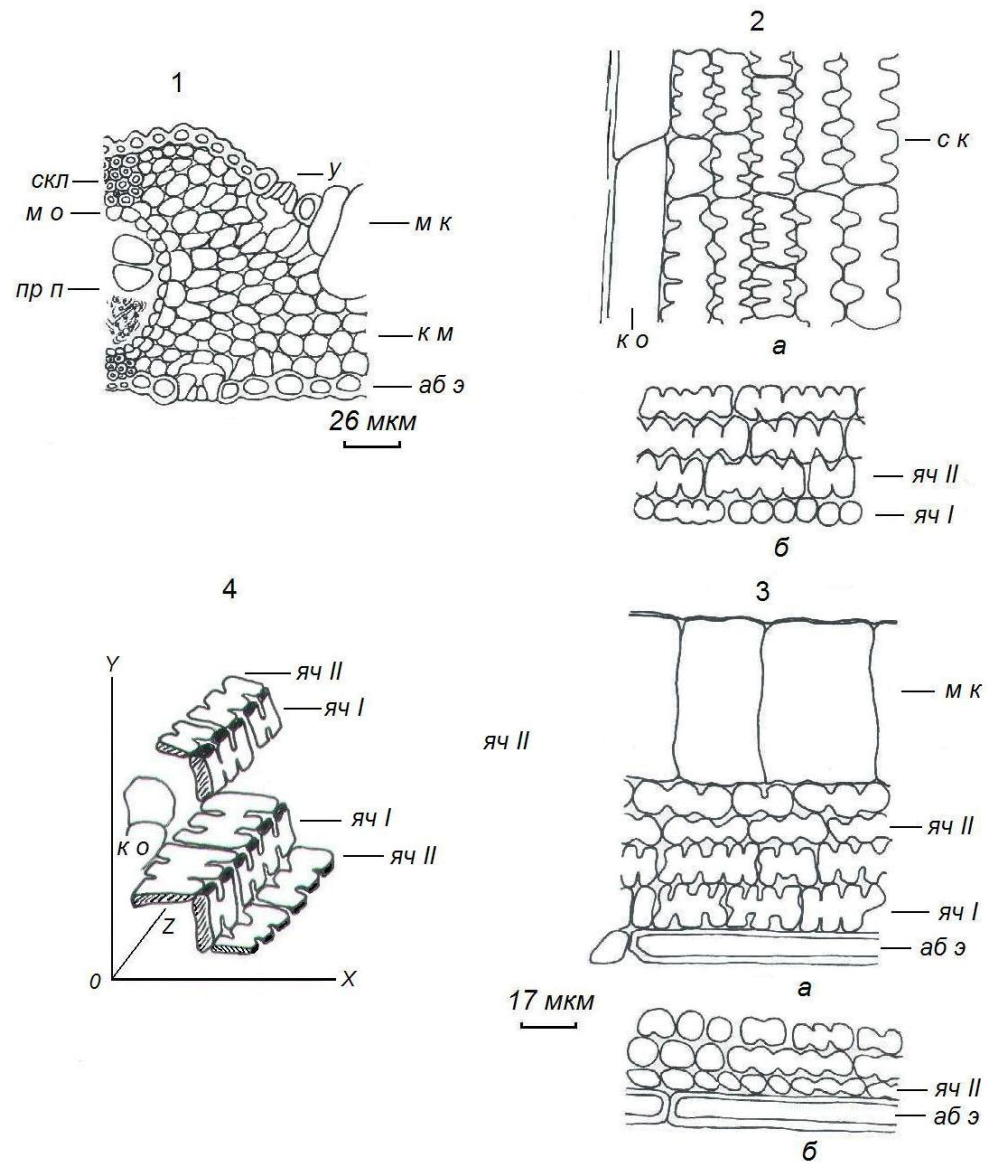


Рис. 2. Строение мезофилла листовых пластинок *Molinia caerulea*. Срез: 1 – поперечный; 2 – тангентальный (а – в середине листа; б – у абаксиальной эпидермы); 3 – продольный боковой (а – в зоне моторных клеток, б – у абаксиальной эпидермы); м о – клетки механической, или склеренхимной, обкладки, к м – клетки мезофилла. Остальные обозначения такие же, как на рис. 1

Ассимиляционная ткань наиболее многослойна в листовых пластинках, менее всего ее в стебле, при этом более резкое ослабление мощности хлоренхимы от листьев к стеблю наблюдается у *P. australis*.

Таблица 1

Количественно-анатомические показатели эпидермы
и мезофилла генеративных побегов арундиноидных злаков
(*Phragmites australis* и *Molinia caerulea*)

Орган, часть органа	Толщина, поперечный срез, мкм			Число слоев хлорен- химы
	абаксиальной эпидермы	наружной стенки абаксиальной эпидермы	мезофилла в области прово- дящего пучка	
<i>Phragmites australis</i>				
Листовая пластинка	13,8 ± 0,57	4,9 ± 0,35	182,3 ± 4,78	12–15
Листовое влагалище	18,2 ± 0,45	7,7 ± 0,28	55,1 ± 4,03	2–5
Стебель	14,7 ± 0,48	6,5 ± 0,23	31,2 ± 2,02	1–5
<i>Molinia caerulea</i>				
Листовая пластинка	14,1 ± 0,58	3,2 ± 0,22	121,4 ± 3,67	12–18
Листовое влагалище	15,7 ± 0,38	5,0 ± 0,21	100,6 ± 5,82	5–10
Стебель	14,7 ± 0,18	5,7 ± 0,15	54,4 ± 2,10	5–8

Таблица 2

Количественно-анатомическая характеристика клеток
паренхимной обкладки генеративных побегов арундиноидных злаков
(*Phragmites australis* и *Molinia caerulea*)

Орган, часть органа	Размеры на продольных срезах, мкм		Число клеток обкладки, тыс./см ²
	Длина	Ширина	
<i>Phragmites australis</i>			
Листовая пластинка	88,3 ± 3,16	29,2 ± 1,38	59,09
Листовое влагалище	60,1 ± 2,01	30,7 ± 1,44	34,66
Стебель	95,7 ± 8,32	21,2 ± 0,55	25,43
<i>Molinia caerulea</i>			
Листовая пластинка	72,3 ± 4,81	14,7 ± 0,48	97,39
Листовое влагалище	75,7 ± 4,05	23,4 ± 1,65	42,51
Стебель	76,2 ± 5,56	19,0 ± 1,17	38,78

Мезофилл листовых пластинок *P. australis* состоит преимущественно из ячеистых клеток первой группы и срединных клеток. Так, на поперечных срезах под обеими эпидермами в 1–2 слоя расположены вытянутые палисоднообразные клетки, часто с волнистыми боковыми стенками, большинство из которых являются плоскими ячеистыми клетками первой группы. Они плотно сомкнуты и состоят в основном из двух-четырех узких секций, высота которых в 2,6–2,9 раза превышает ширину (табл. 3). Ячеистые клетки второй группы изредка образуют отдельные ряды, у небольшой доли клеток с такими проекциями возможно сочетание ячеистых контуров на поперечных и парадермальных сечениях, их можно описать как дважды сложные ячеистые.

Внутреннее пространство мезофилла между проводящими пучками, в том числе и под моторными клетками, занимают ассимиляционные клетки, названные нами срединными. Их конфигурации на поперечных срезах листо-

вых пластинок очень разнообразны – от губчатых и губчато-лопастных до дольчато-лопастных. На тангентальных сечениях в своём большинстве они выглядят как узкие овалы, у которых длина больше толщины в 2,5–2,9 раза (табл. 4). Часть из них имеет более сложные объёмные формы, сочетающие лопастные проекции в поперечнике и ячеистые контуры из двух-трёх звеньев в продольном направлении. Такие клетки изредка присутствуют и у эпидермы, их можно описать как трижды сложные ячеисто-лопастные.

Таблица 3

Размеры секций ячеистых клеток ассимиляционной ткани вегетативных органов у арундиноидных злаков (*Phragmites australis* и *Molinia caerulea*)

Орган, часть органа	Ячеистые клетки первой группы			Ячеистые клетки второй группы		
	Число секций	Размеры секций, мкм		Число секций	Размеры секций, мкм	
		Высота	Ширина		Высота	Ширина
<i>Phragmites australis</i>						
Первый ряд клеток у адаксиальной эпидермы						
Листовая пластинка	2–4	21,9 ± 0,80	7,5 ± 0,33	2–3	13,4 ± 0,45	6,5 ± 0,30
Первый ряд клеток у абаксиальной эпидермы						
Листовая пластинка	2–7	20,3 ± 0,25	7,7 ± 0,64	2–3	15,7 ± 0,66	7,8 ± 0,35
Листовое влагалище	2–6	17,0 ± 1,20	8,0 ± 0,43	2–4	13,0 ± 0,47	9,4 ± 0,33
Первый ряд клеток у эпидермы						
Стебель	2–5	13,9 ± 0,85	8,2 ± 0,35	2–6	13,7 ± 0,65	8,7 ± 0,42
<i>Molinia caerulea</i>						
Первый ряд клеток у адаксиальной эпидермы						
Листовая пластинка	2–5	11,7 ± 0,60	7,7 ± 0,22	2–8	11,0 ± 0,72	7,8 ± 0,47
Первый ряд клеток у абаксиальной эпидермы						
Листовая пластинка	2–7	11,9 ± 0,51	6,6 ± 0,36	2–5	11,4 ± 0,43	7,2 ± 0,22
Листовое влагалище	2–4	18,5 ± 0,93	8,8 ± 0,50	2–4	20,9 ± 1,03	11,0 ± 0,36
Первый ряд клеток у эпидермы						
Стебель	2–5	16,7 ± 0,81	8,7 ± 0,21	2–4	12,7 ± 0,97	6,3 ± 0,33

Примечание. Размеры секций ячеистых клеток первой группы измерялись на продольных боковых и радиальных срезах, а секций ячеистых клеток второй группы – на парадермальных срезах.

По расположению ассимиляционных клеток мезофилл листовых пластинок *P. australis* характеризуется как плотный, ячеисто-изолатерально-палисадный в области проводящих пучков и ячеисто-вентродорсальный в зоне моторных клеток. Большое участие узких лопастных клеток усиливает палисадность фотосинтетической ткани. На рис. 1 представлена схема строения хлорофиллоносной паренхимы из плоских клеток сложной формы.

На поперечных срезах листовых пластинок *M. caerulea* клетки мезофилла мелкие, плотно сомкнуты и часто имеют проекции, близкие к изодиаметрическим в основном с прямыми или реже с чуть волнистыми стенками.

Около проводящих пучков можно отметить слабую радиальность в их расположении. Рассмотрение ассимиляционных клеток на продольных сечениях позволило выявить, что в подавляющем большинстве они представлены плоскими ячеистыми формами с достаточно многочисленными узкими секциями, высота которых больше ширины в 1,4–1,8 раза. При этом под эпидермами наблюдается чередование рядов ячеистых клеток первой и второй групп, из которых более часто встречаются последние. В центральной части около проводящих пучков располагаются преимущественно плоские ячеистые клетки второй группы, но с чуть более крупными ячейками и числом секций от 2 до 7. Незначительная часть срединных клеток, возможно, имеет более сложные конфигурации – ячеисто-слаболопастные. В области моторных клеток и верхней эпидермы встречаются удлиненные губчато-ячеистые формы второй группы. Система межклетников образуется через соприкосновение вершин секций ячеистых клеток. Мезофилл листовых пластинок *M. caerulea* можно описать как плотный, в котором наблюдается чередование в разных местах листа ячеисто-изолатерально-губчатого, ячеисто-вентродорсального и ячеисто-изолатерально-палисадного строения.

Таблица 4

Размеры срединных клеток около проводящих пучков в мезофилле листьев арундиноидных злаков (*Phragmites australis* и *Molinia caerulea*)

Часть органа	Расположение клеток от абаксиальной эпидермы	Размеры клеток, мкм			
		Длина	Ширина	Толщина	
				плоских	утолщенных
Phragmites australis					
Листовая пластинка	2–4 ряды	28,1 ± 1,35	19,0 ± 0,60	11,3 ± 0,58	15,9 ± 0,75
Листовое влагалище	2–4 ряды	28,7 ± 1,72	25,0 ± 1,23	13,5 ± 0,55	19,6 ± 1,44
Molinia caerulea					
Листовая пластинка	5–7 ряды	16,7 ± 0,78	9,5 ± 0,42	7,2 ± 0,41	36,1 ± 3,19
Листовое влагалище	4–6 ряды	21,9 ± 1,16	17,4 ± 0,70	14,0 ± 1,62	28,4 ± 1,97

Примечание. Длина и ширина измерялись на поперечных срезах, толщина – на продольных срезах.

Мезофилл листовых влагалищ у обоих злаков сосредоточен у нижней его поверхности и отличается меньшей слойностью. Так, у *P. australis* под абаксиальной эпидермой сохраняется 1–2 слоя палисадной ткани, образованной столбчатыми клетками простой формы и ячеистыми клетками первой группы, при этом они часто значительно крупнее во втором ряду по сравнению с первым (рис. 3). Ячеистые клетки второй группы встречаются редко. Далее в 2–4 слоя располагаются в основном плоские срединные клетки весьма разнообразных губчатых и лопастных очертаний на поперечных срезах, по мере углубления их размеры резко возрастают. Присутствие дважды сложных ячеисто-лопастных клеток незначительное.

Хлоренхима листовых влагалищ *M. caerulea* более многослойна у проводящих пучков, между ними число слоев составляет 2–4. Под нижней эпидермой сохраняется чередование разных вариантов плоских ячеистых клеток

первой и второй групп при преобладании последних. Внутреннее пространство заполнено преимущественно ячейстыми и ячейсто-губчатыми клетками второй группы, при этом часть клеток отличается простыми вытянутыми формами.

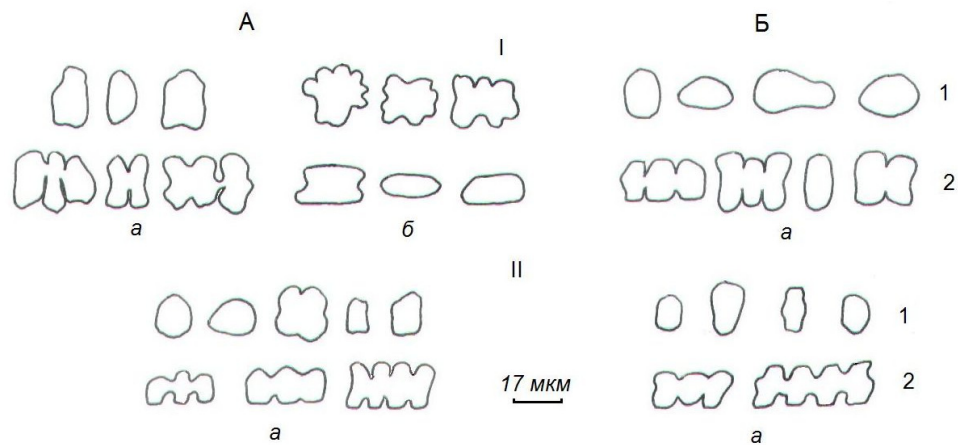


Рис. 3. Основные формы проекций клеток хлоренхимы в листовых влагалищах (I) и стеблях (II) *Phragmites australis* (A) и *Molinia caerulea* (Б) на поперечных (1) и продольных (2) срезах. Расположение клеток: а – у абаксиальной эпидермы; б – в центре листа у клеток обкладки

В стеблях *P. australis* хлоренхима протягивается в виде отдельных тяжей лишь в верхней, более открытой его части, при этом между эпидермой и хлоренхимой имеется сплошной или прерывистый слой мелкоклеточной склеренхимы. Ассимиляционная ткань стеблей *M. caerulea* более многослойная, достигает до 7–8 рядов около проводящих пучков и располагается в 3–4 слоя между ними. На поперечных сечениях стебля у обоих видов ассимиляционные клетки мелкие, плотно сомкнутые, с округлыми или овальными простыми контурами, в более глубоких слоях иногда со слаболопастными очертаниями. Под эпидермой наблюдается чередование рядов ячейстых клеток первой и второй групп при резком преобладании клеток первой группы. В более глубоких слоях клетки крупнее, но доля ячейстых клеток второй группы также небольшая.

В сложении ассимиляционной ткани листьев *P. australis* и верхних частей стебля у обоих видов отмечаются хорошо выраженные световые черты. В листовых пластинках *P. australis* они проявляются в первую очередь за счет сильного развития ячейстых клеток первой группы у обеих поверхностей. Усилению палисадности мезофилла также способствует и то, что лопастные клетки во внутренней части листьев обращены к эпидермам узкими вытянутыми проекциями. В листовых влагалищах под более мощной абаксиальной эпидермой с мелкими устьицами преобладание палисадной ткани сохраняется, несмотря на некоторое уменьшение высоты клеток.

В хлоренхиме листьев *M. caerulea*, состоящей преимущественно из плоских ячейстых клеток, наблюдается преобладание клеток второй группы, что может свидетельствовать о сочетании световых и теневых признаков в организации ассимиляционной ткани. Отметим, что секции ячейстых клеток

второй группы отличаются широкими, часто изодиаметрическими стенками на поперечных сечениях листьев и узкими проекциями, проявляющимися на продольных срезах.

В верхних частях стебля у обоих злаков усилена столбчатая ткань, роль которой выполняют прежде всего плоские ячеистые клетки первой группы.

Плотность сложения и мощность развития фотосинтетической ткани в надземных органах во многом определяют насыщенность их хлоропластами. Так, наибольшие и близкие значения густоты зелёных пластид у обоих видов наблюдаются в листовых пластинках, в листовых влагалищах и стебле их плотность снижается в 2,7–6,9 раза, менее всего хлоропластов содержится в стебле *P. australis* (табл. 5).

Таблица 5

Показатели ассимиляционного аппарата хлоренхимы вегетативных органов арундиноидных злаков (*Phragmites australis* и *Molinia caerulea*)

Орган, часть органа	Число хлоропластов	
	в секции ячеистой клетки	в 1 см ² органа, млн
<i>Phragmites australis</i>		
Листовая пластинка	11,6 ± 0,58	50,19
Листовое влагалище	14,8 ± 1,01	18,42
Стебель	5,5 ± 0,23	7,32
<i>Molinia caerulea</i>		
Листовая пластинка	6,6 ± 0,51	51,98
Листовое влагалище	8,7 ± 0,49	13,31
Стебель	4,5 ± 0,21	18,05

В связи с разрушением пластид в клетках обкладки пучков выделяют признаки их дегенерации у представителей подсемейства Arundinoideae, такие как фрагментация тонопласта и накопление липидных шариков в вакуолях [27]. У рассматриваемых нами злаков процентное содержание клеток обкладки по отношению к числу клеточных секций хлоренхимы в единице поверхности органа было близко и составило 0,9–2,8 %.

Известно, что с уменьшением размеров фототрофных клеток и увеличением их суммарной поверхности возрастает проводимость мезофилла для углекислого газа и интенсивность фотосинтеза [28–31 и др.]. На примере клеточных моделей было показано, что отношение площади их поверхности к объёму у плоских ячеистых клеток в 1,1–1,5 раза больше по сравнению с клетками цилиндрической формы [32]. На основе определения диффузного сопротивления устьиц и мезофилла листьев для *P. australis* была рассчитана высокая интенсивность теоретически возможного фотосинтеза [33]. Вероятно, сочетание плотного сложения ячеистых клеток первой группы у эпидерм и чуть более разреженных лопатных клеток внутри листовых пластинок *P. australis* способствует хорошему проникновению света и диффузии углекислого газа. Усилению газообмена *M. caerulea* может способствовать пористая структура ассимиляционной ткани, состоящая из ячеистых клеток с мелкими секциями, соприкасающимися своими вершинами. Этому же благоприятствует небольшая слоистость хлоренхимы в листовых влагалищах и стеблях у обоих видов.

Заключение

Фотосинтетическая паренхима листьев и стеблей генеративных побегов *Phragmites australis* и *Molinia caerulea* в подавляющем большинстве состоит из клеток сложной формы, при этом более разнообразны они у тростника.

В строении ассимиляционной ткани листовых пластинок *P. australis* наблюдается сочетание плоских ячеистых клеток, преимущественно, первой группы у эпидерм с плоскими лопастными и усложнёнными ячеисто-лопастными клетками во внутреннем пространстве. В дополнение можно отметить наличие немногочисленных ячеистых клеток второй группы и объёмно более сложных – дважды ячеистых под эпидермами. Мезофилл листовых пластинок *M. caerulea* в основном состоит из плоских ячеистых клеток с преобладанием клеток второй группы. Таким образом, несмотря на наличие арундиноидного типа листовой анатомии и достаточно близкое родство этих видов злаков согласно последним данным, они различаются по строению мезофилла и разнообразию форм ассимиляционных клеток.

В листовых влагалищах и стеблях сохраняются общие принципы сложения хлоренхимы для каждого вида, при этом проявляются отличительные особенности, связанные со степенью её развития и сложностью пространственных конфигураций клеток. Так, мезофилл листовых влагалищ *P. australis* состоит преимущественно из плоских ячеистых и лопастных клеток, а хлоренхима верхней части стебля в основном представлена уплощенными ячеистыми формами. В хлоренхиме листовых влагалищ *M. caerulea* более всего плоских ячеистых клеток при небольшом участии клеток простой формы, в стеблях преобладают ячеистые клетки первой группы.

В то же время в ассимиляционной паренхиме вегетативных органов у *P. australis* и *M. caerulea* наблюдается сочетание крупноклеточной обкладки пучков без или с малым числом хлоропластов с небольшими и достаточно плотно расположенными клетками хлоренхимы, особенно под эпидермами, при этом листья обоих злаков близки по насыщенности их зелёными пигментами.

Список литературы

1. Brown W. V. Leaf anatomy in grass systematics // Botanical Gazette. 1958. Vol. 119, № 3. P. 170–178.
2. Цвелёв Н. Н. Порядок злаки (Poales) // Жизнь растений. М. : Просвещение, 1982. Т. 6. С. 341–378.
3. Clayton W. D., Renvoize S. A. Genera Graminum. Grasses of the World // Kew Bulletin Additional. London : Her Majesty's Stationery Office, 1986. Vol. 13. 389 p.
4. Renvoize S. Grass anatomy // Flora of Australia. Vol. 43. Poaceae 1, Introduction and Atlas. 2002. P. 71–132.
5. Smith Jr J. P. Agrostology; An Introduction to the Systematics of Grasses // Botanical Studies, 10. Humboldt State University, 2005. 220 p.
6. Soreng R. J., Peterson P. M., Romaschenko K. et al. A world wide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae) II: A nupdate and a comparison of two 2015 classifications // Journal of Systematics and Evolution. 2017. Vol. 55, № 4. P. 259–290. doi: 10.1111/jse.12262
7. Цвелёв Н. Н. Злаки СССР. Л. : Наука, 1976. 788 с.
8. Eller F., Skálová H., Caplan J. S. et al. Cosmopolitan species as models for ecophysiological responses to global change: the common reed *Phragmites australis* // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 8, article 1833. doi: 10.3389/fpls.2017.01833

9. Вознесенская Е. В. Анатомические особенности ассимилирующих органов растений пустыни Каракумы // Ботанический журнал. 1974. Т. 59, № 8. С. 1176–1184.
10. Watson L., Macfarlane T. D., Dallwitz M. J. The grass genera of the world: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, pathogens, world and local distribution, and references. 1992 onwards. Version: 10th May 2019. URL: <https://www.delta-intkey.com/grass/index.htm>
11. Antoneilli M., Pasqualini S., Batini P. et al. Physiological and anatomical characterization of *Phragmites australis* leaves // Aquatic Botany. 2002. Vol. 72, № 1. P. 55–66.
12. Зверева Г. К. Анатомическое строение мезофилла листьев злаков (*Poaceae*). Новосибирск : Изд-во НГПУ, 2011. 201 с.
13. Taylor K., Rowland A. P., Jones H. E. *Molinia caerulea* (L.) Moench // Journal of Ecology. 2001. Vol. 89, № 1. P. 126–144.
14. Jefferies T. A. The vegetative anatomy of *Molinia caerulea*, the purple heath grass // New Phytologist. 1916. Vol. 15, № 3-4. P. 49–71.
15. Farragher M. A. Poaceae – Irish members. Part 5. Anatomy // Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society. Series A, 5. 1974. P. 159–198.
16. Николаевский В. Г. Анатомическое строение вегетативных органов тростника обыкновенного (*Phragmites communis* Trin) в связи с условиями его произрастания : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Одесса, 1964. 24 с.
17. Adams K. R. Prehistoric reedgrass (*Phragmites*) “cigarettes” with tobacco (*Nicotiana*) contents: A case study from Red Bow Cliff Dwelling, Arizona // Journal of Ethnobiology. 1990. Vol. 10, № 2. P. 123–139.
18. Engloner A. I., Papp M. Vertical differences in *Phragmites australis* culm anatomy along a water depth gradient // Aquatic Botany. 2006. Vol. 85, № 2. P. 137–146.
19. Гродзинский А. М., Гродзинский Д. М. Краткий справочник по физиологии растений. Киев : Наукова думка, 1973. 591 с.
20. Зверева Г. К. Пространственная организация мезофилла листовых пластинок фестокоидных злаков (*Poaceae*) и её экологическое значение // Ботанический журнал. 2009. Т. 94, № 8. С. 1204–1215.
21. Possingham J. V., Saurer W. Changes in chloroplast number per cell during leaf development in spinach // Planta. 1969. Vol. 86, № 2. P. 186–194.
22. Березина О. В., Корчагин Ю. Ю. К методике оценки мезоструктуры листа видов рода *Triticum* (*Poaceae*) в связи с особенностями строения его хлорофиллоносных клеток // Ботанический журнал. 1987. Т. 72, № 4. С. 535–541.
23. Горышина Т. К. Фотосинтетический аппарат растений и условия среды. Л. : Изд-во ЛГУ, 1989. 204 с.
24. Zheng W. J., Zheng X. P., Zhang C. L. A survey of photosynthetic carbon metabolism in 4 ecotypes of *Phragmites australis* in northwest China: Leaf anatomy, ultra-structure, and activities of ribulose 1,5-biphosphate carboxylase, phosphoenolpyruvate carboxylase and glycollate oxidase // Physiologia Plantarum. 2000. Vol. 110, № 2. P. 201–208.
25. Zhu X. Y., Xia W. X., Chen L. J. Leaf anatomy and C₄ photosynthetic enzymes in three reed ecotypes // Biologia Plantarum. 2012. Vol. 56, № 1. P. 145–148. doi: 10.1007/s10535-012-0031-4
26. Chen K.-M., Wang F., Wang Y.-H. et al. Anatomical and chemical characteristics of foliar vascular bundles in four reed ecotypes adapted to different habitats // Flora. 2006. Vol. 201. P. 555–569. doi: 10.1016/j.flora.2005.12.003
27. Carolin R. C., Jacobs S. W. L., Veski M. The structure of the cells of the mesophyll and parenchymatous bundle sheath of the Gramineae // Journal of the Linnean Society, Botany. 1973. Vol. 66, № 4. P. 259–275.
28. Wilson D., Cooper J. P. Effect of selection for mesophyll cell size on growth and assimilation in *Lolium perenne* L. // New Phytologist. 1970. Vol. 69. P. 233–245.

29. Nobel P. S., Zaragoza L. J., Smith W. K. Relation between mesophyll surface area, photosynthetic rate and illumination level during development for leaves of *Plectranthus parviflorus* Henkel // Plant Physiology. 1975. Vol. 55. P. 1067–1070.
30. Longstreth D. J., Hartsock T. L., Nobel P. S. Mesophyll cell properties for some C₃ and C₄ species with high photosynthetic rates // Physiologia Plantarum. 1980. Vol. 48, № 4. P. 494–498. doi: 10.1111/j.1399-3054.1980.tb03293.x
31. Evans J. R., Caemmerer S. Carbon dioxide diffusion in side leaves // Plant Physiology. 1996. Vol. 110, № 2. P. 339–346.
32. Иванова Л. А., Пьянков В. И. Структурная адаптация мезофилла листа к затенению // Физиология растений. 2002. Т. 49, № 3. С. 467–480.
33. Лайск А., Оя В., Рахи М. Диффузионные сопротивления листьев в связи с их анатомией // Физиология растений. 1970. Т. 17, № 1. С. 40–48.

References

1. Brown W.V. Leaf anatomy in grass systematics. *Botanical Gazette*. 1958;119(3):170–178.
2. Tsvelev N.N. Order cereals (Poales). *Zhizn' rasteniy = Plant life*. Moscow: Prosveshchenie, 1982;6:341–378. (In Russ.)
3. Clayton W.D., Renvoize S.A. Genera Graminum. Grasses of the World. *Kew Bulletin Additional*. London: Her Majesty's Stationery Office, 1986;13:389.
4. Renvoize S. Grass anatomy. *Flora of Australia*. Vol. 43. *Poaceae 1, Introduction and Atlas*. 2002:71–132.
5. Smith Jr J.P. Agrostology; An Introduction to the Systematics of Grasses. *Botanical Studies*, 10. Humboldt State University, 2005:220.
6. Soreng R.J., Peterson P.M., Romaschenko K. et al. A world wide phylogenetic classification of the Poaceae (Gramineae) II: A nupdate and a comparison of two 2015 classifications. *Journal of Systematics and Evolution*. 2017;55(4):259–290. doi: 10.1111/jse.12262
7. Tsvelev N.N. *Zlaki SSSR = Cereals of the USSR*. Leningrad: Nauka, 1976:788. (In Russ.)
8. Eller F., Skálová H., Caplan J.S. et al. Cosmopolitan species as models for ecophysiological responses to global change: the common reed *Phragmites australis*. *Frontiers in Plant Science*. 2017;8(article 1833). doi: 10.3389/fpls.2017.01833
9. Voznesenskaya E.V. Anatomical features of the assimilating organs of plants of the Karakum desert. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1974;59(8):1176–1184. (In Russ.)
10. Watson L., Macfarlane T.D., Dallwitz M.J. *The grass genera of the world: descriptions, illustrations, identification, and information retrieval; including synonyms, morphology, anatomy, physiology, phytochemistry, cytology, classification, pathogens, world and local distribution, and references*. 1992 onwards. Version: 10th May 2019. Available at: <https://www.delta-intkey.com/grass/index.htm>
11. Antoneilli M., Pasqualini S., Batini P. et al. Physiological and anatomical characterization of *Phragmites australis* leaves. *Aquatic Botany*. 2002;72(1):55–66.
12. Zvereva G.K. *Anatomicheskoe stroenie mezofilla list'ev zlakov (Poaceae) = Anatomical structure of mesophyll of cereal leaves (Poaceae)*. Novosibirsk: Izd-vo NGPU, 2011:201. (In Russ.)
13. Taylor K., Rowland A.P., Jones H.E. *Molinia caerulea* (L.) Moench. *Journal of Ecology*. 2001;89(1):126–144.
14. Jefferies T.A. The vegetative anatomy of *Molinia caerulea*, the purple heath grass. *New Phytologist*. 1916;15(3-4):49–71.
15. Farragher M.A. Poaceae – Irish members. Part 5. Anatomy. *Scientific Proceedings of the Royal Dublin Society. Series A*, 5. 1974:159–198.

16. Nikolaevskiy V.G. *Anatomical structure of the vegetative organs of common reed (Phragmites communis Trin) in connection with its growing conditions*. PhD abstract. Odessa, 1964:24. (In Russ.)
17. Adams K.R. Prehistoric reedgrass (*Phragmites*) “cigarettes” with tobacco (*Nicotiana*) contents: A case study from Red Bow Cliff Dwelling, Arizona. *Journal of Ethnobiology*. 1990;10(2):123–139.
18. Engloner A.I., Papp M. Vertical differences in *Phragmites australis* culm anatomy along a water depth gradient. *Aquatic Botany*. 2006;85(2):137–146.
19. Grodzinskiy A.M., Grodzinskiy D.M. *Kratkiy spravochnik po fiziologii rasteniy = A short guide to plant physiology*. Kiev: Naukova dumka, 1973:591. (In Russ.)
20. Zvereva G.K. Spatial organization of mesophyll of leaf blades of phe-stucoid grasses (Poaceae) and its ecological significance. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 2009;94(8):1204–1215. (In Russ.)
21. Possingham J.V., Saurer W. Changes in chloroplast number per cell during leaf development in spinach. *Planta*. 1969;86(2):186–194.
22. Berezina O.V., Korchagin Yu.Yu. On a method for assessing the leaf mesostructure of species of the genus *Triticum* (Poaceae) in connection with the structural features of its chlorophyll-bearing cells. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1987;72(4):535–541. (In Russ.)
23. Goryshina T.K. *Fotosinteticheskiy apparat rasteniy i usloviya sredy = Photosynthetic apparatus of plants and environmental conditions*. Leningrad: Izd-vo LGU, 1989:204. (In Russ.)
24. Zheng W.J., Zheng X.P., Zhang C.L. A survey of photosynthetic carbon metabolism in 4 ecotypes of *Phragmites australis* in northwest China: Leaf anatomy, ultra-structure, and activities of ribulose 1,5-biphosphate carboxylase, phosphoenolpyruvate carboxylase and glycolate oxidase. *Physiologia Plantarum*. 2000;110(2):201–208.
25. Zhu X.Y., Xia W.X., Chen L.J. Leaf anatomy and C4 photosynthetic enzymes in three reed ecotypes. *Biologia Plantarum*. 2012;56(1):145–148. doi: 10.1007/s10535-012-0031-4
26. Chen K.-M., Wang F., Wang Y.-H. et al. Anatomical and chemical characteristics of foliar vascular bundles in four reed ecotypes adapted to different habitats. *Flora*. 2006;201:555–569. doi: 10.1016/j.flora.2005.12.003
27. Carolin R.C., Jacobs S.W.L., Veski M. The structure of the cells of the mesophyll and parenchymatous bundle sheath of the Gramineae. *Journal of the Linnean Society, Botany*. 1973;66(4):259–275.
28. Wilson D., Cooper J.P. Effect of selection for mesophyll cell size on growth and assimilation in *Lolium perenne* L. *New Phytologist*. 1970;69:233–245.
29. Nobel P.S., Zaragoza L.J., Smith W.K. Relation between mesophyll surface area, photosynthetic rate and illumination level during development for leaves of *Plectranthus parviflorus* Henkel. *Plant Physiology*. 1975;55:1067–1070.
30. Longstreth D.J., Hartsock T.L., Nobel P.S. Mesophyll cell properties for some C3 and C4 species with high photosynthetic rates. *Physiologia Plantarum*. 1980;48(4):494–498. doi: 10.1111/j.1399-3054.1980.tb03293.x
31. Evans J.R., Caemmerer S. Carbon dioxide diffusion in side leaves. *Plant Physiology*. 1996;110(2):339–346.
32. Ivanova L.A., P'yankov V.I. Structural adaptation of leaf mesophyll to shade. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology*. 2002;49(3):467–480. (In Russ.)
33. Laysk A., Oya V., Rakhi M. Diffusion resistance of leaves in connection with their anatomy. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology*. 1970;17(1):40–48. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Галина Кимовна Зверева

доктор биологических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры биологии и экологии, Новосибирский государственный педагогический университет (Россия, г. Новосибирск, Вилуйская, 28); главный научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН (Россия, Новосибирская область, р.п. Краснообск)

E-mail: labspp@yandex.ru

Galina K. Zvereva

Doctor of biological sciences, senior researcher, professor of the sub-department of biology and ecology, Novosibirsk State Pedagogical University (28 Vilyuiskaya street, Novosibirsk, Russia); principal researcher, Siberian Federal Scientific Center of Agro-Bio Technologies of the Russian Academy of Sciences (Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 14.07.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 31.08.2023

Принята к публикации / Accepted 26.09.2023

УДК 581.55

doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-2

Ассоциация *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* из Пензенской области

Т. М. Лысенко

Ботанический институт имени В. Л. Комарова
Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия;
Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского
федерального исследовательского центра РАН, Тольятти, Самарская обл., Россия
tlysenko@binran.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В ботанико-географическом отношении территория Пензенской области находится в лесостепной зоне. Целью работы является характеристика изученных на ее территории степных сообществ и установление их синтаксономического положения в системе синтаксонов Европы. *Материалы и методы.* Геоботанические исследования проведены в июле 2021 г. в Лопатинском и Шемышейском районах Пензенской области. Описания выполнялись в рамках естественных контуров растительных сообществ на основе стандартных методик и были помещены в базу данных, созданную на основе программы TURBOVEG и обработаны в программе Juice. Синтаксономический анализ проведен с позиций подхода Ж. Браун-Бланке; названия новых синтаксонов даны в соответствии с «Международным кодексом флористической номенклатуры». Система высших синтаксонов приведена по сводке «Растительность Европы...». *Результаты.* Степная растительность в Пензенской области распространена преимущественно в южной части. Зональным типом степей являются луговые степи. В Шемышейском и Лопатинском районах на песчаных субстратах встречаются псаммофитные варианты степей. Геоботанические описания и синтаксономический анализ позволили установить новую ассоциацию *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* ass. nov. и новые субассоциации *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* typicum subass. nov., *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi silenetosum borysthenicae* subass. nov. и *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi festucetosum rupicolae* subass. nov. Присутствие во флористическом составе изученных сообществ в значительном количестве диагностических видов класса *Festuco-Brometea* свидетельствует о том, что ценозы представляют собой степную растительность. Следует отметить незначительное число диагностических видов класса *Koelerio-Coriphraneretea* в составе исследованных сообществ. Этот факт позволяет сделать заключение, что был изучен псаммофитный вариант степной растительности. *Заключение.* Геоботанические исследования степной растительности в Лопатинском и Шемышейском районах Пензенской области и последующий синтаксономический анализ с позиций подхода Ж. Браун-Бланке позволили установить одну новую ассоциацию и три новые субассоциации. Они отнесены к союзу *Festucion valesiacae*, порядку *Festucetalia valesiacae* класса *Festuco-Brometea*.

Ключевые слова: растительные сообщества, степная растительность, Пензенская область, *Festuco-Brometea*, *Koelerio-Coriphraneretea*

Финансирование: исследование выполнено в рамках госзаданий ИЭВБ РАН – филиала СамНЦ РАН 1021060107217-0-1.6.19 и БИН РАН 121032500047-1.

Для цитирования: Лысенко Т. М. Ассоциация *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* из Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 3. С. 19–28. doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-2

Association of *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* from Penza region

T.M. Lysenko

Komarov Botanical Institute of the Russian
Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia;
Institute of Ecology of Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences –
branch of Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences,
Togliatti, Samara region, Russia
tlysenko@binran.ru

Abstract. *Background.* Botanically and geographically, the territory of the Penza region is located in the forest-steppe zone. The purpose of the work is to characterize the steppe communities studied on its territory and to establish their syntaxonomic position in the system of European syntaxa. *Materials and methods.* Geobotanical research was carried out in July 2021 in Lopatino and Shemysheyka districts of Penza region. The descriptions were carried out within the natural contours of plant communities based on standard methods and were placed in a database created on the basis of the TURBOVEG program and processed in the Juice program. Syntaxonomic analysis was carried out from the perspective of the approach of J. Braun-Blanquet; the names of the new syntaxa are given in accordance with the “International Code of Phytosociological Nomenclature”. The system of higher syntaxa is given according to the summary “Vegetation of Europe...”. *Results.* Steppe vegetation in the Penza region is distributed mainly in the southern part. The zonal type of steppes are meadow steppes. In the Shemysheysky and Lopatinsky regions, psammophytic variants of steppes are found on sandy substrates. Geobotanical descriptions and syntaxonomic analysis made it possible to establish a new association *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* ass. nov. and new sub associations *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* typicum subass. nov., *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi silenetosum borys-thenicae* subass. nov. and *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi festucetosum rupicolae* subass. nov. Presence in the floristic composition of the studied communities in a significant number of diagnostic species of the *Festuco-Brometea* class indicate that the cenoses represent steppe vegetation. It should be noted that there is a small number of diagnostic species of the *Koelerio-Coriphonerenetea* class within the studied communities. This fact allows us to conclude that the psammophytic variant of steppe vegetation was studied. *Conclusions.* Geobotanical studies of steppe vegetation in the Lopatino and Shemysheyka districts of Penza region and subsequent syntaxonomic analysis from the perspective of J. Braun-Blanquet’s approach allowed us to establish one new association and three new subassociations. They belong to the alliance *Festucion valesiacaе*, order *Festucetalia valesiacaе*, class *Festuco-Brometea*.

Keywords: plant community, steppe vegetation, Penza region, *Festuco-Brometea*, *Koelerio-Coriphonerenetea*

Financing: the research was performed within the state task of the Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences– branch of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences 1021060107217-0-1.6.19 and Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences 121032500047-1.

For citation: Lysenko T.M. Association of *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* from Penza region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2023;(3):19–28. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-2

Введение

Пензенская область располагается в пределах Окско-Донской равнины и Приволжской возвышенности. В ботанико-географическом отношении территория области находится в лесостепной зоне [1]. Зональной растительностью являются широколиственные леса и луговые степи. Растительный покров Пензенской области на протяжении длительного времени привлекал внимание флористов и геоботаников [2–8] и к настоящему времени хорошо изучен. Однако с позиций подхода Ж. Браун-Бланке [9] растительность Пензенской области практически не рассматривалась. Использование этого подхода позволяет включать результаты исследований в систему синтаксонов Европы [10] и России [11]. Целью настоящей работы является характеристика изученных на территории Пензенской области степных сообществ и установление их синтаксономического положения в системе синтаксонов Европы [10].

Материал и методика

Геоботанические исследования проведены в июле 2021 г. в Лопатинском и Шемышейском районах Пензенской области. Геоботанические описания выполнялись в рамках естественных контуров растительных сообществ на основе стандартных методик [12]. Общее проективное покрытие травостоя (далее – ОПП) и абсолютное проективное покрытие (далее – АПП) отдельных видов растений в полевых условиях оценивалось в процентах. В камеральных условиях АПП видов растений были переведены в баллы по шкале Б. М. Миркина со следующими баллами обилия-покрытия: «+» – менее 1 % покрытия, «1» – 1–5 %, «2» – 6–15 %, «3» – 16–25 %, «4» – 26–50 %, «5» – более 50 % [13]. Описания были помещены в базу данных «Растительность бассейнов Волги и Урала» [14], созданную с использованием программы TURBOVEG [15] и обработаны в программе Juice [16]. Синтаксономический анализ проведен с позиций подхода Ж. Браун-Бланке [9]; названия новых синтаксонов даны в соответствии с «Международным кодексом фитосоциологической номенклатуры» [17]. Система высших синтаксонов приведена по сводке «Растительность Европы...» [10]. Названия видов сосудистых растений даны по С. К. Черепанову [18], виды *Stipa borysthena* и *Koeleria dubjanskyi* приведены согласно работе [19].

Результаты и обсуждения

Степная растительность в Пензенской области распространена преимущественно в ее южной части. Зональным типом степей являются луговые степи. В Шемышейском и Лопатинском районах на песчаных субстратах встречаются псаммофитные варианты степей, ставшие объектом наших исследований. Выполненные геоботанические описания и последующий синтаксономический анализ позволили установить одну новую ассоциацию и три новых субассоциации.

Ассоциация *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* ass. nov. (табл. 1, описания (далее – оп.) 1–11). Диагностические виды (далее – д. в.): *Stipa borysthena*, *Koeleria dubjanskyi*, *Jurinea charcoviensis*, *Gypsophila paniculata*. Номенклатурный тип (holotypus) – оп. 1 в табл. 1. Пензенская область, Шемышейский район, 6 км к юго-юго-западу от с. Каржимант, урочище Каржимант, 52.74805 с. ш., 45.51906 в. д., 20.07.2021, автор Лысенко Т. М. Флористическое богатство сообществ составляет 8–18 видов, среднее число видов – 13. ОПП варьирует от 30 до 60 %. Покрытие ветоши составляет 3–25 %. В травостое выделены три подъяруса. Первый, высотой 50–70 см, разреженный, образуют *Stipa borysthena*, *Jurinea charcoviensis* и *Echinops ruthenicus*. Второй подъярус, высотой 30–40 см, разреженный, сформирован *Gypsophila paniculata*, *Artemisia marschalliana* и *Hieracium echinoides*. Третий подъярус, имеющий высоту 10–20 см, разреженный, сложен *Koeleria dubjanskyi*, *Dianthus borbasii* и *Helichrysum arenarium*. В ценозах доминирует *Koeleria dubjanskyi*. Единично отмечен кустарник *Chamaecytisus ruthenicus*. Сообщества описаны в Пензенской области, в урочище Каржимант в 6 км к юго-юго-западу от с. Каржимант Шемышейского района и 5 км к юго-востоку от с. Китунькино Лопатинского района, на берегу р. Шмаковка. Ценозы ассоциации приурочены к местообитаниям с песчаными почвами.

Субассоциация *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* typicum subass. nov. (табл. 1, оп. 1, 2). Д. в.: *Stipa borysthena*, *Koeleria dubjanskyi*, *Jurinea charcoviensis*, *Gypsophila paniculata*. Номенклатурный тип (holotypus) – оп. 1 в табл. 1. Пензенская область, Шемышейский район, 6 км к юго-юго-западу от с. Каржимант, урочище Каржимант, 52.74805 с. ш., 45.51906 в. д., 20.07.2021, автор Лысенко Т. М. Флористическое богатство сообществ составляет 8–13 видов, среднее число видов – 11. ОПП варьирует от 35 до 60 %. Покрытие ветоши составляет 35 %. В травостое выделены 3 подъяруса. Первый, высотой 60–70 см, разреженный, образуют *Stipa borysthena*, *Jurinea charcoviensis* и *Echinops ruthenicus*. Второй подъярус, высотой 30–40 см, разреженный, сформирован *Gypsophila paniculata* и *Artemisia marschalliana*. Третий подъярус, имеющий высоту 10–20 см, разреженный, сложен *Koeleria dubjanskyi*, *Dianthus borbasii* и *Helichrysum arenarium*. В ценозах доминирует *Koeleria dubjanskyi*. Единично отмечен кустарник *Chamaecytisus ruthenicus*. Доминирует *Koeleria dubjanskyi*. Сообщества описаны в урочище Каржимант в 6 км к юго-юго-западу от с. Каржимант Шемышейского района Пензенской области, на высотах 200–201 м над уровнем моря, на песчаных почвах.

Субассоциация *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi silenetosum borysthena* subass. nov. (табл., оп. 3–8). Д. в.: *Kochia laniflora*, *Silene borysthena*. Номенклатурный тип (holotypus) – оп. 4 в табл. 1. Пензенская область, Шемышейский район, 6 км к юго-юго-западу от с. Каржимант, урочище Каржимант, 52.74543 с. ш., 45.52024 в. д., 20.07.2021, автор Лысенко Т. М. Флористическое богатство сообществ – 8–14 видов, среднее число видов 12, ОПП варьирует от 30 до 55 %, покрытие ветоши составляет 3–5 %. Травостой разделен на три подъяруса. Первый, высотой 50–60 см, сомкнутый, образован *Stipa borysthena*, *Jurinea charcoviensis* и *Echinops ruthenicus*. Второй подъярус, имеющий высоту 30–40 см, разреженный, сложен *Gypsophila paniculata*, *Artemisia marschalliana*, *Silene borysthena* и *Hieracium echinoides*.

Таблица 1

Характеризующая таблица ассоциации *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskii* ass. nov.

Субассоциация	typicum (a)	<i>silenetosum borysthenicae</i> (b)								<i>festuceto-sum rupi-colae</i> (c)				Встречаемость	Постоянство	Встречаемость
	20	20								19						
		07.2021														
Дата выполнения описания	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100				
Площадь, м ²	60	35	40	30	30	55	30	30	50	55	45					
ОПП, %	200	201	203	206	204	206	204	204	200	201	209					
Высота над ур. моря, м	9	13	14	13	9	14	8	11	12	18	17					
Число видов в описании	1*	2	3	4*	5	6	7	8	9	10*	11		a	b	c	
Номер описания	Д.в. асс. <i>Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskii</i> ass. nov. и субасс. <i>Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskii</i> typicum subass. nov.															
<i>Stipa borysthenica</i> KC	1	1	1	1	1	+	+	+	+	1	2		2	100 ⁺	3	
	2	2	2	2	3	2	2	3	3	2	3		2	100 ²	3	
	1	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1		2	100 ¹	3	
	1	1	1	1	1	1	+	1	1	1	+		2	100 ¹	3	
<i>Koeleria dubjanskii</i>	Д.в. субасс. <i>Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskii silenetosum borysthenicae</i> subass. nov.															
	.	1	1	1	1	2	2	1	.	.	.		1	100 ¹	.	
	.	.	1	1	+	+	+	1	+	.	.		.	100 ¹	1	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	
<i>Jurinea charcoviensis</i>	Д.в. субасс. <i>Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskii festucetosum rupicolae</i> subass. nov.															
	.	.	.	.	.	.	.	.	2	3	2		.	.	3	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	.	
<i>Gypsophila paniculata</i> KC FB	Д.в. кл. <i>Festuco-Brometea</i>															
	1	1	+	1	+	1	.	.	.	.	.		2	67 ⁺	.	
	+	1	+	+	.	+	.	.	+	+	.		2	50	2	
	.	.	+	1	.	+	.	.	.	1	.		.	50	1	
<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>	.	+	.	.	.	+	.	.	.	+	+		1	17	2	
	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.		.	17	.	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	+		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.		.	17	1	
<i>Artemisia austriaca</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	1	
	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	1		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
<i>Melampyrum arvense</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
<i>Rumex acetosella</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
<i>Centaurea sumensis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
<i>Dianthus volgicus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	
	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.		.	.	2	

Окончание табл. 1

<i>Achillea collina</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
<i>Galium verum</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
<i>Stachys recta</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
Д.в. кл. Koelerio-Coriphonerenetee														
<i>Helichrysium arenarium</i>	1	1	2	1	1	1	1	2	.	+	1	2	100 ¹	2
<i>Chondrilla juncea</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.	.	1
<i>Astragalus varius</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	.	.	1
Прочие виды														
<i>Artemisia marschalliana</i>	3	2	2	2	1	2	+	1	1	1	1	2	100 ¹	3
<i>Hieracium echinoides</i>	.	1	1	+	.	+	+	+	1	1	1	1	83 ⁺	3
<i>Berteroa incana</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Hieracium umbellatum</i>	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Potentilla argentea</i>	1	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	1	.	.
<i>Chondrilla graminea</i>	.	.	.	+	.	.	.	1	.	.	.	.	17	.
<i>Gagea podolica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17	.
<i>Thymus marschallianus</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	17	.
<i>Trifolium medium</i>	.	.	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	17	.
<i>Eremogone biebersteinii</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	2
<i>Syrenia montana</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	.	.	.	2

Кроме того, единично в описаниях встречаются: *Convolvulus arvensis* 10(+), *Potentilla anserina* 11(1).

Местонахождения выполнения описаний: Пензенская область, Шемышейский район, 6 км к юго-юго-западу от с. Каржимант, урочище Каржимант – оп. 1 (52.74805 с. ш., 45.51906 в. д.), 2 (52.74541 с. ш., 45.52009 в. д.), 3 (52.74554 с. ш., 45.5197 в. д.), 4 (52.74543 с. ш., 45.52024 в. д.), 5 (52.74559 с. ш., 45.519445 в. д.), 6 (52.74566 с. ш., 45.52002 в. д.), 7, 8 (52.745 с. ш., 45.518785 в. д.); Лопатинский район, 5 км к юго-востоку от с. Кипунышкино, берег р. Шмаковка – оп. 9 (52.56087 с. ш., 46.08479 в. д.), 10 (52.56072 с. ш., 46.08474 в. д.), 11 (52.56099 с. ш., 46.08477 в. д.).

FB – д.в. класса *Festuco-Brometea*, KC – д.в. класса *Koelerio-Comphorenetea*, а – встречаемость видов субассоциации *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskii* typicum subass. nov., б – постоянство видов субассоциации *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskii silenetosum borysthénicae* subass. nov., с – встречаемость видов субассоциации *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskii festucetosum ripicolae* subass. nov. Звездочками (*) показаны описания – номенклатурные типы синтаксонов.

Третий подъярус, высотой 10–20 см, разреженный, представлен *Helichrysum arenarium*, *Kochia laniflora*, *Koeleria dubjanskyi* и *Dianthus borbasii*. Единично отмечен кустарник *Chamaecytisus ruthenicus*. В ценозах доминирует *Koeleria dubjanskyi*. Сообщества описаны в урочище Каржимант в 6 км к юго-юго-западу от с. Каржимант Шемышейского района Пензенской области, на высотах 203–206 м над уровнем моря, на песчаных почвах. Рельеф бугристый, уклон поверхности почвы к югу составляет 1–3°. Редко на поверхности почвы отмечены единичные камни.

Субассоциация *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi festucetosum rupicolae* subass. nov. (табл., оп. 9–11). Д. в.: *Festuca rupicola*. Номенклатурный тип (holotypus) – оп. 10 в табл. 1, Пензенская область, Лопатинский район, 5 км к юго-востоку от с. Китунькино, берег р. Шмаковка, 52.56072 с. ш., 46.08474 в. д., 19.07.2021, автор Лысенко Т. М. Флористическое богатство сообществ составляет 12–18 видов, среднее число видов – 16. ОПП варьирует от 45 до 55 %. Покрытие ветоши составляет 5–25 %. Травостоя разделен на три подъяруса. Первый, имеющий высоту 70–80 см, разреженный, образован *Stipa borysthena* и *Jurinea charcoviensis*. Второй подъярус, имеющий высоту 30–40 см, разреженный, сложен *Gypsophila paniculata*, *Artemisia marschalliana*, *Hieracium echinoides* и *Syrenia montana*. Третий подъярус, высотой 10–20 см, разреженный, неравномерного сложения, представлен *Festuca rupicola*, *Dianthus borbasii* и *Helichrysum arenarium*. Единично отмечен кустарник *Chamaecytisus ruthenicus*. В сообществах доминируют *Koeleria dubjanskyi* и *Festuca rupicola*. Ценозы отмечены на песчаных почвах на коренном берегу р. Шмаковка в 5 км к юго-востоку от с. Китунькино Лопатинского района Пензенской области. Уклон речного берега к юго-западу составляет 5–10°.

Присутствие во флористическом составе сообществ ассоциации *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* ass. nov. и субассоциаций *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi typicum* subass. nov., *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi silenetosum borysthenaecae* subass. nov. и *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi festucetosum rupicolae* subass. nov. в значительном количестве диагностических видов класса *Festuco-Brometea*, объединяющего степную растительность Евразии, свидетельствуют о том, что изученные ценозы представляют собой степную растительность. Следует отметить незначительное присутствие в составе исследованных сообществ диагностических видов класса *Koelerio-Coriphonereneae*, который объединяет травяную растительность на песчаных почвах и скалистых обнажениях в умеренных и бореальных зонах Европы, на островах Северной Атлантики и в Гренландии. Этот факт позволяет сделать заключение о том, что нами был изучен псаммофитный вариант степной растительности.

Заключение

Геоботанические исследования степной растительности в Лопатинском и Шемышейском районах Пензенской области и последующий синтаксономический анализ, осуществленный с позиций подхода Ж. Браун-Бланке, позволили установить одну новую ассоциацию *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi* ass. nov. и три новые субассоциации *Jurineo charcoviensis-*

Koelerietum dubjanskyi typicum subass. nov., *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi silenetosum borysthenicae* subass. nov. и *Jurineo charcoviensis-Koelerietum dubjanskyi festucetosum rupicolae* subass. nov. Охарактеризованные ассоциация и субассоциации отнесены к союзу *Festucion valesiacaе* Klika 1931 nom. conserv. propos., порядку *Festucetalia valesiacaе* Soó 1947 класса *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947.

Список литературы

1. Bohn U., Neuhausl R., Gollub G. et al. Karte der natürlichen vegetation europas/map of the natural vegetation of Europe. Maßstab 1:2500000. Münster : Landwirtschaftsverlag, 2000.
2. Келлер Б. А. Из области черноземно-ковыльных степей. Ботанико-географические исследования в Сердобском уезде Саратовской губернии // Труды общества естествоиспытателей при Казанском университете. 1903. Т. 37, № 1. С. 1–154.
3. Спрыгин И. И. Материалы к описанию степи около д. Поперечной Пензенского уезда и заповедного участка на ней // Работы по изучению пензенских заповедников. Пенза, 1923. С. 1–45.
4. Спрыгин И. И. Материалы к познанию растительности Среднего Поволжья. Пенза, 1986. 193 с.
5. Спрыгин И. И. Из области Пензенской лесостепи. III. Степи песчаные, каменисто-песчаные, засоленные, на южных и меловых склонах. Пенза, 1998. 139 с.
6. Лавренко Е. М. Некоторые наблюдения над влиянием пожара на растительность северной степи (Попереченская степь Пензенской области) // Ботанический журнал. 1950. Т. 35, № 1. С. 77–78.
7. Носова Л. М. Сохранившиеся участки степей Пензенской области // Ботанический журнал. 1965. Т. 50, № 6. С. 838–852.
8. Новикова Л. А. Структура и динамика Попереченской лесостепи // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2009. Т. 11, № 1-4. С. 622–629.
9. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Wien ; New-York : Springer-Verlag, 1964. 865 s. doi: 10.1007/978-3-7091-8110-2
10. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K. et al. Vegetation of Europe: Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities // Applied Vegetation Science. 2016. Vol. 19 (1). P. 3–264. doi: 10.1111/avsc.12257
11. Плугатарь Ю. В., Ермаков Н. Б., Крестов П. В. [и др.]. Концепция классификации растительности России как отражение современных задач фитоценологии // Растительность России. 2020. № 38. С. 3–12. doi: 10.31111/vegus/2020.38.3
12. Ярошенко П. Д. Геоботаника : пособие для студентов пед. вузов. М., 1969. 200 с.
13. Миркин Б. М., Розенберг Г. С., Наумова Л. Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М., 1989. 223 с.
14. Lysenko T., Mitroshenkova A., Kalmykova O. Vegetation Database of the Volga and the Ural Rivers Basins // Vegetation databases for the 21st century. Biodiversity & Ecology. 2012. Vol. 4. P. 420–421. doi: 10/7809.b-e.00208
15. Hennekens S. M. TURBO(VEG). Software package for input, processing, and presentation of phytosociological data. Users guide. Lancaster : IBN-DLO, 1996. 52 p.
16. Tichý L. JUICE, software for vegetation classification // Journal of Vegetation Science. 2002. Vol. 13. P. 451–453.
17. Theurillat J.-P., Willner W., Fernández-González F. et al. International Code of Phytosociological Nomenclature. 4th ed. // Applied Vegetation Science. 2021. № 24. P. e12491. doi: 10.1111/avsc.12491
18. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.

19. Цвелев Н. Н., Пробатова Н. С. Злаки России. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2019. 646 с.

References

1. Bohn U., Neuhausl R., Gollub G. et al. *Karte der natürlichen vegetation europas/map of the natural vegetation of Europe. Maßstab 1:2500000*. Münster: Landwirtschaftsverlag, 2000.
2. Keller B.A. From the region of chernozem-feather grass steppes. Botanical and geographical research in the Serdob district of the Saratov province. *Trudy obshchestva estestvoispytateley pri Kazanskom universitete = Proceedings of the Society of Naturalists of Kazan University*. 1903;37(1):1–154. (In Russ.)
3. Sprygin I.I. Materials for the description of the steppe near the village of Poperechnaya, Penza district and the protected area on it. *Raboty po izucheniyu penzenskikh zapovednikov = Work on the study of Penza reserves*. Penza, 1923:1–45. (In Russ.)
4. Sprygin I.I. *Materialy k poznaniyu rastitel'nosti Srednego Povolzh'ya = Materials for knowledge of vegetation of the Middle Volga region*. Penza, 1986:193. (In Russ.)
5. Sprygin I.I. *Iz oblasti Penzenskoy lesostepi. III. Stepi peschanye, kamenisto-peschanye, zasolennye, na yuzhnykh i melovykh sklonakh = From the Penza forest-steppe region. 3. Steppes are sandy, stony-sandy, saline, on southern and chalk slopes*. Penza, 1998:139. (In Russ.)
6. Lavrenko E.M. Some observations on the influence of fire on the vegetation of the northern steppe (Poperechenskaya steppe of the Penza region). *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1950;35(1):77–78. (In Russ.)
7. Nosova L.M. Preserved areas of the steppes of Penza region. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1965;50(6):838–852. (In Russ.)
8. Novikova L.A. Structure and dynamics of the Poperechenskaya forest-steppe. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk = Proceedings of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2009;11(1-4):622–629. (In Russ.)
9. Braun-Blanquet J. *Pflanzensociologie*. Wien; New-York: Springer-Verlag, 1964:865. doi: 10.1007/978-3-7091-8110-2
10. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K. et al. Vegetation of Europe: Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *Applied Vegetation Science*. 2016;19(1):3–264. doi: 10.1111/avsc.12257
11. Plugatar' Yu.V., Ermakov N.B., Krestov P.V. et al. The concept of classification of vegetation in Russia as a reflection of modern tasks of phytocenology. *Rastitel'nost' Rossii = Vegetation of Russia*. 2020;(38):3–12. (In Russ.). doi: 10.31111/vegrus/2020.38.3
12. Yaroshenko P.D. *Geobotanika: posobie dlya studentov ped. Vuzov = Geobotany: a manual for pedagogical students*. Universities. Moscow, 1969:200. (In Russ.)
13. Mirkin B.M., Rozenberg G.S., Naumova L.G. *Slovar' ponyatiy i terminov sovremennoy fitotsenologii = Dictionary of concepts and terms of modern phytocenology*. Moscow, 1989:223. (In Russ.)
14. Lysenko T., Mitroshenkova A., Kalmykova O. Vegetation Database of the Volga and the Ural Rivers Basins. *Vegetation databases for the 21st century. Biodiversity & Ecology*. 2012;4:420–421. doi: 10/7809.b-e.00208
15. Hennekens S.M. TURBO(VEG). *Software package for input, processing, and presentation of phytosociological data. Users guide*. Lancaster: IBN-DLO, 1996:52.
16. Tichý L. JUICE, software for vegetation classification. *Journal of Vegetation Science*. 2002;13:451–453.
17. Theurillat J.-P., Willner W., Fernández-González F. et al. International Code of Phytosociological Nomenclature. 4th ed. *Applied Vegetation Science*. 2021;(24):e12491. doi: 10.1111/avsc.12491

18. Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR) = Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR)*. Saint Petersburg, 1995:992. (In Russ.)
19. Tsvelev N.N., Probatova N.S. *Zlaki Rossii = Cereals of Russia*. Moscow: Tovarichestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2019:646. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Татьяна Михайловна Лысенко

доктор биологических наук, доцент,
ведущий научный сотрудник
лаборатории общей геоботаники,
Ботанический институт имени
В. Л. Комарова Российской академии
наук (Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Профессора Попова, 2В);
ведущий научный сотрудник
лаборатории исследования экосистем,
Институт экологии Волжского бассейна
РАН – филиал Самарского федерального
исследовательского центра РАН
(Россия, Самарская область,
г. Тольятти, ул. Комзина, 10)

E-mail: tlysenko@binran.ru

Tat'yana M. Lysenko

Doctor of biological sciences, associate
professor, leading researcher of the laboratory
of general geobotanists, Komarov
Botanical Institute of the Russian Academy
of Sciences (2v, Professora Popova street,
Saint Petersburg, Russia);
leading researcher of the ecosystem
research laboratory, Institute of Ecology
of Volga River Basin of the Russian
Academy of Sciences – branch of Samara
Federal Research Scientific Center
of the Russian Academy of Sciences
(10 Komzina street, Togliatti,
Samara region, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 10.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 18.09.2023

Принята к публикации / Accepted 03.10.2023

УДК 581.92

doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-3

Зависимость числа основных таксонов флор от климатических показателей на территории центральной части Волжского бассейна

Л. С. Шарая¹, А. В. Иванова², М. А. Аристова³,
Р. С. Кузнецова⁴, Н. В. Костина⁵, Г. С. Розенберг⁶

^{1,2,3,4,5,6}Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского
федерального исследовательского центра РАН,
Тольятти, Самарская обл., Россия

¹l_sharaya@mail.ru, ²nastia621@yandex.ru, ³margo.aristova2016@yandex.ru,
⁴cuznetsova@yandex.ru, ⁵knva2009@yandex.ru, ⁶genarozenberg@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цель.* Закономерности связи количества семейств, родов и видов с климатом на региональном уровне мало изучены и требуют уточнения. *Материалы и методы.* Использовали исходные данные по флоре на 28 участках площадью 400 км² каждый в центральной части Волжского бассейна. Определение таксономических параметров осуществлялось с помощью алгоритмов обработки базы данных FD SUR. Было осуществлено необходимое объединение списков видов сосудистых растений и построение семейственных и родовых спектров. Использовали средние многолетние данные месячных осадков и температур, температур и сумм осадков по сезонам, а также значения 19 биоклиматических переменных. *Результаты.* Выявлены отрицательные связи с температурами и положительные – с осадками теплого периода, когда выявлено статистически значимое влияние на разнообразие. Наиболее тесны связи с климатом для числа семейств, наименее – для числа видов. Оценены изменения температуры и количества осадков по четырем географическим направлениям. Наиболее выражены северный холодно-гумидный и юго-восточный термоаридный тренды. Северный характеризуется снижением температуры на 0,34°C и возрастанием осадков на 17 мм на каждые 100 км; юго-восточный – повышением температуры на 0,27°C и уменьшением осадков на 15 мм. *Выводы.* Холодно-гумидный тренд дает наиболее благоприятные условия для увеличения разнообразия в регионе. Он характеризуется тем, что на каждые 100 км число видов увеличивается на 36, родов – на 17, семейств – на 6. Это свидетельствует об экологической пластичности разнообразия с различной реакцией на вариации климата для разных таксономических уровней, что в целом способствует сохранению разнообразия.

Ключевые слова: локальные флоры, таксономическое разнообразие, число таксонов, экологические факторы среды, Волжский бассейн

Финансирование: работа выполнена в рамках темы государственного задания «Структура, динамика и устойчивое развитие экосистем Волжского бассейна», № 1021060107217-0-1.6.19.

Для цитирования: Шарая Л. С., Иванова А. В., Аристова М. А., Кузнецова Р. С., Костина Н. В., Розенберг Г. С. Зависимость числа основных таксонов флор от климатических показателей на территории центральной части Волжского бассейна // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 3. С. 29–42. doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-3

Dependence of main flora taxa number of flora on climatic indicators in the central Volga basin

L.S. Sharaya¹, A.V. Ivanova², M.A. Aristova³,
R.S. Kuznetsova⁴, N.V. Kostina⁵, G.S. Rozenberg⁶

^{1,2,3,4,5,6}Institute of Ecology of Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences – branch of Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Togliatti, Samara region, Russia

¹l_sharaya@mail.ru, ²nastia621@yandex.ru, ³margo.aristova2016@yandex.ru,
⁴cuznetsova@yandex.ru, ⁵knva2009@yandex.ru, ⁶genarozenberg@yandex.ru

Abstract. *Background.* The regularities of the relationship between the number of families, genera, and species with climate at the regional level have been insufficiently studied and require further research. *Materials and methods.* We used initial data on flora in 28 plots with an area of 400 km² each in the central part of the Volga basin. Taxonomic parameters were determined by the algorithms of the FD SUR database. The required combination of lists of vascular plant species and the construction of family and generic spectra were carried out. We used long-term averages of monthly precipitation and temperatures, temperatures and total precipitation by season, as well as the values of 19 bioclimatic variables. *Results.* Negative relationships with temperatures and positive relationships with precipitation during the warm period were revealed, when a statistically significant effect on diversity was revealed. The closest relationship with climate is for the number of families, the least for the number of species. Changes in temperature and precipitation in four geographical directions are estimated. The northern cold-humid and southeastern thermo-arid trends are most pronounced. The northern one is characterized by a decrease in temperature by 0,34°C and an increase in precipitation by 17 mm for every 100 km; southeastern - by an increase in temperature by 0,27°C and a decrease in precipitation by 15 mm. *Conclusions.* The cold-humid trend provides the most favorable conditions for increasing diversity in the region. It is characterized by the fact that for every 100 km the number of species increases by 36, genera – by 17, families – by 6. This indicates the ecological plasticity of diversity with different responses to climate variations for different taxonomic levels, which generally contributes to diversity conservation.

Keywords: local floras, taxonomic diversity, number of taxa, environmental factors, Volga basin

Financing: the study is carried out within the framework of the state task “Structure, dynamics and sustainable development of the ecosystems of the Volga basin”, No. 1021060107217-0-1.6.19.

For citation: Sharaya L.S., Ivanova A.V., Aristova M.A., Kuznetsova R.S., Kostina N.V., Rozenberg G.S. Dependence of main flora taxa number of flora on climatic indicators in the central Volga basin. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2023;(3):29–42. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-3

Введение

Флористическое разнообразие тесно связано с климатом. На суше всей Земли представлено разнообразие семейств [1], наибольшие значения наблюдаются в экваториальной зоне [2]. В региональном масштабе (разрешение 5–20 км) изучалась в основном связь числа видов N_s с климатом; связь на этом масштабе слабее, но зависит от групп или жизненных форм растений [3–5].

Известно, что число видов возрастает с увеличением площади обследования. Потому для сопоставимости получаемых результатов необходимо,

чтобы изучаемые площади были сопоставимы. Например, в региональном масштабе 100 км² каждая [6]. Однако в разных природных зонах, а также с учетом ландшафтных особенностей такая площадь для репрезентативной выборки может существенно меняться от 100 до 500 км² [7]. Опираясь на предложенную концепцию конкретных флор [8, 9], следует отметить, что важным показателем является минимальный ареал, который характеризует «портрет флоры». Площади минимального ареала соответствует такой видовой состав, который отражает типичные экотопы территории, а число видов достаточно полно описывает конкретную флору, с увеличением площади до ареала максимум идет незначительное прибавление видов. Ранг максимального ареала конкретной флоры – региональный уровень, тогда как минимального ареала – локальный. Нами минимальный ареал конкретной флоры рассматривается как локальная флора, видовой состав которой характеризует не отдельный произвольный участок местности (локальная флора в широком понимании), а флору конкретной местности. Согласно проведенным исследованиям (2004–2014 г.) в условиях Среднего Поволжья площадь определения видового состава соответствует не менее 400 км² [10]. Имея списки видов таких локальных флор, пространственно распределенных по территории Центральной части бассейна реки Волга, мы изучили связи числа видов (N_s), родов (N_g) и семейств (N_f) сосудистой растительности с климатом в Среднем Поволжье на 28 площадках, каждая площадью 400 км². Отметим, что изучение связи N_g или N_f с климатом в региональном масштабе проводилось значительно реже, чем для N_s [7, 11]. Несмотря на общие тенденции близости связи N_s , N_g и N_f с климатом, их распределение может не совпадать в пространстве. В Северной Америке наибольшие N_s и N_g отмечены на юго-западе, а N_f – на юго-востоке [12]; в Восточной Европе показано, что максимальная скорость изменения N_f с широтой лежит на 3,5–4,4° севернее, чем для N_g и N_s [13]. В целом закономерности различий в связи N_s , N_g и N_f с климатом требуют уточнения [11].

Материалы и методы

Исходные данные по флоре. Полигоны исследования распределены по территории Самарской, Ульяновской, Пензенской областей, Республики Мордовия и Республики Чувашия. Таким образом, район исследования охватывает центральную часть территории Волжского бассейна, которая полностью или частично разными авторами относится к Среднему Поволжью. Покрытие лесами в регионе низкое. Почвы меняются от черноземов на юге до дерново-подзолистых на севере. Используемые в работе списки видов сосудистых растений соответствуют минимальному ареалу флоры конкретной местности площадью 400 км². Такие выборки видового состава региональных флор для территории, например, лесостепной зоны Среднего Поволжья имеют в своем составе 600–800 видов [14]. Для исследования выбрано 28 участков указанной площади (рис.1). Для 9 участков использовали опубликованные списки видов (ссылки приведены в [15]). Для остальных участков выполнено объединение имеющихся в базе данных FD SUR [16] списков видов по 163 флористическим описаниям. Исходные списки видов установлены в процессе полевых исследований с 2004 по 2021 г. Каждый список составлялся на местности для отдельного географического пункта с использованием маршрутного метода (5–10 км) и впоследствии дополнялся определенным гербарным материалом. Каждый из 19 участков площадью 400 км² представ-

лен объединенным списком видов сосудистых растений и включает от 5 до 15 флористических описаний. Следует также отметить, что большинство обследованных локальных площадей включают в свой состав особо охраняемые природные территории разного статуса. Это дает понимание естественности флоры изучаемого региона, который находится под высоким антропогенным воздействием.

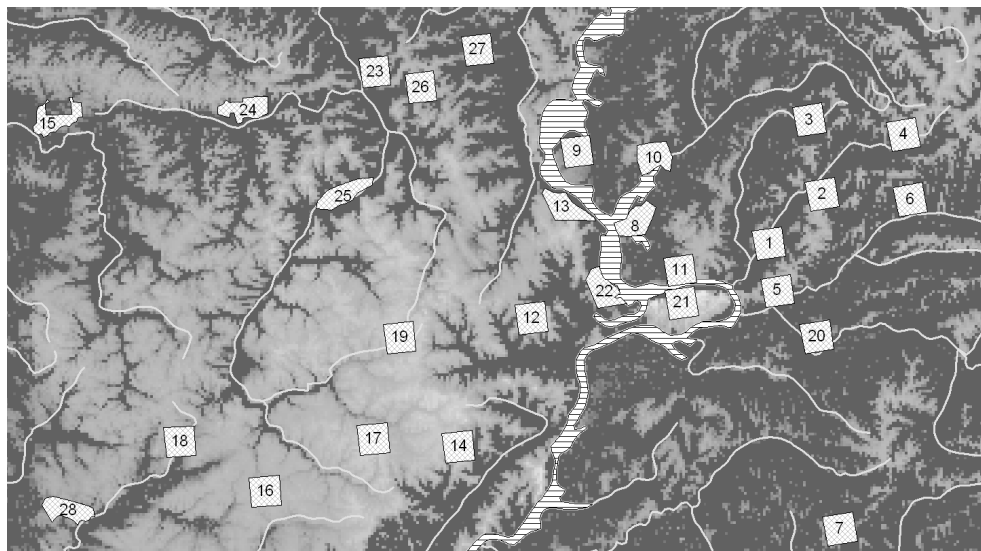


Рис. 1. Расположение полигонов на территории средней части территории Волжского бассейна

Климатические данные. Средние многолетние данные месячных осадков и температур, температур и сумм осадков по сезонам, а также значения 19 биоклиматических переменных, например, среднегодовая сумма осадков и ее коэффициент вариации, взяты из базы данных WorldClim [17]. В WorldClim месячные климатические переменные усреднены за 50 лет (1950–2000 гг.) и представлены с пространственным разрешением 900 м. Для характеристики исследовательских полигонов использовали матрицы климата разрешением 600 м, из них вырезали полигоны площадью 400 км², для каждого из них рассчитывали средние, минимальные и максимальные значения климатических показателей, их диапазон и стандартное отклонение.

Расчет пространственных климатических трендов, анализ связей богатства видов, родов и семейств с климатом. Пространственные климатические тренды, а также их градиенты определяли с помощью анализа связей основных климатических показателей с географическими направлениями в программе Аналитическая ГИС Эко [18]. Выраженность тренда характеризовала теснота связей между ними, а скорость изменения тренда или его пространственный градиент – коэффициент линейной регрессии. Анализ связей богатства видов, родов и семейств с климатом проводили в программах Аналитическая ГИС Эко и Excel.

Результаты исследования

На рассматриваемой территории многолетние среднемесячные температуры (T) и осадки (P) тесно отрицательно связаны в теплый период, но

практически независимы в холодный (рис. 2). По этой причине имеются трудности в определении, что больше влияет на разнообразие растительного покрова в теплый период, осадки или температуры. По графику, представленному на рис. 2, мы можем заключить, что при снижении осадков летом может возрастать температура, т.е. возникать засушливый период, особенно в июле.

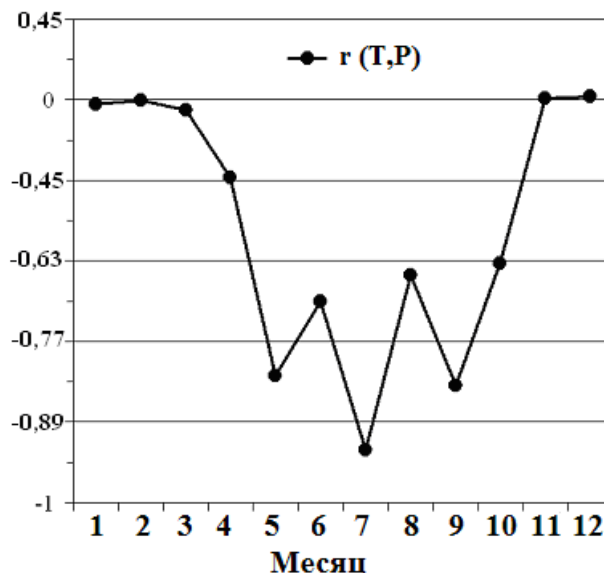


Рис. 2. Распределение по месяцам тесноты связи (r) между среднемесячными температурами (T) и осадками (P)

Коэффициенты вариации для числа видов Ns , числа родов Ng и числа семейств Nf составили 11,3, 10,4 и 11,2 % соответственно. Средние значения числа видов в роде $(Ns/Ng)_{AV} = 1,94$, числа родов в семействе — $(Ng/Nf)_{AV} = 3,97$, числа видов в семействе — $(Ns/Nf)_{AV} = 7,72$.

Кривые связей Ns , Ng и Nf со среднемесячными температурами T (рис. 3,а) показывают, что при смене знака температур происходит смена знака связей. Кривые связей с осадками P (рис. 3,б) подобны температурным, но являются их зеркальным отражением. Смена знаков связей Ns , Ng и Nf с осадками происходит вместе со сменой знаков температур месяцев.

Показатели разнообразия Ns , Ng и Nf положительно связаны с отрицательными T месяцев в холодный период и отрицательно — с положительными T месяцев в теплый период (рис. 3,а). Это указывает на то, что на видовое богатство Ns (а также на Ng и Nf) позитивно влияют повышенные T холодного периода и негативно — высокие T теплого периода. Другими словами, умеренные T холодного и теплого периодов способствуют более высокому разнообразию на всех трех таксономических уровнях. Результат отвечает известным фактам, что сильные морозы, так и летняя жара неблагоприятны для растительности в умеренной зоне [19, 20]. Связь с осадками имеет прямо противоположный характер (рис. 3,б) — кривые представляют зеркально отраженные кривые связей с T (рис. 3,а). Низкие значения P теплого периода уменьшают разнообразие, как и низкие P холодного периода. Это отвечает

тому, что в умеренной зоне летние засухи неблагоприятно влияют на видовой состав флоры, как и небольшой снежный покров. Относительное влияние осадков и температур на разнообразие можно было бы оценить по тесноте связей, но для этого необходима независимость P и T . В изучаемом регионе P и T существенно зависимы (рис. 2,б) так же, как это часто наблюдается для климатических факторов, что приводит к известной проблеме их использования. Отметим, что число семейств Nf более тесно связано как с осадками, так и с температурами в теплый период, чем Ng или Ns (рис. 3).

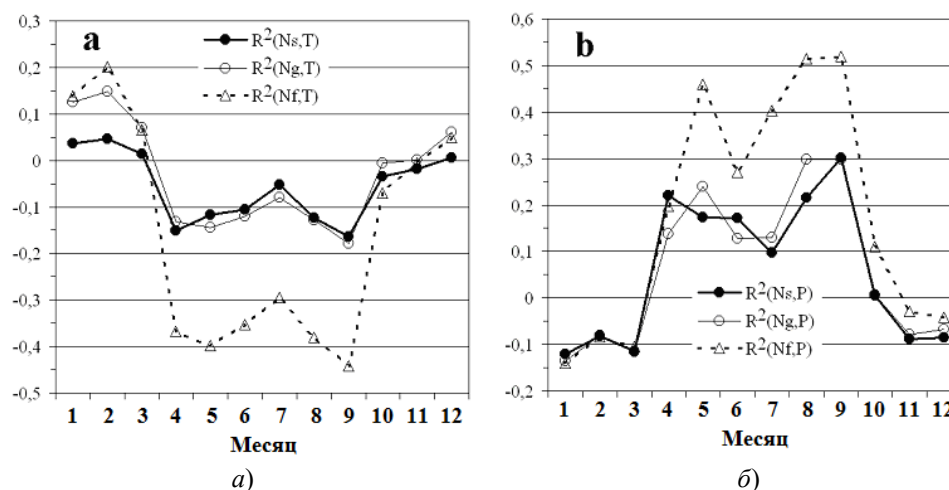


Рис. 3. Связи числа видов Ns , родов Ng и семейств Nf со среднемесячными осадками (а) и температурами (б). Коэффициенты детерминации (R^2) указаны со знаками связи

Нами рассмотрены также связи отношений Ns/Ng , Ng/Nf и Ns/Nf с температурами и осадками. Наиболее тесные связи с климатом наблюдаются для средней плотности родов в семействах (Ng/Nf) в теплый период, особенно с осадками июля (рис. 4). Снижение Ng/Nf при недостатке осадков почти на 40 % может объясняться летними засухами (рис. 4,б). Родовая плотность семейств в определенной тенденции отвечает древности растений [20]; тогда по данным на рис. 4 разнообразие древних семейств, уменьшаясь, показывает наибольшую чувствительность к летним засухам, и, увеличиваясь, – к доступности летнего тепла. При этом засухи влияют на плотность сильнее (рис. 4). В отличие от этого, видовая плотность родов Ns/Ng практически не зависит от условий теплого периода и отрицательно, хотя и слабо, связана с зимними температурами (рис. 4). Считается, что видовая плотность родов в определенной тенденции связана с позднейшими этапами эволюции: чем эволюционно моложе флора, тем выше плотность [20]. Полученный результат может отражать меньшую зависимость видового состава рассматриваемой нами флоры от современного климата, что описывается показанной сравнительно слабой связью.

Для понимания закономерностей изменений в регионе Среднего Поволжья богатства видов, родов и семейств сосудистых растений нами рассмотрены **пространственные климатические тренды**, оценены градиенты температур и осадков по разным географическим направлениям. Простран-

ственные климатические тренды для базового периода (1950–2000 гг.), выявленные нами, показаны на рис. 5. По тесноте связей (коэффициенту корреляции между климатическими показателями и географическими направлениями) судили о выраженности трендов.

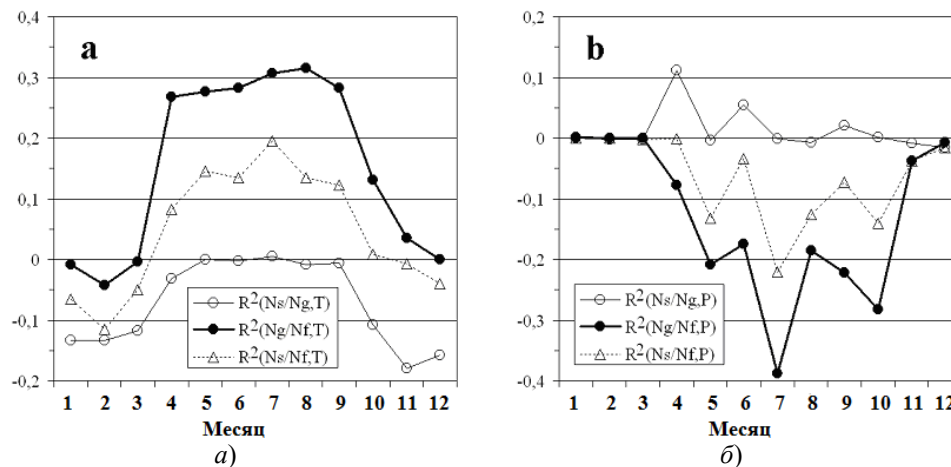


Рис. 4. Распределение по месяцам (а) связей плотностей Ns/Ng , Ng/Nf и Ns/Nf с температурами T и (б) осадками P . Коэффициенты детерминации (R^2) указаны со знаками связи

Для выделенных пространственных климатических трендов по географическим направлениям определены следующие характеристики. Наиболее выраженным для годовой температуры, усредняющей показатели периодов, сезонов и отдельных месяцев, является *холодный тренд на север* и менее выраженный – на северо-восток (рис. 5,б). Северный холодный тренд характеризуется в среднем снижением годовой температуры на $0,28\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 км , а северо-восточный холодный тренд – на $0,14\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 км . Заметных изменений годовых осадков по этим направлениям не наблюдается (рис. 5,а). Для показателей теплого периода (апрель–октябрь) северное направление характеризуется холодно-гумидным трендом с градиентами $-0,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 км в месяц и $+17\text{ мм}$ на 100 км за период (рис. 5), а также несколько менее выраженным для лета ($-0,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ и $+9\text{ мм}$). Направление на северо-восток характеризуется холодным трендом для зимнего сезона ($-0,42\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 км) и холодного периода в целом ($-0,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 км). По восточному направлению происходит заметное снижение температуры зимы ($-0,39\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 км). Термоаридным трендом характеризуется юго-восточное направление для летнего сезона ($+0,33^{\circ}$ и -9 мм на каждые 100 км) и для всего теплого периода ($+0,27^{\circ}$ и -15 мм на 100 км). Для зимы юго-восточный тренд является также одним из наиболее холодных ($-0,40^{\circ}/100\text{ км}$). Показатели весеннего сезона не имеют выраженных климатических трендов по направлениям.

Обобщая результаты анализа, подчеркнем, что северный холодно-гумидный тренд наиболее актуален для климатических показателей середины и завершения вегетационного периода – лета и осени. Для летних месяцев также характерен выраженный термоаридный тренд на юго-восток. В начале вегетационного периода неактуальны явные климатические тренды, можно отметить лишь слабо выраженные гумидный на восток и аридный на юго-восток. В зимний сезон «покоя» растительных сообществ наиболее заметны

холодные тренды на северо-восток, восток и юго-восток, но не на север. Для годовых показателей, интегрирующих средние значения по годовому циклу, важен только северный холодный тренд. Связи богатства видов, родов и семейств с географическими направлениями показаны в табл. 1.

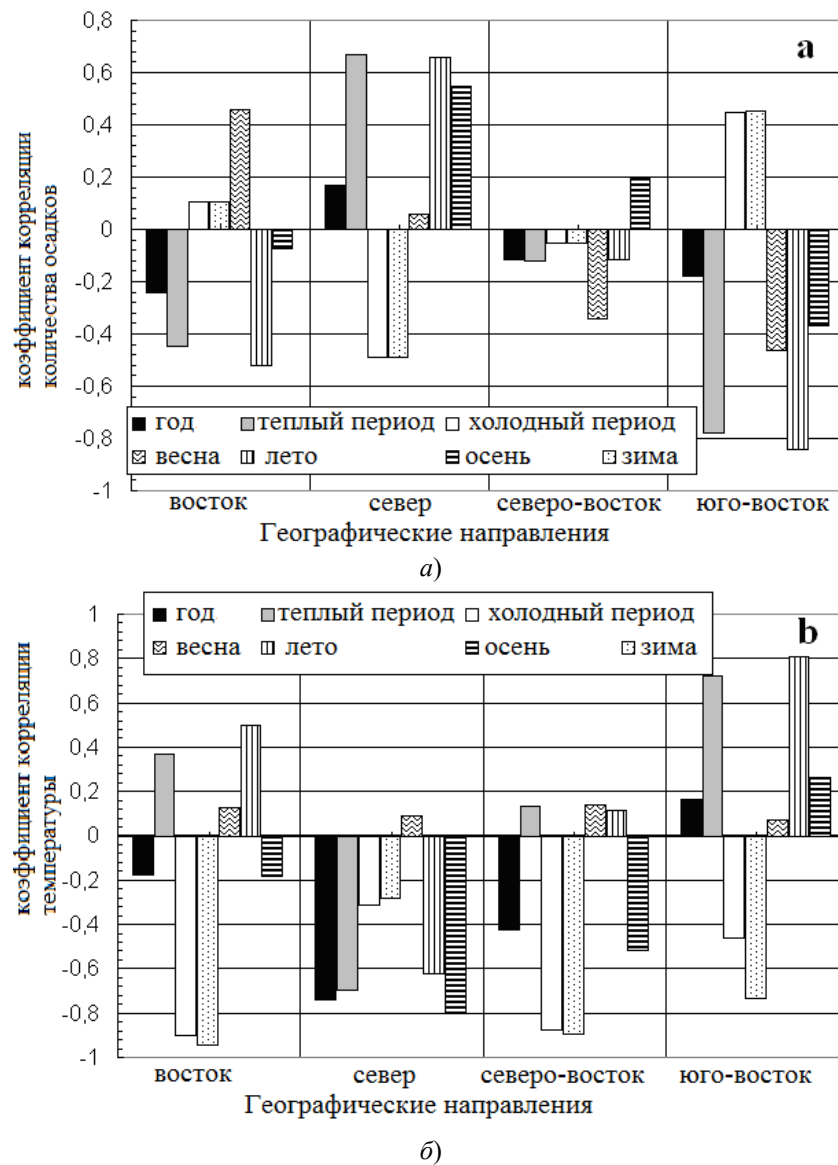


Рис. 5. Связи температур (а) и осадков (б) для разных периодов с расстояниями по заданным географическим направлениям

N_s , N_g и N_f имеют одинаковый характер зависимостей от направлений: синхронно меняют знаки связей с ними (рис. 6). Теснота связей с географическими направлениями для всех таксономических уровней падает в ряду север – юго-восток – северо-восток – восток. Теснота связей разнообразия с направлениями растет в ряду N_s – N_g – N_f , т.е. наиболее чувствительным к изменению по направлениям является число семейств, наименее – число видов.

Таблица 1

Связи между количеством видов (N_s), родов (N_g)
и семейств (N_f) с географическими направлениями

Географические направления	Коэффициент корреляции		
	N_s	N_g	N_f
Восток	-0,063	-0,101	-0,168
Север	0,557	0,574	0,668
Северо-восток	0,270	0,251	0,253
Юго-восток	-0,402	-0,444	-0,560

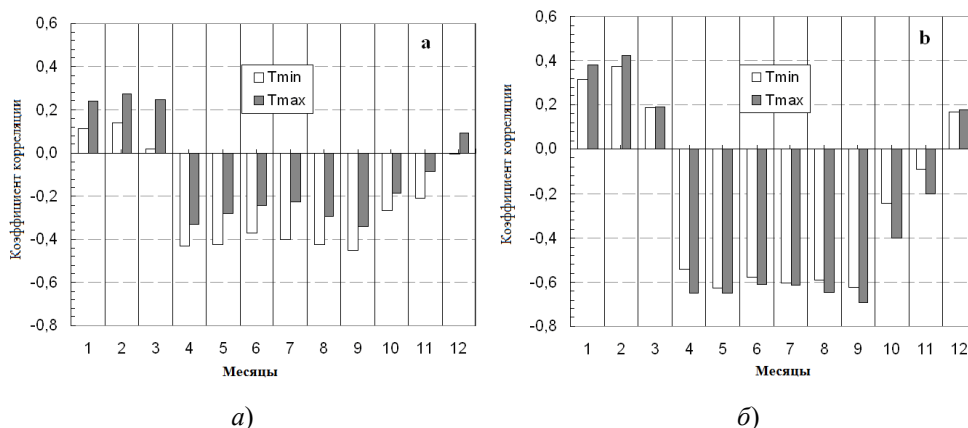


Рис. 6. Связи N_s (a) и N_f (б) с минимальными (T_{min}) и максимальными (T_{max}) температурами площадей исследования

Заметное снижение разнообразия на юго-восточном направлении выражается в среднем следующими градиентами: через каждые 100 км число видов уменьшается на 26, родов – на 16 и семейств на – 5. Это может быть связано с выявленным для этого направления термоаридным трендом весны и лета, а также зимним холодно-гумидным трендом. По направлению на север обнаруживается, напротив, возрастание числа видов (на 41/100 км), родов (на 20/100 км) и семейств (на 6 /100 км).

Рост разнообразия по направлению на север согласован с холодно-гумидным пространственным трендом теплого периода и отдельно – лета и осени, а также – с зимним аридным трендом (см. рис. 5). Восточное направление характеризуется более слабым снижением разнообразия видов (на 10 видов на 100 км), родов (на 8 родов на 100 км) и семейств (на 3 семейства на 100 км), причиной которого, по-видимому, являются летний термоаридный тренд и достаточно холодный малоснежный тренд зимы. Направление на северо-восток, которому отвечает хорошо выраженные холодный зимний и весенний аридные тренды, практически не влияет на биоразнообразие (рис. 6).

Результат выраженного роста разнообразия на север, по направлению которого усиливается холодно-гумидный тренд во время вегетационного периода, согласуется с результатами анализа парных связей разнообразия со среднемесячными показателями: снижение температуры и рост осадков приводят к увеличению разнообразия. Согласование с парными корреляциями присутствует и для юго-восточного термоаридного тренда.

Результаты анализа с помощью линейной парной корреляции показали, что на изученных площадях присутствует некоторая пространственная дифференциация по температурам. Теснота связей для N_s с экстремальными температурами заметно меньше, чем для N_f . Зависимость от минимальных температур в теплый период числа видов выражена сильнее, чем от максимальных; и напротив – для числа семейств связи с максимальными температурами в тот же период теснее. Для холодного периода с отрицательными температурами связи с максимальными температурами актуальнее для обоих таксономических уровней. Такой результат может свидетельствовать как о различиях реакций на климатические показатели, так и о некоторой тенденции возможной пространственной дифференциации на рассматриваемых площадях между N_s и N_f . Последняя может выражаться в приуроченности таксономических уровней к разным ареалам. Например, менее зависимые от максимальных температур N_s занимают ареалы с близкими к этим температурами, а более зависимые от максимальных температур N_f занимают ареалы с близкими к минимальным температурами.

Заключение

При имеющихся чертах сходства, разные таксономические уровни разнообразия локальных флор сосудистых растений различно реагируют на вариации климата в Среднем Поволжье.

Сходство заключается в отрицательной связи N_s , N_g и N_f с температурами и положительной – с осадками теплого периода, когда эти связи наиболее тесные. Родовая плотность семейств N_g/N_f при этом более тесно связана с климатом, чем N_s/N_g или N_s/N_f . В предположении, что N_g/N_f отвечает древности семейств [44], древнейшие семейства наиболее чувствительны к летним засухам, уменьшаясь с ними, и доступности летнего тепла, увеличиваясь с ними, при этом засухи играют несколько большую роль. Видовая плотность родов N_s/N_g предположительно связана с позднейшими этапами эволюции [20], и этот показатель отражает меньшую зависимость от современного климата эволюционно более молодой растительности, чему отвечает слабая связь N_s/N_g с климатом. Хотя эти предположения имеют пока необоснованный характер, они согласуются с полученными результатами (см. рис. 4). Различие состоит в том, что для флор с наибольшими N_f и N_g выявлены более тесные связи с температурами, осадками и градиентами климата по направлениям; для флоры с наибольшими N_s наблюдается обратная ситуация: относительно слабые связи и низкие градиенты. Показаны различия в связях разных таксономических уровней с экстремальными температурами на исследовательских площадках. Результаты обосновывают, что связи N_s , N_g и N_f с климатом неодинаковы и свидетельствуют об экологической пластичности растительных сообществ Среднего Поволжья, с различной реакцией на вариации климата для разных таксономических уровней. В целом, по нашему мнению, это способствует сохранению разнообразия в условиях неоднородного климата.

Список литературы

1. Francis A. P., Currie D. J. A globally consistent richness-climate relationship for angiosperms // The American Naturalist. 2003. Vol. 61. P. 523–536.

2. Hawkins B. A., Rodríguez M. Á., Weller S. G. Global angiosperm family richness revisited: linking ecology and evolution to climate // *Biogeography*. 2011. Vol. 38. P. 1253–1266.
3. Ricklefs R. E. Historical and ecological dimensions of global patterns in plant diversity // *Biologiske Skrifter*. 2005. Vol. 55. P. 583–603.
4. Moser D., Dullinger S., Englisch T. et al. Environmental determinants of vascular plant species richness in the Austrian Alps // *Biogeography*. 2005. Vol. 32. P. 1117–1127.
5. Шарый П. А., Шарая Л. С., Иванова А. В. [и др.]. Сравнительный анализ видового богатства жизненных форм сосудистых растений в Среднем Поволжье // *Сибирский экологический журнал*. 2019. Т. 26, № 4. С. 383–396.
6. Csörgő A. M., Salguero-Gómez R., Broennimann O. [et al.]. Less favourable climates constrain demographic strategies in plants // *Ecology Letters*. 2017. Vol. 20. P. 969–980.
7. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике : учеб. пособие. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1984. 288 с.
8. Толмачев А. И. Введение в географию растений. Л. : ЛГУ, 1974. 244 с.
9. Юрцев Б. А., Семкин Б. И. Изучение конкретных и парциальных флор с помощью математических методов // *Ботанический журнал*. 1980. Т. 65, № 12. С. 1706–1718.
10. Иванова А. В., Костина Н. В. Выявление площади минимум-ареала конкретной флоры с учетом антропогенной трансформации территории // *Известия Самарского Научного центра РАН*. 2015. Т. 17, № 4. С. 77–80.
11. Морозова О. В. Пространственные тренды таксономического богатства флоры сосудистых растений // *Биосфера*. 2011. Т. 3, № 2. С. 190–207.
12. Qian H., Song J-S., Krestov P. et al. Large-scale phytogeographical patterns in East Asia in relation to latitudinal and climatic gradients // *Biogeography*. 2003. Vol. 30. P. 129–141.
13. Шмидт В. М. Зависимость количественных признаков конкретных флор Европейской части СССР от географической широты // *Ботанический журнал*. 1979. № 64. С. 172–183.
14. Иванова А. В., Костина Н. В., Аристова М. А. Зависимость таксономических параметров флор от размеров выборки // *Известия Саратовского университета. Новая серия. Сер.: Химия. Биология. Экология*. 2020. Т. 20, № 4. С. 404–416.
15. Иванова А. В., Аристова М. А., Костина Н. В. [и др.]. Структура флоры центральной части территории Волжского бассейна по таксономическим показателям // *Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии*. 2022. Т. 31, № 2. С. 40–57.
16. Св-во о рег. базы данных RUS 2018621983 Флористические описания локальных участков Самарской и Ульяновской областей (FD SUR) / Аристова М. А., Розенберг Г. С., Кудинова Г. Э. [и др.]. Запег. 12.11.2018.
17. Hijmans R. J., Cameron S. E., Parra J. L. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas // *International Journal of Climatology*. 2005. Vol. 25. P. 1965–1978.
18. Wood J. Overview of software packages used in geomorphometry / ed. by T. Hengl, H. I. Reuter // *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Amsterdam : Elsevier, 2009. Chapter 10. 257 p.
19. Вальтер Г. Общая геоботаника / пер. с нем. и предисл. А. Г. Еленевского. М. : Мир, 1982. 264 с.
20. Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Современное состояние основных концепций науки о растительности. Уфа : Гилем, 2012. 488 с.

References

1. Francis A.P., Currie D.J. A globally consistent richness-climate relationship for angiosperms. *The American Naturalist*. 2003;61:523–536.

2. Hawkins B.A., Rodríguez M.Á., Weller S.G. Global angiosperm family richness revisited: linking ecology and evolution to climate. *Biogeography*. 2011;38:1253–1266.
3. Ricklefs R.E. Historical and ecological dimensions of global patterns in plant diversity. *Biologiske Skrifter*. 2005;55:583–603.
4. Moser D., Dullinger S., Englisch T. et al. Environmental determinants of vascular plant species richness in the Austrian Alps. *Biogeography*. 2005;32:1117–1127.
5. Sharyy P.A., Sharaya L.S., Ivanova A.V. et al. Comparative analysis of the species richness of life forms of vascular plants in the Middle Volga region. *Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal = Siberian Ecological Journal*. 2019;26(4):383–396. (In Russ.)
6. Csörgő A.M., Salguero-Gómez R., Broennimann O. et al. Less favourable climates constrain demographic strategies in plants. *Ecology Letters*. 2017;20:969–980.
7. Shmidt V.M. *Matematicheskie metody v botanike: ucheb. posobie = Mathematical methods in botany: textbook*. Leningrad: Izd-vo Le-ningr. un-ta, 1984:288. (In Russ.)
8. Tolmachev A.I. *Vvedenie v geografiyu rasteniy = Introduction to Plant Geography*. Leningrad: LGU, 1974:244. (In Russ.)
9. Yurtsev B.A., Semkin B.I. Study of specific and partial floras using mathematical methods. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1980;65(12):1706–1718. (In Russ.)
10. Ivanova A.V., Kostina N.V. Identification of the area of the minimum range of a specific flora, taking into account the anthropogenic transformation of the territory. *Izvestiya Samarskogo Nauchnogo tsentra RAN = Proceedings of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2015;17(4):77–80. (In Russ.)
11. Morozova O.V. Spatial trends in taxonomic richness of vascular plant flora. *Biosfera = Biosphere*. 2011;3(2):190–207. (In Russ.)
12. Qian H., Song J-S., Krestov P. et al. Large-scale phytogeographical patterns in East Asia in relation to latitudinal and climatic gradients. *Biogeography*. 2003;30:129–141.
13. Shmidt V.M. Dependence of quantitative characteristics of specific floras of the European part of the USSR on geographic latitude. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1979;(64):172–183. (In Russ.)
14. Ivanova A.V., Kostina N.V., Aristova M.A. Dependence of taxonomic parameters of floras on sample sizes. *Izvestiya Saratovskogo universiteta. Novaya seriya. Ser.: Khimiya. Biologiya. Ekologiya = Proceedings of Saratov University. New series. Series: Chemistry. Biology. Ecology*. 2020;20(4):404–416. (In Russ.)
15. Ivanova A.V., Aristova M.A., Kostina N.V. et al. Structure of the flora of the central part of the Volga basin according to taxonomic indicators. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii = Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*. 2022;31(2):40–57. (In Russ.)
16. Database Registration Certificate RUS 2018621983 Floristic descriptions of local areas of Samara and Ulyanovsk regions (FD SUR) / Aristova M. A., Rozenberg G. S., Kudina G. E. et al. Registered on November 12, 2018. (In Russ.)
17. Hijmans R.J., Cameron S.E., Parra J.L. et al. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 2005;25:1965–1978.
18. Wood J. Overview of software packages used in geomorphometry. Ed. by T. Hengl, H. I. Reuter. *Geomorphometry: Concepts, Software, Applications*. Amsterdam: Elsevier, 2009;(Chap.10):257.
19. Val'ter G. *Obshchaya geobotanika = General geobotany*. Translated from German by A.G. Elenevskiy. Moscow: Mir, 1982:264. (In Russ.)
20. Mirkin B.M., Naumova L.G. *Sovremennoe sostoyanie osnovnykh kontseptsiy nauki o rastitel'nosti = Current state of basic concepts in plant science*. Ufa: Gilem, 2012:488. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Лариса Станиславовна Шарая

доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН (Россия, Самарская область, г. Тольятти, ул. Комзина, 10)

E-mail: l_sharaya@mail.ru

Larisa S. Sharaya

Doctor of biological sciences, senior researcher, Institute of Ecology of Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences – branch of Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (10 Komzina street, Togliatti, Samara region, Russia)

Анастасия Викторовна Иванова

кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН (Россия, Самарская область, г. Тольятти, ул. Комзина, 10)

E-mail: nastia621@yandex.ru

Anastasia V. Ivanova

Candidate of biological sciences, researcher, Institute of Ecology of Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences – branch of Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (10 Komzina street, Togliatti, Samara region, Russia)

Маргарита Алексеевна Аристова

младший научный сотрудник, Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН (Россия, Самарская область, г. Тольятти, ул. Комзина, 10)

E-mail: margo.aristova2016@yandex.ru

Margarita A. Aristova

Junior researcher, Institute of Ecology of Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences – branch of Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (10 Komzina street, Togliatti, Samara region, Russia)

Разина Саитнасимовна Кузнецова

кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН (Россия, Самарская область, г. Тольятти, ул. Комзина, 10)

E-mail: cuznetsova@yandex.ru

Razina S. Kuznetsova

Candidate of biological sciences, researcher, Institute of Ecology of Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences – branch of Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (10 Komzina street, Togliatti, Samara region, Russia)

Наталья Викторовна Костина

доктор биологических наук, старший научный сотрудник, Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН (Россия, Самарская область, г. Тольятти, ул. Комзина, 10)

E-mail: knva2009@yandex.ru

Natalya V. Kostina

Doctor of biological sciences, senior researcher, Institute of Ecology of Volga River Basin of the Russian Academy of Sciences – branch of Samara Federal Research Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (10 Komzina street, Togliatti, Samara region, Russia)

Геннадий Самуилович Розенберг

доктор биологических наук,
член корреспондент РАН,
главный научный сотрудник,
Институт экологии Волжского
бассейна РАН – филиал
Самарского федерального
исследовательского центра РАН
(Россия, Самарская область,
г. Тольятти, ул. Комзина, 10)

E-mail: genarozenberg@yandex.ru

Gennady S. Rozenberg

Doctor of biological sciences, correspond
ing member of the Russian Academy
of Sciences, principal researcher, Institute
of Ecology of Volga River Basin
of the Russian Academy of Sciences –
branch of Samara Federal Research
Scientific Center of the Russian Academy
of Sciences (10 Komzina street, Togliatti,
Samara region, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 13.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 11.08.2023

Принята к публикации / Accepted 28.09.2023

УДК 639.21.597.55.592

doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-4

Особенности формирования естественной рыбопродуктивности мелководного водоема свободного от ихтиофауны на западном склоне Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области

А. Ю. Асанов

Приволжский научный центр аквакультуры и водных биоресурсов
Пензенского государственного аграрного университета, Пенза, Россия

kfvniro-as@list.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Развитию «кустарной» аквакультуры, фермерского рыбоводства, культивированию рыб в водоемах комплексного назначения придается большое значение как на мировом уровне, в Российской Федерации, так и в Пензенской области. Этому способствует наличие многочисленных прудов и небольших водохранилищ комплексного назначения, рассредоточенных по территории области. Однако, несмотря на высокие темпы роста рыбопроизводства в регионе в целом, рыбопродуктивность используемых водоемов остается достаточно низкой. Для разработки способов оптимального культивирования объектов аквакультуры и рационального использования водных биоресурсов необходимо знание достоверной естественной рыбопродукции по кормовой базе водоемов региона, с учетом современного изменения климата. Существующие нормативы рыбоводного зонирования для Пензенской области очевидно устарели. Для указанных целей был подобран искусственный водоем, не имеющий прямого антропогенного воздействия, без представителей ихтиофауны. Целью данной работы является оценка естественной рыбопродукции и рыбопродуктивности мелководного водоема свободного от представителей ихтиофауны по кормовой базе рыб. *Материалы и методы.* Общие наблюдения за водоемом и его водными обитателями постоянно проводились в 2014–2021 гг. Отбор проб зоопланктона, зообентоса, нектона, нейстона, макрофитов осуществлялся в безледный период с апреля по ноябрь. Пробы обрабатывались по общепринятым методикам. Расчеты рыбопродукции проводились с использованием современных данных по Р/В-коэффициентам, кормовым коэффициентам по отдельным компонентам кормов (с учетом их выедаемости), которые применяются при научных исследованиях и практической работе по определению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания. *Результаты.* Рыбопродукция по базовым компонентам, активно используемым аборигенной ихтиофауной (зоопланктон, зообентос, нектон, нейстон), достигает в мае–июне – 356–427 кг/га. Общая рыбопродукция с учетом потенциальных компонентов кормовой базы (фитопланктона, макрофитов), потребляемых растительноядными рыбами-всеядными, составила 399–458 кг/га. Для сравнения, средняя базовая рыбопродукция по свободной кормовой базе эвтрофных водоемов региона с естественной ихтиофауной в лет-

ний период составляет 132 кг/га, средняя общая рыбопродукция, включая ихтиомас-су, – 543 кг/га. При зарыблении годовиками карповых рыб естественная рыбопродук-тивность мелководного водоема в данной зоне в период сезона культивирования то-варной рыбы может составить 400–450 кг/га. *Выводы.* Результаты, полученные в мелководном водоеме без представителей ихтиофауны покормовой базе в рассматри-ваемой зоне, свидетельствуют о возможности достижения рыбопродуктивности на уровне 400–450 кг/га в сезонный период культивирования прудовой рыбы, что явля-ется более высоким показателем в сравнении с имеющимися данными.

Ключевые слова: мелководный водоем, карьер, кормовая база, рыбопродукция, ры-бопродуктивность, ихтиофауна

Для цитирования: Асанов А. Ю. Особенности формирования естественной рыбо-продуктивности мелководного водоема свободного от ихтиофауны на западном склоне Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 3. С. 43–56. doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-4

The features of the natural fish productivity formation of a shallow reservoir free of ichthyofauna on the western slope of the Volga upland within Penza region

A.Yu. Asanov

Volga Research Center of aquaculture and aquatic bioresources
of Penza State Agricultural University, Penza, Russia

kfvniro-as@list.ru

Abstract. *Background.* The development of “artisanal” aquaculture, fish farming, fish cul- tivation in reservoirs of complex purpose is given great importance, both at the global level, in the Russian Federation and in Penza region. This was facilitated by the presence of nu- merous ponds and small reservoirs of complex purpose, dispersed throughout the region. However, despite the high growth rates of fish production in the region as a whole, the fish productivity of the reservoirs used remains quite low. To develop methods for optimal cul- tivation of aquaculture facilities and rational use of aquatic biological resources, it is neces- sary to know the real picture of the productivity of the forage base of the reservoirs of the region, taking into account modern climatic changes, since the current standards of fish farming for Penza region are clearly outdated. For these purposes, we have chosen an artifi- cial reservoir that is not subject to direct anthropogenic impact, without representatives of the ichthyofauna. The purpose of this work is to determine the real natural fish productivity in a shallow reservoir on the basis of a natural food base for fish free from representatives of the ichthyofauna. *Materials and methods.* General observations of the shallow reservoir and its aquatic inhabitants were constantly carried out in 2014–2021. Sampling of zoo- plankton, zoobenthos, neuston, macrophytes was carried out in the non-freezing period from April to November. The samples were processed in accordance with generally accepted methods. Calculations of fish products were carried out using up-to-date data on P/V coefficients, feed coefficients for individual feed components (taking into account their digestibility). Which are used in scientific research and practical work to determine the consequences of a negative impact on the state of aquatic biological resources and their habitat. *Results.* Fish production by the main components actively used by the local ichthy- ofauna (zooplankton, zoobenthos, neuston) can reach 356–427 kg/ha in May–June. The total fish production, taking into account the potential components of the food base (phytoplankton, macrophytes) consumed by herbivorous cultivated fish, may amount to 427–502 kg/ha, respectively. For comparison, the average natural forage base of eutrophic reservoirs of the region with native ichthyofauna not used by fish for food in the summer

period is 135.1 kg/ha, the average total productivity of the reservoir, taking into account the fish living in it, is 508 kg/ha. When carp is grown by one-year-olds, the real natural fish productivity of a shallow reservoir in this zone during the growing season of commercial fish can be 400–500 kg/ha. *Conclusions.* The results obtained in a shallow reservoir without representatives of the ichthyofauna in terms of natural fish productivity in the forage base in the considered zone indicate the possibility of achieving fish productivity at the level of 400–500 kg/ha during the seasonal period of pond fish cultivation, which is a higher indicator in comparison with the available data for Penza region and data on reservoirs of neighboring regions.

Keywords: shallow reservoir, quarry, forage base, fish products, fish productivity, ichthyofauna

For citation: Asanov A.Yu. The features of the natural fish productivity formation of a shallow reservoir free of ichthyofauna on the western slope of the Volga upland within Penza region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2023;(3):43–56. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-4

Введение

Аквакультура обладает огромным потенциалом обеспечения продовольствием населения планеты. При этом до 80 % рыбы выращивается мелкими фермерами [1]. В Пензенской области существуют необходимые условия для развития прудового рыбоводства. Благодаря наличию такого ресурса как многочисленные пруды и небольшие водохранилища комплексного назначения, рассредоточенные по территории области и оказавшиеся бесхозными в 1990-е гг., здесь изначально был взят курс на развитие преимущественно фермерского рыбоводства. В результате производство товарной рыбы в Пензенской области выросло с 50 т в 2005 г. до 2450 т в 2020 г., для данных целей задействовано порядка 6000 га водных площадей, однако их рыбопродуктивность в целом остается достаточно низкой [2].

В результате исследований Пензенского НИИ сельского хозяйства под руководством Богданова Н. И. на базе нескольких прудовых хозяйств (1996–2007 гг.) была определена естественная рыбопродуктивность для прудов комплексного назначения в Пензенской области на уровне 160–200 кг/га [3]. Впоследствии нами был проведен ряд исследований естественной рыбопродукции разных типов водных объектов в Пензенской области и Республике Мордовия, населенных различными видами рыб, где свободная кормовая база лимитируется прессом со стороны ихтиофауны. Однако для разработки способов оптимального культивирования объектов аквакультуры и рационального использования водных биоресурсов в естественных водоемах необходимо знание естественной рыбопродукции по кормовой базе водоемов региона, расположенного в III рыболовной зоне в условиях современного изменения климата [4, 5]. По материалам ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД», любезно предоставленным Шаляпиным Г. П., среднемноголетние значения числа дней за год со средней суточной температурой воздуха, превышающей 10 и 15 °С, по Пензенской области составили: в 1983–2012 гг. – 152,6 и 101,9 дней; в 2010–2012 гг. – 164,7 и 115,7 соответственно.

В поисках водоема для оценки естественной рыбопродукции и рыбопродуктивности по кормовой базе региона в 2013 г. в пойме Городского водохранилища на р. Сура нами обнаружен искусственный изолированный водоем, не имеющий прямого антропогенного воздействия, практически еже-

годно пересыхающий в июле–августе и, соответственно, лишенный ихтиофауны (рис. 1). Подобного типа малые водоемы, построенные вокруг базовых нагульных водоемов комплексного назначения, активно используются пользователями как нерестово-выростные и для подращивания молоди рыб. Цель данной работы – определить естественную рыбопродукцию и рыбопродуктивность мелководного водоема по кормовой базе свободного от представителей ихтиофауны.

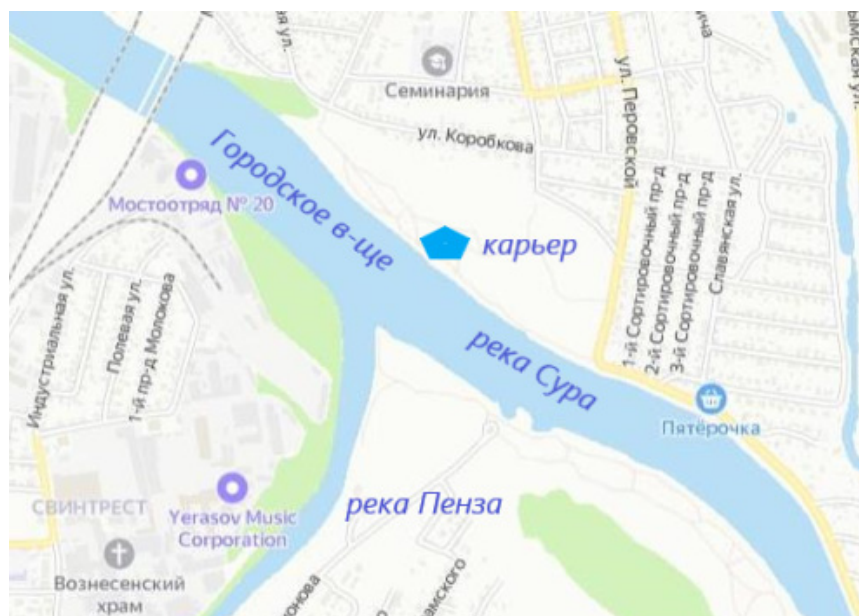


Рис. 1. Схема расположения исследуемого мелководного водоема – карьера

Материалы и методы

Мелководный водоем представляет собой «карьер», который образован в результате выемки песчано-глинистого недалеко от пляжа в районе Маньчжурии г. Пензы, на правом берегу руслового водоподъемного водохранилища Городское на р. Сура. Карьер имеет трапециевидную форму, его площадь составляет 0,5 га, глубина до – 2 м. Рельеф дна неровный, минимальное расстояние до водохранилища – 25 м. За период наблюдений с 2014 по 2021 г. гидрологическая связь между водоемами наблюдалась в весенний паводок 2018 г. Вероятно, подобное происходило и в другие многоводные годы до 2014 г. Обводнение карьера в первую очередь зависит от атмосферных осадков и, в определенной степени, от уровня воды в водохранилище. Сброс сточных вод и других антропогенных выбросов из частного жилого сектора и шоссе, расположенных на расстоянии более 130–200 м, невозможен. В карьере ежегодно наблюдается временное присутствие диких уток, которые могли быть переносчиками икры рыб, однако за весь период исследований не отмечалось ни одного представителя ихтиофауны [6].

Для оценки биомассы макрофитов было просчитано число растений наиболее многочисленной группы. На трех станциях площадью по 1 м² срезаются растения различных размеров, взвешены на весах с определением средней массы одного растения.

Отбор проб зоопланктона производился в средние числа (15–18) месяца в безледный период при наличии обводнения карьера: в 2014 и 2015 гг. – апрель, май, июнь, ноябрь на трех участках. В середине мая 2016 г. на пяти участках, в конце мая 2017 г. – на трех участках. Всего отобрано 32 пробы. Пробы зоопланктона отбирали путем процеживания 30 л поверхностной воды через сеть Апштейна и фиксировали 4 % раствором формалина.

Отбор проб макрозообентоса в карьере осуществляли вместе с зоопланктоном на трех участках в мае, июне и ноябре 2015 г. и в мае 2016 г. Пробы макрозообентоса отбирали гидробиологическим скребком с длиной режущей кромки 16 см, фиксировали формалином. Всего отобрано 12 проб. Обработку проб зоопланктона и зообентоса проводили по общепринятым в гидробиологии методам [7–11].

Специализированный отбор проб нектона и нейстона произведен в июне 2015 г. и в конце мая 2017 г. на трех участках путем облова ихтиопланктонным сачком по 2 м² на каждом. Обработка проб производилась по аналогии с зообентосом.

Наблюдение за водной фауной и флорой карьера осуществлялась практически ежедекадно за весь период исследований с обловом ихтиопланктонным сачком.

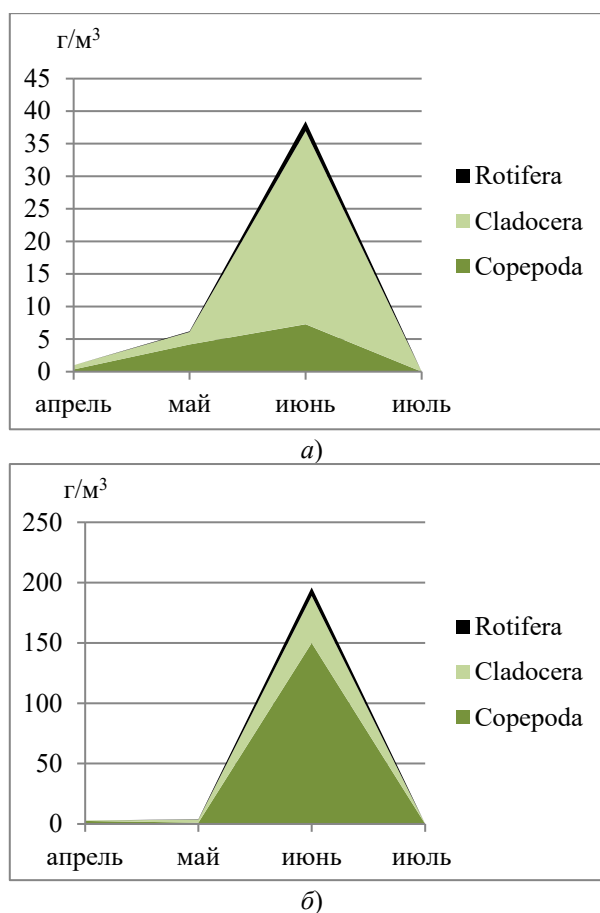
Для сравнительного анализа с другими водными объектами при расчете рыбопродукции использовали единые коэффициенты, адаптированные к Приволжью [12–14].

Результаты и обсуждение

Базовые компоненты кормовой базы, активно используемые аборигенной ихтиофауной

Зоопланктон. За период исследований в карьере зафиксировано 65 видов и форм зоопланктона. По видовому составу наиболее многочисленны коловратки (30 видов). В общей биомассе зоопланктона доля коловраток крайне мала – 0,1–6,0 %. Доля ветвистоусых ракообразных колеблется от 1,0 до 99,7 %; доля веслоногих – 0,2–97,0 %. Причем в апреле-июне 2014 г. наблюдалось значительное преобладание биомассы ветвистоусых ракообразных, а апреле-июне 2015 г. обратное соотношение в пользу веслоногих ракообразных. В ноябре 2014 и 2015 гг. доминируют по биомассе веслоногие ракообразные, в мае 2016 г. доминировали ветвистоусые.

Биомасса зоопланктона (г/м³) значительно варьировала по месяцам, при этом максимальные показатели приходились в 2014 и 2015 гг. на июнь, в 2016 г. – на май (рис. 2). Биомасса зоопланктона в ноябре была самой низкой. Из коловраток наибольший вклад в общую биомассу вносили *Brachionus urceus* (Linnaeus, 1758) – 1,09 г/м³ (июнь 2014 г.), *Brachionus rubens* (Ehrenberg, 1838) – 6,72 г/м³ (июнь 2015 г.); из ветвистоусых ракообразных: *Moina brachiata* (Jurine, 1820) – 27,44 г/м³ (июнь 2014 г.), *Ceriodaphnia reticulata* (Jurine, 1820) – 17,9 г/м³ (июнь 2015 г.); из веслоногих ракообразных: *Acanthocyclop americanus* (Marsh, 1892) – 4,44 г/м³ (июнь 2014 г.), copepodные личинки циклопов – 113,74 г/м³ и науплиусы – 32,6 г/м³ (июнь 2015 г.). В 2016 г. (май) повсеместно доминировала *Daphnia pulex* (Leydig, 1860) – 86,89 г/м³ (достигая на одной из станций карьера – 294,39 г/м³).

Рис. 2. Биомасса зоопланктона карьера по месяцам в 2014 (а) и 2015 (б) гг. (г/м^3)

Наибольшие показатели биомассы в объеме воды были получены при низком уровне воды в водоеме, поэтому сравнимыми показателями являются биомасса зоопланктона – г/м^2 (табл. 1). Здесь мы также отмечаем максимальные показатели в отдельные годы в мае или июне.

Таблица 1
Показатели уровня воды и биомассы зоопланктона в карьере в 2014–2017 гг.

Показатели	Годы	Апрель	Май	Июнь	Ноябрь
Уровень воды (УВ), м	2014	1,0	0,7	0,2	0,5
	2015	1,0	0,5	0,1	0,3
	2016	0,9	0,3	0,1	0,3
Биомасса, г/м^3	2014	0,98	6,18	38,45	0,22
	2015	2,89	3,72	200,03	1,62
	2016	нд	88,27	нд	нд
Биомасса, г/м^2 (в пересчете на глубину 1 м)	2014	0,98	4,33	7,69	0,11
	2015	2,89	1,86	20,0	0,49
	2016	нд	26,48	нд	нд
	2017	нд	4,57	нд	нд
	средняя	1,94	9,31	13,98	0,30

Зообентос. За период исследований в карьере зафиксировано 17 видов зообентоса. Непосредственно на участках дна свободных от водной растительности ежемесячно отмечался «мягкий бентос», представленный двумя видами олигохет и четырьмя хирономид. Причем в мае и июне его биомасса примерно равна и значительно ниже в ноябре. Моллюски представлены пятью видами. Самый крупный в карьере брюхоногий моллюск *Lymnae astagnalis* (Linnaeus, 1758) отмечается на поверхности водоема, водной растительности и у дна с середины апреля, уже имея индивидуальную массу 0,3 г и наращивает ее в июне до 4,0 г. Общая масса моллюска, в том числе за счет новых поколений, также нарастает в июне, достигая 96 % общей биомассы зообентоса. В апреле отмечается мелкая катушка *Planorbis vortex* (Muller, 1774) и позднее *Physa fontinalis* (Linnaeus, 1758). Мелкие двусторчатые моллюски встречаются в ноябре, составляя 76 % биомассы донных организмов при общей биомассе – 0,25 г/м². Личинки крупных насекомых отрядов Odonata (стрекозы) (2 вида), Heteroptera (клопы) (1), Coleoptera (жуки) (3) на грунтах в июне составляют 1,6 %.

В целом биомасса зообентоса на грунтах (свободных от макрофитов) невысокая – 0,25–4,45 г/м² за исключением моллюска *L. astagnalis*, который ежегодно дает наибольшую биомассу в водоеме, начиная с апреля и вплоть до осушения водоема летом (рис. 3).

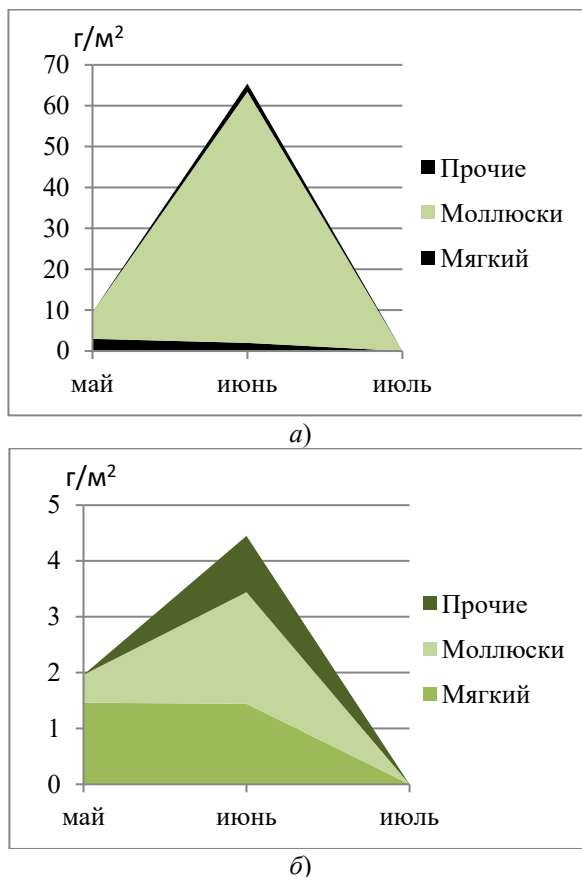


Рис. 3. Биомасса зообентоса карьера в 2015 г. по месяцам (г/м³): общая (а) и без *Lymnae astagnalis* (б)

Нектон, нейстон. По причине отсутствия ихтиофауны в мелководном водоеме активно развиваются представители земноводных (головастики, личинки тритонов) и представители активного зообентоса – личинки и имаго водных насекомых, обитающих в толще воды и у поверхности.

В середине апреля в карьере появляются единичные экземпляры мелких жуков плавунцов семейства Dytiscidae (Latreille, 1802) и личинки вислокрылок семейства Sialidae (Leach, 1815). В первой декаде мая отмечены головастики зеленой лягушки *Pelophylax* sp. (Fitzinger, 1843); в начале 2-й декады – личинки мелких и крупных стрекоз, мелкие гребляки (Corixidae Leach, 1815), водяные клопы-гладыши (*Notonecta* Linnaeus, 1758). В конце мая (29.05.2017) их биомасса уже составляла 19,31 г/м², из которых на долю головастиков приходилось – 70 %, прочих – 30 %.

Во второй декаде июня появляется очередная волна головастиков лягушек, крупные головастики жабы *Bufo bufo* (Linnaeus, 1758), прогрессируют приведенные выше хищные беспозвоночные и появляются ранатры (*Ranatra* Fabricius, 1790), пиявки (Hirudinea Lamarck, 1818), тритоны (*Triturus* Rafinesque, 1815), жаброноги (Branchiopoda Latreille, 1817). 25.06.2015 на долю головастиков приходилось около 60 % биомассы.

В целом биомасса данных экологических групп в мае-июне высокая – 14,00–19,31 г/м² с преобладанием головастиков, высокой доли личинок стрекоз, водяных клопов, в июне – ранатры (рис. 4).

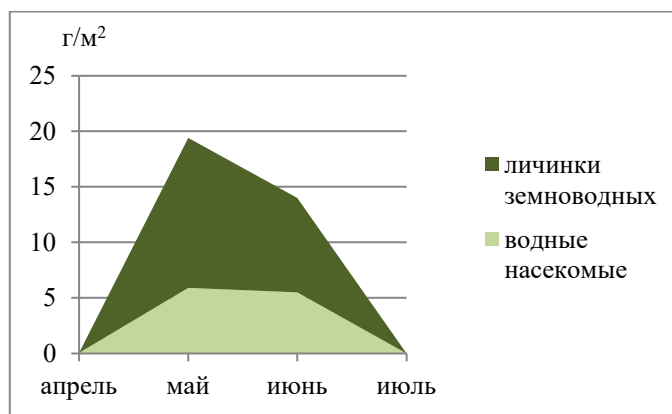


Рис. 4. Биомасса нектона, нейстона карьера по месяцам в 2015 и 2017 гг. (г/м²)

Потенциальные компоненты кормовой базы, активно используемые рыбами интродукцентами (растительноядными)

Фитопланктон. Фитопланктон активно выедался зоопланктоном и головастиками. Учитывая его выедаемость головастиками в объеме 70 % (K_E) от общей биомассы, можно предположить, что 30 % остается свободным. Используя формулу расчета рыбопродукции по фитопланктону с учетом $p/v = 100$ и $K_E = 40$, биомасса свободного фитопланктона, потребляемого головастиками, может составлять в мае – 2,3 г; в июне – 1,5 г [13].

Макрофиты. В летний период карьер активно зарастает высшей водной растительностью. Наибольшая ее биомасса приходится на рогоз широколистный *Typha latifolia* L. Также здесь произрастают рдесты широколистный *Potamogeton amplifolius* Tuck. и узколистный *P. acutifolius* Link. Из погружен-

ной водной растительности распространены: элодея канадская *Elodea canadensis* Michx, роголистник погруженный *Ceratophyllum demersum* L. Из плавающих – ряска *Lemna minor* L. Зарастаемость водоема в целом в мае составляет 30 %, в июне – 40 %.

Рыбопродукция мелководного водоема (карьера) по кормовой базе

Результаты расчетов рыбопродукции карьера приведены в табл. 2.

Таблица 2

Показатели, коэффициенты и результаты
расчета рыбопродукции водоема карьера

Коэффициенты, показатели	Компоненты кормовой базы					
	Зоо- планктон	Бентос, «мягкий»	Бентос, моллюски	Нектон, нейстон	Фито- планктон	Макрофиты
Апрель (г/м ²)	1,94	нд	0,60	0,05	нд	–
Май (г/м ²)	9,31	1,50	8,30	19,31	2,30	3100,00 (0,3)
Июнь (г/м ²)	14,00	1,44	59,38	14,00	1,50	3100,00 (0,4)
Ноябрь (г/м ²)	0,30	0,06	0,19	0,17	нд	–
Р/В	20,0	6,0	3,0	6,0	100,0	1,1
S, площадь 1 га	1	1	1	1	1	1 (0,3; 0,4)
K _E	7	6	30	6	40	50
K _з	70	80	40	80	70	15
Результаты расчета						
Апрель (кг/га)	38,8	–	4,8	0,4	–	–
Май (кг/га)	186,2	12,0	3,3	154,5	40,3	10,2 (3,1)
Июнь (кг/га)	280,0	11,5	23,8	112,0	26,3	10,2 (4,1)
Ноябрь (кг/га)	6,0	0,5	1,5	0,4	–	–

Таким образом, величины базовой рыбопродукции по кормовой базе составили: апрель – 44 кг/га; май – 356; июнь – 427; ноябрь – 8. Величины общей рыбопродукции с учетом потенциальных компонентов кормовой базы составили: апрель – 44 кг/га; май – 399; июнь – 458; ноябрь – 8.

На рис. 5 представлены показатели базовой рыбопродукции в карьере в мае (карьер 1) и июне (карьер 2) в сравнении с другими высокопродуктивными (эвтрофными) водоемами и малой рекой Сурского края. Водоемы, используемые в сравнении, имели следующие параметры (площадь, га и средняя глубина, м): Городское (335; 2,5), Надежда (3; 1,5), Каморы (74; 3,5), Затон (29; 1,4), Лямбирское (138; 1,5), Тургеневское (98; 4,5), река Труев (ширина – 5 м; 0,4) соответственно [12, 14–18].

Средняя базовая рыбопродукция по свободной кормовой базе водохранилищ составляет 31–37 % (в среднем 34 %, или 132 кг/га) от рыбопродукции карьера (колебания 20–61 %). Причем в ее составе может доминировать как зоопланктон, так и зообентос, также возможны равные и другие сочетания этих компонентов. Соответственно, в среднем 66 % базовой рыбопродукции очевидно уходит на потребление ихтиофауной. Колебания степени использования базовой рыбопродукции обусловлены составом ихтиофауны водоема. Например, отмечается недоиспользование зоопланктона (вдхр. Надежда) из-за недостатка планктофагов или недоиспользование зообентоса (вдхр. Тургеневское) из-за недостатка бентофагов. В реках, особенно малых, базово-

вая рыбопродукция значительно ниже, как правило, за счет низкой продуктивности зоопланктона.

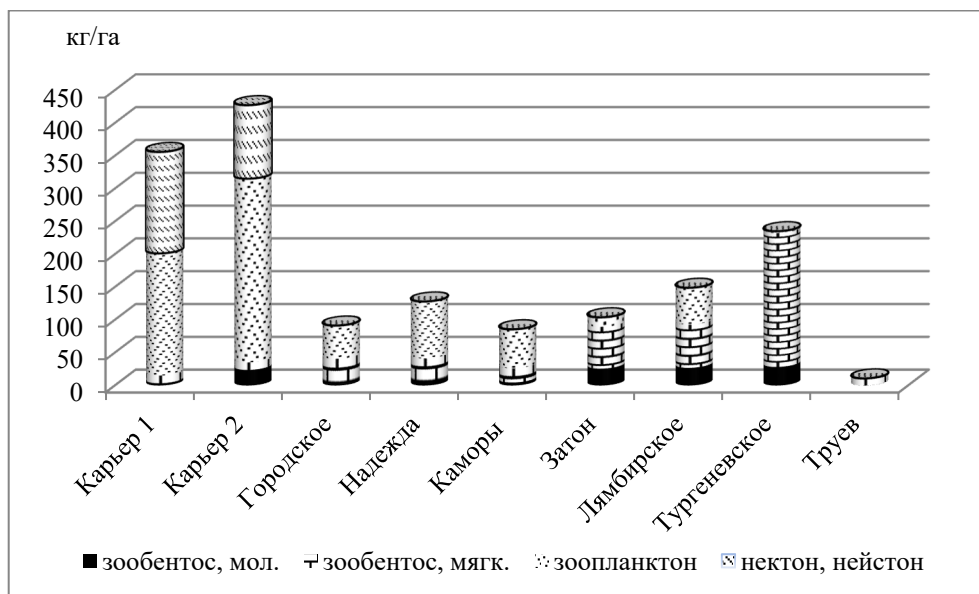


Рис. 5. Биомасса и состав базовой рыбопродукции водных объектов Пензенской области и Республики Мордовия (при равной глубине 1 м)

Средние показатели общей рыбопродукции водохранилищ с учетом их глубин, влияющих на биомассу планктона, составляют 543 кг/га, что, принимая во внимание его мелководность, близко к показателям рыбопродукции карьера (в июне – 499 кг/га) (рис. 6).

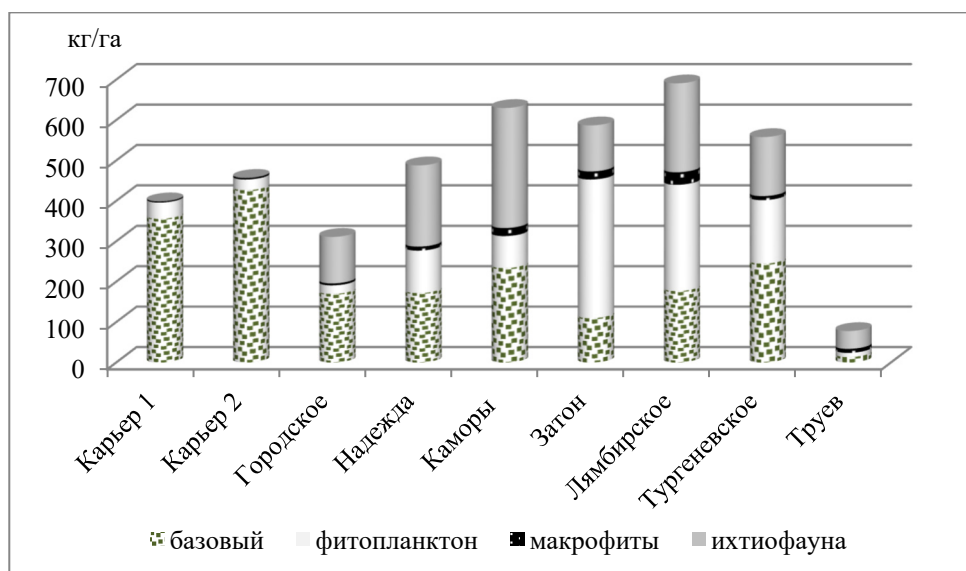


Рис. 6. Биомасса и состав общей рыбопродукции водных объектов Пензенской области и Республики Мордовия (с учетом их средних глубин)

Средняя ихтиомасса водохранилищ составляет 183 кг/га, или 37 % от общей рыбопродукции карьера в июне. Таким образом, ихтиомасса эвтрофного водоема может составлять около 1/3 от рыбопродукции по кормовой базе водоема, лишенного представителей ихтиофауны. Наиболее эффективное использование кормовой базы и, следовательно, сбалансированный состав ихтиофауны отмечается в вдхр. Каморы, где ихтиомасса составляет 47 % от общей рыбопродукции и в малой реке Труев, где ихтиомасса составляет 54 %. В других рассматриваемых водных объектах она колеблется в пределах 24–42 %.

Так как зарыбление личинкой рыб при характерном для региона раннем заполнении паводковыми водами водоемов малоэффективно из-за пресса со стороны нектона, максимальную рыбопродукцию водоемов, используемых под рыбопроизводство за счет естественной кормовой базы (нектон и нейстон), очевидно, можно получить при зарыблении в июне годовиками карповых с навеской 25–50 г [2]. С учетом рекомендуемой нормы посадки годовиков – 1000 экз./га карпа и 500 экз./га растительноядных рыб общей биомассой около 50 кг/га, рыбопродуктивность по данным июня может достигать 450 кг/га. Исходя из сезонной динамики (май–сентябрь) продуктивности биомассы гидробионтов Городского водохранилища [9, 10], биомасса зоопланктона в июле–сентябре на 28 % ниже, чем в апреле–мае, а биомасса зообентоса – на 16 %. Соответственно этому естественная рыбопродуктивность за сезон выращивания может составлять около 370 кг/га. Однако снижение биомассы зоопланктона и зообентоса вполне может компенсироваться развитием нектона, нейстона и брюхоногими моллюсками, что нами отмечалось в других непересыхающих малых водоемах, лишенных представителей ихтиофауны. Поэтому естественная рыбопродуктивность мелководного водоема на западном склоне Приволжской возвышенности в Пензенской области в период культивирования товарной рыбы находится на уровне 400–450 кг/га. Полученные показатели являются достаточно высокими в сравнении с нашими данными и данными по водоемам соседних регионов [2, 14–20].

Заключение

Базовая рыбопродукция по кормовой базе мелководного водоема без ихтиофауны в условиях III рыбоводной зоны (Пензенская область) в настоящее время составляет в мае–июне – 356–427 кг/га, общая рыбопродукция – 399–458 кг/га. Базовая рыбопродукция эвтрофных водохранилищ с аборигенной ихтиофауной при пересчете на равную в мелководных водоемах глубиной 1 м составляет в среднем 1/3 от их показателей. Очевидно, что оставшая часть биомассы (2/3) уходит на потребление ихтиофауной.

Естественная рыбопродуктивность мелководного водоема на западном склоне Приволжской возвышенности в пределах Пензенской области в сезонный период культивирования прудовой рыбы находится на уровне 400–450 кг/га, что является высоким показателем для региона.

Список литературы

1. ООН провозгласила 2022 год Международным годом... URL: <https://www.news.un.org/Русский/story/2022/01/1416472>
2. Асанов А. Ю. Развитие рыбоводства в Пензенской области // Рыбоводство. 2020. № 1-2. С. 26–29.

3. Богданов Н. И., Асанов А. Ю. Прудовое рыбоводство. 4-е изд. М. : Изд-во Перо, 2019. 89 с.
4. Власов В. А., Мустаев С. Б. Разведение пресноводных рыб и раков. М. : Изд-во Астрель, 2004. 256 с.
5. Шаляпин Г. П. Последствия изменения климата в России для рыбоводства // Рыбоводство. 2009. № 3–4. С. 18–19.
6. Lovas-Kiss Á., Vincze O., Löki V. et al. Experimental evidence of dispersal of invasive cyprinid eggs inside migratory water-fowl // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2020. Vol. 117 (27). P. 15397–15399.
7. Абакумов В. А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеоиздат, 1992. 318 с.
8. Сенкевич В. А., Стойко Т. Г. Зоопланктонное сообщество пруда на р. Урлейке в Пензенском районе // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2015. № 3 (11). С. 32–41.
9. Асанов А. Ю., Сенкевич В. А. Мониторинг продуктивности зоопланктона на регулируемом участке реки Сура в Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. № 1 (29). С. 66–76. doi: 10.21685/2307-9150-2020-1-7
10. Асанов А. Ю. Мониторинг продуктивности зообентоса на регулируемом участке реки Суры в Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. № 2 (30). С. 100–110. doi: 10.21685/2307-9150-2020-2-9
11. Козлов В. И., Иванова Ю. С. Эколого-рыбохозяйственная оценка озера Сенеж // Рыбное хозяйство. 2013. № 1. С. 18–25.
12. Асанов А. Ю., Скляр В. Я. Перспективы использования водоемов комплексного назначения Пензенской области в целях аквакультуры // Труды КубГау. 2015. № 56. С. 61–68.
13. Методика определения последствий негативного воздействия при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства, внедрении новых технологических процессов и осуществлении иной деятельности на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания и разработки мероприятий по устранению последствий негативного воздействия на состояние водных биологических ресурсов и среды их обитания, направленных на восстановление их нарушенного состояния. М., 2020. 67 с.
14. Асанов А. Ю., Сенкевич В. А., Лысенков Е. В. Водные биологические ресурсы Лямбирского водохранилища (Саранского моря) // Символ науки. 2016. № 4 (3). С. 8–13.
15. Асанов А. Ю. Рыбохозяйственное значение малой реки Труев Приволжья после расчистки русла // Вопросы рыболовства. 2020. Т. 21, № 1. С. 20–30.
16. Asanov A. Y., Galiullin A. A., Kalinichev E. A. Biological resources of water bodies in the Volga region, formed by water retaining structures as exemplified by the Gorodskoye water reservoir in Penza region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Volga Region Farmland 2021 (VRF2021) 16th – 18th November 2021, Penza, Russian Federation). IOP Publishing Ltd, 2022. Vol. 953.
17. Асанов А. Ю., Носов А. В. Водные биологические ресурсы искусственных водоемов Республики Мордовия на примере водохранилища Тургеневское // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер.: Рыбное хозяйство. 2021. № 4. С. 7–16. doi: 10.24143/2073-5529-2021-4-7-16
18. Асанов А. Ю. Оценка рыбопродукции водохранилища Камора в Пензенской области // Сурский вестник. 2023. № 1 (21). С. 3–9. doi: 10.36461/2619-1202_2023_01_001
19. Козлов А. В. Экологическая оценка биопродуктивности малых водоемов для создания фермерских хозяйств. Калуга : Изд-во научной литературы «Эйдос», 2010. 148 с.

20. Быков А. Д. К вопросу использования водоемов комплексного назначения в бассейне Верхней Оки для целей аквакультуры // Вопросы рыболовства. 2019. Т. 20, № 1. С. 83–92.

References

1. OON provozglasila 2022 god Mezhdunarodnym godom... = The UN has declared 2022 as the International Year of... (In Russ.). Available at: <https://www.news.un.org/Russkiy/story/2022/01/1416472>
2. Asanov A.Yu. Development of fish farming in Penza region. *Rybovodstvo = Fish farming*. 2020;(1-2):26–29. (In Russ.)
3. Bogdanov N.I., Asanov A.Yu. *Prudovoe rybovodstvo. 4-e izd. = Pond fish farming. The 4th edition*. Moscow: Izd-vo Pero, 2019:89. (In Russ.)
4. Vlasov V.A., Mustaev S.B. *Razvedenie presnovodnykh ryb i rakov = Breeding freshwater fish and crayfish*. Moscow: Izd-vo Astrel', 2004:256. (In Russ.)
5. Shalyapin G.P. Consequences of climate change in Russia for fish farming. *Rybovodstvo = Fish farming*. 2009;(3–4):18–19. (In Russ.)
6. Lovas-Kiss Á., Vincze O., Löki V. et al. Experimental evidence of dispersal of invasive cyprinid eggs inside migratory water-fowl. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2020;117(27):15397–15399.
7. Abakumov V.A. *Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems = Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems*. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992:318. (In Russ.)
8. Senkevich V.A., Stoyko T.G. Zooplankton community in the pond of the river Urleyka in Penza region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2015;(3):32–41. (In Russ.)
9. Asanov A.Yu., Senkevich V.A. Monitoring the productivity of zooplankton in the regulated surge of the Sura river in Penza region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2020;(1):66–76. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2020-1-7
10. Asanov A.Yu. Monitoring zoobentos productivity at the regulated Sura river section in Penza region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2020;(2):100–110. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2020-2-9
11. Kozlov V.I., Ivanova Yu.S. Ecological and fishery assessment of Lake Senezh. *Rybnoe khozyaystvo = Fish farming*. 2013;(1):18–25. (In Russ.)
12. Asanov A.Yu., Sklyarov V.Ya. Prospects for the use of complex reservoirs in the Penza region for aquaculture purposes. *Trudy KubGau = Proceedings of Kuban State Agrarian University*. 2015;(56):61–68. (In Russ.)
13. *Metodika opredeleniya posledstviy negativnogo vozdeystviya pri stroitel'stve, rekonstruktsii, kapital'nom remonte ob'ektov kapital'nogo stroitel'stva, vnedrenii novykh tekhnologicheskikh protsessov i osushchestvlenii inoy deyatel'nosti na sostoyanie vodnykh biologicheskikh resursov i sredy ikh obitaniya i razrabotki meropriyatiy po ustraneniyu posledstviy negativnogo vozdeystviya na sostoyanie vodnykh biologicheskikh resursov i sredy ikh obitaniya, napravlennykh na vosstanovlenie ikh narushennogo sostoyaniya = Methodology for determining the consequences of negative impacts during construction, reconstruction, major repairs of capital construction projects, the introduction of new technological processes and other activities on the state of aquatic biological resources and their habitat and the development of measures to eliminate the consequences of negative impacts on the state of aquatic biological resources and the environment their habitats, aimed at restoring their disturbed state*. Moscow, 2020:67. (In Russ.)
14. Asanov A.Yu., Senkevich V.A., Lysenkov E.V. Aquatic biological resources of the Lyambirsk reservoir (Saransk Sea). *Simvol nauki = Science symbol*. 2016;(4):8–13. (In Russ.)

15. Asanov A.Yu. Fishery importance of the small river Truev in the Volga region after clearing the channel. *Voprosy rybolovstva = Issues of fish farming*. 2020;21(1):20–30. (In Russ.)
16. Asanov A.Y., Galiullin A.A., Kalinichev E.A. Biological resources of water bodies in the Volga region, formed by water retaining structures as exemplified by the Gorodskoye water reservoir in Penza region. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Volga Region Farmland 2021 (VRF2021) 16th – 18th November 2021, Penza, Russian Federation)*. IOP Publishing Ltd, 2022;953.
17. Asanov A.Yu., Nosov A.V. Aquatic biological resources of artificial reservoirs of the Republic of Mordovia using the example of the Turgenevskoye reservoir. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Rybnoe khozyaystvo*. 2021;(4):7–16. (In Russ.). doi: 10.24143/2073-5529-2021-4-7-16
18. Asanov A.Yu. Assessment of fish production of the Kamora reservoir in Penza region. *Surskiy vestnik = Sura bulletin*. 2023;(1):3–9. (In Russ.). doi: 10.36461/2619-1202_2023_01_001
19. Kozlov A.V. *Ekologicheskaya otsenka bioproductivnosti malyykh vodoemov dlya sozdaniya fermerskikh khozyaystv = Ecological assessment of the bioproductivity of small reservoirs for the creation of farms*. Kaluga: Izd-vo nauchnoy literatury «Eydos», 2010:148. (In Russ.)
20. Bykov A.D. On the issue of using complex-purpose reservoirs in the Upper Oka basin for aquaculture purposes. *Voprosy rybolovstva = Issues of fish farming*. 2019;20(1):83–92. (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 Пензенского государственного аграрного университета (Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)

E-mail: kfvniro-as@list.ru

Alik Yu. Asanov

Candidate of biological sciences, senior staff scientist, Volga Research Center of aquaculture and aquatic Bioresources of Penza State Agricultural University (30 Botanicheskaya street, Penza, Russia)

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 16.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 20.09.2023

Принята к публикации / Accepted 05.10.2023

УДК 574.34

doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-5

Характеристика популяций бездомных кошек в городе Пензе

Н. Ф. Золина

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

zolinan@list.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Впервые изучены популяции бездомных кошек на территории крупного населенного пункта города Пензы и показаны комплексные взаимоотношения популяций бездомных животных. Цель данной работы – изучить популяционную и групповую структуру, особенности распределения, уровни социализации бездомных кошек, а также их роль в городской среде и обозначить пути решения проблемы взаимоотношений человека с дикими и бездомными млекопитающими, а также между бездомными и дикими представителями этой группы животных. *Материал и методы.* Изучение популяций бездомных кошек проводилось одновременно с исследованиями бездомных собак в 2003–2009 гг. и 2018–2023 гг., что позволило выявить некоторые особенности взаимоотношений этих двух хищников в условиях города Пензы. Исследования проводились на 10 площадках общей площадью 114,54 км², что соответствует примерно 30 % от общей площади городской территории. На каждой площадке выделено шесть биотопов, в которых подсчитывалась плотность животных. На каждой учетной площадке проводился многократный накопительный учет. *Результаты.* В городе Пензе учтено 1130 бездомных собак и 2234 бездомных кошек в период с 2003 по 2009 г. и 772 особи в период с 2018 по 2022 г. Наиболее высокая плотность бездомных кошек 2003–2009 гг. – в Центре города (61,3 особей/км²), наименьшая – в районе Барковки (4,5 особей/км²). Наиболее предпочитаемые биотопы для кошек – старый город, учреждения и точки торговли; для собак – промзона и районы строек, а также учреждения и точки торговли. Наиболее высокая численность бездомных кошек в 2018–2023 гг. – в Арбеково (229 особей), наименьшая – в районе Ахуны (11 особей). Наиболее предпочитаемые биотопы для кошек – старый город, учреждения и точки торговли (2003–2009 гг.) и район с многоэтажной застройкой (2018–2022 гг.). Район Арбеково является самым многочисленным по населению бездомных животных. Наименьшая численность бездомных собак отмечена в районе Кривозерья. Наиболее высокое среднее значение плотности их населения в районе Центр города, наименьшее – в районе Барковки. *Выводы.* Бездомные собаки и кошки имеют различия в стратегии пищевого поведения: для кошек характерно нахлебничество, для собак – собирательство. Бездомные кошки в большей степени, чем бездомные собаки привязаны к жилью человека. Различия видовых стратегий жизни у бездомных собак и кошек ярко проявляются в сезонной динамике их численности и степени оседлости в условиях урбанизированных ландшафтов.

Ключевые слова: бездомные кошки, численность популяции, городские биотопы

Для цитирования: Золина Н. Ф. Характеристика популяций бездомных кошек в городе Пензе // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 3. С. 57–69. doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-5

Characteristics of stray cat populations in Penza

N.F. Zolina

Penza State University, Penza, Russia

zolinan@list.ru

Abstract. *Background.* For the first time, the stray cats populations on the territory of Penza were studied and complex relationships of stray animals populations were shown. The purpose of this work is to study the population and group structure, distribution features, levels of socialization of stray cats, as well as their role in the urban environment and to identify ways to solve the problem of human relationships with wild and homeless mammals, as well as between homeless and wild representatives of this group of animals. *Materials and methods.* The study of stray cats populations was carried out simultaneously with the studies of stray dogs in 2003–2009 and 2018–2023, which allowed us to identify some features of the relationship between these two predators in the conditions of the city of Penza. The studies were conducted at 10 sites with a total area of 114.54 km², which corresponds to about 30% of the total area of the urban area. At each site, 6 biotopes were allocated, in which the density of animals was calculated. Multiple cumulative accounting was carried out on each accounting platform. *Results.* In Penza, 1,130 stray dogs and 2,234 stray cats were counted in the period from 2003 to 2009 and 772 individuals in the period from 2018 to 2022. The highest density of homeless cats in 2003–2009 was in the city Center (61.3 wasps/km²), the lowest was in the Barkovka area (4.5 wasps/km²). The most preferred biotopes for cats are the old town, institutions and points of trade; for dogs, the industrial zone and construction areas, as well as institutions and points of trade. The highest number of stray cats in 2018–2023 is in Arbekovo (229 wasps), the smallest is in the Akhuna area (11 wasps). The most preferred biotopes for cats are the old town, institutions and retail outlets (2003–2009) and the area with multi-storey buildings (2018–2022). Arbekovo district is the most numerous in terms of homeless animals population. The smallest number of stray dogs was noted in the area of Krivozerye. The highest average value of their population density is in the City Center area, the lowest is in the Barkovka area. *Conclusions.* Stray dogs and cats have differences in the strategy of eating behavior: freeloading is typical for cats, for dogs – gathering. Stray cats are more attached to human habitation than stray dogs. Differences in the specific life strategies of stray dogs and cats are clearly manifested in the seasonal dynamics of their numbers and the degree of settlement in urbanized landscapes.

Keywords: stray cats, population size, urban biotopes

For citation: Zolina N.F. Characteristics of stray cat populations in Penza. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2023;(3):57–69. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2023-3-5

Домашняя кошка (*Felis catus*) является одним из самых заметных млекопитающих в городской среде. Кошки на улице вызывают различное отношение со стороны человека: сочувствие, презрение, дружелюбие. Среди бездомных животных больше дружелюбия и великодушия проявляется горожанами по отношению к кошкам (63 %) и меньше по отношению к крупным собакам (30 %), равнодушные – 7 % (опросные данные, $n = 109$) [1].

Кошки по статистике являются самыми многочисленными домашними животными. Часто питомцы занимаются активной охотой и проводят много времени вдалеке от человека. Таких животных можно принять за бездомных. Какая-либо статистика по учету кошек или отсутствует, или недостаточна. Например, в стране проводилась программа ОСБВ (отлов, стерилизация, вакци-

нация, возврат), которая касалась в основном бродячих собак, а кошек учитывала не всегда. По стратегии программы ОСВВ считается возможным обитание на одной территории популяции бездомных собак и кошек. В разных регионах это программа просуществовала до 2022 г. С 2022 г. кошек не учитывают, не стерилизуют и не вакцинируют, потому что от них, якобы, меньше вреда. Поэтому в настоящий момент сложно судить о количестве бездомных кошек в городе.

Разные районы города Пензы отличаются друг от друга характером застройки, планировкой, возрастом строений и особенностями рельефа. Как эти характеристики повлияют на численность и особенности размещения бездомных кошек на территории города, представляет несомненный научный интерес. Для достижения заявленной в работе цели были поставлены следующие задачи: 1) проанализировать размеры популяций бездомных кошек и определить наиболее благоприятные места для размещения животных; 2) определить роль бродячих животных в условиях городской среды и оценить возможные взаимодействия с населением; 3) оценить конкурентные отношения с другими видами синантропных хищников.

Предлагаемая работа актуальна, рассматривает огромный пласт проблем, связанных с приспособлением бездомных животных к условиям городской среды и вынужденным взаимодействием с человеком [2–8]. На первом месте стоят проблемы эпидемиологические и эпизоотологические (бездомные кошки могут быть переносчиками инфекционных заболеваний, опасных для человека и домашних животных) [9–14]. На втором – психологические, связанные с психологическим дискомфортом от присутствия бездомных животных, случаями проявления жестокости или жалости человека по отношению к ним, часто происходят дорожно-транспортные происшествия по вине кошек [9–14]. На третьем – вред, который бездомные кошки наносят фауне городской экосистемы, охотясь на мелких птиц и млекопитающих [9–14]. Перечисленные проблемы требуют постоянного мониторинга и дополнительных исследований в различных населенных пунктах Пензенской области [3, 4].

Численность бездомных остается на высоком уровне, ведь они живут по естественным законам функционирования популяций. Поэтому учет численности и исследование демографических параметров принципиально важно для выработки рациональной стратегии контроля и управления популяциями бездомных животных [1, 15].

Материал и методы

Общая площадь города Пензы составляет 378 км². Город вытянут с запада на восток приблизительно на 22 км, а с севера на юг – на 18 км. Численность населения г. Пензы, по данным городского отдела статистики, на 1 января 2010 г. составляет 509,5 тыс. человек [1, 15].

Основные характеристики популяции – численность и плотность [5, 11, 16–19]. Существует немало методик по учету этих популяционных характеристик, нами была выбрана методика использования индивидуальных учетных карточек, которая позволяет собирать информацию о каждой бездомной кошке, и основываясь на накопительном учете, что дает наиболее полные результаты о численности животных, не пропуская ни одну особь из поля зрения [18, 20, 21].

На каждой площадке были выделены шесть характерных биотопов, где были заложены постоянные, строго фиксированные маршруты:

1. **Лесопарки.** Обилие зеленых насаждений и естественных укрытий, вмешательство людей минимально. Скудная кормовая база, постройки отсутствуют.

2. **Частный сектор.** Множество мусорных баков, наполненных объедками, создает хорошую кормовую базу. Но мало укрытий, и дополнительный фактор беспокойства – собаки с привязным содержанием.

3. **Старый город.** Много пожилого населения, создают кормные места для бездомных животных. Много торговых точек и мусорных баков рядом, недостаточно укрытий.

4. **Промзона и районы строек.** Территории плохо контролируются человеком, есть много защищенные и закрытых мест, пригодных для убежищ. Мало пищи.

5. **Учреждения и точки торговли.** Есть фактор беспокойства: многолюдные рынки, магазины, детские сады и школы. Обилие мусорных баков, мало укрытий.

6. **Дачи и пустыри.** Много укрытий, но не богатая кормовая база.

Учет бездомных кошек проводился на 10 площадках регулярно в течение каждого года исследований. Каждая площадка была охарактеризована по шести наиболее характерным биотопам. На территории каждого биотопа наблюдения продолжались 3 дня. После данные суммировали. Такое время наблюдений позволяет более полно произвести учет животных и использовать среднюю величину их встречаемости [22]. Так как наблюдения проводил один учетчик, для равномерного и равноценного исследования всех биотопов приходилось менять место наблюдений каждые 3 дня. В общей сложности, на каждую площадку приходилось примерно 6 дней наблюдений. Наиболее вероятное время регистрации кошек приходилось на утренние часы, что совпадает со временем кормления животных людьми, в основном идущими на работу и по пути забрасывающими мусор, либо утренней прогулки пенсионеров. Замечено, что люди стараются кормить кошек в то время, когда собаки не появляются на территории.

Работали по стандартной методике: сначала намечали маршрут, выверяли площадь по карте района, затем фиксировали бездомных кошек, на каждую вновь увиденную особь заводили индивидуальную карточку, где указывали внешний вид, пол, примерный возраст, место встречи, состав группы, социальный статус каждой особи, реакцию на наблюдателя, количество встреч на данной учетной площадке [1].

Жителей исследуемого района подробно опрашивали обо всех известных бездомных животных. Нас интересовало, как долго наблюдалась та или иная особь на данной территории, постоянно или временно, одиночно или в составе группы, либо самки с детенышами, какова стратегия выживания (мирные попрошайки, активные собиратели и др.) [1].

В работе производили статистическую обработку данных, использовали пакет программ Access для Windows.

Пределы учетных районов определяли по крупномасштабным картам, по ним же оценивали площади каждого городского биотопа. Для этого использовали программу SAS. Planet.

Результаты и обсуждение

Всего за время исследований в городе Пензе было учтено в период 2003–2009 гг. 2234 кошки и в период 2018–2022 гг. 772 особи. На рис. 1 отображены основные параметры городских районов и биотопов, разные цветовые вариации указывают на изменения численности и плотности популяций бездомных кошек в пределах каждого городского биотопа.

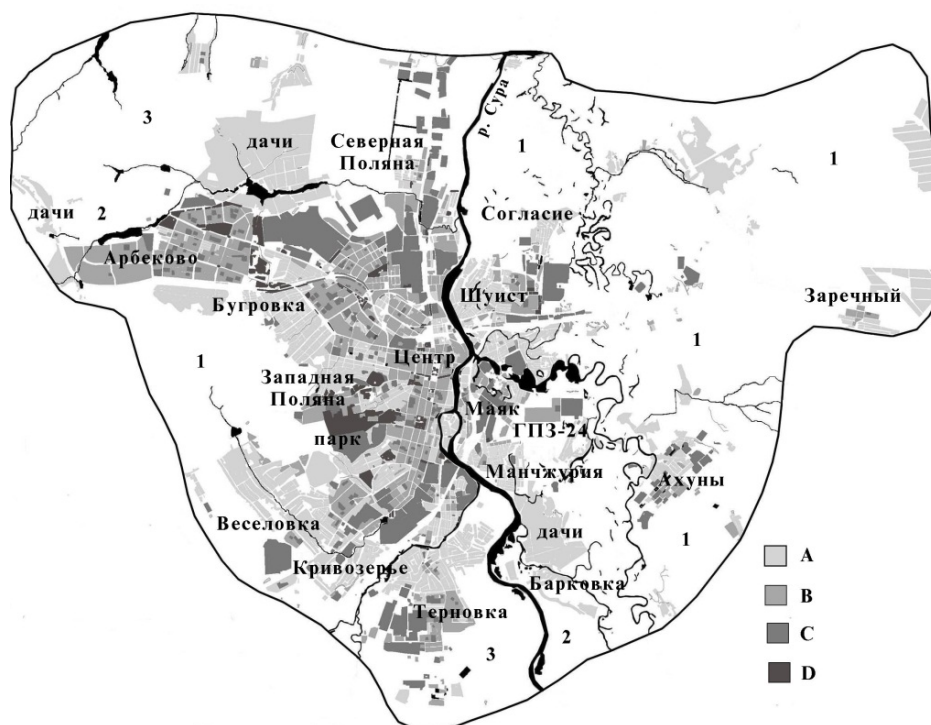


Рис. 1. Схема районов города Пензы: A – индивидуальная жилая застройка; B – многоэтажная жилая застройка; C – промышленная застройка; D – скверы и центральный парк; 1 – лесные массивы; 2 – пустыри, открытые пространства; 3 – сельскохозяйственные земли

При исследовании популяции бездомных кошек в г. Пензе мы рассматривали те же районы и биотопы, что и в исследованиях бездомных собак, за исключением района старого города, где мы в качестве учетных территорий взяли только многоэтажные жилые дома. Последнее объясняется тем, что основная масса кошек тяготеет исключительно к жилым постройкам человека (табл. 1; рис. 2).

За период наблюдений в 2003–2009 гг. было учтено 2234 особи бездомных кошек. Наибольшая численность животных зафиксирована в районе Арбеково ($n = 582$), наименьшая – в районе Ахуны ($n = 68$). Наиболее высокое среднее значение плотности кошек в Центре города ($61,3$ особей/км²), наименьшее – в районе Барковки ($4,5$ особей/км²). Высокая численность бездомных кошек наблюдается в Центре города ($n = 368$), в районах Западной Поляны (286) и Северной Поляны ($n = 244$). Такое соотношение кошачьего населения может быть связано с обилием убежищ среди жилых многоэтажных домов и обустройством людьми специальных «кормовых площадок» [1].

Таблица 1

Характеристика популяции бездомных кошек в различных районах г. Пензы (S – площадь биотопа, км^2 ; n – число особей; p – плотность кошек, особей/ км^2 ; p_{cp} – средняя плотность собак по районам)

Район Биотоп		Лесопарки	Частный сектор	Промзона и районы строек	Старый город (жилые дома)	Учреждения и точки торговли	Дачи и пустыри
Центр города	S	0,7	2,2	0,47	2,3	0,3	-
	n	5	28	7	301	27	-
	p	7,14	12,7	14,8	130,8	90	-
Σ		$S = 6 \text{ км}^2 \quad n = 368 \quad p_{cp} = 61,3$					
Арбеково	S	1,57	2,11	2,84	1,27	1,79	2,79
	n	14	19	272	83	369	27
	p	8,9	9,0	95,7	65,3	206,1	9,6
Σ		$S = 12,4 \text{ км}^2 \quad n = 582 \quad p_{cp} = 46,9$					
Западная Поляна	S	15,34	5,4	3,9	7,4	9,0	15,0
	n	3	42	12	141	78	12
	p	0,19	7,7	3,07	19,0	8,6	0,8
Σ		$S = 30,6 \text{ км}^2 \quad n = 286 \quad p_{cp} = 9,3$					
Кривозерье	S	-	2,7	1,3	0,52	1,36	0,74
	n	-	27	-	36	9	7
	p	-	10	-	69	6,6	9,4
Σ		$S = 6,1 \text{ км}^2 \quad n = 79 \quad p_{cp} = 12,9$					
Южная Поляна	S	-	2,73	3,95	1,78	3,7	0,78
	n	-	6	2	79	51	14
	p	-	2,19	0,5	44,3	13,7	17,9
Σ		$S = 12,94 \text{ км}^2 \quad n = 152 \quad p_{cp} = 11,7$					
Терновка	S	-	1,84	3,5	1,34	2,4	0,62
	n	-	10	4	38	47	3
	p	-	5,4	1,14	28,3	19,5	4,8
Σ		$S = 9,7 \text{ км}^2 \quad n = 102 \quad p_{cp} = 18,3$					
Барковка	S	9,7	2,6	2,2	-	0,42	3,68
	n	5	55	3	-	11	9
	p	0,5	21,1	1,3	-	26,1	2,4
Σ		$S = 18,6 \text{ км}^2 \quad n = 83 \quad p_{cp} = 4,5$					
Ахуны	S	1,72	1,6	2,04	0,82	0,52	0,7
	n	6	10	2	29	21	-
	p	3,4	6,25	0,9	35,3	40,3	-
Σ		$S = 7,2 \text{ км}^2 \quad n = 68 \quad p_{cp} = 9,4$					
Согласие	S	2,3	1,03	0,33	0,36	0,93	1,01
	n	3	23	4	16	5	26
	p	1,3	22,5	12,1	44	5,37	25,7
Σ		$S = 5,93 \text{ км}^2 \quad n = 76 \quad p_{cp} = 12,8$					
Северная Поляна	S	-	1,82	1,44	0,92	0,34	1,3
	n	-	23	11	128	66	16
	p	-	12,6	7,6	139,1	194	12,3
Σ		$S = 6,32 \text{ км}^2 \quad n = 244 \quad p_{cp} = 45,1$					
Σ по районам		$S = 116,34 \text{ км}^2 \quad n = 2234 \quad p_{cp} = 17,5$					

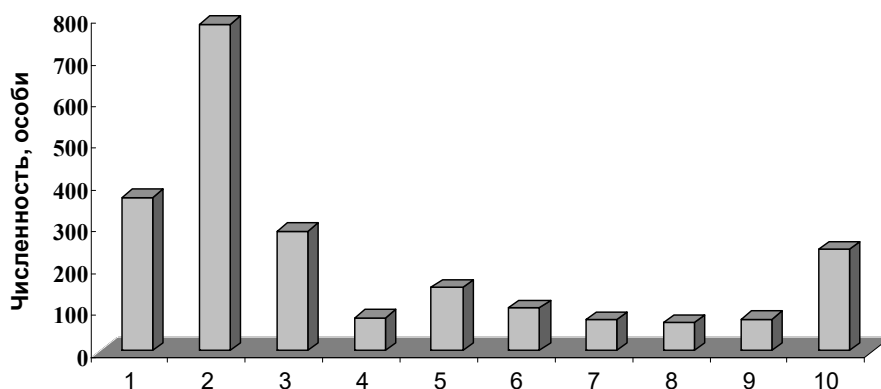


Рис. 2. Характеристика популяций бездомных кошек в различных районах города: 1 – Центр города; 2 – Арбеково; 3 – Западная Поляна; 4 – Кривозерье; 5 – Южная Поляна; 6 – Терновка; 7 – Барковка; 8 – Ахуны; 9 – Согласие; 10 – Северная Поляна

На исследуемых территориях много культурных учреждений с пищеблоками и контейнерами для пищевых отходов и много подходящих убежищ, здесь отмечено подавляющее количество животных. Низкая численность кошек наблюдается в районах, преимущественно занятых частной застройкой: Ахуны ($n = 68$), Кривозерье ($n = 73$), Согласие ($n = 76$), Барковка ($n = 83$). Мы связываем такие значения с большим количеством «хозяйских» кошек, контролирующих свою территорию и не пускающих «бесхозных» чужаков. Здесь также не отмечено ни одной кормовой площадки.

Для выяснения связи отдельных факторов среды с количеством бездомных кошек в границах всей территории исследований был проведен корреляционный анализ. Число зарегистрированных на маршрутных учетах кошек связано с площадью учетных территорий. Были получены достоверно высокие корреляты ($r = 0,966$, $p < 0,0001$; $r = 0,989$, $p < 0,0001$ соответственно). По-видимому, выявленные в ходе работы участки обитания с радиусом равным 29–40 м являются необходимым пространственным минимумом для такого мелкого хищника, которым является домашняя кошка [1, 15].

На число обитающих на площадках кошек сильное влияние оказывают особенности антропогенной среды [23]. Эти особенности связаны с техногенными объектами и опосредованы либо источниками пищи, либо потенциалом убежищ. Для бездомных кошек к таким факторам относятся количество капитальных построек ($r = 0,989$, $p < 0,0001$) и связанные с ними контейнерные пункты сбора мусора, число объектов соцкультбытового назначения ($r = 0,823$, $p < 0,023$), число детских учреждений ($r = 0,961$, $p < 0,001$), количество магазинов в районе ($r = 0,957$, $p < 0,0001$). Таким образом, проведенные исследования показали, что на численность бездомных кошек наибольшее влияние оказывают число потенциально кормных мест (капитальные жилые постройки с контейнерами сбора мусора) и количество объектов богатых укрытиями (детские учреждения, объекты соцкультбыта и торговые предприятия).

Многие авторы отмечают, что бездомные собаки могут регулировать численность кошек в городе [12, 13, 24, 25]. При этом собаки уничтожают их не с целью добывания пищи. Наши данные подтверждают эти исследований [1].

По мере увеличения численности бездомных собак резко падает численность бездомных кошек. И наоборот, например, падение численности бездомных собак в 2005–2007 гг., связанное с проводимыми местными организациями истребительными мероприятиями, привело к увеличению численности бездомных кошек в этих районах города. Однако собаки, способные довольно быстро восстанавливать свою численность, в последующие годы (2008–2009 гг.) резко снизили плотность кошачьего населения почти в 2 раза, о чем говорят результаты наших исследований (табл. 2). Серьезное уменьшение численности кошек в 2018–2022 гг., очевидно, связано с увеличением в это время численности бездомных собак, которые вступают в конкурентные отношения с более уязвимым хищником (рис. 3).

Таблица 2

Динамика численности бездомных кошек
за 2003–2009 гг. и 2018–2022 гг. по районам

Биотопы	Количество бездомных кошек, экз.	
	2003–2009 гг.	2018–2022 гг.
Центр города	368	153
Арбеково	582	229
Западная Поляна	286	98
Кривозерье	79	18
Южная Поляна	152	74
Терновка	102	38
Барковка	83	27
Ахуны	68	11
Согласие	76	21
Северная Поляна	244	124
Всего	2234	772

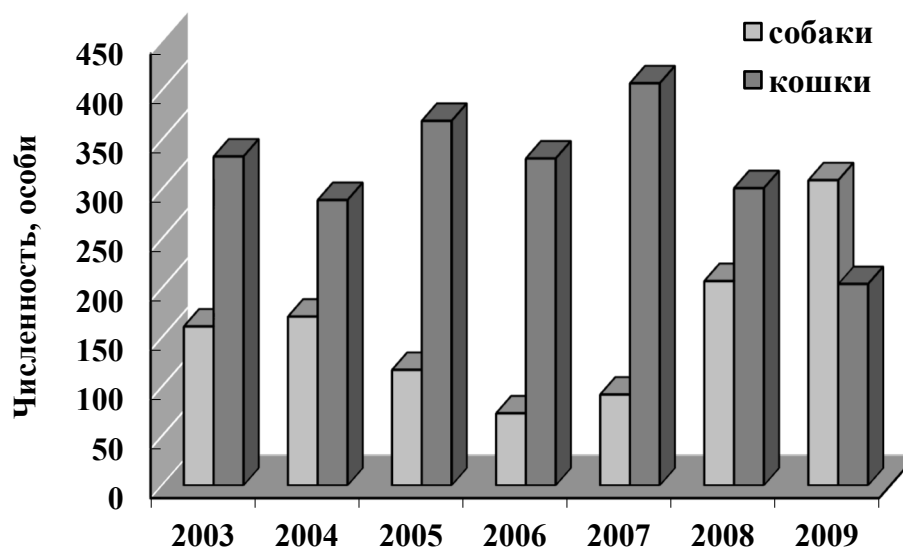


Рис. 3. Динамика численности бездомных собак и кошек 2003–2009 гг.

Изучение соотношения численности бездомных собак и кошек в различных биотопах города показывает, что в частном секторе, старом городе, учреждениях и точках торговли преобладают кошки, а в лесопарках, на территории дач и пустырей, в районе промзон и строек – собаки (рис. 4). Это связано с тем, что кошки более тяготеют к жилью человека, где всегда находят пищу, убежища, а основной стратегией их выживания является попрошайничество и попросайничество. В целом, анализируя численность бездомных животных (кошек и собак) в различных биотопах города, заметна общая тенденция – если биотоп богат местами укрытия и кормления, то плотность населения бездомных животных высока, в противном случае в экологически «бедных» биотопах плотность населения бездомных кошек и собак неустойчива и низка.

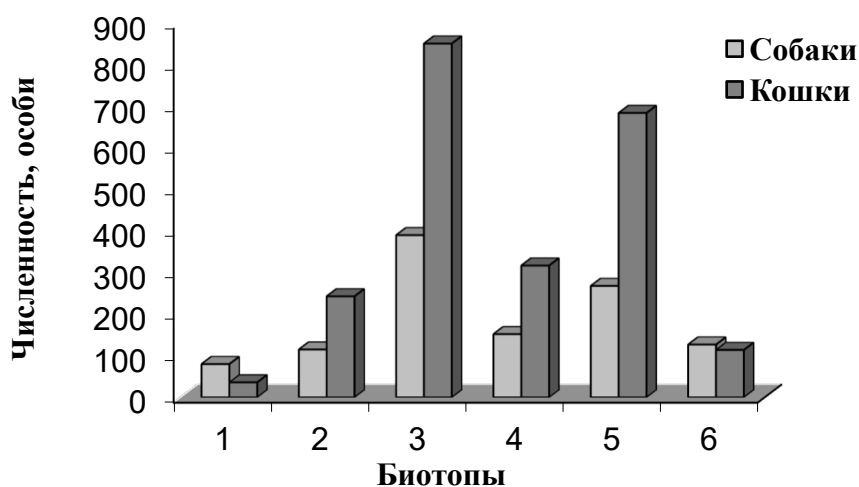


Рис. 4. Соотношение численности бездомных собак и кошек в различных биотопах города (1 – лесопарки, 2 – частный сектор, 3 – старый город, 4 – промзона и районы строек, 5 – учреждения и точки торговли, 6 – дачи и пустыри)

Закключение

Экосистема города может быть подходящей средой обитания для бездомных животных по многим факторам: температура в различных районах города никогда не бывает ниже естественных биотопов, строения защищают от холодных или интенсивных воздушных масс, создавая особые микроклиматические условия, пригодные для выживания кошек. Человеческие постройки создают большое число вариантов убежищ, пригодных для выращивания молодняка. К этому можно добавить и обильную кормовую базу, создаваемую человеком.

Бездомные животные прекрасно могут сосуществовать с человеком. Более зависимым от человека видом является кошка, предпочитающая оседлый образ жизни, по сравнению с собакой – более мобильным видом, способным легко передвигаться на большие расстояния и не зависеть от «подкормок» человека. Между домашней кошкой и домашней собакой создаются конкурентные отношения, в результате более крупный и менее зависимый от человека хищник – собака – вытесняет более мелкого и зависимого – кошку [1].

Список литературы

1. Золина Н. Ф. Млекопитающие урбанизированных ландшафтов Среднего Поволжья (на примере города Пензы) : дис. ... канд. биол. наук. Пенза, 2012. 182 с.
2. Антоненко Т. В. Методика оценки территориальной активности *Felis catus* в антропогенных условиях обитания // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2009. № 10 (60). С. 87–91.
3. Верещагин А. О., Поярков А. Д., Горячев К. С. Методы оценки численности бездомных собак в городе // VI съезд териологического общества. М., 1999. С. 47.
4. Верещагин А. О., Поярков А. Д. Результаты учета численности и изучения популяции бездомных собак Москвы // Всероссийский форум «миллион друзей» : материалы науч.-практ. конф. М., 2001. С. 62–66.
5. Верещагин А. О., Поярков А. Д., Русов П. В. Учет численности безнадзорных и бесхозных животных (собак) на территории г. Москвы, 2006 г. // Проблемы исследований домашней собаки : материалы совещания. М., 2006. С. 95–114.
6. Поярков А. Д., Горячев К. С., Верещагин А. В., Богомолов П. Л. Учет численности бездомных собак на территории Москвы // VI съезд териолог. общ-ва : тез. докл. М., 1999. С. 204.
7. Поярков А. Д. Парцеллярная организация бродячих собак // Тезисы IV съезда ВТО. 1986. Т. 2, № 6. С. 157–158.
8. Поярков А. Д. Стратегия контроля и регуляции численности бродячих собак в городских условиях // Экология, поведение и управление популяциями волка. М., 1989. С. 130–139.
9. Дудников С. А. Городские кошки и собаки: взгляд с позиции эпизоотологии // Животные в городе : материалы Второй науч.-практ. конф. М. : ИПЭЭ РАН, 2003. 274 с.
10. Каспер С. В., Аралов А. В. Влияние городских хищников на урбанизированную фауну // Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2018. № 1. С. 58–64.
11. Каспер С. В., Тюрин Ф. В. Хищники в городской среде. Тула : Изд-во Тул. гос. пед. ун-та им. Л. Н. Толстого, 2018. № 2. С. 3–12.
12. Рыбалко В. Н. Обзор мирового опыта решения проблемы бездомных животных // Ветеринарная патология. 2006. № 2 (17). С. 12–18.
13. Шамсувалеева Э. Ш., Рахимов И. И. Особенности экологии бездомных собак в условиях города Казани и его окрестностей : монография. Казань : Изд-во Новое знание, 2013. 168 с.
14. Natoli E., Maragliano L., Cariola G. et al. Management of feral domestic cats I the urban enverionment of Rome (Italy) // Preventive Veterinary Medicine. 2006. Vol. 77. P. 180–185.
15. Золина Н. Ф. Особенности экологии популяций бездомных собак в городе Пензе // Известия ПГПУ им. В. Г. Белинского. Естественные науки. 2011. № 25. С. 191–194.
16. Журавлева Т. В., Киселев В. Д., Шапетько Е. В. Особенности территориального поведения *Felis catus* в городских условиях // Молодежь – Барнаулу : материалы науч.-практ. конф. (22–23 ноября 2004 г.). Барнаул, 2004.
17. Рожнов В. В. Бездомные кошки в Москве: подходы к изучению и разработке методов учета // Животные в городе : материалы Первой науч.-практ. конф. М. : ИПЭЭ, 2000. 260 с.
18. Антоненко Т. В., Калачева Т. Н. Апробация методики учета численности бездомных и одичавших кошек Барнаула // Молодежь – Барнаулу : материалы X городской науч.-практ. конф. молодых ученых (17–21 ноября 2008 г.) : в 2 т. Барнаул, 2009. Т. 2. С. 135–136.

19. Наумов Н. П. Структура популяций и динамика численности наземных позвоночных // Зоологический журнал. 1967. Т. 46, № 10. С. 1470–1486.
20. Поярков А. Д. Дикие родственники собаки // О собаке почти все: происхождение, породы, генетика. Ташкент, 1992. С. 12–42.
21. Поярков А. Д., Верещагин А. О., Горячев Г. С. [и др.]. Учёт численности и популяционные характеристики бездомных собак г. Москвы // Животные в городе : материалы науч.-практ. конф. М., 2000. С. 84–87.
22. Антоненко Т. В. Особенности пространственной структуры в группах *Felis catus* // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. Биологические науки. 2011. № 3-1 (71). С. 7–10.
23. Мерзликин И. Р. Домашняя кошка как хищник в условиях среднего города // Животные в городе : материалы Первой науч.-практ. конф. М. : ИПЭЭ РАН, 2000. С. 131–133.
24. Шамсувалеева Э. Ш. Изучение бездомных животных в городе : учеб.-метод. пособие по организации НИРС. Казань : ТГТУ, 2006. 28 с.
25. Антоненко Т. В. Эколого-физиологические аспекты поведения внутривидовых группировок *Felis Catus* в разных условиях обитания : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08. Барнаул, 2011. 23 с.

References

1. Zolina N.F. *Mammals of urbanized landscapes of the Middle Volga region (by the example of Penza)*. PhD dissertation. Penza, 2012:182. (In Russ.)
2. Antonenko T.V. Methodology for assessing the territorial activity of *Felis catus* in anthropogenic habitats. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agrarian University*. 2009;(10):87–91. (In Russ.)
3. Vereshchagin A.O., Poyarkov A.D., Goryachev K.S. Methods for estimating the number of stray dogs in the city. *VI s"ezd teriologicheskogo obshchestva = The 6th congress of theriological society*. Moscow, 1999:47. (In Russ.)
4. Vereshchagin A.O., Poyarkov A.D. Results of counting and studying the population of stray dogs in Moscow. *Vserossiyskiy forum «million друзей»: materialy nauch.-prakt. konf. = The All-Russian Forum "Million Friends": proceedings of scientific and practical conference*. Moscow, 2001:62–66. (In Russ.)
5. Vereshchagin A.O., Poyarkov A.D., Rusov P.V. Accounting of the number of stray and ownerless animals (dogs) on the territory of Moscow, 2006. *Problemy is-sledovaniy domashney sobaki: materialy soveshchaniya = Issues of domestic dog research: meeting materials*. Moscow, 2006:95–114. (In Russ.)
6. Poyarkov A.D., Goryachev K.S., Vereshchagin A.V., Bogomolov P.L. Counting the number of stray dogs in Moscow. *VI s"ezd teriolog., obshchva: tez. dokl. = The 6th congress of theriological society*. Moscow, 1999:204. (In Russ.)
7. Poyarkov A.D. Parcel organization of stray dogs. *Tezisy IV s"ezda VTO = Theses of the 4th congress of theriological society*. 1986;2(6):157–158. (In Russ.)
8. Poyarkov A.D. Strategy for controlling and regulating the number of stray dogs in urban areas. *Ekologiya, povedenie i upravlenie populyatsiyami volka = Ecology, behavior and management of wolf populations*. Moscow, 1989:130–139. (In Russ.)
9. Dudnikov S.A. Urban cats and dogs: a view from the perspective of epidemiology. *Zhivotnye v gorode: materialy Vtoroy nauch.-prakt. konf. = Animals in the city: proceedings of the 2nd scientific and practical conference*. Moscow: IPEE RAN, 2003:274. (In Russ.)
10. Kasper S.V., Aralov A.V. The influence of urban predators on urban fauna. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki = Proceedings of Tula State University. Natural sciences*. 2018;(1):58–64. (In Russ.)
11. Kasper S.V., Tyurin F.V. *Khishchniki v gorodskoy srede = Predators in an urban environment*. Tula: Izd-vo Tul. gos. ped. un-ta im. L.N. Tolstogo, 2018;(2):3–12. (In Russ.)

12. Rybalko V.N. Review of global experience in solving the problem of homeless animals. *Veterinarnaya patologiya = Veterinary pathology*. 2006;(2):12–18. (In Russ.)
13. Shamsuvaleeva E.Sh., Rakhimov I.I. *Osobennosti ekologii bezdomnykh sobak v usloviyakh goroda Kazani i ego okrestnostey: monografiya = Features of the ecology of stray dogs in the city of Kazan and its environs: monograph*. Kazan': Izd-vo Novoe znanie, 2013:168. (In Russ.)
14. Natoli E., Maragliano L., Cariola G. et al. Management of feral domestic cats I the urban environment of Rome (Italy). *Preventive Veterinary Medicine*. 2006;77:180–185.
15. Zolina N.F. Features of the ecology of stray dog populations in Penza. *Izvestiya PGPU im. V.G. Belinskogo. Estestvennyye nauki = Proceedings of Penza State Pedagogical University named after V.G. Belinskiy. Natural sciences*. 2011;(25):191–194. (In Russ.)
16. Zhuravleva T.V., Kiselev V.D., Shapet'ko E.V. Features of territorial behavior of *Felis catus* in urban conditions. *Molodezh' – Barnaulu: materialy nauch.-prakt. konf. (22–23 noyabrya 2004 g.) = Youth to Barnaul: proceedings of the scientific and practical conference (November 22–23, 2004)*. Barnaul, 2004. (In Russ.)
17. Rozhnov V.V. Stray cats in Moscow: approaches to studying and developing accounting methods. *Zhivotnye v gorode: materialy Pervoy nauch.-prakt. konf. = Animals in the city: proceedings of the 1st scientific and practical conference*. Moscow: IPEE, 2000:260. (In Russ.)
18. Antonenko T.V., Kalacheva T.N. Approbation of a methodology for counting the number of homeless and feral cats in Barnaul. *Molodezh' – Barnaulu: materialy X gorodskoy nauch.-prakt. konf. molodykh uchenykh (17–21 noyabrya 2008 g.): v 2 t. = Youth to Barnaul: proceedings of the 10th city scientific and practical conference of young scientists (November 17–21, 2008)*. Barnaul, 2009;2:135–136. (In Russ.)
19. Naumov N.P. Population structure and dynamics of terrestrial vertebrates. *Zoologicheskii zhurnal = Zoological journal*. 1967;46(10):1470–1486. (In Russ.)
20. Poyarkov A.D. Wild relatives of the dog. *O sobake pochti vse: proiskhozhdenie, porody, genetika = Almost everything about the dog: origin, breeds, genetics*. Tashkent, 1992:12–42. (In Russ.)
21. Poyarkov A.D., Vereshchagin A.O., Goryachev G.S. et al. Counting the number and population characteristics of stray dogs in Moscow. *Zhivotnye v gorode: materialy nauch.-prakt. konf. = Animals in the city: proceedings of scientific and practical conference*. Moscow, 2000:84–87. (In Russ.)
22. Antonenko T.V. Features of spatial structure in groups *Felis catus*. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Biologicheskie nauki = Bulletin of the Altai State Agrarian University. Biological sciences*. 2011;(3-1):7–10. (In Russ.)
23. Merzlikin I.R. The domestic cat as a predator in an average city. *Zhivotnye v gorode: materialy Pervoy nauch.-prakt. konf. = Animals in the city: proceedings of the 1st scientific and practical conference*. Moscow: IPEE RAN, 2000:131–133. (In Russ.)
24. Shamsuvaleeva E.Sh. *Izuchenie bezdomnykh zhivotnykh v gorode: ucheb.-metod. posobie po organizatsii NIRS = Study of homeless animals in the city: educational guide to organizing research work*. Kazan': TGGPU, 2006:28. (In Russ.)
25. Antonenko T.V. *Ecological and physiological aspects of the behavior of intraspecific groups of Felis Catus in different habitat conditions*. PhD abstract: 03.02.08. Barnaul, 2011:23. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Наталья Федоровна Золина

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

E-mail: zolinan@list.ru

Natalya F. Zolina

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

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 07.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 18.09.2023

Принята к публикации / Accepted 15.10.2023

УДК 574.34:574.36
doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-6

Популяционная структура *Scilla sibirica* Haw. в условиях северной лесостепи

Ю. А. Рыжова

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
jyliyar@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* *Scilla sibirica* Haw. (пролеска сибирская) – луковичный геофит, эфемероид. На территории Пензенской области проходит северная граница ареала вида. *Материалы и методы.* Исследования автора проводились с 2018 по 2022 г. в период массового цветения *S. sibirica* в двух местообитаниях вида: на юго-западе Пензенской области и в г. Пенза в Ботаническом саду им. И. И. Спрыгина ПГУ. С целью выявления особенностей онтогенеза, динамики численности особей и оценки общего состояния популяции *S. sibirica* в Пензенской области полученные данные были сопоставлены с аналогичными показателями из литературных источников (с 2006 г.). *Результаты и обсуждение.* В пунктах исследования *S. sibirica* имеет сходные размеры и строение подземных органов, различия отмечены в размерах надземных вегетативных органов. Сравнительный анализ биометрических характеристик *S. sibirica* Пензенской области с данными из более южных регионов России и Украины показал, что наиболее близкими по размерам и строению являются растения пролески из Воронежской области. За 16 лет наблюдений произошли изменения соотношения числа особей разных возрастных состояний в ценопопуляции, изменился и возрастной спектр. *Выводы.* Условия Пензенской области оптимальны для существования этого вида. Плотность ценопопуляции стабильная, численность относительно высокая, преобладают особи прегенеративных состояний.

Ключевые слова: *Scilla sibirica*, онтогенез, популяционная структура, Пензенская область, лесостепь

Для цитирования: Рыжова Ю. А. Популяционная структура *Scilla sibirica* Haw. в условиях северной лесостепи // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 3. С. 70–79. doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-6

Population structure of *Scilla sibirica* Haw. in the conditions of the northern forest-steppe

Yu.A. Ryzhova

Penza State University, Penza, Russia
jyliyar@mail.ru

Abstract. *Background.* *Scilla sibirica* – bulbous geophyte, ephemeroid. On the territory of the Penza region, the northern border of the species' range passes. *Materials and methods.*

© Рыжова Ю. А., 2023. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

The author's research was carried out from 2018 to 2022 during the period of mass flowering of *S. sibirica* in two habitats of the species: in the southwest of Penza region and in Penza in the I.I. Sprygin Botanical Garden of Penza State University (PSU). In order to identify the features of ontogenesis, the dynamics of the number of individuals and to assess the general state of the population *S. sibirica* in Penza region, the data obtained were compared with similar indicators from literary sources (since 2006). *Results and discussion.* In the study points, *S. sibirica* has similar dimensions and structure of underground organs, differences are noted in the sizes of aboveground vegetative organs. A comparative analysis of the biometric characteristics of *S. sibirica* of Penza region with data from more southern regions of Russia and Ukraine showed that the most similar in size and structure are the plants of the forest from Voronezh region. During the 16 years of observations, there were changes in the ratio of the number of individuals of different age conditions in the cenopopulation (CP), and the age spectrum also changed. *Conclusions.* The conditions of Penza region are optimal for the existence of this species. The CP density is stable, the number is relatively high, individuals of pregenerative states predominate.

Keywords: *Scilla sibirica*, ontogenesis, population structure, Penza region, forest-steppe

For citation: Ryzhova Yu.A. Population structure of *Scilla sibirica* Haw. in the conditions of the northern forest-steppe. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2023;(3):70–79. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-6

Введение

Пролеска сибирская (*Scilla sibirica* Haw.) – луковичный геофит, эфемероид, высотой 8–20 см (рис. 1) [1]. *S. sibirica* – европейско-кавказский вид широколиственных лесов лесостепной зоны. Произрастает в лиственных лесах, по опушкам и кустарникам. Распространен в Восточной Европе до северных границ подзоны широколиственных лесов, на юг – до нижнего течения Дона и Причерноморья, а также на Кавказе, в Малой Азии, Иране [2].



Рис. 1. *Scilla sibirica* (фото автора)

Вид взят под охрану в ряде регионов России [3–7]. В Пензенской области пророска включена в Красную книгу со статусом 3 [8], на территории региона проходит северная граница ареала вида. Здесь она довольно редка, но местами произрастает в массе, отмечена в 13 районах области.

Вид важен для поддержания необходимого количества минеральных веществ в почве – ранней весной, после активного снеготаяния, луковички пророски перехватывают и удерживают в почве немалое количество минеральных солей [9].

Цель работы – выявить особенности прохождения онтогенеза и популяционную структуру *S. sibirica* в условиях Пензенской области.

Материалы и методы

Исследования проводились в период массового цветения *S. sibirica* (апрель – май) в двух местообитаниях вида: на юго-западе Пензенской области, в Белинском районе близ села Волчково, на территории ООПТ «Урочище 12 дубков» и в г. Пенза в Ботаническом саду им. И. И. Спрыгина ПГУ.

На юго-западе области в течение 5 лет (2018–2022 гг.) изучали популяционную структуру и биоморфологию особей в естественных местообитаниях, в г. Пенза в условиях интродукции.

Климат Пензенской области умеренно-континентальный. Наибольшая толщина снежного покрова отмечается в середине марта, с начала апреля начинается его убывание. Различия в экологических условиях местообитаний вида заключаются в предельной толщине снежного покрова (на юго-западной части области этот показатель составляет 31–34 см, что на 20 см меньше чем в г. Пензе, 54 см), и количество дней в году с устойчивым снежным покровом (на юго-западе области 143–145 дней, а в г. Пензе, как правило, на 10 дней больше, 154–155) [10]. Также отмечено и различие в типе почв, в Ботаническом саду почвы относятся к типу агро-серых лесных [11], а на юго-западной части области – мощные высокогумусные или тучные черноземы [12].

Для выявления особенностей онтогенеза и популяционной структуры *S. sibirica* на юго-западе Пензенской области были заложены пробные площадки (ПП) размером $10 \times 1 \text{ м}^2$ в шахматном порядке. На каждой ПП проводили биоморфологические измерения, полный подсчет особей *S. sibirica* с указанием возрастного состояния, изучению ЦП предшествовало общее геоботаническое описание площади размером 100 м^2 по общепринятой методике [13].

Выделение онтогенетических состояний проводили на основании комплекса качественных морфологических признаков [1]. Характеристика онтогенетической структуры дана с применением общепринятых демографических показателей: индекс восстановления; индекс замещения; критерий «дельта-омега» и др. [14]. Определена специфическая скорость развития ЦП, на основании данных литературы [15].

Для изучения онтогенеза было проанализировано более 80 растений *S. sibirica* разного возрастного состояния в сходных условиях вне границ ООПТ. Обязательным условием работы был минимальный исследовательский пресс, поэтому все выкопанные растения для измерения биометрических показателей были высажены обратно.

При выделении стадий онтогенеза опирались на следующие биометрические показатели: число листьев, длина и ширина листа, высота и диаметр

луковицы, диаметр донца луковицы, число соцветий, число цветков на одном соцветии. Так же отмечали глубину залегания луковиц в почве. Названия видов приведены по Черепанову С. К. [16].

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программ пакета Microsoft Office 2010.

Результаты и обсуждение

Растительность на территории ООПТ «Урочище 12 дубков» представлена дубравой снытево-разнотравьем (8Д1Лп1Кос; сомкнутость: 0,6–0,8). Древостой имеет хорошо выраженную ярусную структуру. 1-й древесный ярус образован старыми генеративными особями *Quercus robur*, 2-й древесный ярус формируют *Tilia cordata*, *Acer platanoides*, *Ulmus glabra*. Кустарниковая синузия образована *Corylus avellana* (сомкнутость 0,2–0,3). В травяном покрове типичные неморальные виды высококонстантны и обильны: *Aegopodium podagraria*, *Asarum europaeum*, *Mercurialis perennis*. С невысоким обилием встречаются: *Carex pilosa*, *Gonvallaria majalis*, *Polygonatum multiflorum*, *Stellaria holostea*, *Lathyrus vernus*, *Pulmonaria obscura*. Присутствуют эфемероиды: *Scilla sibirica*, *Corydalis solida*, *Anemone ranunculoides*, *Ficaria verna*, *Gagea minima*.

В пунктах исследования в онтогенезе *S. sibirica* выделено четыре периода и восемь возрастных состояний: ювенильное (*j*), имматурное (*im*), виргинильное (*v*), молодое генеративное (*g*₁), средневозрастное генеративное (*g*₂), старое генеративное (*g*₃), сенильное (*s*). В табл. 1 приведены биометрические показатели особей *S. sibirica* разных возрастных состояний.

В условиях Пензенской области *S. sibirica* имеет сходные размеры и строение подземных органов: высота и глубина залегания луковицы, диаметр донца, количество втягивающих придаточных корней и питающих, число чешуек в луковице (табл. 1).

Достоверные различия отмечены в размерах надземных вегетативных органов пролески в течение всего онтогенеза. Так, длина листовой пластинки у особей на юге Пензенской области в среднем на 2,4 см больше (от 2 до 4 см). Только в сенильном возрастном состоянии этот показатель практически сравнивается. При этом листовая пластинка более узкая, в среднем на 0,4 см меньше (наибольшая разница отмечена в молодом и средневозрастном генеративном состоянии – на 0,4 и 0,5 см соответственно). Растения пролески Ботанического сада имеют большее число листьев и соцветий. Так, растения генеративного периода в этих условиях имеют в среднем листьев в 3,7, а соцветий на 5 больше, чем на юге области. Таким образом, растения, произрастающие в естественных условиях, характеризуются более длинными и узкими листовыми пластинками и меньшим числом соцветий, что объясняется разницей в освещенности под кронами и в условиях интродукции.

Сравнительный анализ биометрических характеристик *S. sibirica* Пензенской области с данными из более южных регионов России [1] и Украины [17] показал, что наиболее близкими по размерам и строению являются растения пролески Воронежской области (Россия), что очевидно объясняется более схожими экологическими условиями обитания вида. Существенное расхождение по большинству параметров *S. sibirica* наблюдается в условиях Каневского заповедника (Украина).

Таблица 1

Некоторые биометрические показатели *S. sibirica* (фенофаза массового цветения)

Признаки	Место исследования	Возрастные состояния						
		i	im	v	g ₁	g ₂	g ₃	s
Длина листа, см	1	10,0 ± 1,5	13,8 ± 0,4	17,5 ± 1,0	19,0 ± 1,2	21,0 ± 1,0	15,0 ± 1,0	11,0 ± 0,5
	2	8,3 ± 1	11,1 ± 0,6	13,6 ± 1,2	15,2 ± 1,5	18,4 ± 1,1	12,9 ± 1,0	10,6 ± 0,7
	3	9,8	13,1	16,6	18,6	21,7	15,4	11,7
	4	17,0	28,5	32,2	36,7	41,2	29,2	24,1
Ширина листа, см	1	0,2 ± 0	0,6 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1,0 ± 0,2	1,2 ± 0,2	0,9 ± 0,3	0,7 ± 0,3
	2	0,2 ± 0	0,5 ± 0,1	0,8 ± 0,2	1,4 ± 0,1	1,7 ± 0,1	1,0 ± 0,2	0,8 ± 0,1
	3	0,2	0,6	0,7	0,9	1,1	0,7	0,6
	4	0,2	0,6	0,8	1,1	1,3	0,7	0,5
Число листьев, шт.	1	1,0 ± 0	1,0 ± 0	2,0 ± 0	2,4 ± 0,4	3,3 ± 0,3	2,0 ± 0	1,7 ± 0,2
	2	1,0 ± 0	1,0 ± 0	2,0 ± 0	3,2 ± 0,2	5,5 ± 0,1	2,7 ± 0,1	1,7 ± 0,1
	3	1,0	1,0	2,0	3,24	3,24	2,13	1,61
	4	1,0	1,0	2,0	2,0	3,0	2,1	1,3
Высота луковичы, см	1	0,8 ± 0,3	1,1 ± 0,2	1,5 ± 0,5	1,9 ± 0,3	2,1 ± 0,7	1,7 ± 0,2	1,2 ± 0,3
	2	0,7 ± 0,2	1,1 ± 0,1	1,5 ± 0,3	1,8 ± 0,2	2,1 ± 0,5	1,6 ± 0,2	1,2 ± 0,1
	3	0,9	1,2	1,4	1,7	2,0	1,5	1,2
	4	0,7	1,4	1,6	2,1	2,1	1,7	1,5
Диаметр луковичы, см	1	0,3 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,9 ± 0,1	1,5 ± 0,2	2,0 ± 0,2	0,8 ± 0,2	0,4 ± 0,2
	2	0,3 ± 0	0,5 ± 0,1	0,9 ± 0	1,4 ± 0,1	1,9 ± 0,2	0,8 ± 0,1	0,3 ± 0,2
	3	0,3	0,6	0,8	1,3	2,0	0,6	0,3
	4	0,4	0,7	0,9	1,4	1,6	0,6	0,3
Диаметр донца луковичы, см	1	0,1 ± 0,1	0,2 ± 0,1	0,5 ± 0,1	0,7 ± 0,2	1,0 ± 0,1	0,8 ± 0,2	0,5 ± 0,1
	2	0,1 ± 0	0,2 ± 0	0,4 ± 0,1	0,6 ± 0,2	1,0 ± 0	0,8 ± 0,1	0,4 ± 0,1
	3	0,1	0,2	0,4	0,6	1,1	0,8	0,6
	4	0,1	0,3	0,4	0,6	0,8	0,5	0,3

Окончание табл. 1

Признаки	Место исследования	Возрастные состояния						
		j	im	v	g ₁	g ₂	g ₃	s
Число придаточных корней питающих, шт.	1	5,4 ± 0,1	8,0 ± 0,3	18,0 ± 0,2	38,0 ± 0,5	53,0 ± 7,0	14,4 ± 0,9	8,5 ± 0,5
	2	4,4 ± 0,1	7,5 ± 0,3	17,0 ± 0,3	36,0 ± 1,5	51,0 ± 6,0	13,4 ± 0,7	8,0 ± 0,5
	3	3,4	10,5	26,5	41,5	66,5	15,6	11,2
	4	2,4	8,5	9,8	17,4	24,0	14,7	10,2
Число придаточных корней втягивающих, шт.	1	0,6 ± 0,1	0,9 ± 0,2	0,5 ± 0,1	–	–	–	–
	2	0,5 ± 0,1	0,9 ± 0,1	0,4 ± 0,1	–	–	–	–
	3	0,5	0,9	0,2	–	–	–	–
	4	0,1	0,5	0,2	–	–	–	–
Число соцветий, шт.	1	–	–	–	1,5 ± 0,2	2,0 ± 0,1	1,3 ± 0,1	–
	2	–	–	–	3,14 ± 0,3	5,3 ± 0,1	1,3 ± 0,1	–
	3	–	–	–	1,6	3,0	1,3	–
	4	–	–	–	1,0	3,7	1,9	–
Число цветков на одном соцветии, шт.	1	–	–	–	1,5 ± 0,5	1,8 ± 0,9	1,3 ± 0,1	–
	2	–	–	–	1,5 ± 0,3	1,9 ± 0,5	1,1 ± 0,1	–
	3	–	–	–	1,4	1,8	1,3	–
	4	–	–	–	3,5	4,2	2,1	–
Глубина залегания луковицы, см	1	3,5 ± 0,2	4,9 ± 0,3	8,5 ± 0,5	10 ± 0,3	11 ± 0,5	10,2 ± 0,2	9,0 ± 0,5
	2	3,4 ± 0,1	5,1 ± 0,3	8,7 ± 0,4	10 ± 0,5	11,1 ± 0,3	10 ± 0,2	8,9 ± 0,4
	3	3,1	6,4	7,7	9,0	10,1	10,3	9,8
	4	4,5	9,0	9,8	10,8	12,0	10,8	8,2
Число чешуек в луковиче, шт.	1	4,1 ± 0,1	5,5 ± 0,2	12,0 ± 0,2	12,5 ± 0,1	25,5 ± 0,5	8,0 ± 0,2	5,2 ± 0,2
	2	4,0 ± 0,2	5,1 ± 0,2	11,6 ± 0,3	12,0 ± 0,3	25,1 ± 0,6	8,0 ± 0,6	5,0 ± 0,5
	3	4,0	6,5	11,1	16,6	29,6	8,8	5,8
	4	3,6	4,8	8,2	11,4	14,5	10,0	6,8
Места исследования: 1 – Пензенская область, Белинский район, 2 – Ботанический сад им. И. И. Спрыгина ПГУ (г. Пенза), 3 – Воронежский государственный природный биосферный заповедник, 4 – Каневский заповедник (Украина)								

Показатели популяционной структуры ЦП *S. sibirica* на территории области имеют следующие особенности (табл. 2). По данным за 2006–2022 гг. ЦП сохранила свою полночленность, численность относительно высокая (633 особи в пределах ПП), плотность стабильная (в среднем 63 особи на 1 м²), особи регулярно цветут и плодоносят, что позволяет надеяться на устойчивое существование вида.

Таблица 2

Показатели популяционной структуры
S. sibirica в условиях Пензенской области

Признаки	Год наблюдений	
	2006	2022
Количество особей в пределах ПП	639	633
Средняя плотность особей на 1 м ²	63	63
Характер размещения особей	случайный	случайный
Преобладающая группа особей	молодая генеративная	молодая генеративная
Тип ЦП	переходная	молодая
Индекс возрастности, Δ	0,30	0,31
Индекс эффективности ЦП, ω	0,60	0,46
Эффективная экологическая плотность, M_e	37,8	28,7
Индекс молодости, I_v	0,34	0,47
Индекс зрелости, I_g	0,61	0,41
Индекс старения, I_s	0,4	0,10
Индекс восстановления, I_b	0,56	1,14
Индекс замещения, I_z	0,52	0,91
Специфическая скорость развития ЦП	0,020	

Однако можно отметить, что за 16 лет произошли изменения соотношения числа особей разных возрастных состояний в ЦП *S. sibirica*. В частности, по типу онтогенетической структуры ЦП в 2006 г. относилась к «переходной» (индекс возрастности $\Delta = 0,30$ и эффективности $\omega = 0,60$). Эффективность самоподдержания была слабой ($I_b < 1$), индекс замещения составлял 0,52, состояние ЦП было близко к критическому. По состоянию на 2022 г., ЦП характеризуется как «молодая» (индекс возрастности $\Delta = 0,31$, эффективности $\omega = 0,46$). Эффективность самоподдержания ЦП оценена как умеренная (индекс восстановления: $1 < I_b < 2$), индекс замещения – 0,91, что говорит об относительно невысокой семенной продуктивности. Специфическая скорость развития ЦП составляет 0,020.

Модифицировался и возрастной спектр, в 2006 г. он центрированный, абсолютный максимум приходился на молодое генеративное состояние (35 %), значительно преобладали особи генеративных возрастных состояний, их доля составляла 61,48 %, доля прегенеративных – 34,36 % (рис. 2). Выживаемость особей на ранних этапах онтогенеза низкая, поэтому численность ювенильных и имматурных особей незначительна. В 2022 г. возрастной спектр ярко выраженный левосторонний, имеет два слабо дифференцированных максимума в ювенильном (19 %) и молодом генеративном (20 %) возрастных состояниях, особи прегенеративного периода преобладают, их доля составляет 49,4 %.

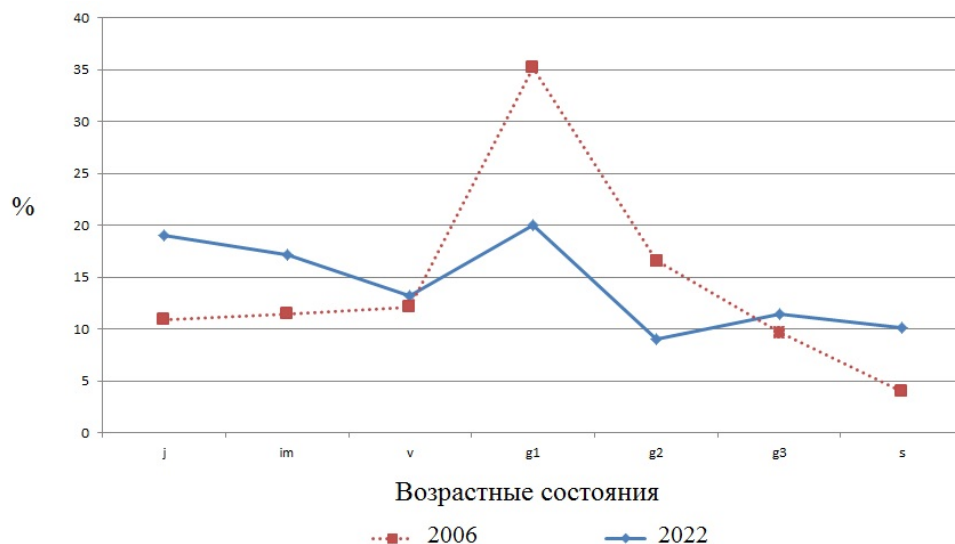


Рис. 2. Возрастной спектр ценопопуляции *S. sibirica* в условиях Пензенской области

Заключение

В условиях северной лесостепи растения пролески в разных пунктах исследования характеризуются сходными размерами и строением подземных органов и различиями в размерах надземных вегетативных органов: растения, произрастающие в естественных условиях, характеризуются более длинными и узкими листовыми пластинками и меньшим числом соцветий, что объясняется меньшей освещенностью, чем в условиях интродукции.

За 16-летний период наблюдений ЦП *S. sibirica* имеет стабильную плотность и относительно высокую численность. Преобладание числа особей прегенеративных возрастных состояний свидетельствует об удовлетворительном возобновлении вида.

Анализ возрастной структуры ЦП и биоморфологических параметров *S. sibirica* показал, что в условиях северной лесостепи складываются благоприятные условия для устойчивого существования вида.

Список литературы

1. Смирнова О. В., Торопова Н. А. Пролеска сибирская и двулистная (*Scilla sibirica* и *S. bifolia*) // Диагнозы и ключи возрастных состояний лесных растений. Эфемероиды. Методические разработки для студентов биологических специальностей : монография. М. : МГПИ им. В. И. Ленина, 1987. С. 35–41.
2. Комаров В. Л. *Scilla sibirica* Andrews // Флора СССР. Л. : Изд-во Академии наук СССР, 1935. Т. 4. С. 376.
3. Красная книга Тульской области. Растения / под ред. А. В. Щербакова. Тула : Аквариус, 2020. 275 с.
4. Красная книга Ростовской области. Ростов н/Д. : Минприроды Ростовской области, 2014. 340 с.
5. Красная книга Саратовской области. Грибы. Растения. Лишайники. Животные. Саратов : Папирус, 2021. 496 с.
6. Красная книга Курской области. Т. 2. Редкие и исчезающие виды растений и грибов / отв. ред. Н. И. Золотухин. Тула, 2002. 165 с.

7. Красная книга Республики Крым. Растения, водоросли и грибы / отв. ред. А. В. Ена, А. В. Фатерыга. Симферополь : ИТ АРИАЛ, 2015. 480 с.
8. Красная книга Пензенской области. Т. 1. Грибы, лишайники, мхи, сосудистые растения. Пенза : Пензенская правда, 2013. 300 с.
9. Федотов В. А., Науменко А. Н., Аксенова В. Ю. Особенности расположения в почве луковиц *Scilla sibirica* Haw. (сем. Нуасинтасеае) в условиях лесостепной дубравы // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3, Биология. 2007. № 1. С. 65–70.
10. Географический атлас Пензенской области: природа, население, хозяйство, культура / предисл. И. И. Курицына. Пенза : Облиздат, 2005. 60 с.
11. Вяль Ю. А., Квашина О. А. Активность некоторых ферментов в почвах Пензенского Ботанического сада имени И. И. Спрыгина // Биоразнообразие: проблемы и перспективы сохранения : материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 135-летию со дня рождения И. И. Спрыгина. Пенза : ПГПУ, 2008. Ч. 1. С. 181–183.
12. Дюкова Г. Р. Особенности почвообразования, распространения и динамики основных типов почв Пензенской области // Известия Пензенского государственного университета им. В. Г. Белинского. 2007. № 9. С. 5–16.
13. Ценопопуляции растений: Основные понятия и структура / отв. ред. канд. биол. наук, проф. А. А. Уранов, д-р биол. наук, проф. Т. И. Серебрякова. М. : Наука, 1976. 216 с.
14. Животовский Л. А. Онтогенетические состояния, эффективная плотность и классификация популяций растений // Экология. 2001. № 1. С. 3–7.
15. Леонова Н. А., Ульянова Ю. В. Состояние популяций *Scilla sibirica* Haw. в Пензенской области // Бюллетень ботанического сада Саратовского государственного университета. 2006. № 5. С. 129–132.
16. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.
17. Смирнова О. В. Жизненные циклы. Численность и возрастной состав популяций основных компонентов травяного покрова дубрав : дис. ... канд. биол. наук. М., 1968. 215 с.

References

1. Smirnova O.V., Toropova N.A. *Scilla sibirica* and *S. bifolia*. *Diagnozy i klyuchi vozrastnykh sostoyaniy lesnykh rasteniy. Efemeroidy. Metodicheskie razrabotki dlya studentov biologicheskikh spetsial'nostey: monografiya = Diagnoses and keys of age conditions of forest plants. Ephemerooids. Methodological developments for students of biological specialties: monograph*. Moscow: MGPI im. V.I. Lenina, 1987:35–41. (In Russ.)
2. Komarov V.L. *Scilla siberica* Andrews. *Flora SSSR = Flora of the USSR*. Leningrad: Izd-vo Akademii nauk SSSR, 1935;4:376. (In Russ.)
3. Shcherbakov A.V. (ed.). *Krasnaya kniga Tul'skoy oblasti. Rasteniya = The Red Book of Tula Region. Plants*. Tula: Akvarius, 2020:275. (In Russ.)
4. *Krasnaya kniga Rostovskoy oblasti = The Red Book of Rostov region. Rostov-on-Don: Minprirody Rostovskoy obla-sti*, 2014:340. (In Russ.)
5. *Krasnaya kniga Saratovskoy oblasti. Griby. Rasteniya. Lishayniki. Zhivotnye = The Red Book of Saratov region. Fungi. Plants. Lichens. Animals*. Saratov: Papirus, 2021:496. (In Russ.)
6. Zolotukhin N.I. (resp. ed.). *Krasnaya kniga Kurskoy oblasti. T. 2. Redkie i ischezayushchie vidy rasteniy i gribov = The Red Book of Kursk region. Volume 2. Rare and endangered species of plants and fungi*. Tula, 2002:165. (In Russ.)
7. Ena A.V., Fateryga A.V. (resp. ed.). *Krasnaya kniga Respubliki Krym. Rasteniya, vodorosli i griby = The Red Book of Krym Republic. Plants, algae and fungi*. Simferopol': IT ARIAL, 2015:480. (In Russ.)

8. *Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti. T. 1. Griby, lishayniki, mkhi, sosudistye rasteniya.* = *The Red Book of Penza region. Volume 1. Fungi, lichens, mosses, vascular plants.* Penza: Penzenskaya pravda, 2013:300. (In Russ.)
9. Fedotov V.A., Naumenko A.N., Aksenova V.Yu. Features of the location of bulbs of *Scilla sibirica* Haw. (sem. Hyacinthaceae) in the soil in a forest-steppe oak grove. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Ser. 3, Biologiya* = *Bulletin of Saint Petersburg University. Series 3, Biology.* 2007;(1):65–70. (In Russ.)
10. *Geograficheskiy atlas Penzenskoy oblasti: priroda, naselenie, khozyaystvo, kul'tura* = *Geographical atlas of Penza region: nature, population, economy, culture.* Foreword by I.I. Kuritsyn. Penza: Oblizdat, 2005:60. (In Russ.)
11. Vyal' Yu.A., Kvashina O.A. The activity of some enzymes in the soils of the Penza Botanical Garden named after I.I. Sprygina. *Bioraznoobrazie: problemy i perspektivy sokhraneniya: materialy Mezhdunar. nauch. konf., posvyashch. 135-letiyu so dnya rozhdeniya I.I. Sprygina* = *Biodiversity: problems and prospects for conservation: proceedings of the International scientific conference dedicated to the anniversary of I.I. Sprygin.* Penza: PGPU, 2008;1:181–183. (In Russ.)
12. Dyukova G.R. Features of soil formation, distribution and dynamics of the main types of soils in Penza region. *Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta im. V.G. Belinskogo* = *Proceedings of Penza State University named after V.G. Belinskiy.* 2007;(9):5–16. (In Russ.)
13. Uranov A.A., Serebryakova T.I. (resp. eds.). *Tsenopopulyatsii rasteniy: Osnovnye ponyatiya i struktura* = *Plant coenopopulations: Basic concepts and structure.* Moscow: Nauka, 1976:216. (In Russ.)
14. Zhivotovskiy L.A. Ontogenetic states, effective density and classification of plant populations. *Ekologiya* = *Ecology.* 2001;(1):3–7. (In Russ.)
15. Leonova N.A., Ul'yanova Yu.V. Status of populations of *Scilla sibirica* Haw. in Penza region. *Byulleten' botanicheskogo sada Saratovskogo gosudarstvennogo universiteta* = *Bulletin of botanical garden of Saratov State University.* 2006;(5):129–132. (In Russ.)
16. Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* = *Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR).* Saint Petersburg: Mir i sem'ya, 1995:992. (In Russ.)
17. Smirnova O.V. *Life cycles. Number and age composition of populations of the main components of the grass cover of oak forests.* PhD dissertation. Moscow, 1968:215. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Юлия Александровна Рыжова

ассистент кафедры общей биологии
и биохимии, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

Yuliya A. Ryzhova

Assistant of the sub-department
of general biology and biochemistry,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

E-mail: jyliyar@mail.ru

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 07.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 18.08.2023

Принята к публикации / Accepted 28.09.2023

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

УДК 581.1

doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-7

Влияние регуляторов роста на каллусогенез *in vitro* у огурца и редиса

И. Д. Михайлова¹, А. С. Лукаткин²

¹АО «Биохимик», Саранск, Россия

²Национальный исследовательский Мордовский государственный
университет имени Н. П. Огарёва, Саранск, Россия

¹irinamihajlova113@gmail.com, ²aslukatkin@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Каллусная культура *in vitro* представляет удобную модель для изучения физиологических и биохимических проявлений на клеточном уровне, а также для клеточной селекции к стрессорным факторам. Для получения каллусной культуры необходимо подобрать оптимальное соотношение экзогенных гормональных регуляторов роста в питательной среде. Цель исследования – определение оптимальных соотношений регуляторов роста на этапе введения огурца и редиса в культуру *in vitro*. *Материалы и методы.* В качестве объекта исследования были взяты стерильные растения огурца (*Cucumis sativus* L., сорт Единство) и редиса (*Raphanus sativus* L., сорт Красный великан). Эксперимент включал в себя получение каллусной культуры огурца и редиса от различных эксплантов (семядольных листьев, гипокотили и корня) на питательной среде с минеральной основой по Мурасиге – Скугу и добавлением мезоинозита (100 мг/л), глицина (1 мг/л), никотиновой кислоты (0,5 мг/л), а также регуляторов роста 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты (2,4-Д) и 6-бензиламинопурина (6-БАП) в различных соотношениях. *Результаты.* Описана методика введения огурца и редиса в культуру *in vitro*. Показана роль гормонального состава питательной среды в каллусогенезе, выявлено влияние различных концентраций регуляторов роста 2,4-Д и 6-БАП на образование каллуса. Для различных эксплантов огурца и редиса определены оптимальные концентрации использованных регуляторов роста. *Выводы.* Подобран оптимальный состав регуляторов роста (ауксин 2,4-Д и цитокинин 6-БАП, мг/л) в среде Мурасиге – Скуга для каллусогенеза на эксплантах огурца (2:2) и редиса (4:0,5). Выявлены более высокая интенсивность каллусогенеза у огурца на эксплантах гипокотили и отсутствие зависимости каллусогенеза от типа экспланта у редиса.

Ключевые слова: огурец, редис, эксплант, каллусогенез, 2,4-Д, 6-БАП

Для цитирования: Михайлова И. Д., Лукаткин А. С. Влияние регуляторов роста на каллусогенез *in vitro* у огурца и редиса // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 3. С. 80–91. doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-7

© Михайлова И. Д., Лукаткин А. С., 2023. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

The effect of growth regulators on *in vitro* callus formation in cucumber and radish

I.D. Mikhailova¹, A.S. Lukatkin²

¹Biokhimik JSC of Promomed Group, Saransk, Russia

²Ogarev Mordovia State University, Saransk, Russia

¹irinamihajlova113@gmail.com, ²aslukatkin@yandex.ru

Abstract. *Background.* Callus culture *in vitro* is a convenient model for studying physiological and biochemical manifestations at the cellular level, as well as for cell selection to stress factors. To obtain a callus culture, it is necessary to select the optimal ratio of exogenous hormonal growth regulators (GRs) in the nutrient medium. The purpose of the study is to determine the optimal ratios of GRs at the stage of introducing cucumber and radish into *in vitro* culture. *Materials and methods.* Sterile plants of cucumber (*Cucumis sativus* L., cv. Unity) and radish (*Raphanus sativus* L., cv. Red Giant) were taken as the object of study. The experiment included obtaining a callus culture of cucumber and radish from various explants (cotyledon leaves, hypocotyl and roots) on a nutrient medium with a mineral base according to Murashige-Skoog supplemented by mesoinositol (100 mg/l), glycine (1 mg/l), nicotinic acid (0.5 mg/l), as well as growth regulators 2,4-dichlorophenoxyacetic acid (2,4-D) and 6-benzylaminopurine (6-BAP) in various ratios. *Results.* A method for introducing cucumber and radish into *in vitro* culture is described. The role of the hormonal composition of the nutrient medium in callusogenesis was shown, the influence of different concentrations of GRs, auxin 2,4-D and cytokinin 6-BAP, on callus formation was revealed. For various explants of cucumber and radish, the optimal concentrations of used GRs were determined. *Conclusions.* The optimal composition of GRs (auxin 2,4-D and cytokinin 6-BAP, mg/l) in Murashige-Skoog medium was selected for callusogenesis on various explants of cucumber (2:2) and radish (4:0.5). A higher intensity of callusogenesis in cucumber on hypocotyl explants and no dependence of callusogenesis on the type of explant in radish were revealed.

Keywords: cucumber, radish, explant, callus formation, 2,4-D, 6-BAP

For citation: Mikhailova I.D., Lukatkin A.S. The effect of growth regulators on *in vitro* callus formation in cucumber and radish. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2023;(3):80–91. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-7

Введение

Каллусная культура представляет собой динамичную систему, состоящую из популяций клеток, подверженных основным эволюционным процессам: наследственности и изменчивости, отбору и дрейфу генов [1]. В связи с этим, а также по причине отсутствия у них надклеточных систем регуляции каллусные культуры могут быть использованы как модельные системы для изучения процессов накопления вторичных метаболитов [2], окислительного стресса [3], устойчивости к стрессорам различной природы [3–5] и др. Как сами каллусные культуры, так и полученные из каллусных тканей растения-регенеранты могут использоваться в фармакологии как источник лекарственных соединений [6], для фиторемедиации загрязненных территорий [7], в селекции в качестве селекционного материала [8]. Используя уникальную способность каллусной ткани индуцировать геммогенез, можно провести отбор *in vitro* новых форм растений с улучшенными признаками [1]. Для получения каллусной культуры необходимо подобрать оптимальное соотношение экзогенных гормональных регуляторов роста (ПР) в питательной среде [9, 10].

Цель данной работы состояла в определении оптимальных соотношений регуляторов роста на этапе введении огурца и редиса в культуру *in vitro*. Для ее достижения выполнялись следующие задачи исследования:

- 1) получение каллусной ткани из эксплантов стерильных растений и поддержание ее в культуре *in vitro*;
- 2) изучение влияния регуляторов роста в питательной среде на каллусогенез и подбор оптимального соотношения ауксинового и цитокининового РР;
- 3) определение эпигенетических особенностей каллусогенеза огурца и редиса *in vitro* в зависимости от эксплантов.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовали коммерчески приобретенные семена огурца (*Cucumis sativus* L.) сорта Единство и редиса (*Raphanus sativus* L.) сорта Красный великан.

Эксперимент включал следующие этапы:

1) поверхностная стерилизация семян и выращивание стерильных растений в течение 14 дней на мостиках из фильтровальной бумаги в стерильной воде при температуре 22–25°C, освещении люминесцентными лампами с плотностью потока фотонов 80 мкмоль/м² с, влажности воздуха около 80 %;

2) посадка эксплантов (кусочков семядольных листьев, гипокотилия и корня) на питательную среду Мурасиге – Скуга (МС) [11] для образования каллусной ткани. В среду с минеральным составом по прописи МС добавляли мезоинозит (100 мг/л), глицин (1 мг/л), никотиновую кислоту (0,5 мг/л), а также регуляторы роста 2,4-дихлорфеноксиуксусную кислоту (2,4-Д) и 6-бензиламинопурин (6-БАП) в следующих соотношениях 2,4-Д и 6-БАП (мг/л): 1:0,5; 2:0,5; 3:0,5; 4:0,5; 1:1; 3:1; 4:1; 5:1; 5:2; 4:2; 2:2. Индукцию каллусогенеза и выращивание каллусной ткани производили в термостате при температуре 23° С;

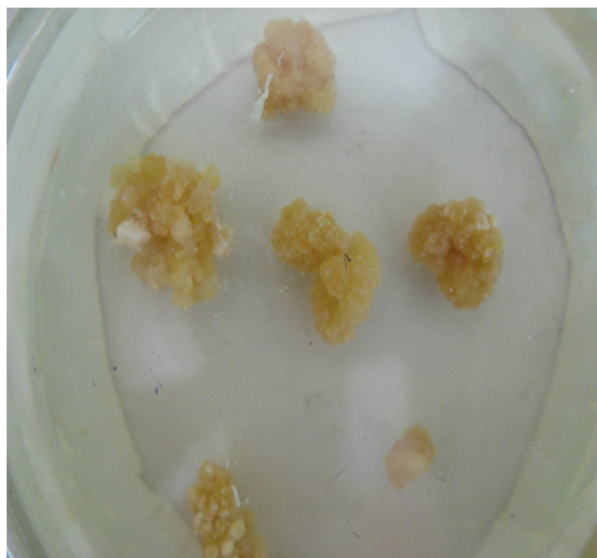
3) определение влияния различных соотношений регуляторов роста на рост каллусной ткани, а также способности к каллусообразованию у эпигенетически различающихся эксплантов.

Повторности и статистическая обработка результатов. Все определения проводили в 3–4 отдельных опытах, каждый из которых состоял из нескольких (2–5) биологических повторностей. Значения на рисунках и в таблицах представлены средними арифметическими из всех опытов с их стандартными ошибками. Статистическую обработку данных проводили с помощью программы Microsoft Excel 2007.

Результаты и их обсуждение

На этапе введения растений в культуру *in vitro* большое значение имеют концентрация регуляторов роста в среде, а также эпигенетические особенности, обусловленные происхождением использованных эксплантов. Для того чтобы получить детальное представление о влиянии этих внешних и внутренних особенностей на эффективность каллусогенеза у огурца, экспланты растений помещали на среду МС с различными концентрациями РР. Полученные результаты представлены в табл. 1, из которой видна различная величина каллусогенеза у огурца при разных концентрациях РР в среде для разных эксплантов. Так, каллусогенез наблюдался на большинстве эксплантов гипокотильного происхождения (рис. 1). Однако экспланты гипокотилия

обрастали каллусом медленнее остальных. Каллус при этом имел темно-желтый цвет, зернистую структуру и среднюю плотность, кроме вариантов его выращивания в среде 2,4-Д и 6-БАП 1:3 и 1:0,5, где каллус имел светло-зеленый цвет.



а)



б)

Рис. 1. Первичный каллусогенез на гипокотильях огурца: а – на среде МС с добавлением 5 мг/л 2,4-Д+2 мг/л 6-БАП; б – на среде МС с добавлением 4 мг/л 2,4-Д+2 мг/л 6-БАП

На семядольных листьях каллусогенез начинался практически сразу после эксплантации. При этом каллус имел темно-желтый цвет, зернистую структуру и среднюю плотность, независимо от варианта среды. Через 14 суток культивирования наблюдали интенсивный каллусогенез на эксплантах корней, но лишь в вариантах со средой 2,4-Д и 6-БАП 1:1 и 5:2.

С увеличением концентрации ауксина в среде наблюдали тенденцию к повышению доли эксплантов с каллусом. Однако при самых высоких его концентрациях (вариант 5:1) образование каллуса не наблюдалось, хотя при высоком содержании 2,4-Д и 6-БАП (вариант 5:2) отмечено практически 100 % обрастание эксплантов каллусом. При низком содержании 6-БАП в среде наблюдался незначительный каллусогенез. Поэтому оптимальное соотношение регуляторов роста (2,4-Д и 6-БАП) для каллусогенеза огурца составляет 2:2.

При сравнении эффективности первичного каллусогенеза у огурца в зависимости от исходного экспланта, безотносительно соотношению РР в среде, заметно значительное превосходство каллусогенеза на эксплантах гипокотильного происхождения (68 % от общего количества эксплантов) (рис. 2). На семядольных листьях и особенно корнях образование каллуса было выражено значительно слабее (43 и 21 % соответственно, достоверно при $p = 0,05$).

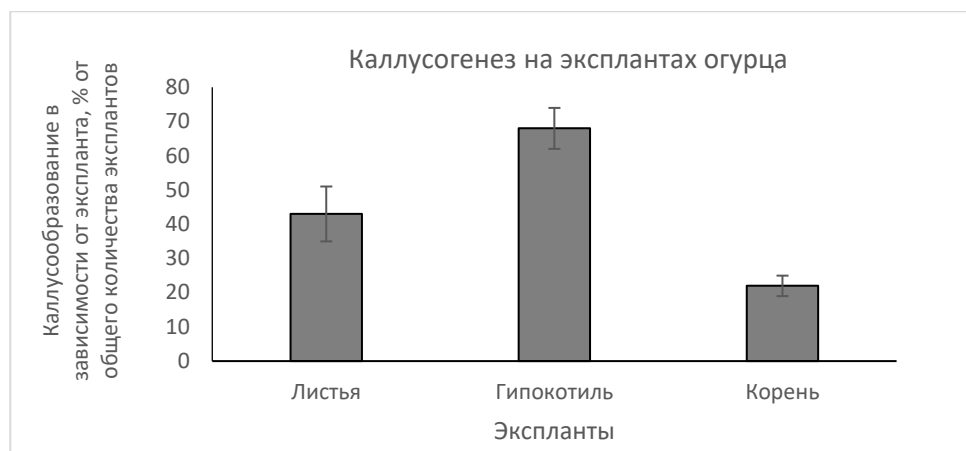


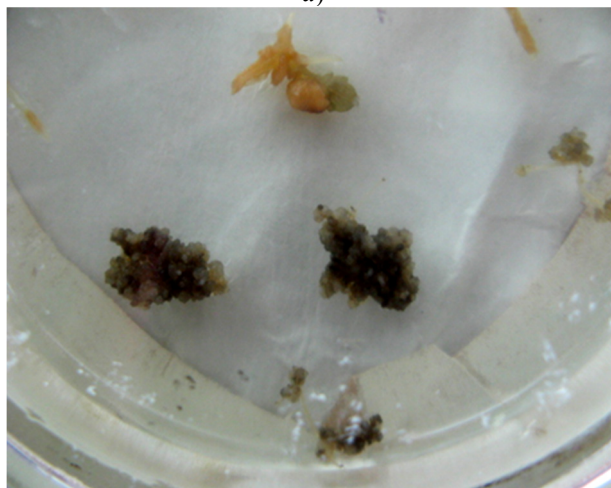
Рис. 2. Интенсивность каллусогенеза на различных эксплантах огурца

Каллусогенез на эксплантах редиса проходил с большей частотой, по сравнению с огурцом (табл. 2). Наиболее интенсивным был каллусогенез на семядольных листьях (рис. 3). При этом каллус плотно покрывал эксплант и различался по внешним признакам в зависимости от концентрации РР в среде (соотношения 2,4-Д и 6-БАП). Так, в варианте 1:0,5 каллус имел желтовато-зеленый цвет, зернистую структуру и среднюю плотность; на среде с соотношением РР 2:0,5 имел серый цвет и зернистую структуру; на среде 4:0,5 каллус имел темно-серый цвет, мелкозернистую структуру средней плотности; в варианте 4:1 – желто-зеленый цвет. Каллус, сформированный на эксплантах гипокотилия также имел внешние отличия в разных вариантах сред. Желтовато-зеленый цвет, зернистая структура средней плотности в варианте среды 1:0,5; в варианте 2:0,5 – темно-желтый каллус зернистой структуры; в варианте 4:0,5 каллус имел темно-серый цвет, мелкозернистую структуру средней плотности; в варианте 1:3 каллус был желто-зеленого цвета. На эксплантах корневого происхождения также наблюдался достаточно хороший каллусогенез. В варианте среды 1:0,5 каллус имел желтовато-зеленый цвет, зернистую структуру средней плотности. В варианте 2:0,5 каллус был темно-коричневый, зернистый, в варианте 4:0,5 – темно-серый, мелкозернистой

структуры, средней плотности; в варианте 1:1 каллус имел светло-желтый цвет.



а)



б)

Рис. 3. Первичный каллусогенез на эксплантах редиса: *а* – на гипокотиле (среда МС с добавлением 5 мг/л 2,4-Д + 1 мг/л 6-БАП); *б* – на семядольных листьях и конусе нарастания (среда МС с добавлением 5 мг/л 2,4-Д + 2 мг/л 6-БАП)

Из совокупности данных по каллусогенезу на эксплантах редиса можно видеть, что наилучшее формирование каллуса наблюдалось в варианте среды с внесением 4 мг/л 2,4-Д и 0,5 мг/л 6-БАП. Возможно, высокое содержание ауксинов способствовало лучшему каллусогенезу, и данное соотношение концентраций регуляторов роста было оптимальным для формирования каллуса. Среди исследованных эксплантов во всех вариантах среды лучше обрастали корни и листья. Непосредственно на листьях образование каллуса было зафиксировано раньше всех остальных эксплантов. В отличие от эксплантации огурца, эспланты корня редиса дали начало каллусной ткани во всех чашках и во всех вариантах среды.

Таблица 1
Характеристика каллусогенеза на эксплантах огурца *in vitro*

Вариант среды – соотношение 2,4-Д и 6-БАП в мг/л	Эксплант	Количество эксплантов	Количество эксплантов с каллусом	% частоты калусогенеза	Цвет и консистенция каллуса, скорость роста
1:0,5	семядольные листья	4	1	25	темно-желтый и зернистый, быстро растущий
	гипокотиль	6	3	50	темно-желтый, быстрорастущий
	корень	4	–	0	–
2:0,5	семядольные листья	4	–	0	–
	гипокотиль	5	1	20	темно-желтый и зернистый, быстрорастущий
	корень	4	–	0	–
4:0,5	семядольные листья	2	1	50	темно-желтый и зернистый, быстрорастущий
	гипокотиль	2	2	100	темно-желтый, быстрорастущий
	корень	1	–	0	–
1:1	корень	3	3	100	светло-желтый, медленно растущий
3:1	гипокотиль	5	5	100	светло-зеленый, быстрорастущий
4:1	гипокотиль	11	7	64	светло-зеленый, быстрорастущий
5:1	корень	4	–	0	–
5:2	гипокотиль	6	6	100	темно-желтый и зернистый, быстрорастущий
	семядольные листья	2	2	100	светло-зеленый и зернистый, быстрорастущий
	корень	7	2	29	светло-желтый и зернистый, медленно растущий
2:2	гипокотиль	6	6	100	светло-желтый и зернистый, быстрорастущий
	семядольные листья	2	2	100	светло-зеленый и зернистый, быстрорастущий

Таблица 2

Характеристика каллусогенеза на эксплантах редиса *in vitro*

Вариант среды соотношение 2,4-Д и 6-БАП в мг/л	Эксплант	Количество эксплантов	Количество эксплантов с каллусом	% частоты калусогенеза	Цвет и консистенция каллуса, скорость роста
1:0,5	семядольные листья	3	3	100	желтовато-зеленый и зернистый средней плотности, быстрорастущий
	гипокотиль	9	6	67	желтовато-зеленый и зернистый средней плотности, медленно растущий
	корень	7	4	57	желтовато-зеленый и зернистый средней плотности, умеренно растущий
2:0,5	семядольные листья	9	8	89	серый и зернистый, быстрорастущий
	гипокотиль	4	4	100	темно-желтый и зернистый, умеренно растущий
	корень	7	5	71	темно-коричневый и зернистый, быстрорастущий
3:0,5	Обрастание эксплантов каллусом наблюдалось только на начальном этапе, после чего каллус быстро отмирал				
4:0,5	семядольные листья	11	11	100	темно-серый и мелкозернистый средней плотности, быстрорастущий
	гипокотиль	3	3	100	темно-серый и мелкозернистый средней плотности, умеренно растущий
	корень	8	7	88	темно-серый и мелкозернистый средней плотности, быстрорастущий
1:1	корни	4	4	100	светло-серый, быстро растущий
3:1	гипокотиль	4	4	100	желто-зеленый, умеренно растущий
4:1	семядольные листья	11	8	73	желто-зеленый, быстрорастущий
5:1	корни	4	4	100	серый, быстрорастущий

Окончание табл. 2

Вариант среды соотношение 2,4-Д и 6-БАП в мг/л	Эксплант	Количество эксплантов	Количество эксплантов с каллусом	% частоты каллусогенеза	Цвет и консистенция каллуса, скорость роста
5:2	семядольные листья	8	8	100	серый и зернистый средней плотности, умеренно растущий
	гипокотиль	7	5	71	
	корни	5	3	60	
4:2	семядольные листья	7	5	71	коричневый и мелкозернистый средней плотности, быстрорастущий
	гипокотиль	5	3	60	
	корни	6	6	100	
2:2	семядольные листья	9	7	78	желто-коричневый и мелкозернистый средней плотности, быстрорастущий

На эксплантах редиса каллусогенез проходил достаточно интенсивно, и его частота слабо зависела от эпигенетических особенностей экспланта (рис. 4). Различия между эксплантами по частоте каллусогенеза были статистически недостоверными, хотя можно видеть тенденцию к более интенсивному каллусогенезу на эксплантах семядольных листьев (86 % от общего количества эксплантов). На эксплантах корневого происхождения также наблюдался достаточно успешный каллусогенез (80 % от общего количества эксплантов). Слабее всего был выражен каллусогенез на эксплантах гипокотыля.

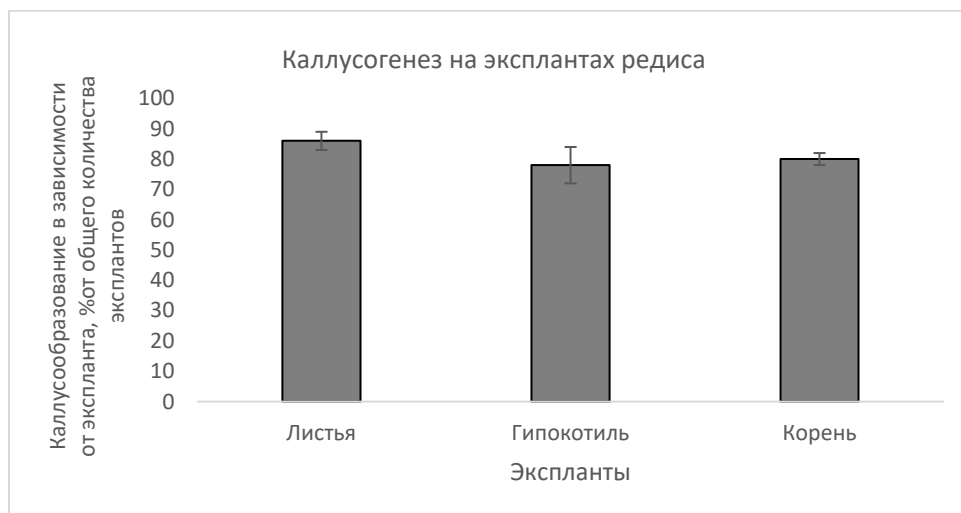


Рис. 4. Интенсивность каллусогенеза на различных эксплантах редиса

Заключение

1. Получена каллусная ткань из эксплантов стерильных растений редиса и огурца на среде МС, в которую дополнительно добавлены глицин, мезоинозит, никотиновая кислота и синтетические регуляторы роста: ауксин 2,4-Д и цитокинин 6-БАП.

2. По результатам работы показано большое значение соотношения ауксинового и цитокининового РР в среде на интенсивность каллусогенеза. Оптимальные дозы 2,4-Д и 6-БАП для каллусогенеза на различных эксплантах огурца составляют 2:2 мг/л, редиса – 4:0,5 мг/л.

3. Наиболее интенсивно каллусогенез у огурца проходил на эксплантах гипокотыля, что указывает на эпигенетические особенности (влияние исходного экспланта). Однако у редиса эта зависимость не была выражена.

Список литературы

1. Гвасалия М. В. Соматоклональная вариабельность *in vitro* – источник для создания новых сортов растений // Субтропическое и декоративное садоводство. 2018. № 66. С. 113–119.
2. Khan T., Khan T., Hano C., Abbasi B. H. Effects of chitosan and salicylic acid on the production of pharmacologically attractive secondary metabolites in callus cultures of *Fagonia indica* // Industrial Crops and Products. 2019. Vol. 129. P. 525–535.
3. Singh R. B., Rao V. P., Sengar R. S. Study of salinity induced oxidative stress and anti-oxidant responses in callus cultures of sugarcane // Ecological Genetics and Genomics. 2023. Vol. 26. Art. 100164.

4. Lukatkin A. S., Geras'kina A. V. Screening for the improved cold resistance of the cucumber cell cultures // *Biotechnology in Russia*. 2003. № 3. P. 64–72.
5. Kruglova N. N., Zinatullina A. E. *In vitro* culture of autonomous embryos as a model system for the study of plant stress tolerance to abiotic factors (on the Example of Cereals) // *Biology Bulletin Reviews*. 2022. Vol. 12, № 2. P. 201–211.
6. Efferth T. Biotechnology applications of plant callus cultures // *Engineering*. 2019. Vol. 5, № 1. P. 50–59.
7. Doran P. M. Application of plant tissue cultures in phytoremediation research: incentives and limitations // *Biotechnology and Bioengineering*. 2009. Vol. 103, № 1. P. 60–76.
8. Anil V. S., Bennur S., Lobo S. Somaclonal variations for crop improvement: selection for disease resistant variants *in vitro* // *Plant Science Today*. 2018. Vol. 5, № 2. P. 44–54.
9. Martinez M. E., Jorquera L., Poirrier P. et al. Effect of the carbon source and plant growth regulators (PGRs) in the Induction and maintenance of an *in vitro* callus culture of *Taraxacum officinale* (L.) Weber Ex F.H. Wigg // *Agronomy*. 2021. Vol. 11, № 6. Art. 1181.
10. Ahmadpoor F., Zare N., Asghari R., Sheikhzadeh P. Sterilization protocols and the effect of plant growth regulators on callus induction and secondary metabolites production in *in vitro* cultures *Melia azedarach* L. // *AMB Express*. 2022. Vol. 12. Art. 3.
11. Murashige T., Skoog F. A. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // *Physiologia Plantarum*. 1962. Vol. 15, № 3. P. 473–497.

References

1. Gvasaliya M.V. Somaclonal variability *in vitro* - a source for creating new plant varieties. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo = Subtropical and ornamental gardening*. 2018;(66):113–119. (In Russ.)
2. Khan T., Khan T., Hano C., Abbasi B.H. Effects of chitosan and salicylic acid on the production of pharmacologically attractive secondary metabolites in callus cultures of *Fagonia indica*. *Industrial Crops and Products*. 2019;129:525–535.
3. Singh R.B., Rao V.P., Sengar R.S. Study of salinity induced oxidative stress and antioxidant responses in callus cultures of sugarcane. *Ecological Genetics and Genomics*. 2023;26(Art. 100164).
4. Lukatkin A.S., Geras'kina A.V. Screening for the improved cold resistance of the cucumber cell cultures. *Biotechnology in Russia*. 2003;(3):64–72.
5. Kruglova N.N., Zinatullina A.E. *In vitro* culture of autonomous embryos as a model system for the study of plant stress tolerance to abiotic factors (on the Example of Cereals). *Biology Bulletin Reviews*. 2022;12(2):201–211.
6. Efferth T. Biotechnology applications of plant callus cultures. *Engineering*. 2019;5(1):50–59.
7. Doran P.M. Application of plant tissue cultures in phytoremediation research: incentives and limitations. *Biotechnology and Bioengineering*. 2009;103(1):60–76.
8. Anil V.S., Bennur S., Lobo S. Somaclonal variations for crop improvement: selection for disease resistant variants *in vitro*. *Plant Science Today*. 2018;5(2):44–54.
9. Martinez M.E., Jorquera L., Poirrier P. et al. Effect of the carbon source and plant growth regulators (PGRs) in the Induction and maintenance of an *in vitro* callus culture of *Taraxacum officinale* (L.) Weber Ex F.H. Wigg. *Agronomy*. 2021;11(6):Art. 1181.
10. Ahmadpoor F., Zare N., Asghari R., Sheikhzadeh P. Sterilization protocols and the effect of plant growth regulators on callus induction and secondary metabolites production in *in vitro* cultures *Melia azedarach* L. *AMB Express*. 2022;12:Art.3.
11. Murashige T., Skoog F.A. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473–497.

Информация об авторах / Information about the authors

Ирина Дмитриевна Михайлова

технолог, АО «Биохимик»
(Россия, г. Саранск, ул. Васенко, 15А)

E-mail: irinamihajlova113@gmail.com

Irina D. Mikhailova

Production engineer,
Biokhimik JSC of Promomed Group
(15A Vasenko street, Saransk, Russia)

Александр Степанович Лукаткин

доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой ботаники,
физиологии и экологии растений,
Национальный исследовательский
Мордовский государственный
университет имени Н. П. Огарёва
(Россия, г. Саранск,
ул. Большевикская, 68)

E-mail: aslukatkin@yandex.ru

Aleksandr S. Lukatkin

Doctor of biological sciences, professor,
head of the sub-department of botany,
physiology and ecology of plants,
Ogarev Mordovia State University
(68 Bolshevistskaya street, Saransk, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 21.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 25.09.2023

Принята к публикации / Accepted 03.10.2023

УДК 581.14+579.64+633.16
doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-8

Оценка морфофизиологических параметров и продуктивности обыкновенного ячменя (*Hordeum vulgare* L.) при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18

И. И. Рассохина¹, О. А. Маракаев²

¹Вологодский научный центр Российской академии наук, Вологда, Россия

²Ярославский государственный университет
имени П. Г. Демидова, Ярославль Россия

¹rasskhinairina@mail.ru, ²olemar@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Реализация генетического потенциала культур в Нечерноземной зоне России ограничена изменчивыми погодными условиями. Однако использование микроорганизмов способно ускорить темпы роста и развития растений, а также оптимизировать их минеральное питание. Цель работы – оценить морфофизиологические параметры и продуктивность *Hordeum vulgare* L. при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18. *Материалы и методы.* Исследование проводили в рамках мелкоделяночного полевого опыта в условиях умеренного климата России (Вологодская область). Объектами исследования были два сорта *H. vulgare* – Памяти Чепелева и Сонет. Суспензией штамма обрабатывали семена (замачивание перед посевом) и растения в фазу кущения (опрыскивание филлосферы). *Результаты.* Выявлено, что обработка суспензией штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 вызывает у *H. vulgare* увеличение сухой массы (до 53 %) и площади ассимиляционной поверхности (до 21 %). Также для сорта Сонет на протяжении всей вегетации было свойственно повышенное содержание фотосинтетических пигментов в листьях растений опытного варианта. Увеличение значений ростовых параметров *H. vulgare*, по-видимому, оказало влияние и на продуктивность опытных вариантов, что в наибольшей степени проявляется у сорта Сонет (на 20 %). *Выводы.* Действие суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 привело к увеличению зерновой урожайности *H. vulgare* сорта Памяти Чепелева на 5 %, сорта Сонет – на 20 %.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare*, *Pseudomonas*, штамм, рост, продуктивность, фотосинтетические пигменты

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУН ВолНЦ РАН по теме НИР FMGZ-2022-0010 «Совершенствование системы кормопроизводства и кормления животных в молочном скотоводстве на основе использования биотехнологий» и в рамках программы развития ЯрГУ до 2030 г. (№ 123042800011-6) в научно-образовательной лаборатории «Молекулярная генетика и биотехнология».

Для цитирования: Рассохина И. И., Маракаев О. А. Оценка морфофизиологических параметров и продуктивности обыкновенного ячменя (*Hordeum vulgare* L.) при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 3. С. 92–104. doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-8

Assessment of morphophysiological parameters and productivity of *Hordeum vulgare* under the action of *Pseudomonas* sp. GEOT18 strain suspension

© Рассохина И. И., Маракаев О. А., 2023. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

I.I. Rassokhina¹, O.A. Marakaev²¹Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russia²P.G. Demidov Yaroslavl State University, Yaroslavl, Russia¹rasskhinairina@mail.ru, ²olemar@yandex.ru

Abstract. *Background.* The realization of the genetic potential of crops in the Non-Chernozem zone of Russia is limited due to changeable weather conditions. However, the use of microorganisms can accelerate the growth and development of plants and optimize their mineral nutrition. The purpose of the work is to evaluate the morphophysiological parameters and productivity of *Hordeum vulgare* L. under the action of *Pseudomonas* sp. GEOT18 strain suspension. *Materials and methods.* The study was carried out in the framework of a microplot experiment in the temperate climate of the Northern Hemisphere (Vologda Oblast). The objects of the study were two varieties of *H. vulgare* – Pamyati Chepeleva and Sonet. The suspension of the strain was used to treat the seeds (soaking before sowing) and the plants in the tillering phase (spraying of the phyllosphere). *Results.* It was revealed that the treatment with *Pseudomonas* sp. GEOT18 strain causes an increase in *H. vulgare* dry weight (up to 53 %) and assimilation surface area (up to 21 %). Also, the Sonet variety showed an increased content of photosynthetic pigments in the leaves of the plants of the experimental variety throughout the growing season. Increasing the values of growth parameters of *H. vulgare*, apparently, had an impact on the productivity of the experimental varieties, which is most evident in the Sonet variety (by 20 %). *Conclusions.* The effect of a suspension of a strain of *Pseudomonas* sp. GEOT18 led to an increase in the grain yield of *H. vulgare* variety Pamyati Chepeleva by 5 %, and variety Sonet by 20 %.

Keywords: *Hordeum vulgare*, *Pseudomonas*, strain, growth, productivity, photosynthetic pigments

Financing: the work was performed within a state task of Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (Scientific Research FMGZ-2022-0010 “Improving the system of feed production and feeding animals in dairy farming based on the use of biotechnology”) and within the framework of Yaroslavl State University development program until 2030 (No. 123042800011-6) in the scientific and educational laboratory “Molecular Genetics and Biotechnology”.

For citation: Rassokhina I.I., Marakaev O.A. Assessment of morphophysiological parameters and productivity of *Hordeum vulgare* under the action of *Pseudomonas* sp. GEOT18 strain suspension. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2023;(3):92–104. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-8

Введение

Реализация культурными растениями генетического потенциала в Не-черноземной зоне России ограничена изменчивыми погодными условиями [1]. С целью достижения растениями генетически запрограммированной потенциальной урожайности в сельскохозяйственной практике широко применяют различные регуляторы роста и элементы питания. Однако чрезмерное внесение минеральных удобрений, обработка гербицидами и пестицидами оказывает негативное влияние на окружающую среду [2]. При этом коэффициенты усвоения биогенных элементов растениями составляют лишь 15–50 % [3]. Одним из безопасных для окружающей среды и перспективным путем повышения продуктивности сельскохозяйственных культур является использование PGPR микроорганизмов, способных оказывать положительное влияние на растения [4].

Многие авторы отмечают, что свободноживущие бактерии рода *Pseudomonas* эффективны для стимулирования роста растений и повышения их урожайности [5–7]. Являясь представителями PGPR-группы, они способны увеличить темпы роста растений, улучшить их фосфорное питание, а также подавить развитие почвенных фитопатогенных микромицетов [8]. Установлено, что 80 % бактерий рода *Pseudomonas* способны к синтезу веществ фитогормонального действия с последующим выделением их во внешнюю среду [5]. Например, бактерии штамма *P. plecoglossicida* 2.4-D оказывают стимулирующее действие на рост и развитие растений за счет синтеза ауксинов [9], а бактерии штамма *P. aeruginosa* ВНУВ13-398 дополнительно проявляют выраженные антагонистические свойства в отношении *Rhizoctonia solani*, вызывающего грибковое заболевание ректониоз, а также способность к соллюбилированию фосфата [10].

Ячмень обыкновенный (*Hordeum vulgare* L.) является важнейшей сельскохозяйственной культурой в мировом земледелии и одной из основных, культивируемых в Северо-Западных областях России. Так, в Вологодской области на него приходится 17–19 % посевных площадей [11]. Актуальность производства ячменя обусловлена широкими возможностями его использования и адаптационными способностями культуры при выращивании [12].

Цель исследования – оценить морфофизиологические параметры и продуктивность ячменя обыкновенного (*Hordeum vulgare* L.) при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18.

Материалы и методы

Исследования действия суспензии штамма на рост и продуктивность *H. vulgare* проводили при постановке мелкоделяночного полевого опыта (Вологодский научный центр РАН) в течение вегетационного сезона (2020 г.). Площадь учетной делянки составляла 2 м², повторность опыта – трехкратная.

Почва на опытном участке дерново-подзолистая, среднесуглинистая, содержание аммиачного азота составляет $4,2 \pm 0,6$ мг/кг, нитратного азота – $38,9 \pm 7,8$ мг/кг, подвижного калия – $261,0 \pm 39,2$ мг/кг, подвижного фосфора – $260,0 \pm 52,0$ мг/кг, рН солевой вытяжки – $6,6 \pm 0,1$.

Погодные условия в мае отличались от средних многолетних значений: температура воздуха была ниже на 3,0 °С (составляла 9,0 °С), количество осадков выше в 3 раза (137 мм). Температура в июне и июле оказалась на уровне средних показателей прошлых лет (16,0–17,0 °С), а в августе – ниже на 1,1° С (14,1 °С). Количество осадков в июне и августе было сопоставимо со средними значениям (61 и 71 мм соответственно), а в июле превышал их в 2 раза (142 мм).

Уход за посевами осуществляли вручную, дополнительные минеральные удобрения, гербициды и пестициды не вносили.

Объектами исследования были два сорта ячменя обыкновенного – Сонет и Памяти Чепелева. Семена были предоставлены сотрудниками СЗНИИМЛПХ (обособленное подразделение ФГБУН ВолНЦ РАН) и Ярославским НИИЖК (филиал ФНЦ ВИК им В. Р. Вильямса).

Бактерии *Pseudomonas* sp. GEOT18, суспензия которых использована в исследованиях, выделены из внутренних тканей стеблекорневых тубероидов-генеративных особей *Dactylorhiza incarnata* (L.) Soó в лаборатории молекулярной генетики и биотехнологии Ярославского государственного универси-

тета им. П. Г. Демидова. Штамм идентифицирован с помощью молекулярно-генетического анализа нуклеотидной последовательности фрагмента гена 16S рРНК, а полученная последовательность депонирована в базу данных GenBank (MT180656). Суспензию штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 получали на среде LB в условиях постоянного перемешивания при температуре 24 °C в течение 16–18 ч. Обработку растений суспензией штамма проводили дважды: перед посевом (инокуляция семян в течение 30 мин) и в фазу кущения (опрыскивание филлосферы до появления капель мелкодисперсной росы). Для обработки растений в контрольном варианте по той же схеме использовали воду.

В процессе исследования проводили оценку морфофизиологических параметров растений опытной и контрольной групп. Для этого в фазах кущения, колошения и цветения определяли количество побегов и листьев на одном растении ($n = 24$), путем измерения длины и ширины листовой пластинки определяли среднюю площадь одного листа и ассимиляционную поверхность растения ($n = 10$), также проводили анализ содержания фотосинтетических пигментов. Количество хлорофиллов *a*, *b* и каротиноидов в листьях оценивали спектрофотометрическим методом при длинах волн 663, 644 и 452.5 нм, расчет проводили по формулам Реббелена [13]. Работу выполняли в трехкратной биологических и аналитических повторностях. Также определяли сырую и сухую массы надземной части растения, приросты сухой массы и чистую продуктивность фотосинтеза ($n = 15$) по классическому методу А. А. Ничипоровича [14].

В фазу начала восковой спелости оценивали зерновую продуктивность опытных и контрольных растений, а также количество колосьев ($n = 100$) и массу 1000 зерновок ($n = 3$) [15, 16].

Статистическую обработку данных осуществляли по стандартным методикам с использованием пакета анализа данных программы MS Excel'2019 [16]. В таблицах представлены средние значения показателей и их арифметические отклонения. Оценку достоверности различий выборочных средних проводили при значении доверительной вероятности 95 % ($p < 0,05$).

Результаты и обсуждение

Одним из важнейших ростовых показателей растений является площадь ассимиляционной поверхности.

Показано, что после внесения суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 в фазу кущения у растений сорта Памяти Чепелева наблюдается тенденция к увеличению площади отдельного листа и общей ассимиляционной поверхности листьев на 11–13 % относительно контроля (табл. 1). В то же время у растений сорта Сонет ассимиляционная поверхность остается на уровне контроля. В фазы колошения и цветения лишь у сорта Сонет различия опытного и контрольного вариантов как по площади отдельного листа, так и по общей ассимиляционной поверхности растения становятся значимыми и достигают 21–26 % в фазу колошения, 17–20 % – в фазу цветения.

В результате проведенных полевых опытов выявлено, что внесение суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 увеличивает площадь отдельного листа и общую листовую поверхность растения, однако не оказывает значительного действия на количество побегов и листьев *H. vulgare*. При этом

наиболее существенные и значимые различия были обнаружены у ячменя сорта Сонет.

Таблица 1

Изменение морфометрических показателей *Hordeum vulgare* L. в процессе вегетации при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18

Показатель	Сорт Памяти Чепелева		Сорт Сонет	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
<i>Кущение</i>				
Количество побегов на одном растении, шт.	1,2 ± 0,09	1,3 ± 0,09	1,3 ± 0,09	1,2 ± 0,08
Количество листьев на одном растении, шт.	5,4 ± 0,25	5,6 ± 0,23	5,6 ± 0,18	5,7 ± 0,23
Площадь одного листа, см ²	2,6 ± 0,11	2,9 ± 0,12	3,1 ± 0,16	2,9 ± 0,11
Площадь всех листьев растения, см ²	15,7 ± 1,54	17,7 ± 2,00	17,5 ± 0,27	17,7 ± 1,16
<i>Колошение</i>				
Количество побегов на одном растении, шт.	1,8 ± 0,16	2,0 ± 0,21	1,5 ± 0,17	1,6 ± 0,15
Количество продуктивных побегов на одном растении, шт.	1,3 ± 0,16	1,3 ± 0,12	1,2 ± 0,11	1,3 ± 0,09
Количество листьев на одном растении, шт.	8,9 ± 0,61	9,7 ± 0,67	8,0 ± 0,51	8,3 ± 0,48
Площадь одного листа, см ²	4,0 ± 0,16	4,1 ± 0,26	3,4 ± 0,18	4,3 ± 0,20*
Площадь всех листьев растения, см ²	33,3 ± 3,72	35,9 ± 3,47	27,3 ± 2,03	33,0 ± 2,30*
<i>Цветение</i>				
Количество побегов на одном растении, шт.	1,8 ± 0,14	2,0 ± 0,20	1,6 ± 0,13	1,6 ± 0,09
Количество продуктивных побегов на одном растении, шт.	1,4 ± 0,11	1,4 ± 0,12	1,3 ± 0,11	1,4 ± 0,10
Количество листьев на одном растении, шт.	8,6 ± 0,19	9,2 ± 0,26	8,0 ± 0,24	8,2 ± 0,22
Площадь одного листа, см ²	4,2 ± 0,22	4,2 ± 0,14	3,6 ± 0,18	4,2 ± 0,17*
Площадь всех листьев растения, см ²	35,7 ± 1,87	36,2 ± 1,63	28,9 ± 1,47	34,7 ± 1,84*

Примечание. * – различия с контролем статистически достоверны ($p < 0,05$).

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях исследованных растений отражает потенциальную энергообеспеченность их фотосинтеза (табл. 2).

Отмечено, что в фазу кущения в листьях ячменя сорта Сонет после обработки суспензией штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 содержание хлорофиллов *a* и *b* было достоверно выше на 55 %, каротиноидов – на 57 % по сравнению с контролем. В фазу колошения разница между контрольным и опытным вариантами по количеству основных и добавочных фотосинтетических пигментов уменьшается и составляет 16–33 %. В фазу цветения листья опытного варианта сорта Сонет содержали на 25 % больше хлорофилла *a*, на 41 % – хлорофилла *b* и на 28 % – каротиноидов. Динамика содержания фотосинтетических пигментов в листьях сорта Памяти Чепелева в течение вегетации от-

личалась. В фазах кущения и цветения сумма хлорофиллов ($a + b$) в листьях варианта с внесением суспензии штамма была достоверно меньше контроля на 6–15 %, а в фазу колошения оставалась на уровне контроля.

Таблица 2

Содержание фотосинтетических пигментов в листьях *Hordeum vulgare* L. при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18, мг/г сырой массы

Параметр		Сорт Памяти Чепелева		Сорт Сонет	
		контроль	опыт	контроль	опыт
<i>кущение</i>					
Хлорофиллы	a	$1,05 \pm 0,003$	$1,00 \pm 0,023^*$	$0,61 \pm 0,067$	$0,95 \pm 0,052^*$
	b	$0,29 \pm 0,004$	$0,26 \pm 0,010^*$	$0,19 \pm 0,018$	$0,30 \pm 0,024^*$
	$a + b$	$1,02 \pm 0,006$	$0,96 \pm 0,026^*$	$0,81 \pm 0,085$	$1,25 \pm 0,075^*$
	a/b	$3,6 \pm 0,04$	$3,9 \pm 0,07^*$	$3,1 \pm 0,06$	$3,2 \pm 0,10$
Каротиноиды		$0,47 \pm 0,003$	$0,43 \pm 0,011^*$	$0,37 \pm 0,037$	$0,58 \pm 0,036^*$
Хлорофиллы ($a + b$) / каротиноиды		$2,2 \pm 0,01$	$2,2 \pm 0,01$	$2,2 \pm 0,01$	$2,2 \pm 0,03$
<i>колошение</i>					
Хлорофиллы	a	$1,11 \pm 0,006$	$1,19 \pm 0,071$	$1,13 \pm 0,142$	$1,31 \pm 0,073$
	b	$0,46 \pm 0,007$	$0,44 \pm 0,020$	$0,35 \pm 0,066$	$0,47 \pm 0,025^*$
	$a + b$	$1,57 \pm 0,013$	$1,63 \pm 0,089$	$1,34 \pm 0,267$	$1,77 \pm 0,098^*$
	a/b	$2,4 \pm 0,02$	$2,7 \pm 0,07^*$	$2,3 \pm 0,23$	$2,8 \pm 0,03^*$
Каротиноиды		$0,66 \pm 0,003$	$0,66 \pm 0,028$	$0,56 \pm 0,099$	$0,74 \pm 0,028^*$
Хлорофиллы ($a + b$) / каротиноиды		$2,4 \pm 0,02$	$2,5 \pm 0,03$	$2,3 \pm 0,07$	$2,4 \pm 0,05$
<i>цветение</i>					
Хлорофиллы	A	$1,49 \pm 0,073$	$1,27 \pm 0,046^*$	$1,28 \pm 0,057$	$1,60 \pm 0,125^*$
	B	$0,48 \pm 0,025$	$0,40 \pm 0,019^*$	$0,41 \pm 0,018$	$0,58 \pm 0,063^*$
	$a + b$	$1,96 \pm 0,097$	$1,66 \pm 0,064^*$	$1,69 \pm 0,075$	$2,18 \pm 0,188^*$
	a/b	$3,1 \pm 0,03$	$3,2 \pm 0,07$	$3,1 \pm 0,01$	$2,9 \pm 0,12$
Каротиноиды		$0,78 \pm 0,031$	$0,69 \pm 0,022^*$	$0,77 \pm 0,015$	$0,98 \pm 0,058^*$
Хлорофиллы ($a + b$) / каротиноиды		$2,5 \pm 0,04$	$2,4 \pm 0,04$	$2,2 \pm 0,06$	$2,2 \pm 0,07$

Примечание. * – различия с контролем статистически достоверны ($p < 0,05$).

Содержание фотосинтетических пигментов в единице площади листа, характеризующее способность листовой поверхности поглощать солнечную энергию, у опытных растений сорта Сонет превосходило контрольные в течение всей вегетации на 25–56 % (рис. 1), а сорта Памяти Чепелева было ниже на 18 %.

Индекс отношения хлорофилла a/b свидетельствует о степени сформированности фотосинтетического аппарата и активности хлорофилла a в листьях растений [17]. При этом увеличение значения индекса может указывать на более интенсивный фотосинтез. В нашем исследовании индекс отношения хлорофилла a/b в листьях опытных растений обоих сортов в фазу кущения превышал соответствующий показатель контроля на 3–8 %, в фазу колошения – на 13–22 %. Индекс отношения хлорофиллов ($a + b$) к каротиноидам является более стабильной величиной, что подтверждается и результатами нашей работы.

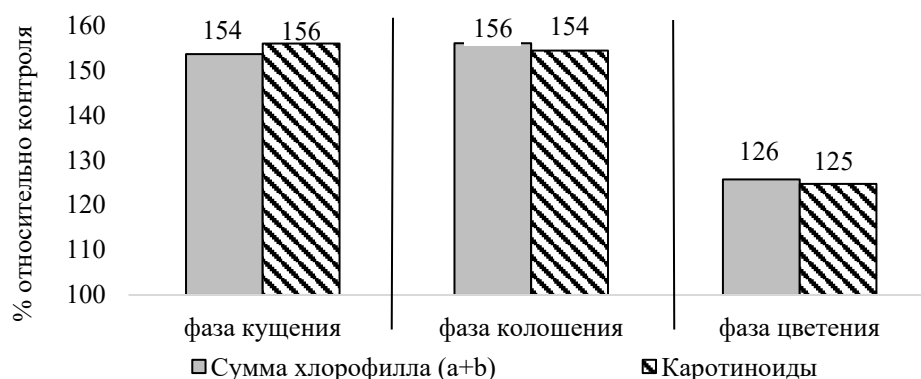


Рис. 1. Содержание фотосинтетических пигментов в единице площади листа *Hordeum vulgare* L. сорта Сонет при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 (% относительно контроля)

Содержание фотосинтетических пигментов у ячменя сорта Сонет, а также индекс отношения хлорофилла a/b при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 превосходили контроль на всем протяжении вегетации, что может свидетельствовать о большей энергообеспеченности фотосинтеза по сравнению с контролем. У растений сорта Памяти Чепелева ситуация была неоднозначной: наблюдалось то снижение содержания пигментов в листьях опытных растений относительно контроля, то незначительное их увеличение. Возможно, столь отличная ситуация связана с тем, что сорт Памяти Чепелева предназначен для возделывания в регионах с другими климатическими условиями (Волго-Вятский, Средневолжский, Уральский и Центральные).

Важным показателем, отражающим действие суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 на ростовые параметры культуры, является изменение массы и ее среднесуточных приростов.

В фазу кушения у растений опытной группы сорта Памяти Чепелева показатель сырой массы надземной части растения превосходит контроль на 10 %, главным образом за счет увеличения массы стебля (на 14 %). Вероятно, в начале вегетации различия по массе опытных и контрольных растений сорта Памяти Чепелева связаны, прежде всего, с большей оводненностью тканей стебля. Для сорта Сонет в фазу кушения не было выявлено ощутимых различий опытной и контрольной группы по весовым показателям (табл. 3).

В фазу колошения показатель сырой массы надземной части растения у контрольного и опытного варианта сорта Памяти Чепелева был одинаковым, в то время как сухая масса экземпляров опытной группы имела тенденцию к превосходству контроля на 6 % (табл. 3). У растений сорта Сонет в фазу колошения сырая масса надземной части растений в опыте достоверно превосходила контроль на 46 %, при этом масса стебля была больше контроля на 48 %, масса листьев – на 42 %. Показатель сухой массы надземной части растений в опыте у сорта Сонет был выше контроля на 29 %. В фазу цветения у сорта Памяти Чепелева различия по сырой массе достигали 1–10 %, по сухой – 7–21 %. У опытных растений сорта Сонет в фазу цветения сырая масса стебля была достоверно больше контроля на 20 %, листьев – на 18 %, колоса – на 53 %, а сухая масса превышала контроль на 48–92 %, главным образом за счет увеличения массы колоса.

Таблица 3

Изменение массы надземной части *Hordeum vulgare* L. в течение вегетации при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18

Масса	Сорт Памяти Чепелева			Сорт Сонет		
	Контроль, г	Опыт, г	%	Контроль, г	Опыт, г	%
<i>Кущение</i>						
Стебель	0,21 ± 0,016	0,24 ± 0,016	114	0,28 ± 0,008	0,26 ± 0,006	93
	0,093 ± 0,0010	0,094 ± 0,0010	101	0,100 ± 0,0010	0,096 ± 0,0010	96
Листья	0,36 ± 0,023	0,36 ± 0,025	100	0,42 ± 0,021	0,42 ± 0,023	100
	0,053 ± 0,0053	0,053 ± 0,0038	100	0,055 ± 0,0013	0,055 ± 0,0010	100
<i>Колошение</i>						
Стебель	0,90 ± 0,111	0,87 ± 0,182	97	0,65 ± 0,067	0,96 ± 0,113*	148
	0,238 ± 0,0308	0,234 ± 0,0481	98	0,202 ± 0,0299	0,254 ± 0,0310	126
Листья	0,66 ± 0,068	0,69 ± 0,084	105	0,55 ± 0,054	0,78 ± 0,108*	142
	0,182 ± 0,0192	0,192 ± 0,0214	105	0,151 ± 0,0162	0,199 ± 0,0287*	132
<i>Цветение</i>						
Стебель	2,64 ± 0,256	2,66 ± 0,159	101	2,04 ± 0,114	2,44 ± 0,171*	120
	0,471 ± 0,0757	0,502 ± 0,0457	107	0,328 ± 0,0208	0,514 ± 0,0358*	157
Листья	1,00 ± 0,097	1,01 ± 0,061	101	0,83 ± 0,046	0,98 ± 0,068*	118
	0,146 ± 0,0234	0,176 ± 0,0160	121	0,126 ± 0,0080	0,186 ± 0,0129*	148
Колос	2,53 ± 0,245	2,78 ± 0,167	110	1,76 ± 0,098	2,70 ± 0,189*	153
	0,504 ± 0,0811	0,578 ± 0,0526	115	0,387 ± 0,0245	0,743 ± 0,0516*	192

Примечание. * – различия с контролем статистически достоверны ($p < 0,05$); значение в числителе – показатель по сырой массе, в знаменателе – по сухой массе.

Отметим, что по сравнению с контрольными темпами накопления сухой массы опытных растений у исследованных сортов были выше (рис. 2). Сухая масса опытных растений сорта Памяти Чепелева в фазу колошения увеличилась на 203 % относительно фазы кущения, контрольных – на 187 %, в фазу цветения – на 760 и 677 % соответственно. Для сорта Сонет эти различия были более выраженными и значимыми. В фазу колошения этот показатель в опытном варианте увеличивается на 202 %, в контрольном – на 127 %, в фазу цветения – на 852 и 443 % соответственно.

Важным показателем, характеризующим накопление сухой массы единицей площади листа в течение вегетации, является чистая продуктивность фотосинтеза. Данный показатель у растений опытных вариантов превышает контроль в фазу кущения на 3–4 %, колошения – на 15–17 %, цветения – на 7–66 % (рис. 3).

Полученные данные указывают на более активное накопление сухой массы опытными растениями, и в большей степени это проявляется у сорта Сонет. Можно полагать, что проявление этой особенности в опыте является следствием стимулирующего действия на рост и развитие *H. vulgare* суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18.

Выявленные морфофизиологические различия опытных и контрольных вариантов по ростовым параметрам, по-видимому, определяют и зерновую продуктивность ячменя (табл. 4). Установлено, что в фазе восковой спелости у опытных растений сорта Памяти Чепелева наблюдается тенденция к увеличению массы зерновки на 4 % относительно контроля, у опытных растений сорта Сонет наряду с увеличением массы зерновки (на 3 %) отмечено боль-

шее количество зерновок в колосе (на 6 %) и продуктивных побегов (на 10 %). К завершению вегетации масса зерна опытных растений сорта Памяти Чепелева увеличилась по отношению к контролю на 5 %, сорта Сонет – на 20 %. При этом урожайность зерна с квадратного метра у сорта Памяти Чепелева при внесении суспензии штамма превзошла контроль на 4 %, у сорта Сонет – 20 % (табл. 4). Выявленные результаты по зерновой продуктивности соответствуют результатам по содержанию фотосинтетических пигментов, что также ранее отмечалось в работах А. Ф. Сидько с соавторами (2017), А. Дерендовской и С. Секриеру (2018) и Ю. Е. Андрианова (2000) [18–20].

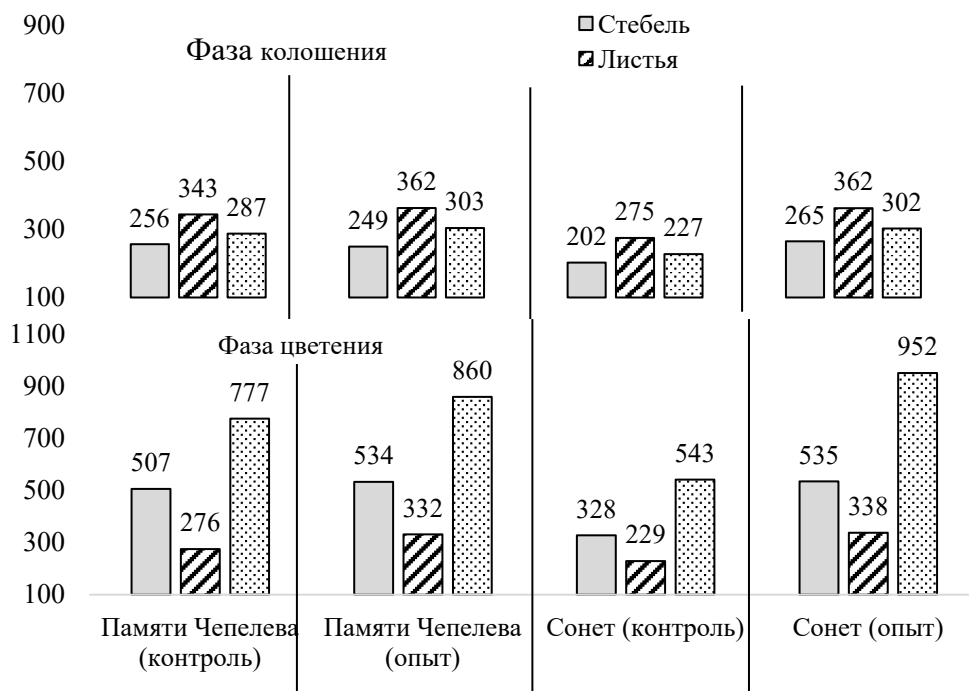


Рис. 2. Изменение сухой массы надземной части *Hordeum vulgare* L. в течение вегетации при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 (% относительно значений в фазу кущения)

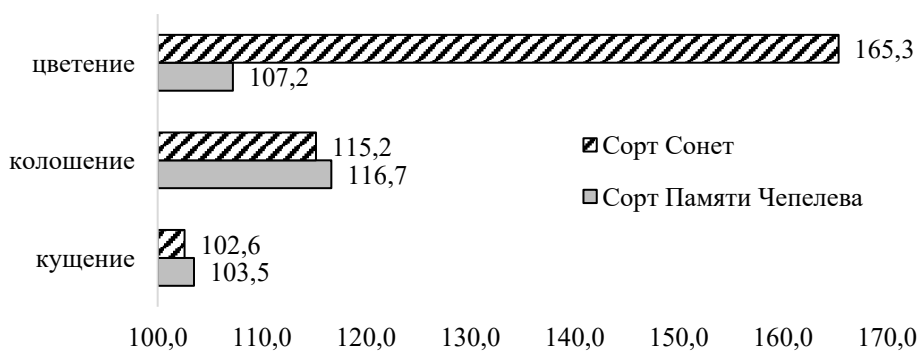


Рис. 3. Динамика чистой продуктивности фотосинтеза *Hordeum vulgare* L. в процессе вегетации при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 (% относительно контроля)

Таблица 4

Зерновая продуктивность *Hordeum vulgare* L.
при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18

Показатель	Сорт Памяти Чепелева		Сорт Сонет	
	Контроль	Опыт	Контроль	Опыт
Количество продуктивных побегов на одном растении, шт.	1,1 ± 0,1	1,1 ± 0,1	1,0 ± 0,1	1,1 ± 0,1
Количество зерновок в колосе, шт.	21,8 ± 0,3	21,9 ± 0,3	17,5 ± 0,2	18,5 ± 0,2*
Масса 1000 зерновок, г	44,1 ± 2,6	46,0 ± 0,5	53,4 ± 1,3	54,9 ± 1,3
Масса зерна с 1 растения, г	1,06	1,11	0,93	1,12
Масса зерна, г/м ²	268,3	277,9	223,4	267,9

Примечание. * – различия с контролем статистически достоверны ($p < 0,05$).

Таким образом, при действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 на растения *H. vulgare* исследованных сортов отмечено увеличение их зерновой продуктивности. Наблюдаемый эффект может быть связан с ростостимулирующим действием бактериальной суспензии, содержащей ИУК (21,1 мг/л), и способной оптимизировать растворение и транспортировку минеральных компонентов, в том числе фосфора [21].

Заключение

Суспензия штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 способствует увеличению площади листьев и содержанию в них фотосинтетических пигментов, накоплению сухой массы в надземных органах и повышению чистой продуктивности фотосинтеза *H. vulgare* сортов Памяти Чепелева и Сонет. При этом наибольшие и достоверные изменения значений исследуемых параметров проявляются у сорта Сонет – площадь листовой поверхности превышает контроль до 21 %, содержание хлорофиллов ($a+b$) – до 54 %, содержание каротиноидов – до 58 %, накопление сухой массы – до 72 %, ЧПФ – до 65 %. В варианте с сортом Памяти Чепелева тенденции к увеличению менее выражены, различия по площади листовой поверхности достигали 13 %, по сухой массе – 12 %, по чистой продуктивности фотосинтеза – 17 %.

При действии суспензии штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 зерновая урожайность *H. vulgare* сорта Памяти Чепелева возросла на 5 %, сорта Сонет – на 20 %. Действие бактериальной суспензии может быть связано как с наличием в ней ИУК, так и ее способностью высвобождать фосфор из нерастворимого трифосфата кальция. Полученные результаты позволяют рассматривать суспензию штамма *Pseudomonas* sp. GEOT18 в качестве основы для разработки нового биопрепарата, способного активизировать рост и повысить зерновую продуктивность ячменя сорта Сонет.

Список литературы

1. Морозов А. И. Влияние регулятора роста Циркон на адаптивность сортов мяты перечной к нестабильным погодным условиям Нечерноземной зоны России // Плодоводство и ягодоводство России. 2011. Т. 28, № 2. С. 83–89.
2. Астарханов И. Р., Ашурбекова Т. Н., Рамазанова З. М. Влияние пестицидной нагрузки на окружающую среду и пути его снижения // Проблемы развития АПК региона. 2014. Т. 20, №. 4. С. 49–52.

3. Дзюин Г. П., Дзюин А. Г. Коэффициенты использования азота, фосфора и калия из минеральных удобрений, навоза и почвы культурами севооборота // Международный журнал экспериментального образования. 2016. № 5 (1). С. 83–90.
4. Максимов И. В., Абизгильдина Р. Р., Пусенкова Л. И. Стимулирующие рост растений микроорганизмы как альтернатива химическим средствам защиты от патогенов // Прикладная биохимия и микробиология. 2011. Т. 47, № 4. С. 373–385.
5. Dubeikovsky A. N., Mordukhova E. A., Kochetkov V. T. et al. Growth promotion of blackcurrant softwood cuttings by recombinant strain *Pseudomonas fluorescens* BSP53a synthesizing an increased amount of indole-3-acetic acid // Soil biology and Biochemistry. 1993. № 25 (9). P. 1277–1281. doi: 10.1016/0038-0717(93)90225-Z
6. Jain R., Pandey A. A phenazine-1-carboxylic acid producing polyextremophilic *Pseudomonas chlororaphis* (MCC2693) strain, isolated from mountain ecosystem, possesses biocontrol and plant growth promotion abilities // Microbiological research. 2016. № 190. P. 63–71. doi: 10.1016/j.micres.2016.04.017
7. Рассохина И. И. Использование микроорганизмов как средства повышения продуктивности и устойчивости сельскохозяйственных культур // АгроЗооТехника. 2021. Т. 4, № 3. С. 1–17. doi: 10.15838/alt.2021.4.3.2
8. Храмова Е. А., Жардецкий С. С., Максимова Н. П. Синтез индол-3-уксусной кислоты ризосферными бактериями *Pseudomonas mendocina*. Характеристика регуляторных мутантов // Вестник Белорусского государственного университета. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2006. № 2. С. 69–73.
9. Бакаева М. Д., Кузина Е. В., Рафикова Г. Ф. [и др.]. Влияние бактерий-деструкторов углеводов нефти на прорастание и рост растений // Экобиотех. 2019. Т. 2, № 2. С. 175–183.
10. Kumari P., Meena M., Gupta P. et al. Plant growth promoting rhizobacteria and their biopriming for growth promotion in mung bean (*Vignaradiata* (L.) R. Wilczek) // Biocatalysis and agricultural biotechnology. 2018. № 16. P. 163–171. doi: 10.1016/j.bcab.2018.07.030
11. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство // Федеральная служба государственной статистики. 1999–2022. URL: [https://vologdastat.gks.ru/sel'skoe %20hozyajstvo](https://vologdastat.gks.ru/sel'skoe%20hozyajstvo) (дата обращения: 10.05.2022).
12. Левакова О. В., Дедушев И. А., Ерошенко Л. М. [и др.]. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ // Юг России: экология, развитие. 2022. Т. 17, № 1 (62). С. 128–135. doi: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135
13. Воробьев В. Н., Невмержицкая Ю. Ю., Хуснетдинова Л. З. [и др.]. Практикум по физиологии растений : учеб.-метод. пособие. Казань : Казанский университет, 2013. 80 с.
14. Ничипорович А. А. Фотосинтез и теория получения высоких урожаев. М. : Изд-во АН СССР, 1956. 94 с.
15. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры / под ред. В. И. Головачева, Е. В. Кириловской. М., 1989. 195 с.
16. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследования). М. : Альянс, 2011. 352 с.
17. Титова М. С. Содержание фотосинтетических пигментов в хвое *Picea Abies* и *Picea koraiensis* // Вестник Оренбургского государственного университета. 2010. № 12. С. 9–12.
18. Сидько А. Ф., Ботвич И. Ю., Письман Т. И., Шевырнов А. П. Оценка содержания хлорофилла и урожайности зерновых культур по хлорофилльному потенциалу // Биофизика. 2017. Т. 62, № 3. С. 565–569.
19. Дерендовская А., Секриеру С. Хлорофильные показатели и их связь с продуктивностью растений ячменя // Agronomie și agroecologie. 2018. № 52 (1). С. 254–260.

20. Андрианова Ю. Е., Тарчевский И. А. Хлорофилл и продуктивность растений. М. : Наука, 2000. 135 с.
21. Bychkova A. A., Zaitseva Y. V., Sidorov A. V. et al. Biotechnological potential of phosphate-solubilizing *Pseudomonas migulae* strain GEOT18 // International Journal of Agricultural Technology. 2022. № 18 (4). P. 1403–1414.

References

1. Morozov A.I. The influence of the growth regulator Zircon on the adaptability of peppermint varieties to unstable weather conditions in the Non-Chernozem zone of Russia. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Fruit and berry growing in Russia*. 2011;28(2):83–89. (In Russ.)
2. Astarkhanov I.R., Ashurbekova T.N., Ramazanov Z.M. Impact of pesticide load on the environment and ways to reduce it. *Problemy razvitiya APK regiona = Issues of development of the regional agro-industrial complex*. 2014;20(4):49–52. (In Russ.)
3. Dzyuin G.P., Dzyuin A.G. Coefficients of use of nitrogen, phosphorus and potassium from mineral fertilizers, manure and soil by crop rotation crops. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya = International Journal of Experimental Education*. 2016;(5):83–90. (In Russ.)
4. Maksimov I.V., Abizgil'dina R.R., Pusenkov L.I. Plant growth-stimulating microorganisms as an alternative to chemical means of protection against pathogens. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya = Applied biochemistry and microbiology*. 2011;47(4):373–385. (In Russ.)
5. Dubeikovskiy A.N., Mordukhova E.A., Kochetkov V.T. et al. Growth promotion of blackcurrant softwood cuttings by recombinant strain *Pseudomonas fluorescens* BSP53a synthesizing an increased amount of indole-3-acetic acid. *Soil biology and Biochemistry*. 1993;(25):1277–1281. doi: 10.1016/0038-0717(93)90225-Z
6. Jain R., Pandey A. A phenazine-1-carboxylic acid producing polyextremophilic *Pseudomonas chlororaphis* (MCC2693) strain, isolated from mountain ecosystem, possesses biocontrol and plant growth promotion abilities. *Microbiological research*. 2016;(190):63–71. doi: 10.1016/j.micres.2016.04.017
7. Rassokhina I.I. The use of microorganisms as a means of increasing the productivity and sustainability of agricultural crops. *AgroZooTekhnika = AgroZooTekhnika*. 2021;4(3):1–17. (In Russ.). doi: 10.15838/alt.2021.4.3.2
8. Khrantsova E.A., Zhardetskiy S.S., Maksimova N.P. Synthesis of indole-3-acetic acid by rhizosphere bacteria *Pseudomonas mendocina*. Features of regulatory mutants. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 2. Khimiya. Biologiya. Geografiya = Bulletin of Belarus State University. Series 2. Chemistry. Biology. Geography*. 2006;(2):69–73. (In Russ.)
9. Bakaeva M.D., Kuzina E.V., Rafikova G.F. et al. The influence of oil hydrocarbon degrading bacteria on plant germination and growth. *Ekobiotekh = Ecobiotech*. 2019;2(2):175–183. (In Russ.)
10. Kumari P., Meena M., Gupta P. et al. Plant growth promoting rhizobacteria and their biopriming for growth promotion in mung bean (*Vignaradiata* (L.) R. Wilczek). *Bio-catalysis and agricultural biotechnology*. 2018;(16):163–171. doi: 10.1016/j.bcab.2018.07.030
11. Agriculture, hunting and forestry. *Federal'naya sluzhba gosudarstvennoy statistiki. 1999–2022 = Federal State Statistics Service. 1999–2022*. (In Russ.). Available at: <https://volgdatastat.gks.ru/sel'skoe%20hozyajstvo> (accessed 10.05.2022).
12. Levakova O.V., Dedushev I.A., Eroshenko L.M. et al. The influence of agrometeorological climate changes on the grain productivity of spring barley in the conditions of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie = South of Russia: ecology, development*. 2022;17(1):128–135. (In Russ.). doi: 10.18470/1992-1098-2022-1-128-135

13. Vorob'ev V.N., Nevmerzhitskaya Yu.Yu., Khusnetdinova L.Z. et al. *Praktikum po fiziologii rasteniy: ucheb.-metod. posobie = Workshop on plant physiology: textbook*. Kazan': Kazanskiy universitet, 2013:80. (In Russ.)
14. Nichiporovich A.A. *Fotosintez i teoriya polucheniya vysokikh urozhaev = Photosynthesis and the theory of high yields*. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1956:94. (In Russ.)
15. Golovachev V.I., Kirilovskaya E.V. (eds.). *Metodika gosudarstvennogo sortoispytaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur. Vyp. 2. Zernovye, krupyanye, zernobobovye, kukuruza i kormovye kul'tury = Methodology for state variety testing of agricultural crops. Issue 2. Cereals, legumes, corn and forage crops*. Moscow, 1989:195. (In Russ.)
16. Dospekhov B.A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniya) = Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Al'yans, 2011:352. (In Russ.)
17. Titova M.S. Content of photosynthetic pigments in the needles of *Picea Abies* i *Picea koraiensis*. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Orenburg State University*. 2010;(12):9–12. (In Russ.)
18. Sid'ko A.F., Botvich I.Yu., Pis'man T.I., Shevynogov A.P. Assessment of chlorophyll content and yield of grain crops based on chlorophyll potential. *Biofizika = Biophysics*. 2017;62(3):565–569. (In Russ.)
19. Derendovskaya A., Sekrieru S. Chlorophyll indicators and their relationship with the productivity of barley plants. *Agronomie și agroecologie*. 2018;(52):254–260. (In Russ.)
20. Andrianova Yu.E., Tarchevskiy I.A. *Khlorofil i produktivnost' rasteniy = Chlorophyll and plant productivity*. Moscow: Nauka, 2000:135. (In Russ.)
21. Bychkova A.A., Zaitseva Y.V., Sidorov A.V. et al. Biotechnological potential of phosphate-solubilizing *Pseudomonas migulae* strain GEOT18. *International Journal of Agricultural Technology*. 2022;(18):1403–1414.

Информация об авторах / Information about the authors

Ирина Игоревна Рассохина

научный сотрудник лаборатории
биоэкономики и устойчивого развития,
Вологодский научный центр Российской
академии наук (Россия, г. Вологда,
ул. Горького, 56а)

E-mail: rasskhinairina@mail.ru

Irina I. Rassokhina

Researcher of the laboratory
of bioeconomics and sustainable
development, Vologda Research
Center of the Russian Academy of Sciences
(56a Gorkogo street, Vologda, Russia)

Олег Анатольевич Маракаев

кандидат биологических наук, доцент,
декан факультета биологии и экологии,
Ярославский государственный
университет имени П. Г. Демидова
(Россия, г. Ярославль, ул. Советский
пр-кт, 14)

E-mail: olemar@yandex.ru

Oleg A. Marakaev

Candidate of biological sciences, associate
professor, dean of the faculty of biology
and ecology, P.G. Demidov Yaroslavl
State University (14 Sovetskiy avenue,
Yaroslavl, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 30.06.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 18.09.2023

Принята к публикации / Accepted 03.10.2023

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

BRIEF MESSAGES

УДК 595.788/591.613/638.8
doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-9

Особенности развития пушистого коконопряда (*Eriogaster lanestris* Linnaeus, 1758) в лабораторных и природных условиях

И. С. Леонтьев

Пензенский государственный университет, Пенза, Россия
leontiev.ilya2015@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* *Eriogaster lanestris* (Linnaeus, 1758) является редким представителем семейства Lasiocampidae, который встречается на территории Пензенской области. *Материал и методы.* В ходе исследования в третьей декаде мая на просеке, которая располагается в окрестностях садового дачного товарищества «Медик» (с.ш. 53.255597, в.д. 45.149291), было обнаружено большое количество гнезд гусениц первых (L1, L2) возрастов *E. lanestris*. Кроме наблюдений в природе, мы провели лабораторное культивирование. *Результаты.* Были проведены наблюдения, в ходе которых установлены длительность периода развития гусениц в природе, а также причины их гибели. В ходе эксперимента выявлены оптимальные условия развития гусениц *E. lanestri*. Коконы удачно перезимовали, а полученных бабочек отпустили в природу. *Выводы.* Полученные результаты можно использовать для увеличения численности коконопряда пушистого в природе.

Ключевые слова: Lepidoptera, Lasiocampidae, Eriogastrini, *Eriogaster lanestris*, лабораторное культивирование

Для цитирования: Леонтьев И. С. Особенности развития пушистого коконопряда (*Eriogaster lanestris* Linnaeus, 1758) в лабораторных и природных условиях // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2023. № 3. С. 105–109. doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-9

Features of the development of fluffy cocoon moths (*Eriogaster lanestris* Linnaeus, 1758) in laboratory and natural conditions

I.S. Leontiev

Penza State University, Penza, Russia
leontiev.ilya2015@yandex.ru

Abstract. *Background.* *Eriogaster lanestris* (Linnaeus, 1758) is a rare representative of the family Lasiocampidae, which is distributed in Penza region. *Materials and methods.* In the 3rd decade of May, during the study of the clearing, which is located in the vicinity of std Medik, it was possible to find a large number of young nests of the above species. In addition to observations made in nature, laboratory cultivation was carried out. *Results.* After that, observations were carried out, during which it was possible to establish the time of

development of larvae in nature, as well as their death from various factors. During the laboratory work, it was possible to select optimal conditions for the development of larvae of *E. lanestris*. The cocoons obtained as a result of the work done successfully overwintered, after which the hatched moths were released into nature. *Conclusions.* The results obtained in the course of this work can be applied to increase the number of the fluffy *E. lanestris* in nature.

Keywords: Lepidoptera, Lasiocampidae, Eriogastrini, *Eriogaster lanestris*, laboratory cultivation

For citation: Leontiev I.S. Features of the development of fluffy cocoon moths (*Eriogaster lanestris* Linnaeus, 1758) in laboratory and natural conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2023;(3):105–109. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2023-3-9

Введение

Коконопряд пушистый *Eriogaster lanestris* (Linnaeus, 1758) является одним из ранневесенних видов чешуекрылых, у которого период лёта совпадает с началом таяния снега и появления первых проталин. Лёт происходит с конца февраля до апреля. Вид встречается на вырубках и проталинах разреженных лиственных лесов, а также в смешанных лесах с хорошо развитым древесным и кустарниковым подлеском. Вид активен после заката, при ловле на свет имаго летят с 20:00 до 20:30. Самка откладывает от 250 до 350 яиц, преимущественно одной кладкой в виде муфточки вокруг молодых побегов древесных и травянистых кормовых растений (рис. 1).

Кормовыми для изучаемого вида являются растения следующих родов: *Malus*, *Prunus*, *Pyrus*, *Rosa*, *Rubus*, *Crataegus*, *Cerasus* (в основном *fruticosa*), *Amygdalus*, *Sanguisorba* (исключительно *officinalis*) (*Rosaceae*); *Quercus* (*Fagaceae*); *Tilia* (*Tiliaceae*); *Populus*, *Salix* (*Salicaceae*); *Ulmus* (*Ulmaceae*); *Betula*, *Alnus*, *Corylus* (*Betulaceae*); *Acer* (*Aceraceae*); *Fraxinus* (*Oleaceae*); *Lonicera* (*Caprifoliaceae*). Развитие кладки длится от 2 до 4 недель, после чего молодые гусеницы плетут шёлковое гнездо, в котором живут до возраста L5 [1].

Гусеницы последних возрастов (L4, L5) подвержены паразитарным инвазиям, которые, порой, сильно снижают численность вида в природе [2]. Начиная с возраста L5 гусеницы покидают гнезда и ведут одиночный образ жизни и вскоре окукливаются в подстилке. Вид является моновольтинным, зимует сформированная бабочка внутри куколки или куколка находится при многолетней диапаузе (до 70 % куколок зимует в течение 2–3 лет).

Материалы и методы

Исследования проводили в окрестностях Пензы, на территории садового дачного товарищества «Медик» (с.ш. 53.255597, в.д. 45.149291) на просеке лесного массива. Наблюдения проводили с 23 мая по 5 июля 2022 г. методом маршрутного учета. Изъятые из природы гнезда использовали в экспериментальном лабораторном культивировании.

Результаты

Во время первого обследования просеки было обнаружено 13 гнезд *Eriogaster lanestris* (Linnaeus, 1758) с гусеницами возрастов L1 и L2. На берёзе бородавчатой (*Betula pendula*) были обнаружены четыре гнезда, а на липе

сердцевидной (*Tilia cordata*) – девять гнезд. Два гнезда, располагавшихся на липе, были изъяты для экспериментальной работы. Обнаруженные гнезда периодически проверяли с интервалом в 1–2 недели. Начиная с возраста L3 количество гусениц в гнездах, за которыми наблюдали, стало уменьшаться, вероятно, в результате действия снижающих численность факторов. Так, во время одного из обследований, которое проводили 10 июня, наблюдали, как вокруг гнезда летал один из паразитов личинок бабочек ежемуха семейства Tachinidae и откладывал яйца на гусениц.

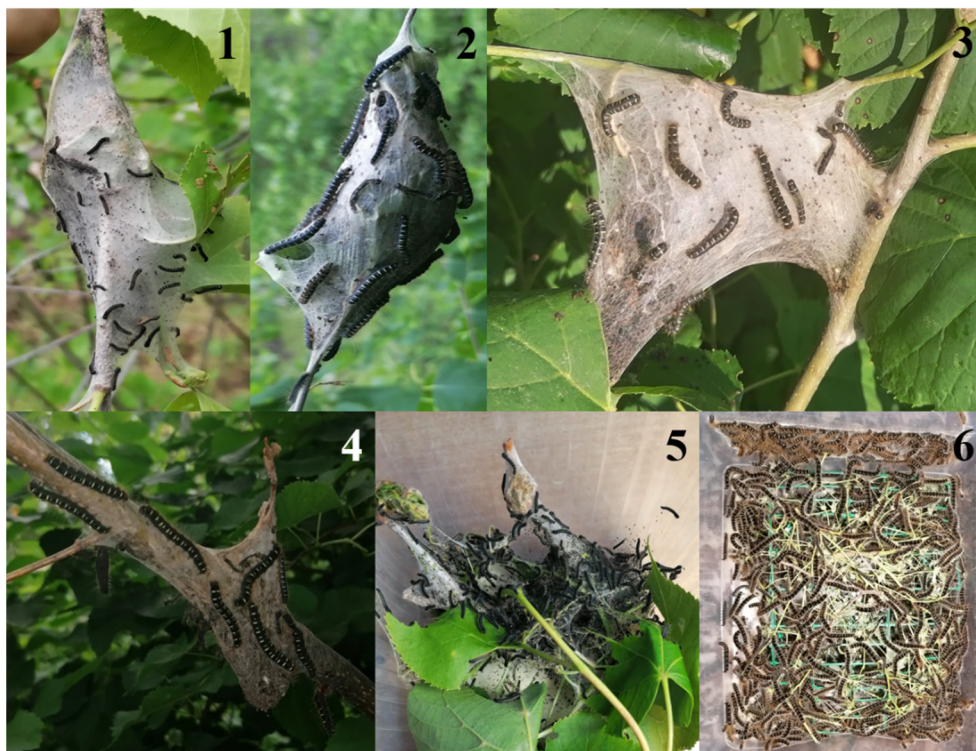


Рис. 1. Стадии развития гусениц *Eriogaster lanestris* (Linnaeus, 1758) и условия их содержания в лабораторных условиях: 1 – гусеницы возраста L1 на березе бородавчатой (*Betula pendula*); 2 – гусеницы возраста L2 на липе сердцевидной (*Tilia cordata*); 3 – гусеницы возрастов L3 и L4 в гнезде; 4 – гнездо *Eriogaster lanestris* с погибшими гусеницами; 5 – содержание гусениц младших возрастов в контейнере малого объема; 6 – гусеницы возраста L5

Позднее, 17 июня, по характерным свисаниям из гнезд погибших зацепившихся ложноножками гусениц было выявлено их поражение вирусным заболеванием полиэдрозом. Проявление бактериальных и вирусных заболеваний связано с продолжительной влажной погодой. Поскольку гусеницы случайно вплетают экскременты в гнездо, это способствует повышению влажности и развитию заболеваний. Гусеницы пушистого коконопряда требовательны к хорошему току воздуха и низкой влажности. При очередном обследовании 30 июня в гнездах обнаружили гусениц, готовящихся к линьке на возраст L5. При этом из 11 находящихся под наблюдением гнезд только в двух были обнаружены гусеницы. Кроме этого, на маршруте были обнаруже-

ны шесть одиночных гусениц возраста L5, которые уже покинули гнезда и начали вести одиночный образ жизни. В ходе последнего обследования, которое проводили 5 июля, обнаружили две крупные гусеницы, которые беспокойно ползали по земле. Такое поведение гусениц указывает на их готовность к окукливанию в защищенном месте.

Таким образом, наши наблюдения показали, что развитие преимагинальных стадий в природе длится около 40–50 дней. В этот период большая часть гусениц погибает как от вирусных и бактериальных заболеваний, так и от паразитарных инвазий.

Основной проблемой культивирования гусениц в лабораторных условиях является их гибель от вирусных и бактериальных заболеваний. В ходе проведенного нами лабораторного выращивания гусениц мы смогли избежать данной проблемы за счет организации хорошо проветриваемых садков.

Гусениц возраста L1 и L2 разделили на три группы, которые содержали в пластиковых контейнерах с самовентиляцией. По достижении ими возраста L3 гусениц пересаживали в контейнер объемом 30 л, где они росли до возраста L5. Гусениц последнего возраста помещали в сетчатый садок размером 400×400×600 мм, на дне которого устанавливали сетчатую конструкцию с разложенными побегами кормового растения. После того, как гусеницы достигали взрослого размера, они плели коконы между ветвей кормового растения. Развитие гусениц в лабораторных условиях длилось около 30–35 дней. За это время из 200 особей погибло только семь гусениц.

После того как все гусеницы окуклились, мы провели сбор коконов и поместили их в контейнер с увлажненным мхом, где они и находились до конца лета при комнатной температуре. В сентябре контейнер с коконами помещали на балкон до начала заморозков, после чего его переносили в холодильник на хранение до весны. Температура зимовки коконов составила +1° – –1 °С.

Весной, в конце апреля 2023 г., коконы достали из холодильника и переположили в сетчатый садок, который вынесли на балкон, где дневная температура воздуха составляла +8–10 °С. Выход бабочек начался через 30–40 мин после помещения коконов в тепло. В течение 3 сут из 193 коконов появились 43 бабочки, после чего их выпустили в природу.

Заключение

В ходе проведенного исследования мы установили сроки развития гусениц *Eriogaster lanestris* (Linnaeus, 1758) в природных и лабораторных условиях. Была разработана методика лабораторного культивирования вида, которую в дальнейшем можно использовать в природоохранной деятельности, так как вид во многих регионах России является малочисленным или редким.

Список литературы

1. Золотухин В. В. Коконопряды (Lepidoptera: Lasiocampidae) фауны России и сопредельных территорий. Ульяновск : Корпорация технологий продвижения, 2015. 384 с.
2. Ходырев В. П. Биологические факторы, регулирующие численность пушистого коконопряда *Eriogaster lanestris* L. (Lepidoptera, Lasiocampidae) // Евразийский энтомологический журнал. 2015. Т. 14, № 1. С. 162–169.

References

1. Zolotukhin V. V. Cocoon moths (Lepidoptera: Lasiocampidae) of the fauna of Russia and adjacent territories. Ul'yanovsk : Korporatsiya tekhnologiy prodvizheniya, 2015. 384 s.
2. Khodyrev V. P. Biological factors regulating the number of fluffy cocoon moths *Eriogaster lanestris* L. (Lepidopera, Lasiocampidae) // Evraziatskiy entomologicheskiy zhurnal. 2015. T. 14, № 1. S. 162–169.

Информация об авторах / Information about the authors

Илья Сергеевич Леонтьев

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

E-mail: leontiev.ilya2015@yandex.ru

Илья S. Leontiev

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

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов / The author declares no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 12.08.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 18.09.2023

Принята к публикации / Accepted 10.10.2023

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. Научные направления (отрасли науки и группы специальностей):

- 1.5.9. Ботаника (биологические науки)
- 1.5.12. Зоология (биологические науки)
- 1.5.15. Экология (биологические науки)
- 1.5.21. Физиология и биохимия растений (биологические науки)

Стоимость одного номера журнала – 500 руб. 00 коп.

Для оформления подписки через редакцию необходимо заполнить и отправить заявку в редакцию журнала: тел. +7 (8412) 64-32-89; E-mail: volgavuz@pnzgu.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.