

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 1 (45)

2024

СОДЕРЖАНИЕ

БОТАНИКА

- Годин В. Н., Архипова Т. В., Поняева Ю. А., Юсуфова В. З.**
Антэкология гинодиэичного вида *Ranunculus acris* (Ranunculaceae)
в Московской области 3
- Иванова А. В., Костина Н. В., Васюков В. М.** Сравнительный анализ
локальных флор Пензенской области 14
- Фатюнина Ю. А., Можяева Г. Ф., Суркова О. Е.** Мониторинг состояния
ценопопуляции *Herminium monorchis* (Orchidaceae)
Ольшанского солонца (Пензенская область) 28

ЗООЛОГИЯ

- Асанов А. Ю.** Рыбохозяйственное значение руслового
водоподъемного водохранилища прудового типа
на малых водотоках Приволжья на примере р. Труев 39

ЭКОЛОГИЯ

- Бондарева В. В.** Тимьянниковые сообщества
Жигулевского заповедника (Самарская область) 50

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- Путько В. Ф., Федорова И. Л., Решетникова С. Н., Сергаченко С. Н.**
Влияние магнитоплазменной обработки на активность
ферментов и прорастание *Triticum aestivum* 62
- Анка М., Серегина И. И.** Роль препаратов Силипланта, Эпин-экстра
и Циркона в формировании ассимиляционного аппарата проростков
яровой пшеницы в зависимости от условий водообеспечения 72

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

- Дружинина В. В., Селезнева Е. С., Белоусова З. П.** Влияние бензимидазола
на аминокислотный состав гемолимфы имаго *Drosophila melanogaster* 83

**UNIVERSITY PROCEEDINGS
VOLGA REGION**

NATURAL SCIENCES

№ 1 (45)

2023

CONTENTS

BOTANY

-
- Godin V.N., Arkhipova T.V., Ponyaeva Yu.A., Yusufova V.Z.*
Anthecology of gynodioecious species *Ranunculus acris*
(Ranunculaceae) in Moscow region..... 3
- Ivanova A.V., Kostina N.V., Vasjukov V.M.* Comparative analysis
of the local flora of Penza region 14
- Fatyunina Yu.A., Mozhaeva G.F., Surkova O.E.* Monitoring the state of Herminium
monorchis (Orchidaceae) cenopopulation in Olshanskiy solonetz (Penza region) 28

ZOOLOGY

-
- Asanov A.Yu.* The fishery significance of a pond-type riverbed water-lifting reservoir
on small watercourses of the Volga region on the example of the Truev River..... 39

ECOLOGY

-
- Bondareva V.V.* Thyme plant communities
of the Zhiguli Nature Reserve (Samara region) 50

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

-
- Putko V.F., Fedorova I.L., Reshetnikova S.N., Sergatenko S.N.* Effect of magnetic
and plasma treatment on enzymatic activity and germination of *Triticum aestivum* 62
- Anka M., Seregina I.I.* The role of Siliplant, Epin-extra and Zircon preparations
in the formation of the assimilation apparatus of spring wheat
seedlings depending on water supply conditions..... 72

BRIEF MESSAGES

-
- Druzhinina V.V., Selezneva E.S., Belousova Z.P.* The effect of benzimidazole
on the amino acid composition of the hemolymph
of imago *Drosophila melanogaster* 83

УДК 581.461:582.675.1

doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-1

Антэкология гинодиэичного вида *Ranunculus acris* (*Ranunculaceae*) в Московской области

В. Н. Годин¹, Т. В. Архипова², Ю. А. Поняева³, В. З. Юсуfoва⁴

^{1,2,3,4}Московский педагогический государственный университет, Москва, Россия

¹godinvn@yandex.ru, ²tata50509@mail.ru, ³jponyaeva@mail.ru, ⁴violet88@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* *Ranunculus acris* L. (лютик едкий) – многолетнее травянистое поликарпическое короткокорневищное растение. Литературные сведения по биологии цветения этого гинодиэичного вида крайне немногочисленны. *Материалы и методы.* Антэкологические наблюдения проведены в условиях Московской области с 2021 по 2023 г. по общепринятым методикам. *Результаты.* Обоеполые цветки *R. acris* слабо протандричны, цветут в течение 5–6 суток, пестичные – 3–4 дней. Раскрытие цветков в закрытом тирсе и в его боковых дихазиях с разными вариантами редукции происходит согласно порядку ветвления побега. Общая продолжительность цветения особей с обоеполыми и пестичными цветками варьирует от 3 до 4 недель и зависит от погодных условий. По соотношению числа пыльцевых зерен и семязачатков в обоеполых цветках (от 4594 до 7149) *R. acris* относится к ксеногамным растениям. Оба типа цветков раскрываются синхронно, с максимумом в 10 часов утра. *Выводы.* Наличие гинодиэции, синхронный ритм цветения обоеполых и пестичных цветков, формирование большого числа пыльцевых зерен в обоеполых цветках, более позднее начало и более раннее завершение цветения особей с пестичными цветками, существование системы гаметофитной самонесовместимости способствуют перекрестному опылению у *R. acris*.

Ключевые слова: *Ranunculus acris*, гинодиэция, антэкология

Для цитирования: Годин В. Н., Архипова Т. В., Поняева Ю. А., Юсуfoва В. З. Антэкология гинодиэичного вида *Ranunculus acris* (*Ranunculaceae*) в Московской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 1. С. 3–13. doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-1

Anthecology of gynodioecious species *Ranunculus acris* (*Ranunculaceae*) in Moscow region

V.N. Godin¹, T.V. Arkhipova², Yu.A. Ponyaeva³, V.Z. Yusufova⁴

^{1,2,3,4}Moscow Pedagogical State University, Moscow, Russia

¹godinvn@yandex.ru, ²tata50509@mail.ru, ³jponyaeva@mail.ru, ⁴violet88@mail.ru

Abstract. *Background.* *Ranunculus acris* L. (Meadow Buttercup) is a perennial herbaceous short-rhizome polycarpic plant. Mentions of flowering and pollination characteristics in gynodioecious *R. acris* are scarcely found in the literature. *Materials and methods.*

Observations were made in the natural conditions of the Moscow region from 2021 to 2023 by generally accepted methods. *Results*. Perfect flowers are weakly protandric, bloom for 5–6 days and pistillate flowers – for 3–4 days. The opening of flowers in a closed thyrus and its lateral dichasia with different reduction options occur according to the order of branching of the shoot. The total flowering time of perfects and females varies from 3 to 4 weeks, and depends on weather conditions. *R. acris* is an obligate xenogamous species: the pollen/ovary ratio is from 4594 to 7149 in perfect flowers. Both types of flowers open synchronously, with a maximum at 10 a.m. *Conclusions*. Efficient cross-pollination in *R. acris* is reached by the presence of gynodioecy, the synchronous rhythm of perfect and female flowering, the formation of a large number of pollen grains in both types of flowers, later onset and earlier completion of flowering of females, and by gametophyte self-incompatibility.

Keywords: *Ranunculus acris*, gynodioecy, anthecology

For citation: Godin V.N., Arkhipova T.V., Ponyaeva Yu.A., Yusufova V.Z. Anthecology of gynodioecious species *Ranunculus acris* (Ranunculaceae) in Moscow region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = *University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2024;(1):3–13. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-1

Введение

Гинодиэция, или женская двудомность – половая форма, при которой в популяциях сосуществуют два типа особей: на одних образуются обоеполые цветки, на других – пестичные [1]. В настоящее время в мировой флоре известно порядка 1600 гинодиэцичных видов, принадлежащих к разным семействам покрытосеменных [2, 3]. Данный вид полового полиморфизма довольно часто встречается у цветковых растений особенно в умеренной зоне [4, 5]. Степень изученности антропоэкологических особенностей гинодиэцичных растений различна. Чаще всего объектами были представители двух семейств – *Caryophyllaceae* и *Lamiaceae*, в которых широко распространена женская двудомность [6–9]. Многочисленными исследованиями выявлены некоторые общие черты антропоэкологии гинодиэцичных видов в этих семействах: обоеполые цветки часто характеризуются протандрией (андроцей созревает раньше гинецея), более раннее раскрытие пестичных цветков в сравнении с обоеполыми или их синхронное цветение, более длительный срок цветения обоеполых цветков и особей, их образующих, по отношению к женским цветкам и особям [6]. Все перечисленные особенности – важные адаптивные приспособления, увеличивающие вероятность перекрестного опыления у гинодиэцичных видов.

В семействе *Ranunculaceae* женская двудомность в настоящее время выявлена у 18 видов, относящихся к родам *Actaea* L. (1 вид), *Anemone* L. (6 видов), *Aquilegia* L. (1 вид), *Hepatica* Mill. (1 вид), *Ranunculus* L. (8 видов) и *Thalictrum* Tourn. ex L. (1 вид) [3, 4]. Однако сведения об антропоэкологических особенностях двух половых форм этих гинодиэцичных видов в литературе полностью отсутствуют. Есть лишь отрывочные данные по биологии цветения особей с обоеполыми цветками у ряда видов [10–15].

Ranunculus acris L. (лютик едкий) – кистекорневое поликарпическое растение с эпигеогенным коротким корневищем, гемикриптофит. Ареал этого мезофильного вида охватывает Европейскую часть России, всю Европу (за исключением Португалии, Сицилии, Швеции), Кавказ, Западную Сибирь, Среднюю, Северную и Южную Азию, Северную Америку [16]. Произрастает в лесной и лесостепной зонах. Whitelegge [17] впервые сообщает о наличии

гинодиэзии у *R. acris*. Детальное изучение морфологических особенностей, проведенное Marsden-Jones и Turrill [18, 19], выявило существование в Англии непрерывного ряда цветков от «нормальных» обоеполюх до чисто пестичных. Морфологическое проявление гинодиэзии и половая структура ценопопуляций этого вида детально изучены в Московской области [20]. Однако сведения по анэкологии *R. acris* в связи с гинодиэзией в литературе полностью отсутствуют. Поэтому целью нашей работы было выявление анэкологических особенностей гинодиэцичного вида *R. acris* в Московской области.

Материалы и методы

Анэкологические исследования проведены в 2021–2023 гг. в Московской области. Наблюдения за биологией цветения сделаны в ценопопуляции, расположенной в Истринском р-не, в окр. г. п. Нахабино, в разреженном ельнике с таволгово-разнотравным травостоем. Камеральная обработка материала включала палинологические исследования. Изучено соотношение числа пыльцевых зерен и семязачатков в 20 обоеполюх цветках. Подсчет пыльцевых зерен осуществлялся в 30 полях зрения по общепринятой методике [21]. Для подсчета пыльцевых зерен использовали световой микроскоп Биомед-5 при увеличении 7×40 с окуляр-микрометром с сеткой.

Изучение биологии цветения проведено по методике Пономарева [22]. Длительность тычиночной и рыльцевой стадий цветения определяли визуально на 20 этикетированных обоеполюх и пестичных цветках. Началом тычиночной фазы считали момент растрескивания пыльников. Окончание фиксировали по времени полного опустошения пыльников. Степень зрелости рылец определяли с помощью химического метода. Воспринимающая поверхность зрелых рылец при нанесении на нее слабого раствора перманганата калия окрашивается в коричневый или бурый цвет, незрелые рыльца не окрашиваются.

Изучение суточного ритма цветения проводилось каждый год в течение трех дней в период массового цветения вида. На растениях перед изучением суточного хода цветения помечали все раскрывшиеся цветки. Каждый час подсчитывали число вновь раскрывшихся цветков. Чтобы избежать ошибки при подсчете, вновь раскрывшиеся цветки помечали точками на венчике. Параллельно производили измерение температуры (°C) и относительной влажности воздуха (%) в тени с помощью психрометра Ассмана и освещенности на уровне соцветий с помощью люксметра.

Все полученные данные обработаны методами вариационной статистики [23].

Результаты и обсуждение

Изучены анэкологические особенности *R. acris*, которые включали цветение обоеполюх и пестичных цветков, выявление последовательности раскрывания цветков в синфлоресценциях особей с разными типами цветков, соотношение числа пыльцевых зерен и семязачатков в обоеполюх цветках, суточную ритмику цветения. В Московской области этот вид цветет с конца мая (при ранней и теплой весне) или с начала июня (при поздней и прохладной весне) и до конца июня. Изредка наблюдается вторичное цветение – со второй половины августа и до начала октября.

Цветение обоеполых и пестичных цветков. По нашим наблюдениям, обоеполые цветки данного вида слабо протандричны. Экстрорзное вскрывание пыльников происходит с помощью продольных трещин сразу после полного раскрытия венчика. Начинается тычиночная стадия цветения. Сначала вскрываются пыльники самых наружных тычинок, затем к пылению приступают последовательно все тычинки в цветке. Продолжительность тычиночной стадии составляет обычно 4–5 суток. В это время нектарные железки в основании лепестков начинают выделять нектар. Цветки имеют слабый аромат. Сразу после раскрытия венчика рыльца еще не созрели и не окрашиваются слабым раствором перманганата калия. Через несколько часов после начала тычиночной стадии рыльца активно покрываются развивающимися папиллами, приобретают рецептивность и начинается рыльцевая стадия цветения цветка. Следовательно, в обоеполых цветках наблюдается совпадение тычиночной и рыльцевой стадий. На 4–5 день цветения обе стадии заканчиваются, венчик слегка подсыхает и опадает целиком. Нектароносные железки утрачивают блеск из-за прекращения выделения нектара. Цветение цветка завершается и начинают разрастаться завязи. Таким образом, общая продолжительность функционирования обоеполых цветков составляет 4–5 суток. Наши наблюдения за цветением обоеполых цветков у этого вида в целом совпадают с имеющимися в литературе данными [10, 14, 24]. Например, по сведениям Knuth [10] цветки могут быть слабо протандричными или слабо протогиничными, а исследования Киндеровой показали [14], что цветки этого вида развиваются как слабо протогиничные.

Цветение пестичных цветков в целом происходит аналогично, однако из-за полной редукции андроеца тычиночная стадия у них отсутствует, что приводит к небольшому сокращению периода их цветения. В результате продолжительность цветения пестичных цветков составляет 3–4 дней. Однако при прохладной и дождливой погоде и отсутствии опылителей продолжительность цветения пестичных цветков может увеличиваться до 5–6 дней.

Анализируя результаты исследований цветения обоеполых и пестичных цветков, можно сделать следующие выводы. Во-первых, обоеполые цветки характеризуются слабо выраженной протандрией, когда пыльники созревают и экспонируются немного раньше, чем созревают рыльца. В связи с этим в обоеполых цветках вполне возможен перенос собственной пыльцы на рыльца. Однако, по данным литературы, *R. acris* характеризуется гаметофитной самонесовместимостью, что исключает автогамию [25]. Во-вторых, у обоеполых цветков продолжительность тычиночной и рыльцевой фаз примерно одинаковая: обе длятся 4–5 суток. В-третьих, продолжительность функционирования обоеполых цветков с момента вскрывания пыльников и окончания рыльцевой фазы составляет от 4 до 5 дней, а пестичных цветков – 3–4 дня.

Цветение синфлоресценции. Синфлоресценции представляют собой вариант закрытого тирса, субъединицы которого – дихазии с разными вариантами редукции (рис. 1). Часто наблюдается недоразвитие одного или реже обоих цветков на боковых осях дихазия, в результате чего он становится 2- или 1-цветковым соответственно. Раскрывание цветков в синфлоресценции происходит в определенной последовательности, согласно порядку ветвления побега (рис. 2). Первым всегда начинает функционировать цветок, завершающий главную ось тирса. Через 1–2 дня раскрываются цветки, расположенные

на главных осях дихазиев паракладиев, цветки на побегах II порядка ветвления. При этом не выявлено какой-либо зависимости в очередности раскрытия цветков от положения дихазия в структуре синфлоресценции. У одних особей первыми зацветали цветки в составе самых верхних дихазиев, расположенных под терминальным цветком. Тогда как у других особей, наоборот, сначала раскрывались цветки в нижерасположенных дихазиях, а на следующий день зацветали цветки в вышерасположенных дихазиях. Кроме того, как правило, дихазии, сформированные в пазухах листьев соседних узлов, зацветали одновременно. Временной разрыв между началом цветения очередного расположенных близлежащих дихазиев обычно составлял 1–2 дня.

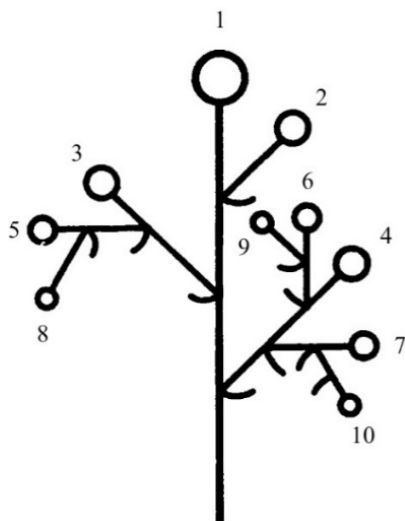


Рис. 1. Схема синфлоресценции *Ranunculus acris*:
1–10 – номера цветков

В каждом дихазии после раскрытия терминального цветка через 2–3 дня начинают функционировать оба цветка, расположенных на его боковых осях (побеги III порядка ветвления) (рис. 2). Следовательно, в пределах дихазия цветки на его боковых осях также начинают цвести одновременно. Редко наблюдается временной разрыв между началом цветения боковых цветков дихазия максимум в 1 день. У многоярусных дихазиев еще через 1–2 дня раскрываются цветки на побегах IV порядка. Их особенности функционирования полностью повторяют последовательность цветения цветков в дихазиях на побегах предыдущих порядков ветвления. Общая продолжительность цветения особей с обоеполыми и пестичными цветками у *R. acris* варьирует от 3 до 4 недель и зависит от погодных условий. При солнечной и довольно теплой погоде длительность цветения синфлоресценций составляет около 20 дней, при пасмурной и прохладной – увеличивается до 25–30 дней. Таким образом, большая продолжительность жизни цветков и довольно дружное их раскрытие в синфлоресценции приводят к тому, что в одно и то же время у одной особи цветут цветки, у которых одновременно протекают тычиночная и рыльцевая фазы. Складывается ситуация, когда возможен перенос пыльцы в пределах синфлоресценции и соответственно гейтоногамное опыление. Однако из-за гаметофитной самонесовместимости гейтоногамия у этого вида невозможна [25].

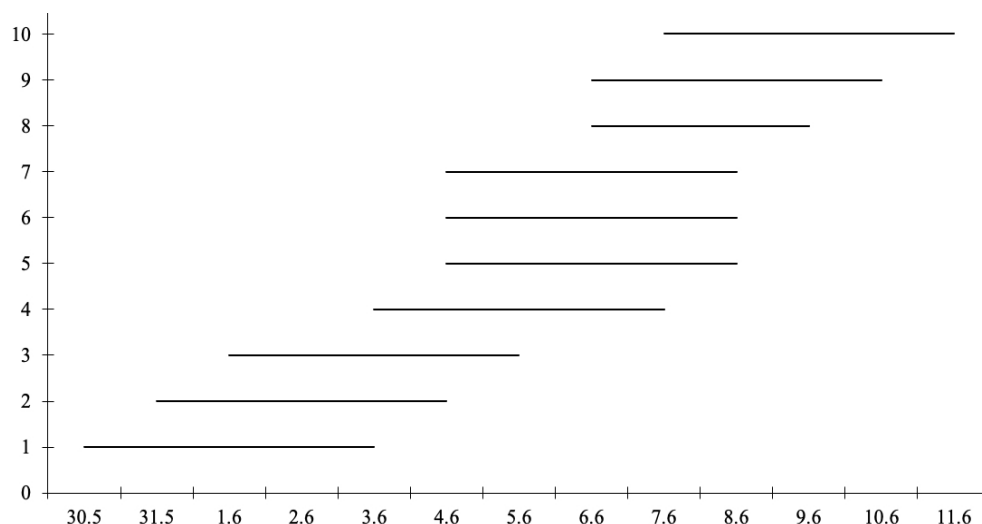


Рис. 2. Последовательность и продолжительность цветения обоеполюх цветков в синфлоресценции *Ranunculus acris*: 1–10 – порядковые номера цветков, как на рис. 1

Последовательность и характер раскрытия пестичных цветков в синфлоресценциях женских особей сходны с таковыми обоеполюх цветков и особей. Однако для женских особей характерна небольшая задержка начала цветения в 1–3 дня по сравнению с обоеполюхими особями. Такое временное отставание приводит к тому, что в ценопопуляции уже в большом числе присутствуют цветущие обоеполюхие особи, которые представляют собой единственные источники пыльцы для опыления пестичных цветков. Кроме того, женские особи обладают более дружным цветением, в результате чего их функционирование проходит быстрее гермафродитных особей и заканчивается на 3–5 дней раньше. Такое быстрое и слаженное цветение цветков, особей и всей женской фракции в ценопопуляциях гинодиэцичного вида *R. acris* гарантирует успешную ксеногамию.

Соотношение пыльцевых зерен и семязачатков. Подсчет числа пыльцевых зерен и семязачатков в обоеполюхих цветках показал, что данный вид относится к ксеногамным растениям. Соотношение числа пыльцевых зерен и семязачатков варьировало от 4594 до 7149.

Суточная ритмика цветения. Анализ суточной ритмики цветения обоеполюхих и пестичных цветков показал следующее. Оба половых типа цветков начинают раскрываться рано утром с восхода солнца при температуре воздуха в 12–13 °С (рис. 3). Постепенно число вновь зацветших цветков увеличивается и достигает максимума в 10 часов утра. После чего наблюдается замедление этого процесса. Во второй половине дня число вновь функционирующих цветков постепенно снижается, и раскрытие цветков заканчивается к 16 часам. Следовательно, наблюдается утренний характер ритмики цветения. Погодные условия, в частности дождь, вносят коррективы в суточную ритмику цветения данного вида, но не изменяют ее коренным образом: снижается число раскрывающихся за сутки цветков.

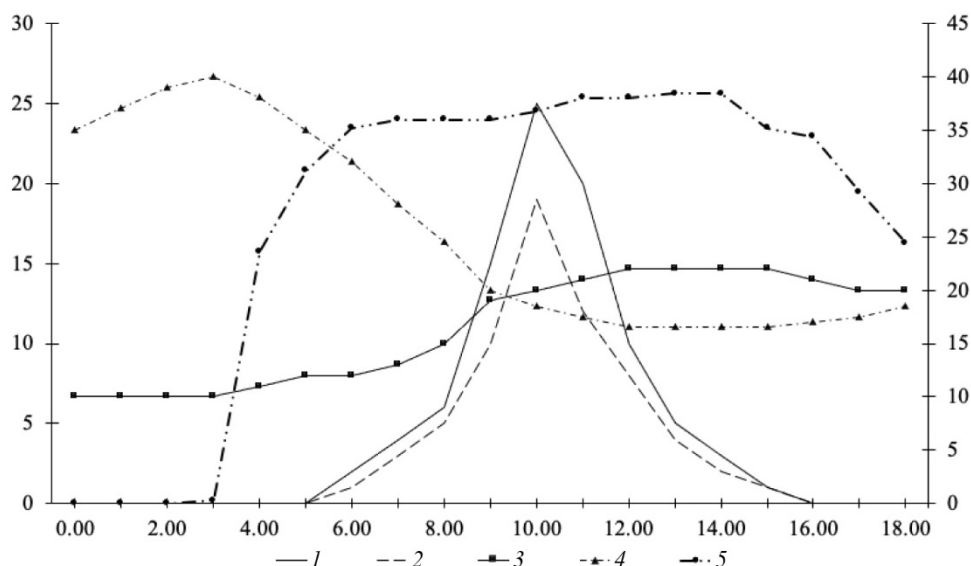


Рис. 3. Суточная динамика раскрытия обоеполых и пестичных цветков *Ranunculus acris*: 1 – число раскрывшихся обоеполых цветков; 2 – число раскрывшихся пестичных цветков; 3 – температура воздуха; 4 – относительная влажность воздуха; 5 – освещенность. По оси абсцисс – время наблюдений, ч; по осям ординат: слева – число раскрывшихся цветков, шт., справа – температура воздуха, °С (5 °С соответствует 10 % влажности и 2500 люкс)

Заключение

Обоеполые цветки *Ranunculus acris* характеризуются слабо выраженной протандрией (андроцей созревает раньше гинецея). Продолжительность жизни обоеполых цветков составляет 5–6 суток, пестичных – 3–4 дней.

Раскрытие цветков в закрытом тирсе и в его субъединицах (дихазии с разными вариантами редукции) происходит в четкой последовательности, согласно порядку ветвления побега, на котором формируются цветки.

По соотношению числа пыльцевых зерен и семязачатков в обоеполых цветках (от 4594 до 7149) *R. acris* относится к ксеногамным растениям.

Общая продолжительность цветения особей с обоеполыми и пестичными цветками варьирует от 3 до 4 недель и зависит от погодных условий. Особи с пестичными цветками позже начинают и раньше заканчивают свое цветение в сравнении с обоеполыми.

R. acris принадлежит к группе растений с утренним ритмом цветения, у которых максимум раскрывшихся обоеполых и пестичных цветков наблюдается в первой половине дня (10 часов утра).

Список литературы

1. Darwin Ch. The Different Forms of Flowers on Plants on the Same Species. London : J. Murray, 1877. 352 p.
2. Годин В. Н. Распространение гинодиэзии в системе APG IV // Ботанический журнал. 2019. Т. 104, № 5. С. 345–356. doi: 10.1134/S0006813619050053
3. Годин В. Н. Распространение гинодиэзии у цветковых растений // Ботанический журнал. 2020. Т. 105, № 3. С. 236–252. doi: 10.31857/S0006813620030023

4. Демьянова Е. И. Распространение гинодиэзии у цветковых растений // Ботанический журнал. 1985. Т. 70, № 10. С. 1289–1301.
5. Годин В. Н., Демьянова Е. И. О распространении гинодиэзии у цветковых растений // Ботанический журнал. 2013. Т. 98, № 12. С. 1465–1487.
6. Демьянова Е. И. Половой полиморфизм цветковых растений : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.05. М., 1990. 36 с.
7. Демьянова Е. И. К изучению гинодиэзии у тимьянов (*Thymus* L., Lamiaceae) // Вестник Пермского университета. Сер.: Биология. 2016. № 3. С. 193–204.
8. Годин В. Н., Куранова Н. Г., Сергеева Е. О. Особенности цветения *Prunella vulgaris* (Lamiaceae) в связи с гинодиэзией // Растительный мир Азиатской России. 2020. № 1. С. 32–39. doi:10.21782/RMAR1995-2449-2020-1(32-39)
9. Годин В. Н., Куранова Н. Г., Ахметгариева Л. Р. Особенности цветения гинодиэичного вида *Ajuga reptans* (Lamiaceae) в Московской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. № 3. С. 14–26. doi: 10.21685/2307-9150-2020-3-2
10. Knuth P. Handbuch der Blütenbiologie. Leipzig, 1898. Bd. II. T. I. 697 s.
11. Антонова Л. А. Сезонная и суточная ритмика цветения растений широколиственного леса // Экология. 1972. № 4. С. 73–79.
12. Антонова Л. А. Антэкология ранневесенних эфемероидов широколиственного леса // Вестник Ленинградского государственного университета. Сер.: Биология. 1973. Вып. 3. С. 28–35.
13. Антонова Л. А. К экологии опыления некоторых весенних растений лесостепного Зауралья // Биологические науки. 1982. № 8. С. 68–72.
14. Киндерова Н. Н. Биология и экология цветения и опыления некоторых представителей семейства Ranunculaceae : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.05. М., 1990. 36 с.
15. Верещагина В. А., Усков Н. Н. Некоторые данные по биологии размножения ветрениц лютиковой и уральской // Вестник Пермского университета. Сер.: Биология. 2000. № 2. С. 32–39.
16. Цвелев Н. Н. Род Лютик – *Ranunculus* L. // Флора Восточной Европы. СПб. : Мир и семья, 2001. Т. 10. С. 100–158.
17. Whitelegge T. Gyno-Dicœcious Plants // Nature. 1878. Vol. 18, № 466. P. 588. doi: 10.1038/018588a0
18. Marsden-Jones E. M., Turrill W. B. Variations in sex expression in *Ranunculus* // Nature. 1929. Vol. 123. P. 798–799. doi: 10.1038/123798b0
19. Marsden-Jones E. M., Turrill W. B. Studies in *Ranunculus*. III. Further experiments concerning sex in *Ranunculus acris* // Journal of Genetics. 1935. Vol. 31, № 3. P. 363–378. doi: 10.1007/BF02982407
20. Годин В. Н. Половой полиморфизм *Ranunculus acris* (Ranunculaceae) в Московской области // Ботанический журнал. 2023. Т. 108, № 1. С. 13–22. doi: 10.31857/S0006813622120031
21. Cruden R.W. Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants // Evolution. 1977. Vol. 31, № 1. P. 32–46. doi: 10.1111/j.1558-5646.1977.tb00979.x
22. Пономарев А. Н. Изучение цветения и опыления растений // Полевая геоботаника. М. ; Л. : Наука, 1960. Т. 2. С. 9–19.
23. Sokal R. R., Rohlf F. J. Biometry: the principles and practice of statistics in biological research. New York : W. H. Freeman and Co, 2012. 937 p.
24. Harper J. L. Biological flora of the British Isles: *Ranunculus acris* L. (*Ranunculus acer* auct. plur.) // Journal of Ecology. 1957. Vol. 45, № 1. P. 289–314. doi: 10.2307/2257092

25. Osterbye U. Self-incompatibility in *Ranunculus acris* L. 1. Genetic interpretation and evolutionary aspects // *Hereditas*. 1975. Vol. 80, № 1. P. 91–112. doi: 10.1111/j.1601-5223.1975.tb01504.x

References

1. Darwin Ch. *The Different Forms of Flowers on Plants on the Same Species*. London: J. Murray, 1877:352.
2. Godin V.N. Distribution of gynodioecy in the APG IV system. *Botanicheskiy zhurnal* = Botanical journal. 2019;104(5):345–356. (In Russ.). doi: 10.1134/S0006813619050053
3. Godin V.N. Distribution of gynodioecy in flowering plants. *Botanicheskiy zhurnal* = Botanical journal. 2020;105(3):236–252. (In Russ.). doi: 10.31857/S0006813620030023
4. Dem'yanova E.I. Distribution of gynodioecy in flowering plants. *Botanicheskiy zhurnal* = Botanical journal. 1985;70(10):1289–1301. (In Russ.)
5. Godin V.N., Dem'yanova E.I. On the distribution of gynodioecy in flowering plants. *Botanicheskiy zhurnal* = Botanical journal. 2013;98(12):1465–1487. (In Russ.)
6. Dem'yanova E.I. *Sexual polymorphism of flowering plants*. DSc abstract: 03.00.05. Moscow, 1990:36. (In Russ.)
7. Dem'yanova E.I. Studying the gynodioecy and thymes (*Thymus* L., Lamiaceae). *Vestnik Permskogo universiteta. Ser.: Biologiya* = Bulletin of Perm University. Series: Biology. 2016;(3):193–204. (In Russ.)
8. Godin V.N., Kuranova N.G., Sergeeva E.O. Peculiarities of flowering of *Prunella vulgaris* (Lamiaceae) in connection with gynodioecy. *Rastitel'nyy mir Aziatskoy Rossii* = Flora of Asian Russia. 2020;(1):32–39. (In Russ.). doi:10.21782/RMAR1995-2449-2020-1(32-39)
9. Godin V.N., Kuranova N.G., Akhmetgarieva L.R. The features of flowering of a gynodioecious species of *Ajuga reptans* (Lamiaceae) in Moscow region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2020;(3):14–26. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2020-3-2
10. Knuth P. *Handbuch der Blütenbiologie*. Leipzig, 1898;Bd.II,T.I:697.
11. Antonova L.A. Seasonal and daily rhythm of flowering plants in a broad-leaved forest. *Ekologiya* = Ecology. 1972;(4):73–79. (In Russ.)
12. Antonova L.A. Antecology of early spring ephemeroids of a broad-leaved forest. *Vestnik Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Biologiya* = Bulletin of Leningrad State University. Series: Biology. 1973;(3):28–35. (In Russ.)
13. Antonova L.A. On the ecology of pollination of some spring plants of the forest-steppe Trans-Urals. *Biologicheskie nauki* = Biological sciences. 1982;(8):68–72. (In Russ.)
14. Kinderova H.H. *Biology and ecology of flowering and pollination of some members of the Ranunculaceae family*. PhD abstract: 03.00.05. Moscow, 1990:36. (In Russ.)
15. Vereshchagina V.A., Uskov N.N. Some data on the biology of reproduction of buttercup and Ural anemones. *Vestnik Permskogo universiteta. Ser.: Biologiya* = Bulletin of Perm University. Series: Biology. 2000;(2):32–39. (In Russ.)
16. Tsvelev N.N. *Ranunculus* L. *Flora Vostochnoy Evropy* = Flora of Eastern Europe. Saint Petersburg: Mir i sem'ya, 2001;10:100–158. (In Russ.)
17. Whitelegge T. Gyno-Dioecious Plants. *Nature*. 1878;18(466):588. doi: 10.1038/018588a0
18. Marsden-Jones E.M., Turrill W.B. Variations in sex expression in *Ranunculus*. *Nature*. 1929;123:798–799. doi: 10.1038/123798b0
19. Marsden-Jones E.M., Turrill W.B. Studies in *Ranunculus*. III. Further experiments concerning sex in *Ranunculus acris*. *Journal of Genetics*. 1935;31(3):363–378. doi: 10.1007/BF02982407

20. Godin V.N. Sexual polymorphism of *Ranunculus acris* (Ranunculaceae) in Moscow region. *Botanicheskij zhurnal* = Botanical journal. 2023;108(1):13–22. (In Russ.). doi: 10.31857/S0006813622120031
21. Cruden R.W. Pollen-ovule ratios: a conservative indicator of breeding systems in flowering plants. *Evolution*. 1977;31(1):32–46. doi: 10.1111/j.1558-5646.1977.tb00979.x
22. Ponomarev A.N. Studying the flowering and pollination of plants. *Polevaya geobotanika* = Field geobotany. Moscow; Leningrad: Nauka, 1960;2:9–19. (In Russ.)
23. Sokal R.R., Rohlf F.J. *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*. New York: W.H. Freeman and Co, 2012:937.
24. Harper J.L. Biological flora of the British Isles: *Ranunculus acris* L. (*Ranunculus acer* auct. plur.). *Journal of Ecology*. 1957;45(1):289–314. doi: 10.2307/2257092
25. Osterbye U. Self-incompatibility in *Ranunculus acris* L. 1. Genetic interpretation and evolutionary aspects. *Hereditas*. 1975;80(1):91–112. doi: 10.1111/j.1601-5223.1975.tb01504.x

Информация об авторах / Information about the authors

Владимир Николаевич Годин

доктор биологических наук, доцент,
профессор кафедры ботаники,
Московский педагогический
государственный университет
(Россия, г. Москва, ул. Кибальчича, 6,
корп. 3)

E-mail: godinvn@yandex.ru

Vladimir N. Godin

Doctor of biological sciences,
associate professor, professor
of the sub-department of botany,
Moscow Pedagogical State University
(building 3, 6 Kibalchicha street,
Moscow, Russia)

Татьяна Валентиновна Архипова

кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры ботаники,
Московский педагогический
государственный университет
(Россия, г. Москва, ул. Кибальчича, 6,
корп. 3)

E-mail: tata50509@mail.ru

Tatiana V. Arkhipova

Candidate of agricultural sciences,
associate professor
of the sub-department of botany,
Moscow Pedagogical State University
(building 3, 6 Kibalchicha street,
Moscow, Russia)

Юлия Андреевна Поняева

студентка,
Московский педагогический
государственный университет
(Россия, г. Москва, ул. Кибальчича, 6,
корп. 3)

E-mail: jponyaeva@mail.ru

Yuliya A. Ponyaeva

Student,
Moscow Pedagogical State University
(building 3, 6 Kibalchicha street,
Moscow, Russia)

Виолетта Закировна Юсуfoва

кандидат биологических наук,
доцент кафедры ботаники,
Московский педагогический
государственный университет
(Россия, г. Москва, ул. Кибальчича, 6,
корп. 3)

E-mail: violett88@mail.ru

Violetta Z. Yusufova

Candidate of biological sciences,
associate professor
of the sub-department of botany,
Moscow Pedagogical State University
(building 3, 6 Kibalchicha street,
Moscow, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 28.11.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 11.01.2024

Принята к публикации / Accepted 01.02.2024

УДК 581.9

doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-2

Сравнительный анализ локальных флор Пензенской области

А. В. Иванова¹, Н. В. Костина², В. М. Васюков³

^{1,2,3}Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, Тольятти, Россия

¹nastia621@yandex.ru, ²na knva2009@yandex.ru, ³vvasjukov@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цель.* Флористическое разнообразие территории наиболее подробно может быть выявлено с помощью анализа локальных флор. Этот компонент биоразнообразия является базовым для его изучения и важным для решения научных и практических задач. *Материалы и методы.* В пределах территории Пензенской области рассматриваются три флоры физико-географических районов и семь локальных флор. Каждая локальная флора описана с территории 400 км² и имеет в своем составе 589–804 вида. Исходные списки видов для всех флор были составлены на местности в течение ряда полевых сезонов за 2010–2022 гг., использованы и опубликованные данные. *Результаты.* Для флоры территории Пензенской области характерен Rosaceae-тип флоры, он же сохраняется у каждого из районов, причем как у полной флоры, так и у аборигенной фракции. Наиболее сильно разница долей семейств Rosaceae и Fabaceae заметна у флоры Засурского района, который является наиболее лесным и расположен в северо-восточной части области. В спектрах семейств адвентивных фракций рассматриваемых флор среди ведущей четверки оказываются: Asteraceae, Brassicaceae, Poaceae и Fabaceae. Для рассматриваемых флор всех трех районов в составе бобовых род *Vicia* является самым многочисленным. Родовой спектр семейства Rosaceae в отношении ведущих родов имеет различия: в южных районах лидирует род *Potentilla*; в составе флоры Засурского района на первом месте по численности находится род *Alchemilla*. В аборигенных фракциях локальных флор третье место в спектрах семейств занимает Rosaceae, а в родовом спектре семейства Fabaceae доминирует род *Vicia*. В составе пяти локальных флор присутствует род *Alchemilla* и является одним из лидирующих в семействе Rosaceae. У двух локальных флор, расположенных в южной части, представители *Alchemilla* отсутствуют и в составе Rosaceae доминируют *Potentilla*. Локальные флоры различаются долями семейства Сурегасеae. *Выводы.* Рассмотренные флоры физико-географических районов, а также локальные флоры относятся к Rosaceae-типу. При этом в составе семейства Rosaceae могут доминировать *Potentilla* или *Alchemilla*.

Ключевые слова: локальная флора, таксономические спектры, ведущие семейства, ведущие роды, Пензенская область

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

Для цитирования: Иванова А. В., Костина Н. В., Васюков В. М. Сравнительный анализ локальных флор Пензенской области // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 1. С. 14–27. doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-2

Comparative analysis of the local flora of Penza region

A.V. Ivanova¹, N.V. Kostina², V.M. Vasjukov³

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

¹nastia621@yandex.ru, ²na knva2009@yandex.ru, ³vvasjukov@yandex.ru

Abstract. *Background.* The analysis of local floras reveals floristic diversity in most detail. This component of biodiversity is basic for its study and is important for solving scientific and practical problems. *Materials and methods.* In Penza region, three floras of the physiographic region and seven local floras are considered. Each local flora has been described from an area of 400 km² and includes 589–804 species. The initial lists of species for all floras were compiled during a number of field seasons for 2010–2022; literature data were also used. *Results.* The flora of Penza region is characterized by the Rosaceae type, which is also preserved in each of the districts, both in the complete flora and in the native fraction. The difference between the proportions of the Rosaceae and Fabaceae families is most noticeable in the flora of the Zasursky district, which is the most forested and is located in the north-eastern part of the region. In the spectra of families of adventitious fractions of the considered floras, the leading four are: Asteraceae, Brassicaceae, Poaceae, and Fabaceae. For the considered floras of all three regions, the genus *Vicia* is the most numerous in the composition of legumes. The generic spectrum of the Rosaceae family in relation to the leading genera has differences: in the southern regions, the genus *Potentilla* is in the lead. The genus *Alchemilla* holds the first place in the composition of the flora of the Zasursky region. In the aboriginal fractions of local floras, the third place in the spectra of families is occupied by Rosaceae, and the genus *Vicia* dominates in the generic spectrum of the family Fabaceae. Five local floras include the genus *Alchemilla*, which is one of the leaders in the Rosaceae family. Two local floras located in the southern part have no representatives of *Alchemilla* and *Potentilla* dominates in Rosaceae. The local floras differ in the proportions of the Cyperaceae family. *Conclusions.* The considered floras of the physiographic regions, as well as the local floras, belong to the Rosaceae type. At the same time, *Potentilla* or *Alchemilla* can dominate in the Rosaceae family.

Keywords: local flora, taxonomic spectra, leading families, leading genera, Penza region

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

For citation: Ivanova A.V., Kostina N.V., Vasjukov V.M. Comparative analysis of the local flora of Penza region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2024;(1):14–27. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-2

Введение

Объединенный список флоры административного подразделения или физико-географического района представляет региональный флористический уровень, который не может отразить все разнообразие реакции биоты на локальное действие экологических факторов. Локальная флора представляет собой своеобразную пробу флористической ситуации, которая способна охарактеризовать ее индивидуальные локальные особенности. В этом смысле совокупность локальных флор, распределенных по изучаемой территории, способна полнее представить ее γ-разнообразие. Изучение всех видов разнообразия имеет как научное значение, так и прикладное, связанное с решением природоохранных вопросов и задач устойчивого развития регионов.

Согласно схеме флористического районирования Земли [1], территория Пензенской области расположена в пределах Восточно-Европейской провинции Циркумбореальной области Бореального подцарства Голарктического царства. В схеме флористического районирования территории Российской Федерации Пензенская область входит в состав Восточно-Европейской провинции Евросибирской подобласти Циркумбореальной области Бореального подцарства Голарктического царства [2].

Ботанико-географическое районирование Пензенской области основано на особенностях флоры бассейнов рек, рассматриваемой как единый флористический комплекс, организующей основой которого является функционирование реки [3].

Цель исследования – рассмотреть флористическое разнообразие территории Пензенской области с помощью анализа локальных флор в рамках имеющегося физико-географического районирования.

Материалы и методы

Изученные локальные флоры расположены в северо-восточной, южной и юго-восточной частях Пензенской области на территории трех физико-географических районов лесостепной зоны: Засурский, Верхнесурский и Верхнехоперский [4]. Расположение локальных флор показано на рис. 1.

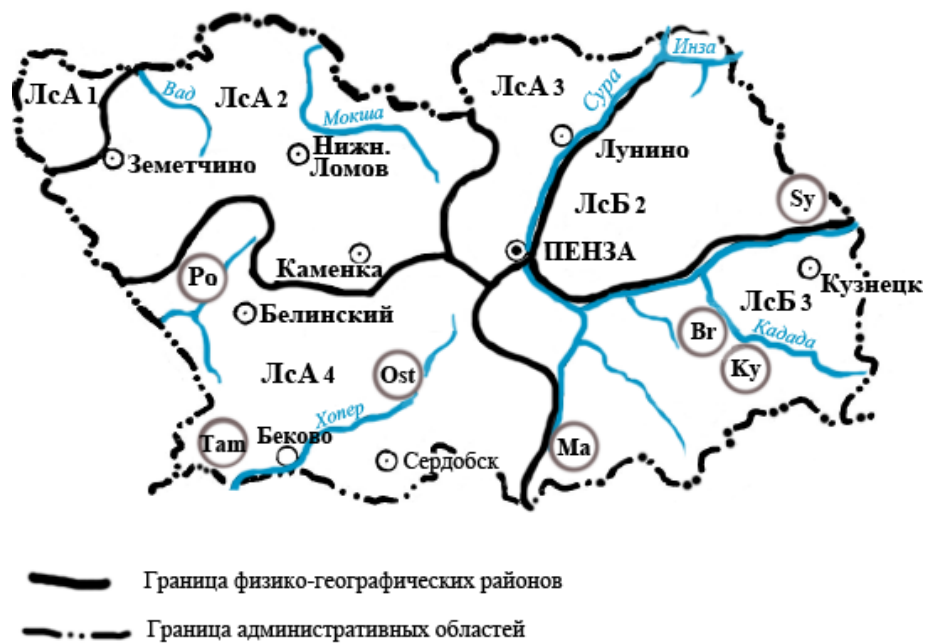


Рис. 1. Расположение исследованных локальных флор относительно физико-географических районов на территории Пензенской области [4]:
 ЛсА₁ – Вышанский; ЛсА₂ – Верхнемокшанский; ЛсА₃ – Присурский;
 ЛсА₄ – Верхнехоперский; ЛсБ₂ – Засурский; ЛсБ₃ – Присурский. Обозначения локальных флор: Ро – окрестности села Поим; Там – Тамалинская;
 Ost – «Островцовская лесостепь» (участок заповедника «Приволжская лесостепь»);
 Ма – Малосердобинская; Ку – «Кунчеровская лесостепь» (участок заповедника «Приволжская лесостепь»); Вг – «Борок» (участок заповедника «Приволжская лесостепь»); Су – «Верховья Суры» (участок заповедника «Приволжская лесостепь»)

Засурский и Верхнесурский районы являются частью Приволжской возвышенности. Засурье представляет центральную ее часть. В рельефе отмечается ярко выраженное радиальное расчленение: от центра массива во все стороны направляются реки, впадающие в Суру и Инзу. Годовое количество осадков составляет здесь 460–520 мм, гидротермический коэффициент – 1,1. Среди почв преобладают серые лесные. Этот район является наиболее лесным в пределах рассматриваемой территории: леса занимают более половины его площади. Произрастают широколиственные и хвойные леса. Широколиственные леса распространены преимущественно на водоразделах, в их составе господствует дуб, участвуют клен остролистный, липа, вяз горный. Подлесок хорошо развит и включает лещину, бересклет бородавчатый и др. Хвойные и смешанные леса встречаются на борových песках вдоль широтного течения Суры. В пределах района также встречаются осиновые, березовые леса, как в примеси к широколиственным и сосновым, так и в виде самостоятельных участков.

Верхнехоперский район принадлежит Окско-Донской провинции. Количество осадков за год здесь составляет 450–500 мм. Гидротермический коэффициент – около 1,0. Здесь распространены черноземные почвы. Тучные черноземы занимают запад и юго-запад района. Они залегают на лессовидных суглинках, богатых карбонатами. Мощность гумусового горизонта – 60–100 см. Слабовыщелоченные черноземы располагаются на водораздельной территории района. На севере района встречаются темно-серые, серые и светло-серые лесные почвы. Леса здесь встречаются редко и приурочены преимущественно к долинам рек Хопра, Вороны, Чембара, Сердобы. В составе лесов преобладает дуб с участием липы, вяза, ветлы, осины. В отдельных местах имеются сосновые леса. В междуречьях господствует ландшафт типичной черноземной разнотравно-злаковой степи.

Расположение рассмотренных районов в рамках физико-географического районирования Нижнего Поволжья [4] несколько отличается от предложенного позже ботанико-географического районирования Пензенской области [5]: количеством выделенных районов и характером проведения отдельных участков границ. Однако имеет много общего: южная часть области представлена двумя районами, Засурский район выделен одинаково в обоих случаях (рис. 1, 2).

Использованные данные и обработка. В работе использовано семь локальных флор, описанных на территории Пензенской области. Каждая из них изучалась в течение ряда лет в нескольких географических пунктах, находящихся в пределах территории не более 400 км², что составляет минимальную площадь выявления флоры для лесостепной и степной зон [6]. Более подробно географические пункты описаний локальных флор показаны в работе [7] и впоследствии дополнены данными, полученными в полевой сезон 2022 г.

Флоры трех физико-географических районов области (рис. 1) были охарактеризованы по объединенным спискам, для которых использовано 76 исходных списков отдельных географических пунктов. Исходные списки видов были сформированы в процессе экспедиционных исследований в течение нескольких полевых сезонов с последующим дополнением их с помощью собранного и определенного гербарного материала. Большая часть этих списков опубликована [8].

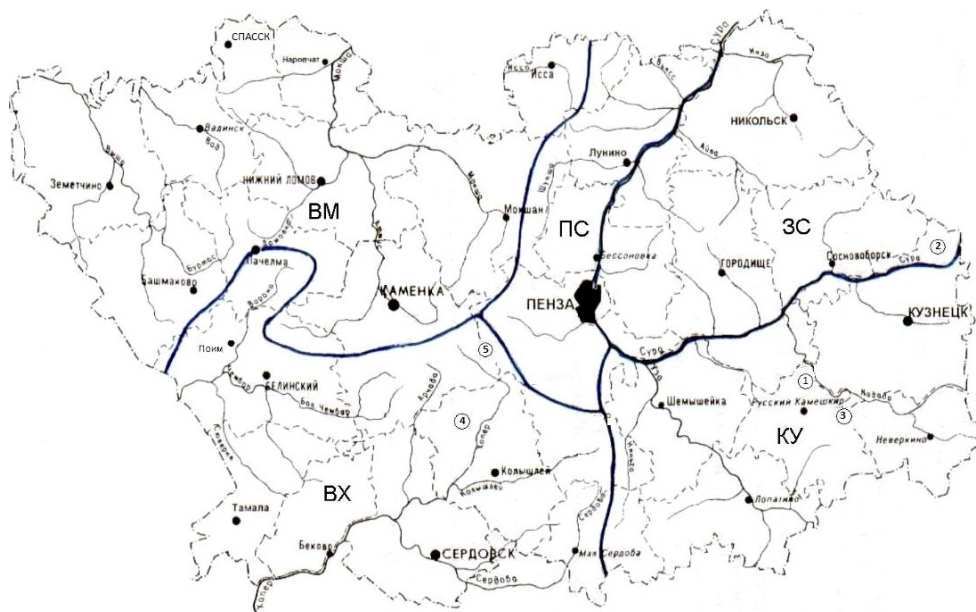


Рис. 2. Ботанико-географические районы Пензенской области [5]:
 VM – Выше-Мокшанский; VX – Вороно-Хоперский; ЗС – Засурский;
 КУ – Кададо-Узинский; ПС – Присурский

Все исходные списки отдельных географических пунктов содержатся в электронной базе данных FD SUR [9]. С помощью содержащихся в ней алгоритмов осуществлялось построение необходимого количества таксономических спектров, а также объединение исходных списков для формирования списков флор физико-географических районов.

Результаты и обсуждение

Сравнительный анализ флор физико-географических районов. Во флоре всей Пензенской области зарегистрировано 1709 видов высших сосудистых растений [5], лидирующими семействами являются Asteraceae, Poaceae, Rosaceae и Fabaceae. В десятке ведущих отмечены также Caryophyllaceae, Lamiaceae, Scrophulariaceae, Apiaceae, Sурегасеае и Brassicaceae. Таким образом, данная региональная флора по своему таксономическому составу демонстрирует Rosaceae-тип. В то же время указывалось на значительные отличия видового состава северной и южной части области, что сказывается на различиях в долях ведущих семейств и составе их спектров [10].

Рассматривая спектры семейств флор обозначенных физико-географических районов, можно выявить их общие черты и различия. Rosaceae-тип флоры, характерный для территории в целом, сохраняется у каждого из районов, причем как у полной флоры, так и у аборигенной фракции (табл. 1). После исключения из рассмотрения адвентивных видов разница долей семейств Rosaceae и Fabaceae еще более увеличивается. Это свидетельствует о более существенной доле семейства Fabaceae в составе адвентивной фракции. Наиболее заметна разница долей у флоры Засурского района, который является наиболее лесным и расположен в северной части. Однако и у районов,

охватывающих своей территорией южную часть области, также розоцветные более многочисленны по сравнению с бобовыми.

Таблица 1

Головные части спектров семейств флор физико-географических районов
(в скобках – доля семейства во флоре)

| Полная флора | | | Аборигенная флора | | | Адвентивная флора | | |
|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| ЛсБ ₃ | ЛсБ ₂ | ЛсА ₄ | ЛсБ ₃ | ЛсБ ₂ | ЛсА ₄ | ЛсБ ₃ | ЛсБ ₂ | ЛсА ₄ |
| Число видов | | | | | | | | |
| 979 | 830 | 1034 | 832 | 732 | 839 | 147 | 98 | 195 |
| Ast (14,5) | Ast (13,3) | Ast (14,6) | Ast (15,0) | Ast (13,0) | Ast (15,3) | Bras (15,0) | Bras (15,3) | Bras (12,8) |
| Poa (9,9) | Poa (8,9) | Poa (10,3) | Poa (9,9) | Poa (9,3) | Poa (10,0) | Ast (11,6) | Ast (15,3) | Ast (11,8) |
| Ros (6,4) | Ros (6,9) | Ros (7,0) | Ros (7,2) | Ros (7,7) | Ros (7,7) | Poa (10,2) | Chen (8,2) | Poa (10,3) |
| Fab (5,3) | Fab (5,3) | Fab (5,7) | Fab (4,8) | Car (5,1) | Fab (5,4) | Fab (8,2) | Fab (7,1) | Fab (7,2) |
| Car (4,4) | Car (4,6) | Bras (4,8) | Cyp (4,8) | Cyp (5,1) | Scr (4,4) | Chen (8,2) | Lam (7,1) | Chen (6,7) |
| Bras (4,4) | Cyp (4,5) | Lam (4,0) | Car (4,8) | Fab (5,1) | Cyp (4,3) | Lam (6,1) | Poa (6,1) | Lam (5,1) |
| Lam (4,2) | Scr (4,3) | Car (3,9) | Scr (4,6) | Scr (4,6) | Car (4,2) | Pol (4,1) | Viol (4,1) | Ros (3,6) |
| Cyp (4,1) | Api (4,1) | Scr (3,7) | Api (4,0) | Api (4,4) | Lam (3,7) | Bor (4,1) | Ona (4,1) | Bor (3,1) |
| Scr (4,0) | Lam (3,9) | Cyp (3,5) | Lam (3,8) | Lam (3,4) | Api (3,7) | Ona (2,7) | Bor (3,1) | Car (2,6) |
| Api (3,5) | Bras (3,9) | Api (3,2) | Pol (2,5) Ran, Bras | Ran (2,9) | Ran (3,1) | Ros (2,0) Car | Pol (3,1) | Pol (2,6) |

Примечание. Обозначения физико-географических районов соответствуют рис. 1. Жирным шрифтом выделены семейства, определяющие тип флоры на территории Среднего Поволжья (Ast – Asteraceae, Poa – Poaceae, **Ros** – Rosaceae, **Fab** – Fabaceae, Bras – Brassicaceae, Car – Caryophyllaceae, Cyp – Cyperaceae, Lam – Lamiaceae, Scr – Scrophulariaceae, Api – Apiaceae, Pol – Polygonaceae, Ran – Ranunculaceae, Chen – Chenopodiaceae, Bor – Boraginaceae, Ona – Onagraceae, Viol – Violaceae).

Перечень остальных семейств первой десятки у всех трех районов совпадает, различия наблюдаются лишь в их последовательности. Это может объясняться как различием природных условий, так и неполнотой выборки флор: число видов в рассматриваемых выборках варьирует (табл. 2).

Анализ спектров семейств адвентивных фракций рассматриваемых флор показывает следующее. Среди ведущей четверки семейств – Asteraceae, Brassicaceae, Poaceae и Fabaceae. Семейство Chenopodiaceae, стабильно входившее в первую четверку на территории Самаро-Ульяновского Поволжья [11], опускается немного ниже по спектру, что очевидно характеризует территорию Пензенской области как менее аридную. Эта тенденция заметно лучше у спектров флор районов, в составе которых зафиксировано большее число видов (Присурский и Верхнехоперский). Все это характеризует также семейство Fabaceae как достаточно активного «поставщика» адвентивных видов.

Наиболее детально рассмотреть причину такой расстановки семейств, определяющих тип флоры, помогает анализ их родовых спектров. В состав Rosaceae и Fabaceae входят отдельные роды, численность которых существенным образом влияет на долю соответствующего семейства во флоре. Среди представителей бобовых на территории Самаро-Ульяновского Поволжья наиболее многочисленными родами являются Astragalus и Vicia, в связи с чем были отмечены флоры соответствующего типа [12]. Численность семейства Rosaceae определяет, как общее число родов, так и ведущие – Potentilla и Alchemilla. Распределение долей основных по численности родов у семейств Fabaceae и Rosaceae показаны на рис. 3, 4.

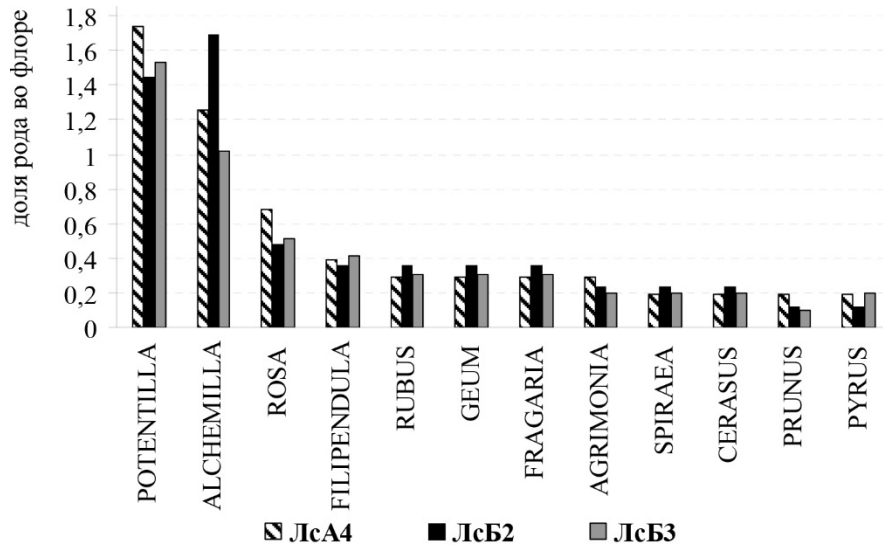


Рис. 3. Распределение долей ведущих родов семейства Fabaceae для флор рассматриваемых районов. Обозначение районов соответствует таковому на рис. 1

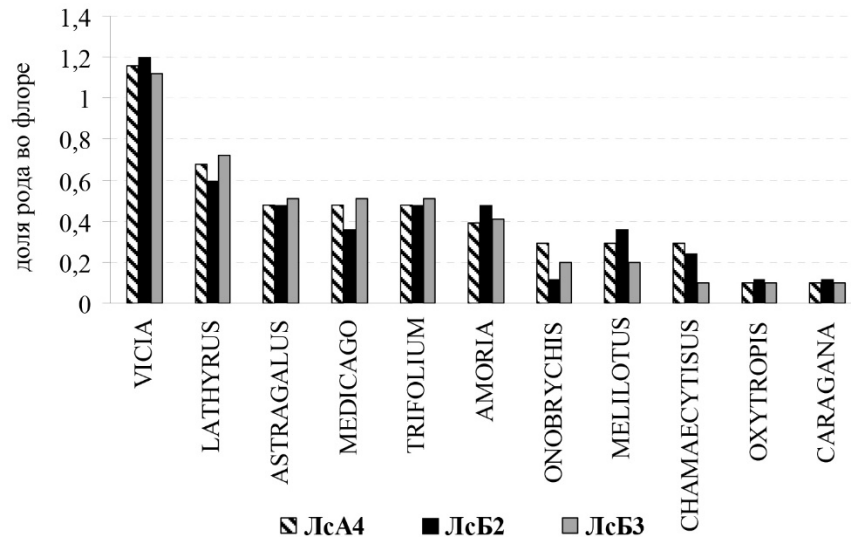


Рис. 4. Распределение долей ведущих родов семейства Rosaceae для флор рассматриваемых районов. Обозначение районов соответствует рис. 1

Для рассматриваемых флор всех трех районов в составе семейства Fabaceae род *Vicia* является самым многочисленным, он содержит 10–12 видов. Примерно такими показателями характеризовались флоры физико-географических районов Самаро-Ульяновского Поволжья, описанные в Предволжье [12]. Род *Astragalus* находится лишь на третьем месте. В состав всех районов входят три вида, имеющих широкую экологическую амплитуду, не приуроченных к выходам различных материнских пород – *Astragalus danicus*, *A. cicer*, *A. glycyphylus*. На территории Присурского района встречаются также *A. onobrychis* и *A. varius*. Таким образом, на территории Пензенской области семейство бобовых характеризуется «горошковым» спектром.

Родовой спектр семейства Rosaceae в отношении ведущих родов имеет различия. Он более схож у южных районов: Верхнехоперского и Присурского. Во флоре этих территорий в составе розоцветных лидирует род *Potentilla*, здесь показано 15–18 видов. Помимо широко распространенных видов (*P. anserina*, *P. argentea*, *P. impolita*, *P. intermedia*), встречаются виды, приуроченные к степным сообществам на юге области (*P. canescens*, *P. obscura*, *P. patula*). Это значительно больше, чем в составе флоры Засурского района, у которого на первом месте по численности находится род *Alchemilla*. Таким образом, степной характер флоры южных районов выражается в составе семейства Rosaceae. По численности здесь преобладает род *Potentilla*, а не *Alchemilla*.

Возможное число видов, зарегистрированное на площади, соизмеримой с таковой у каждого из рассматриваемого района (7 тыс км²), должно составлять более 1000. Физико-географические районы, выделенные на территории Самаро-Ульяновского Поволжья, флоры которых анализировались нами в ряде работ [12, 13], имеют площади 2,3–9,7 тыс. км² [14]. При этом в составе флор каждого из них отмечено 1000–1300 видов. Основные же черты флоры могут проявляться и при меньшем числе видов в выборке. Так, тип флоры в лесостепной зоне достоверно определяется при 700 видах в выборке. Однако, например, было показано, что семейство Brassicaceae занимает свое положение в спектре лишь в выборке 1000 видов и более [13]. Рассматривая три района Пензенской области, можно сказать, что это утверждение верно и применительно к данной территории. Пятое место в спектре Brassicaceae занимает во флоре Верхнехоперского района, а у остальных оно еще недостаточно полно представлено. Очевидно, при дальнейшем увеличении числа видов это семейство окажется на пятом месте в составе полной флоры. В составе же аборигенной фракции оно не входит в десятку ведущих.

Сравнительный анализ локальных флор. Рассматриваемые локальные флоры существенно различаются по числу видов, однако перечень ведущих семейств почти неизменен (табл. 2). Кроме десяти ведущих, перечисленных выше для флор районов, перечень дополняется Polygonaceae и Ranunculaceae. Polygonaceae проникает в десятку ведущих у самых южных из рассматриваемых флор, что, возможно, происходит по причине недостаточной исследованности территории.

Анализируя головные части спектров локальных флор, можно отметить, что у многих из них доли семейств Rosaceae и Fabaceae близки. Больше всего локальных флор рассмотрено на территориях, принадлежащих южным районам, однако и внутри каждого района наблюдаются существенные локальные различия. Это отражает неоднородность природных условий, определяющую

различия флористического состава. У двух флор (Су и Вр) доля семейства Cyperaceae заметно выше.

Таблица 2

Головные части спектров семейств локальных флор (в скобках – число видов)

| Верхнехоперский (ЛсА ₄) | | | ЛсБ ₂ | Присурский (ЛсБ ₃) | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| Po (804) | Ost (589) | Tam (595) | Sy (688) | Ky (694) | Ma (615) | Br (621) |
| Ast (11,8) | Ast (14,6) | Ast (17,5) | Ast (12,1) | Ast (13,4) | Ast (14,8) | Ast (12,7) |
| Poa (9,8) | Poa (10,1) | Poa (11,3) | Poa (7,7) | Poa (9,4) | Poa (8,9) | Poa (9,8) |
| Ros (7,6) | Ros (5,8) | Fab (6,4) | Ros (5,7) | Fab (5,9) | Fab (7,2) | Ros (6,0) |
| Fab (6,0) | Fab (5,8) | Ros (6,1) | Сyp (5,3) | Ros (5,8) | Ros (6,8) | Сyp (5,2) |
| Bras (5,1) | Bras (5,0) | Lam (4,5) | Fab (5,1) | Car (5,0) | Scr (4,2) | Fab (4,8) |
| Car (4,5) | Lam (4,8) | Car (4,2) | Car (4,8) | Lam (4,8) | Сyp (3,9) | Bras (4,7) |
| Lam (4,2) | Сyp (4,3) | Bras (3,9) | Api (4,2) | Bras (4,8) | Lam (3,7) | Lam (4,4) |
| Сyp (3,7) | Car (4,3) | Api (3,4) | Scr (4,2) | Scr (4,3) | Car (3,7) | Car (4,2) |
| Scr (3,6) | Scr (4,1) | Scr (3,2) | Bras (3,8) | Сyp (3,9) | Pol (3,6) | Api (3,9) |
| Api (3,5) | Ran (3,6) | Pol (2,8) | Lam (3,2) | Api (3,6) | Api (3,4) | Scr (3,2) |

П р и м е ч а н и е. Ast – Asteraceae, Poa – Poaceae, Bras – Brassicaceae, Car – Caryophyllaceae, Сyp – Cyperaceae, Lam – Lamiaceae, Scr – Scrophulariaceae, Api – Apiaceae, Pol – Polygonaceae, Ran – Ranunculaceae, Chen – Chenopodiaceae, Bor – Boraginaceae, **Ros – Rosaceae, Fab – Fabaceae** (выделены как семейства, определяющие на изучаемой территории тип флоры). В скобках – доля семейства во флоре.

При исключении из списка адвентивной фракции в спектрах семейств однозначно устанавливается Rosaceae-тип флоры (табл. 3).

Таблица 3

Головные части спектров семейств аборигенной фракции локальных флор (в скобках – число видов)

| Верхнехоперский (ЛсА ₄) | | | ЛсБ ₂ | Присурский (ЛсБ ₃) | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------|------------------|--------------------------------|------------------|------------------|
| Po (632) | Ost (506) | Tam (496) | Sy (616) | Ky (598) | Ma (515) | Br (535) |
| Ast (11,7) | Ast (15,2) | Ast (18,4) | Ast (11,8) | Ast (13,9) | Ast (14,9) | Ast (12,2) |
| Poa (9,3) | Poa (9,9) | Poa (11,1) | Poa (8,1) | Poa (9,2) | Poa (8,9) | Poa (9,7) |
| Ros (8,5) | Ros (6,7) | Ros (6,9) | Ros (6,3) | Ros (6,7) | Ros (7,8) | Ros (6,7) |
| Fab (5,7) | Fab (6,3) | Fab (6,5) | Сyp (5,8) | Car (5,7) | Fab (6,2) | Сyp (6,0) |
| Car (4,5) | Сyp (4,9) | Car (4,8) | Car (5,2) | Fab (5,7) | Scr (5,1) | Fab (4,9) |
| Сyp (3,7) | Scr (4,7) | Lam (4,4) | Fab (4,9) | Scr (5,0) | Сyp (4,7) | Car (4,7) |
| Scr (3,6) | Lam (4,6) | Api (3,8) | Scr (4,6) | Сyp (4,5) | Api (3,9) | Api (4,5) |
| Api (3,5) | Car (4,2) | Scr (3,8) | Api (4,6) | Lam (4,4) | Car (3,9) | Lam (3,9) |
| Lam (4,2) | Ran (4,0) | Сyp (3,0) | Lam (3,1) | Api (4,0) | Pol (3,3) | Scr (3,7) |
| Bras (3,2) | Api (3,4) | Pol (2,6) | Ran (2,8) | Ran (3,2) | Lam (3,3) | Bras (2,8) |

П р и м е ч а н и е. Аналогично табл. 2. В скобках – доля семейства во флоре.

Различия наблюдаются лишь в долях семейств. При этом доли Rosaceae и Fabaceae у некоторых флор оказываются близки. Это флоры, в составе которых степная часть наиболее выражена, что видно и из названия: Кунчеровская лесостепь (Ку), Островцовская лесостепь (Ost), а также Тамалинская (Tam),

расположенная в юго-западной части области. Между тем у Малосердобинской локальной флоры, также находящейся в южной части, различия долей Rosaceae и Fabaceae более существенны. Это свидетельствует о том, что в ее составе присутствует и разнообразие лесных сообществ. У двух флор (Sy и Br) семейство Сурегасеae поднимается на четвертое место, расположено выше Fabaceae. Это говорит о наличии на территории соответствующих экологических условий, способствующих развитию луговых, болотных растительных сообществ, в составе которых сохраняется разнообразие осок, а также других мезофитных и гигрофитных видов. Таким образом, данные локальные флоры сформированы на менее аридных территориях.

Некоторые особенности спектров аборигенной фракции являются общими у флор районов и локальных флор. К ним относятся: снижение доли семейства Brassicaceae и, соответственно, исключение его из десятки ведущих почти во всех флорах, появление в десятке ведущих семейства Ranunculaceae, кроме того, семейства Caryophyllaceae и Lamiaceae чаще всего в спектре аборигенной фракции меняются местами, и доля Caryophyllaceae оказывается выше.

В составе семейства Fabaceae по численности лидирует род *Vicia*. Это оказывается справедливым как для флор физико-географических районов, так и для всех рассмотренных локальных флор Пензенской области. В отношении состава семейства Rosaceae для локальных флор наблюдается следующее (рис. 5). Кроме рода *Potentilla*, в составе лидирующих оказывается род *Alchemilla*. Манжетки во всех флорах по численности не превосходят лапчатки и присутствуют в составе почти всех локальных флор за исключением двух юго-западных: Островцовская лесостепь (Ost) и Тамалинская (Tam).

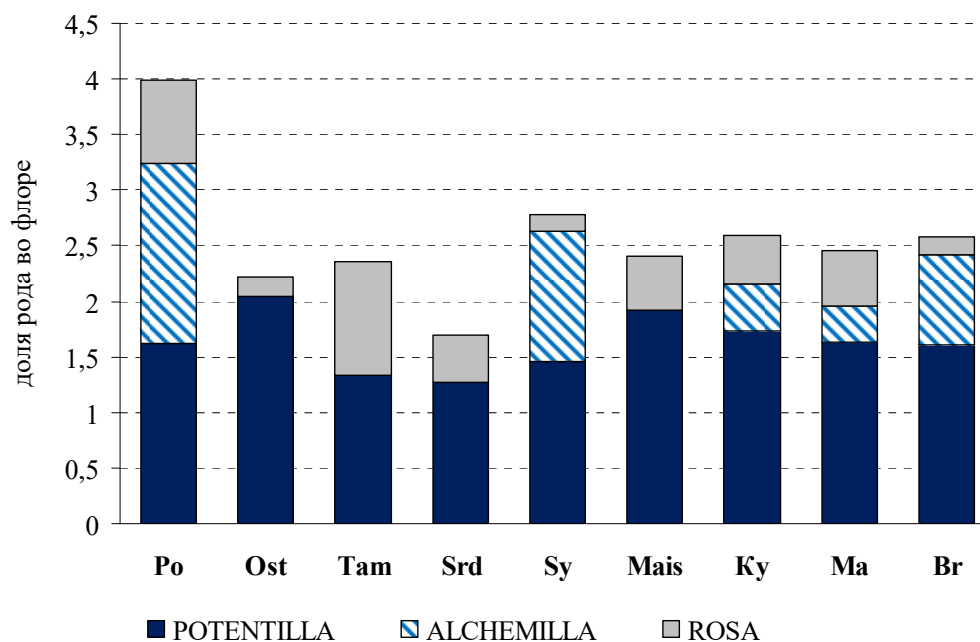


Рис. 5. Распределение долей некоторых ведущих родов семейства Rosaceae для рассматриваемых локальных флор (обозначения локальных флор соответствуют рис. 1)

Присутствие представителей рода *Alchemilla* в большинстве рассмотренных локальных флор, в том числе и расположенных в южной части и имеющих в своем составе достаточно степных сообществ, говорит все же о наличии локальных условий, способствующих формированию и луговых сообществ. Отмечается, что для манжеток именно луга являются главнейшими местообитаниями как по разнообразию сообществ, так и по частоте встречаемости в них. Лесные сообщества оказываются второстепенными по освоенности, но и на опушках манжетки предпочитают луговые ценозы [15]. На юге Пензенской области лесные массивы встречаются также довольно часто.

Следует отметить еще один род семейства *Rosaceae*, влияющий на его численность в отдельных случаях весьма существенно. Согласно нашим данным, род *Rosa* является более многочисленным на юге области.

Заключение

Рассмотренные флоры физико-географических районов, а также локальные флоры, выявляют флористическое разнообразие Пензенской области. Можно сказать, что все они относятся к *Rosaceae*-типу. Для двух южных физико-географических районов характерна флористическая неоднородность, которая выражается в различиях локальных флор, расположенных на их территориях.

Все рассмотренные флоры различаются по составу семейства *Rosaceae*. В одной группе по численности доминирует род *Potentilla*, у других – *Alchemilla*. Две локальные флоры, территории которых включают преимущественно степные сообщества, не имеют в своем составе представителей рода *Alchemilla*. Флоры различаются долями семейства *Syringaceae*. У двух локальных флор – в Засурском и Присурском районах – осок заметно больше. Локальные флоры наиболее полно раскрывают флористическое разнообразие территории региона.

Список литературы

1. Тахтаджян А. Л. Флористические области Земли. Л. : Наука, 1978. 247 с.
2. Камелин Р. В. Растительный мир. Флора // Большая Российская энциклопедия. М., 2004. С. 84–88.
3. Силаева Т. Б. Материалы к флоре бассейна р. Суры // Флористические исследования в Центральной России на рубеже веков : материалы науч. совещ. (г. Рязань, 29–31 января 2001 г.). М., 2001. С. 143–145.
4. Физико-географические районы Нижнего Поволжья / под ред. П. С. Кузнецова. Саратов : Изд-во Саратовского ун-та, 1961. 156 с.
5. Васюков В. М., Саксонов С. В. Конспект флоры Пензенской области // Флора Волжского бассейна. Т. IV / науч. ред. проф. С. В. Саксонов. Тольятти : Анна, 2020. 211 с.
6. Камелин Р. В. География растений : учеб. пособие. СПб. : Изд-во ВВМ, 2018. 306 с.
7. 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.
8. Васюков В. М., Новикова Л. А., Горбушина Т. В. [и др.]. Материалы к флоре юго-запада Пензенской области: Бековский и Тамалинский районы // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2019. Т. 13, № 3. С. 402–413.

9. Аристова М. А., Розенберг Г. С., Кудинова Г. Э. [и др.]. База данных «Флористические описания локальных участков Самарской и Ульяновской областей» (FD SUR) : св-во о рег. базы данных RUS 2018621983, 12.11.2018.
10. Иванова А. В., Васюков В. М., Костина Н. В. [и др.]. Таксономические особенности флор лесостепной зоны Среднего Поволжья // Экосистемы. 2020. № 21 (51). С. 18–30.
11. Иванова А. В., Костина Н. В., Лысенко Т. М. Основные черты семейственного спектра адвентивной фракции флоры Самаро-Ульяновского Поволжья // Самарский научный вестник. 2018. Т 7, № 4 (25). С. 35–40.
12. Иванова А. В., Костина Н. В., Васюков В. М. Таксономическое разнообразие семейства Fabaceae на территории Самаро-Ульяновского Поволжья // Экосистемы. 2020. № 23 (53). С. 32–47.
13. 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.
14. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / под ред. А. В. Ступишина. Казань : Изд-во Казанского ун-та, 1964. 173 с.
15. Чкалов А. В. Видовой состав и эколого-ценотическая характеристика манжеток (*Alchemilla l.*) в локальных флорах Нижегородского Поволжья : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Нижний Новгород, 2009. 20 с.

References

1. Takhtadzhyan A.L. *Floristicheskie oblasti Zemli* = Floristic regions of the Earth. Leningrad: Nauka, 1978:247. (In Russ.)
2. Kamelin R.V. Plant world. Flora. *Bol'shaya Rossiyskaya entsiklopediya* = Great Russian Encyclopedia. Moscow, 2004:84–88. (In Russ.)
3. Silaeva T.B. Materials for the flora of the river Sura basin. *Floristicheskie issledovaniya v Tsentral'noy Rossii na rubezhe vekov: materialy nauch. soveshch. (g. Ryazan', 29–31 yanvarya 2001 g.)* = Floristic research in Central Russia at the turn of the century: proceedings of scientific conference (Ryazan, January 29-31,2001). Moscow, 2001: 143–145. (In Russ.)
4. Kuznetsov P.S. (ed.). *Fiziko-geograficheskie rayony Nizhnego Povolzh'ya* = Physiographic regions of the Lower Volga region. Saratov: Izd-vo Saratovskogo un-ta, 1961:156. (In Russ.)
5. Vasyukov V.M., Saksonov S.V. Abstract of the flora of Penza region. *Flora Volzhskogo basseyna. T. IV* = Flora of the Volga basin. Volume 4. Ed. by S.V. Saksonov. Tol'yatti: Anna, 2020:211. (In Russ.)
6. Kamelin R.V. *Geografiya rasteniy: ucheb. posobie* = Geography of plants: textbook. Saint Petersburg: Izd-vo VVM, 2018:306. (In Russ.)
7. Ivanova A.V., Aristova M.A., Kostina N.V. et al. Flora structure of the central part of the Volga basin according to taxonomic indicators. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii* = Samarskaya Luka: issues of regional and global ecology. 2022;31(2):40–57. (In Russ.)
8. Vasyukov V.M., Novikova L.A., Gorbushina T.V. et al. Flora materials of the southwest of the Penza region: Bekovo and Tamala districts. *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy* = Phytodiversity of Eastern Europe. 2019;13(3):402–413. (In Russ.)
9. Aristova M.A., Rozenberg G.S., Kudinova G.E. et al. *Baza dannykh «Floristicheskie opisaniya lokal'nykh uchastkov Samarskoy i Ul'yanovskoy oblastey» (FD SUR): sv-vo o reg. bazy dannykh RUS 2018621983, 12.11.2018.* = Database “Floristic descriptions of local areas of Samara and Ulyanovsk regions”: certificate on the regional database RUS 2018621983, November 12, 2018. (In Russ.)

10. Ivanova A.V., Vasyukov V.M., Kostina N.V. et al. Taxonomic features of floras of the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Ekosistemy = Ecosystems*. 2020;(21): 18–30. (In Russ.)
11. Ivanova A.V., Kostina N.V., Lysenko T.M. Main features of the family spectrum of the adventitious fraction of the flora of the Samara-Ulyanovsk Volga region. *Samarskiy nauchnyy vestnik = Samara scientific bulletin*. 2018;7(4):35–40. (In Russ.)
12. Ivanova A.V., Kostina N.V., Vasyukov V.M. Taxonomic diversity of the Fabaceae family on the territory of the Samara-Ulyanovsk Volga region. *Ekosistemy = Ecosystems*. 2020;(23):32–47. (In Russ.)
13. 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.)
14. Stupishin A.V. (ed.). *Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Srednego Povolzh'ya = Physico-geographical zoning of the Middle Volga region*. Kazan': Izd-vo Kazanskogo un-ta, 1964:173. (In Russ.)
15. Chkalov A.V. *Species composition and ecologocenotic characteristics of *Alchemilla l.* in local floras of Nizhny Novgorod Volga region*. PhD abstract. Nizhniy Novgorod, 2009:20. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

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 the Volga Basin
of the Russian Academy of Sciences –
branch of Samara Federal Research 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: na knva2009@yandex.ru

Natalya V. Kostina

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

Владимир Михайлович Васюков

кандидат 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: vvasjukov@yandex.ru

Vladimir M. Vasjukov

Candidate of biological sciences,
senior researcher,
Institute of Ecology of the Volga Basin
of the Russian Academy of Sciences –
branch of Samara Federal Research 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 17.11.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 26.12.2023

Принята к публикации / Accepted 19.01.2024

УДК 581.522.4

doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-3

Мониторинг состояния ценопопуляции *Herminium monorchis* (Orchidaceae) Ольшанского солонца (Пензенская область)

Ю. А. Фатюнина¹, Г. Ф. Можаяева², О. Е. Суркова³

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

³Средняя общеобразовательная школа № 71, Пенза, Россия

¹vyal81@mail.ru, ²mozhaeva-1965@mail.ru, ³m sur-ok1967@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* *Herminium monorchis* (L.) R. Br. – редкий вид семейства Орхидные, включенный в Красную книгу Пензенской области. Мониторинг ценопопуляции вида на Ольшанском солонце необходим для оценки современного состояния и прогноза в целях ее сохранения. *Материалы и методы.* *H. monorchis* на Ольшанском солонце развивается на почвах разной степени засоления в составе лугов разных типов. В 2013, 2021, 2023 гг. выполнены геоботанические описания, изучена онтогенетическая структура, определена экологическая плотность ценопопуляции, индексы Δ и ω . *Результаты.* Площадь ценопопуляции *H. monorchis* на Ольшанском солонце за 10 лет наблюдений не сократилась. Вид приурочен к ассоциациям засоленных и остепненных лугов, образованных *Centaurea jacea*, *Equisetum arvense*, *Inula salicina*, *Senecio schvetzovii*, *Ononis arvensis*, *Calamagrostis epigeios*, *Thalictrum simplex*. При слабом засолении *H. monorchis* играет в них роль ассектатора. С увеличением степени засоления возрастает его участие в сложении растительных сообществ – он становится содоминантом и доминантом. Экологическая плотность ценопопуляции очень высокая, возрастает с увеличением содержания солей. Ценопопуляция нормальная. Онтогенетические спектры в 2013 г. правосторонние, с преобладанием генеративных особей, в 2023 г. – бимодальные с максимумом на генеративных на имматурных растениях. Самоподдержание численности популяции происходит в основном за счет вегетативного размножения, обеспечивающего омоложение особей до имматурного возрастного состояния, так и в меньшей степени семенным способом (низкая доля ювенильных особей). Высокий индекс возобновляемости говорит об устойчивости популяции за счет эффективного размножения. Индексы возрастности и эффективности характерны для зреющих и зрелых популяций. Среди генеративных особей преобладают растения пониженной и низкой жизнестойкости из-за токсичного влияния солей. Жизненная форма вегетативного однолетника позволяет виду в условиях засоления увеличивать конкурентоспособность по сравнению с другими луговыми травами. *Выводы.* Состояние ценопопуляции *H. monorchis* на Ольшанском солонце относительно благополучное. Дальнейшие наблюдения за состоянием ценопопуляции должны быть продолжены для своевременного выявления возможных неблагоприятных изменений.

Ключевые слова: онтогенетическая структура, редкие растения, виталитетная структура, жизнестойкость, засоление, псевдогалофиты, вегетативное размножение, плотность

Благодарности: авторы выражают благодарность: д.б.н. профессору кафедры ОБИБ Любове Александровне Новиковой за помощь в осмыслении результатов геоботанических описаний; бывшему сотруднику кафедры, к.б.н. Наталье Григорьевне Мазей за помощь в сборе материала на первом этапе мониторинга, студентам Мальцеву Олегу и Мамоновой Анастасии за помощь в сборе материала в разные годы.

Для цитирования: Фатюнина Ю. А., Можаяева Г. Ф., Суркова О. Е. Мониторинг состояния ценопопуляции *Herminium monorchis* (Orchidaceae) Ольшанского солонца (Пензенская область) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 1. С. 28–38. doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-3

Monitoring the state of *Herminium monorchis* (Orchidaceae) cenopopulation in Olshanskiy solonetz (Penza region)

Yu.A. Fatyunina¹, G.F. Mozhaeva², O.E. Surkova³

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

³Secondary School No. 71, Penza, Russia

¹vyal81@mail.ru, ²mozhaeva-1965@mail.ru, ³m sur-ok1967@mail.ru

Abstract. *Background.* *Herminium monorchis* (L.) R. Br. – rare species of the Orchid family, included in the Red Book of Penza region. Monitoring of the cenopopulation of the species on the Olshansky solonetz is necessary to assess the current state and forecast in order to preserve it. *Materials and methods.* *H. monorchis* develops on soils of varying degrees of salinity in the composition of meadows of different types on the Olshanskiy solonetz. In 2013, 2021, 2023 geobotanical descriptions were made, the ontogenetic structure was studied, and the ecological density of the cenopopulation, the Δ and ω indices were determined. *Results.* The area of the *H. monorchis* cenopopulation on the Olshanskiy solonetz has not decreased over 10 years of observations. The species is confined to associations of saline and steppe meadows formed by *Centaurea jacea*, *Equisetum arvense*, *Inula salicina*, *Senecio schvetzovii*, *Ononis arvensis*, *Calamagrostis epigeios*, *Thalictrum simplex*. At low salinity, *H. monorchis* plays the role of an assessor in them. With an increase in the degree of salinity, its participation in the composition of plant communities increases – it becomes a co-dominant and dominant. The ecological density of the cenopopulation is very high, increasing with increasing salt content. Population is normal. Ontogenetic spectra in 2013 are right-handed, with a predominance of generative individuals, in 2023 they are bimodal with a maximum on generative ones on immature plants. Self-maintenance of the population occurs mainly due to vegetative reproduction, which ensures the rejuvenation of individuals to the immature age state, and to a lesser extent by seed (a low proportion of juvenile individuals). A high renewability index indicates the stability of the population due to efficient reproduction. Indices of age and efficiency are typical for maturing and mature populations. Among the generative individuals, plants of reduced and low vitality predominate due to the toxic effect of salts. The life form of a vegetative annual allows the species to increase its competitiveness in saline conditions compared to other meadow grasses. *Conclusions.* The condition of the *H. monorchis* cenopopulation at the Olshanskiy solonetz is relatively favorable. Further monitoring of the state of the cenopopulation should be continued in order to timely identify possible adverse changes.

Keywords: ontogenetic structure, rare plants, vitality structure, vitality, salinity, pseudohalophytes, vegetative propagation, density

Acknowledgements: the authors extends gratitude to doctor of biological sciences, professor of the sub-department of general biology and biochemistry L.A. Novikova for the help in understanding the results of geobotanical descriptions; to former employee of the sub-department, candidate of biological sciences N.G. Mazey for assistance in collecting material at the first stage of monitoring; to students Maltsev Oleg and Mamonova Anastasiya for assistance in collecting material over the years.

For citation: Fatyunina Yu.A., Mozhaeva G.F., Surkova O.E. Monitoring the state of *Herminium monorchis* (Orchidaceae) cenopopulation in Olshanskiy solonetz (Penza region). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2024;(1):28–38. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-3

Бровник одноклубневый – *Herminium monorchis* (L.) R. Br. – уязвимый вид орхидей, вопросы охраны которого актуальны как минимум в 32 субъектах

РФ, в Красные книги которых он включен [1]. Ареал вида евразийский, обширный, охватывает в пределах России Нечерноземье (за исключением Крайнего Севера), Сибирь, Дальний Восток, Кавказ. За пределами РФ вид встречается в Средней и Малой Азии, Индии, Монголии, Тибете, Китае, Японии [2]. *H. monorchis* – лугово-болотный вид лесной зоны Евразии, встречается на лугах разного типа (от заболоченных и сырых до суходольных), на ключевых участках болот и на сплаvine, в светлых сыроватых и сухих разреженных лесах, по опушкам, лесным полянам [3]. На Дальнем Востоке произрастает на склонах сопек, в горах, поднимаясь до высоты 2500 м над уровнем моря [4]. Известны местообитания на оглеенных кислых почвах сырых лугов, но чаще вид тяготеет к известковым субстратам [5]. Отмечены местообитания на солонцеватых почвах [6]. Этот вид является вегетативным однолетником со сферическим тубероидом на длинном столоне и симподиально нарастающими моноциклическими вегетативно-генеративными побегами, ежегодно полностью замещаемыми [1]. Онтогенез вида изучен в разных частях ареала [1, 2, 4, 6].

В Пензенской области *H. monorchis* – редкий вид, внесен в Красную книгу Пензенской области [7] со статусом 1 (находящийся под угрозой исчезновения). Известно о шести местообитаниях вида в Мокшанском, Пензенском, Спасском, Тамалинском районах области [7, 8]. Популяция *H. monorchis* на Ольшанском солонце в Пензенском районе – фактически единственное местообитание вида, которое подтверждается сборами последних лет [9, 10].

Ранее авторами были изучены особенности онтогенеза *H. monorchis* на Ольшанском солонце, определено влияние засоления на жизненность генеративных особей, становление анатомических структур, микоризообразование [11]. В связи с высокой степенью сельскохозяйственной и промышленной освоенности и заселенности территорий, окружающих солонце, близостью постоянно расширяющейся границы г. Пензы, в 2013 г. были начаты мониторинговые исследования состояния ценопопуляции *H. monorchis*, промежуточные итоги которых мы подводим в этой работе.

Цели работы: оценить современное состояние ценопопуляции *H. monorchis* Ольшанского солонца, выявить изменения за десятилетний период наблюдений, представить возможный прогноз ее развития в будущем.

Материалы и методы

Исследования проводились на территории участка Ольшанский солонце в 2013, 2021 и в 2023 гг.

Ольшанский солонце расположен в 2 км к северо-западу от с. Ольшанка Пензенского района Пензенской области (южные окрестности г. Пенза), в непосредственной близости от памятника природы «Ольшанские склоны». В геоморфологическом отношении территория представляет собой обширный вогнутый мезосклон, в плане имеющий форму амфитеатра – часть правого склона долины р. Малиновка. Формирование макросклона связано с разгрузкой подземных вод, приводящих к своеобразию эдафических условий – засолению почв [12]. Здесь формируются влажнолуговые маломощные среднелугосные слабо- и средnezасоленные высоко- и среднезагипсованные, среднелугосные глинистые почвы на древнеаллювиальных – делювиальных карбонатных гипсоносных глинах. Их водному режиму свойствен застойный характер весной из-за стекания талых вод с окружающих территорий и их смыкания

с грунтовыми водами, сменяющийся со второй половины июня на выпотной. Грунтовые воды становятся источником обогащения почвы ионами Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ . Содержание суммы токсичных солей в верхней 25-сантиметровой части гумусового горизонта варьирует от 0,01 до 0,35 %, карбоната кальция – от 3,8 до 7,7 %, гипса – от 1,5 до 24,1 %, гумуса – от 6,1 до 10,6 %. Признаки педотурбаций, прослеживающиеся в почвах до глубины 1 м, свидетельствуют о мелиоративных мероприятиях, производимых в прошлом, которые могли усилить засоление данного участка путем выноса солей на поверхность почвы из нижних горизонтов [12].

Для изучения возрастной структуры ценопопуляции *H. monorchis* в 2013 г. были заложены четыре учетные площади (УП) 2×2 м; в 2023 г. – 8 УП 2×2 м. На каждой из них посчитано количество особей ювенильного, иматурного, виргинильного и генеративного возрастных состояний с учетом признаков, выявленных ранее (число листьев, их размеры, количество жилок, наличие генеративных органов) [11, 14]. Для генеративных особей в 2021 г. определяли жизненность по высоте побега, количеству цветков, числу и размерам листьев [11]. Проростки (протокормы) не учитывали в связи с их подземным образом жизни.

Популяции бровника одноclubневого характеризовали, используя классификацию Л. А. Животовского «дельта–омега» ($\Delta-\omega$), рассчитывали индекс возобновляемости [15]. Статистическая обработка включала определение средней арифметической и ошибки репрезентативности.

Для выявления фитоценотической приуроченности *H. monorchis* были выполнены геоботанические описания на учетных площадях размером 10×10 м: определили общее проективное покрытие (ОПП), участие каждого вида, включая *H. monorchis*. Принадлежность фитоценоза к растительной ассоциации определяли на основании эколого-фитоценотической классификации растительности на доминантной основе [13]. Латинские названия растений приводятся в соответствии со стандартами, принятыми в базе данных International Plant Names Index (IPNI).

Растительность Ольшанского солонца представляет собой сложный комплекс луговой, болотной и кустарниковой растительности [9]. Наиболее низкие и влажные местообитания заняты кустарниками из разных видов *Salix* с участием *Betula pendula* и низинными болотами из *Typha latifolia* с участием *Lysimachia vulgaris*, *Lythrum salicaria*, *Eupatorium cannabinum*.

Преимущественное развитие получают луга разных типов. Болотистые луга формирует *Inula helenium*. Остепненные луга – *Calamagrostis epigeios* при участии *Astragalus sulcatus*, *Ononis arvensis*, *Thalictrum simplex*, *Senecio schvetzovii*, *Inula salicina*, *Equisetum arvense*. ОПП остепненных лугов составляет 62–72 %. Доля галофитов 7–17 %. Наиболее разнообразны настоящие луга с доминированием *S. schvetzovii*, *E. arvense*, *O. arvensis*, *I. salicina*, *Centaurea jacea*. ОПП составляет 57–74 %. Доля галофитов колеблется от 11 до 36 %. В особую группу выделены галофитные луга с доминированием *A. sulcatus*, *S. schvetzovii*, *Parnassia palustris*, *H. monorchis* (ОПП 54–68 %), доля галофитов 57–64 % [9].

Результаты и обсуждение

Площадь ценопопуляции *H. monorchis* на Ольшанском солонце за 10 лет наблюдений не сократилась и составляет не менее 10000 м². Ее численность можно оценить только приблизительно как минимум в 10 000 особей.

В 2013 г. *H. monorchis* был отмечен в сообществах засоленных лугов с ОПП 47–55 %. Абсолютное проективное покрытие *H. monorchis* в них составляло 15–25 % (табл. 1). Содоминантами выступали *C. jacea*, *E. arvense*, *I. salicina*; ассектаторами – *Carex diluta*, *E. cannabinum*, *S. schvetsovii*, *O. arvensis*, *P. palustris*, *T. simplex*, *Achillea millefolium*, *Cenolophium denudatum*, *Galium verum*, *Carlina vulgaris* и др. (разнотравно-одноclubневобровникова ассоциация засоленных лугов).

Таблица 1

Сравнительная характеристика ценопопуляции
Herminium monorchis Ольшанского солонца

| Название ассоциации | ОПП % | АПП <i>H. monorchis</i> , % | Плотность <i>H. monorchis</i> , ос/м ² |
|--|-------|--------------------------------|--|
| 2013 г. | | | |
| Разнотравно-одноclubневобровникова засоленных лугов (4 УП) | 55 | 20 | 146 |
| | 47 | 15 | 176 |
| | 52 | 25 | 256 |
| | 50 | 25 | 375 |
| 2023 г. | | | |
| Разнотравно-одноclubневобровникова засоленных лугов (6 УП) | 54 | 15 | 161 |
| | 50 | 10 | 143 |
| | 50 | 20 | 280 |
| | 47 | 17 | 156 |
| | 67 | 15 | 131 |
| Наземно-вейниковая остепненных лугов (3 УП) | 70 | 15 | 193 |
| | 65 | 7 | 187 |
| | 60 | 1 | 26 |

В 2023 г. в сообществах ассоциации ОПП варьировало от 47 до 67 %, участие *H. monorchis* составляло 10–20 %.

В 2021–2023 гг. за счет увеличения охвата исследуемой территории удалось обнаружить *H. monorchis* в сообществах ассоциации остепненных лугов с доминированием *C. epigeios* (ОПП 60–70 %). Наряду с *C. epigeios* (АПП 20–22 %) в сложении растительного покрова высока доля *E. arvense*, *I. salicina*, *O. arvensis*, *T. simplex* (ПП по 5–8 %). Участие *H. monorchis* здесь низкое (АПП 1 %).

В отдельных локусах этой ассоциации с более высоким содержанием солей, где особи *C. epigeios* представлены только угнетенными низкорослыми растениями, участие *H. monorchis* повышается до 10–15 %.

В 2013 г. на исследуемых УП плотность популяции *H. monorchis* варьировала от 146 до 375 ос/м², в среднем – 238 ± 51 ос/м², в 2023 г. – от 26 до 280 ос/м², в среднем – 159 ± 25 ос/м². Меньшие абсолютные и средние значения плотности в 2023 г. по сравнению с 2013 г. обусловлены, с одной стороны, включением в исследование ассоциации остепненных лугов с низкими значениями плотности (УП8), не охваченные описаниями в 2013 г. С другой стороны, выявленные различия могут быть отражением флуктуационных изменений. Существенные колебания численности и плотности у орхидей с жизненной формой вегетативного однолетника с активным вегетативным размножением за счет заложения дочерних тубероидов отмечены в литературе [16]. Кроме того, нельзя исключить и демутиационные изменения растительных сообществ

Ольшанского солонца, связанные с восстановительными процессами после неудачных мелиоративных мероприятий.

В сравнении с литературными данными показатели плотности ценопопуляции *H. monorchis* Ольшанского солонца можно охарактеризовать как очень высокие. Так, например, на болотах Костромской области в популяции общей численностью 1–3 тысячи особей была зафиксирована средняя плотность 5–16, максимальная – до 156 ос/м² [2]. Высокие показатели плотности и численности (не менее 10 000 особей) ценопопуляции *H. monorchis* Ольшанского солонца свидетельствуют о благоприятных условиях существования вида в данном экотопе.

Онтогенетический анализ показал, что ценопопуляция *H. monorchis* на Ольшанском солонце относится к типу нормальных. В 2013 г. возрастной спектр имел правосторонний характер с преобладанием генеративных особей (их доля колебалась от 44,1 до 58,6 %, в среднем $51,1 \pm 3,0$ %), с высоким участием виргинильных – от 31,4 до 46,1 % (в среднем $40,8 \pm 3,3$ %). Доля иматурных особей варьировала от 5,5 до 9,8 % (в среднем $7,9 \pm 1,1$ %). Вклад ювенильных растений был незначительным (0,0–0,4 %) (рис. 1).

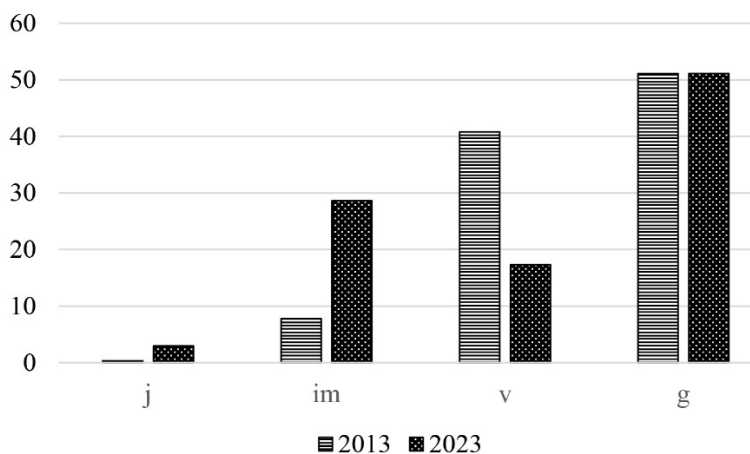


Рис. 1. Онтогенетические спектры ценопопуляции *Herminium monorchis* Ольшанского солонца в 2013 и 2023 гг.

В 2023 г. также преобладают особи генеративного возрастного состояния (от 47,6 до 70,6 %, в среднем $51,1 \pm 6,6$ %). Локально (в областях зоогенных нарушений) доля генеративных особей может снизиться до 8,4 %. Вклад виргинильных особей изменяется на отдельных УП от 9,6 до 28,2 %, в среднем $17,3 \pm 2,2$ %, что в 2 раза меньше, чем в 2013 г. Амплитуда колебания доли иматурных особей варьирует в значительных пределах от 9,1 до 59,5 %, в среднем $28,6 \pm 5,5$ %, что почти в 3 раза больше, чем в 2013 г. Участие ювенильных особей также, как и 10 лет назад, низкое (0,0–8,7 %, в среднем $3,0 \pm 1,2$ %).

Таким образом, онтогенетический спектр ценопопуляции *H. monorchis* Ольшанского солонца в 2023 г. бимодальный с основным максимумом на генеративных и дополнительным – на иматурных растениях.

Выявленные особенности онтогенетического спектра обусловлены характером большого жизненного цикла вида и способами самоподдерживания

численности популяции. В благоприятных стабильных условиях происходит накопление генеративных особей, так как продолжительность пребывания в этом возрастном состоянии составляет до 8 лет, в то время как каждое из прегенеративных возрастных состояний длится 1–2 года. Дополнительный пик на имматурных особях, зафиксированный в 2023 г., – это результат вегетативного размножения. Особи всех возрастных состояний, за исключением ювенильного, способны образовывать наряду с тубероидом замещения, из которого данная особь разовьется на следующий год, дополнительные, обычно более мелкие тубероиды. Образующиеся из них растения чаще всего имеют имматурный облик. Таким образом, при вегетативном размножении происходит омоложение дочерних особей чаще всего до имматурного возрастного состояния. Небольшое участие ювенильных растений в структуре ценопопуляции говорит о гораздо более скромной роли семенного размножения по сравнению с вегетативным. Вегетативное размножение происходит активнее на микронарушениях, связанных, например, с деятельностью муравьев, следы активности которых заметны в сообществах Ольшанского солонца.

Таким образом, мониторинговые исследования подтвердили лабильность онтогенетических спектров ценопопуляции *H. monorchis*, в том числе и за счет флуктуационных колебаний. Данная особенность выявлена и в других частях ареала. Например, для лугов Приморского края характерно преобладание взрослых вегетативных и генеративных особей [2]. А в лугово-болотных сообществах Татарстана в малочисленных популяциях с низкой плотностью (1–2 особи на 1 м²) возрастной спектр популяции имел левосторонний характер с максимумом на имматурных (20–39 %) и виргинильных (28–54 %) особях при низкой доле генеративных особей (6–25 %). При этом за год (в 2011 г. по сравнению с 2010 г.) авторы зафиксировали уменьшение численности ювенильных особей с 25,9 до 4,1 % и увеличение численности виргинильных с 28,7 до 54,5 % при общем росте численности популяции со 108 до 121 экземпляров [16]. Разнообразие онтогенетических спектров является реакцией ценопопуляции на пространственную и временную изменчивость факторов внешней среды, на которую накладываются внутренние циклические процессы, обусловленные старением особей, с одной стороны, и размножением и омоложением – с другой.

Сопоставление индексов возрастности (0,30 и 0,29), эффективности (0,70 и 0,64) и возобновляемости (48,4 и 48,9) в 2013 и 2023 гг. соответственно в ольшанской популяции *H. monorchis* свидетельствует о ее устойчивости за счет эффективного размножения. Тип ценопопуляции – зреющий.

Важным демографическим показателем является жизненность особей [17]. Анализ виталитетной структуры генеративных особей ольшанской ценопопуляции *H. monorchis* осуществлялся в 2021 г. Преобладали генеративные особи пониженной жизненности $49,5 \pm 6,6$ % с варьированием на отдельных учетных площадях от 33,0 до 85,7 %. Доля особей низкой жизненности колебалась в диапазоне от 14,3 до 65,4 %, в среднем $45,4 \pm 11,6$ %. Вклад особей нормальной жизненности незначителен. Они отсутствуют на 62,5 % учетных площадей, а на остальных их доля не превышает 1,1–10,9 %, в среднем – 1,9 %. Минимальная доля особей низкой жизненности отмечена в сообществах с доминированием *C. epigeios*, развивающихся на почвах с минимальным содержанием солей. *H. monorchis* здесь выступает в качестве ассектатора – его вклад

в сообщество не превышает 1 %. И наоборот, максимальная доля генеративных особей низкой жизненности характерна для сообществ, развивающихся на более засоленных почвах, где ослабление конкуренции со стороны луговых трав – гликофитов – позволяет бровнику увеличить свое присутствие до 15–20 % и выступать в качестве содоминанта, но жизненность при этом закономерно снижается из-за токсичного влияния солей.

В анатомических исследованиях, проведенных ранее [11], у *H. monorchis* не обнаружено приспособлений, препятствующих поступлению солей или активно выводящих их на поверхность. Скорее всего способность существовать на солонцах объясняется, во-первых, поверхностной корневой системой, расположенной в верхнем 5-см слое гумусового горизонта, который весной отмывается от солей фильтрующимися осадками, благодаря чему несколько недель бровник имеет возможность развиваться в условиях относительно нормального солевого режима. С другой стороны, сама жизненная форма вегетативного однолетника не предусматривает существования многолетних органов – происходит их ежегодное отмирание и освобождение от поврежденных тканей и накопленных солей, а следовательно, и обновление. Таким образом, *H. monorchis* можно отнести к группе псевдогаллофитов, так как он очень своеобразным способом избегает продолжительного угнетающего влияния солей. При этом особи пониженной и низкой жизненности успешно размножаются. Это позволяет виду в условиях засоления увеличивать конкурентоспособность по сравнению с другими луговыми травами.

Заключение

Результаты 10-летнего мониторинга ценопопуляции *H. monorchis* Ольшанского солонца позволяют сделать вывод об ее устойчивости. Занимаемая ей площадь и численность не уменьшились. При слабом засолении почвы *H. monorchis* в качестве ассектатора принимает участие в сложении сообществ остепненных лугов. Нарастающее засоление почвы приводит к формированию засоленных лугов, в которых *H. monorchis* является содоминантом и доминантом за счет особенностей биоморфы, жизненного цикла и размножения. В таких условиях формируются онтогенетический спектр с преимущественным участием генеративных особей пониженной и низкой уровней жизненности, часто со значительной ролью иматурных особей как результата вегетативного размножения и омоложения ценопопуляции. Дальнейшие наблюдения за состоянием ценопопуляции должны быть продолжены для своевременного выявления возможных неблагоприятных изменений.

Список литературы

1. Татаренко И. В. Биоморфология Орхидных (Orchidaceae Juss.) России и Японии : автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.05. М., 2007. 49 с.
2. Вахрамеева М. Г. Варлыгина Т. И., Татаренко И. В. Орхидные России (биология, экология и охрана). М. : Товарищество научных изданий КМК, 2014. 486 с.
3. Баранова О. Г. Особенности распространения представителей семейства Орхидные (Orchidaceae Juss.) в Удмуртской республике и их охрана // Вестник Удмуртского университета. 2006. № 10. С. 3–10.
4. Татаренко И. В. Орхидные России: жизненные формы, биология, вопросы охраны. М. : Аргус, 1997. С. 136–137.
5. Кривошеев М. М., Барлыбаева А. А. Особенности репродукции *Herminium monorchis* (L.) R. Вг. Orchidaceae Juss на Южном Урале // Вестник Оренбургского государственного университета. 2011. № 12 (131). С. 96–97.

6. Герасимович Л. В. Распространение, эколого-фитоценологические особенности и охрана видов семейства Orchidaceae в республике Алтай // Ботанический журнал. 2011. Т. 92. № 4. С. 584–589.
7. Чистякова А. А., Горбушина Т. В. Бровник одноclubневой // Красная книга Пензенской области. Грибы, лишайники, мхи и сосудистые растения. Пенза : ИПК Пензенская правда, 2013. Т. 1. С. 219.
8. Васюков В. М., Саксонов С. В. Конспект флоры Пензенской области. Флора Волжского бассейна / под ред. С. В. Саксонов. Тольятти : Анна, 2020. Т. IV. С. 32–35.
9. Новикова Л. А., Вяль Ю. А., Леонова Н. А., Панькина Д. В. Геоботаническая характеристика Ольшанского солонца в Пензенской области // Нива Поволжья. 2014. № 1 (30). С. 49–56.
10. Солянов А. А. Новые сборы растений, редких для Пензенской области // Известия ПГПУ. Естественные науки. 2007. № 5 (9). С. 27–28.
11. Вяль Ю. А., Мазей Н. Г. Особенности биологии *Herminium monorchis* (Orchidaceae) в условиях засоления // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2014. Т. VIII, № 4. С. 114–130.
12. Вяль Ю. А., Новикова Л. А., Карпова Г. А., Лойко С. В. Особенности генезиса гипсоносных луговых почв в условиях Пензенской области // Нива Поволжья. 2013. № 2 (27). С. 21–27.
13. Ипатов В. С., Мирин Д. М. Описание фитоценоза: методические рекомендации. СПб. : СПбГУ, 2000. 55 с.
14. Вахромеева М. Г., Пушай Е. С., Варлыгина Т. И., Ключикова И. С. Бровник одноclubневый // Биологическая флора Московской области. 2019. Вып. 17. С. 72–83.
15. Османова Г. О. Животовский Л. А. Онтогенетический спектр как индикатор состояния ценопопуляций растений // Известия РАН. Серия биологическая. 2020. № 2. С. 144–152.
16. Фардеева М. Б., Шафигуллина Н. Р. Особенности экологии и популяционной структуры *Liparis loeselii* (L.) Rich и *Herminium monorchis* (L.) R. Br. (Orchidaceae) на территории Татарстана // Ученые записки Казанского университета. Сер.: Естественные науки. 2013. Т. 155, № 1. С. 135–147.
17. Смирнова О. В., Заугольнова Л. Б., Ермакова И. М. [и др.]. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). М. : Наука, 1976. 217 с.

References

1. Tatarenko I.V. *Biomorphology of Orchids (Orchidaceae Juss.) in Russia and Japan*. DSc abstract: 03.00.05. Moscow, 2007:49. (In Russ.)
2. Vakhrameeva M.G. Varlygina T.I., Tatarenko I.V. *Orkhidnye Rossii (biologiya, ekologiya i okhrana) = Orchids of Russia (biology, ecology and protection)*. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2014:486. (In Russ.)
3. Baranova O.G. Features of the distribution of representatives of the Orchidaceae family (Orchidaceae Juss.) in the Udmurt Republic and their protection. *Vestnik Udmurtskogo universiteta = Bulletin of Udmurt University*. 2006;(10):3–10. (In Russ.)
4. Tatarenko I.V. *Orkhidnye Rossii: zhiznennye formy, biologiya, voprosy okhrany = Orchids of Russia: life forms, biology, protection issues*. Moscow: Argus, 1997:136–137. (In Russ.)
5. Krivosheev M.M., Barlybaeva A.A. Peculiarities of reproduction of *Herminium monorchis* (L.) R. Br. Orchidaceae Juss in the Soutj Ural. *Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Orenburg University*. 2011;(12):96–97. (In Russ.)
6. Gerasimovich L.V. Distribution, ecological and phytocenotic features and protection of species of the Orchidaceae family in the Altai Republic. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 2011;92(4):584–589. (In Russ.)
7. Chistyakova A.A., Gorbushina T.V. *Herminium monorchis* (L.) R. Br. *Krasnaya kniga Penzenskoy oblasti. Griby, lishayniki, mkhi i sosudistye rasteniya = The Red Book of*

- Penza region. Mushrooms, lichens, mosses and vascular plants. Penza: IPK Penzenskaya pravda, 2013;1:219. (In Russ.)
8. Vasyukov V.M., Saksonov S.V. *Konspekt flory Penzenskoy oblasti. Flora Volzhskogo basseyna* = Abstract of the flora of Penza region. Flora of the Volga basin. Tol'yatti: Anna, 2020;IV:32–35. (In Russ.)
 9. Novikova L.A., Vyal' Yu.A., Leonova N.A., Pan'kina D.V. Geobotanical characteristics of the Olshanskiy solonetz in Penza region. *Niva Povolzh'ya* = Niva of the Volga region. 2014;(1):49–56. (In Russ.)
 10. Solyanov A.A. New collections of plants rare for Penza region. *Izvestiya PGPU. Estestvennye nauki* = Proceedings of Penza State Pedagogical University. Natural sciences. 2007;(5):27–28. (In Russ.)
 11. Vyal' Yu.A., Mazey N.G. Features of biology of *Herminium monorchis* (Orchidaceae) under salinity conditions. *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy* = Phytodiversity of Eastern Europe. 2014;VIII(4):114–130. (In Russ.)
 12. Vyal' Yu.A., Novikova L.A., Karpova G.A., Loyko S.V. Features of the genesis of gypsum-bearing meadow soils in the conditions of Penza region. *Niva Povolzh'ya* = Niva of the Volga region. 2013;(2):21–27. (In Russ.)
 13. Ipatov V.S., Mirin D.M. *Opisanie fitotsenoza: metodicheskie rekomendatsii* = Description of phytocenosis: methodological recommendations. Saint Petersburg: SPbGU, 2000:55. (In Russ.)
 14. Vakhromeeva M.G., Pushay E.S., Varlygina T.I., Klyuykova I.S. *Herminium monorchis* (L.) R. Br. *Biologicheskaya flora Moskovskoy oblasti* = Biological flora of Moscow region. 2019;(17):72–83. (In Russ.)
 15. Osmanova G.O., Zhivotovskiy L.A. Ontogenetic spectrum as an indicator of the state of plant coenopopulation. *Izvestiya RAN. Seriya biologicheskaya* = Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Series: Biology. 2020;(2):144–152. (In Russ.)
 16. Fardeeva M.B., Shafigullina N.R. Features of ecology and population structure of *Liparis loeselii* (L.) Rich and *Herminium monorchis* (L.) R. Br. (Orchidaceae) in Tatarstan. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki* = Proceedings of Kazan University. Series: Natural sciences. 2013;155(1):135–147. (In Russ.)
 17. Smirnova O.V., Zaugol'nova L.B., Ermakova I.M. et al. *Tsenopopulyatsii rasteniy (osnovnye ponyatiya i struktura)* = Plant coenopopulations (basic concepts and structure). Moscow: Nauka, 1976:217. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Юлия Александровна Фатюнина

кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры общей биологии
и биохимии, Пензенский
государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

Yuliya A. Fatyunina

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

E-mail: vyal81@mail.ru

Галина Федоровна Можяева

биолог, Пензенский ботанический
сада имени И. И. Спрыгина,
Пензенский государственный
университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

Galina F. Mozhaeva

Biologist, Penza Botanical Garden
named after I.I. Sprygin,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

E-mail: mozhaeva-1965@mail.ru

Оксана Евгеньевна Суркова

учитель биологии,

Средняя общеобразовательная школа № 71

(Россия, г. Пенза, ул. Можайского, 1)

E-mail: m sur-ok1967@mail.ru

Oksana E. Surkova

Teacher of biology,

Secondary School No.71

(1 Mozhaiskogo street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 17.11.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 14.01.2024

Принята к публикации / Accepted 01.03.2024

УДК 639.21.597.55.592
doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-4

Рыбохозяйственное значение руслового водоподъемного водохранилища прудового типа на малых водотоках Приволжья на примере р. Труев

А. Ю. Асанов

Пензенский государственный аграрный университет, Пенза, Россия

kfvniro-as@list.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматривается особый тип водоемов – частично зарегулированных русловых участков рек и ручьев, образованных водоподпорными сооружениями и другими искусственными препятствиями, на примере водохранилища «Надежда» на р. Труев в Пензенской области. Целью данной работы является оценка рыбопродуктивности руслового водоподъемного водохранилища прудового типа по кормовой базе и ихтиофауне в сравнении с естественным руслом реки и определение способов его рыбохозяйственного использования. *Материалы и методы.* Рыбохозяйственные исследования на водохранилище «Надежда» и р. Труев проводили в августе 2017 г. Отбор и обработку гидробиологических и ихтиологических проб осуществляли по общепринятым методикам, используемым нами в последнее десятилетие на малых водотоках и водоемах Приволжья. *Результаты.* Зарегулированный участок р. Труев, именуемый как водохранилище «Надежда», по значениям биомассы фитопланктона, зоопланктона и зообентоса в 8–53 раза превосходит естественное русло реки. Ихтиомасса в водохранилище в 4,7 раза выше, чем в реке, в которой на исследуемом участке не обнаружено промысловых видов рыб. Базовая рыбопродукция по наиболее востребованным компонентам кормовой базы аборигенными видами рыб в водохранилище «Надежда» составила 166 кг/га, в естественном русле реки Труев – 11 кг/га. Потенциальная рыбопродукция, соответственно, составила 115 кг/га и 13,2 кг/га. В целом общая рыбопродукция различается в 12 раз. Благодаря подобной продуктивности водохранилище «Надежда» можно использовать для спортивно-любительского рыболовства и пастбищного или товарного рыбоводства. *Выводы.* Водохранилище «Надежда» характеризуется рыбопродуктивностью на уровне средних показателей рыбоводных прудов и водохранилищ комплексного назначения Пензенской области и Республики Мордовия. Русловые водоподъемные водохранилища прудового типа должны учитываться в прудовом рыбохозяйственном фонде региона и активно эксплуатироваться, что позволит значительно увеличить объем водных биологических ресурсов маловодных регионов.

Ключевые слова: водные биоресурсы, водоподъемные водохранилища, фитопланктон, зоопланктон, зообентос, ихтиофауна, рыбопродуктивность, аквакультура

Благодарности: автор выражает признательность за участие в сборе и обработке полевого материала ихтиологу к.б.н. В. В. Осипову и гидробиологу к.б.н. В. А. Сенкевич.

Для цитирования: Асанов А. Ю. Рыбохозяйственное значение руслового водоподъемного водохранилища прудового типа на малых водотоках Приволжья на примере р. Труев // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 1. С. 39–49. doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-4

The fishery significance of a pond-type riverbed water-lifting reservoir on small watercourses of the Volga region by the example of the Truev river

A.Yu. Asanov

Penza State Agricultural University, Penza, Russia

kfvniro-as@list.ru

Abstract. *Background.* The article considers a special type of reservoirs – partially regulated sections of riverbeds and streams formed by hydraulic structures and other artificial obstacles on the example of the Nadezhdinskiy reservoir on the Truev river in Penza region. The purpose of this work is to assess the fish productivity of a pond-type riverbed water-lifting reservoir based on a forage base, ichthyofauna in comparison with the natural riverbed and to determine methods of its fisheries use. *Materials and methods.* Fisheries research at the Nadezhda reservoir and the Truev river was carried out in August 2017. The selection and processing of hydrobiological and ichthyological samples was carried out according to generally accepted methods used by us in the last decade in small watercourses and reservoirs of the Volga region. *Results.* The regulated section of the Truev river, referred to as the Nadezhda reservoir, is 8–53 times higher in terms of phytoplankton, zooplankton and zoobenthos biomass than the natural riverbed. Also, the ichthyomass in the reservoir is 4.7 times higher than in the river, in which there were no commercial fish species in the studied area. Fish productivity for the most demanded components of the feed base by local fish species in the Nadezhdinskiy reservoir amounted to 166 kg/ha, in the natural channel of the Truev river – 11 kg/ha. The potential fish productivity may be 115 kg/ha and 13.2 kg/ha, respectively. In general, the total fish productivity differs by 12 times. Due to such high productivity, the Nadezhdinskiy reservoir can be used for sports and amateur fishing, pasture or commercial fish farming. *Conclusions.* The pond-type water-lifting reservoir is characterized by fish productivity at the level of average indicators of fish ponds and reservoirs of complex purpose in Penza region and the Republic of Mordovia. Channel water-lifting reservoirs should be taken into account in the fund of pond fishing in the region and actively exploited, which will significantly increase the volume of aquatic biological resources in low-water regions.

Keywords: aquatic bioresources, water-lifting reservoirs, phytoplankton, zooplankton, zoobenthos, ichthyofauna, fish productivity, aquaculture

Acknowledgements: The author extends gratitude to ichthyologist, candidate of biological sciences V.V. Osipov and hydrobiologist, candidate of biological sciences V.A. Senkevich for participation in the collection and processing of field material

For citation: Asanov A.Yu. The fishery significance of a pond-type riverbed water-lifting reservoir on small watercourses of the Volga region by the example of the Truev river. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2024;(1):39–49. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-4

Введение

В Пензенской области насчитывается около 2750 малых рек и ручьев, общей протяженностью около 15,4 тыс. км [1]. Одной из таких рек является р. Труев, левый приток р. Суры на 776 км от устья. Река протекает на территории Кузнецкого района и имеет длину 63 км, площадь водосбора 650 км². В реку впадает семь левых и четыре правых притока. Согласно

Справочнику [2, с. 126], в перечне прудов на р. Труев числится четыре пруда: один в районе г. Кузнецка площадью 20 га, 1980 г. строительства; три в районе н.п. Евлашево – 10 га (1979 г.), 14 га (1984 г.), 14 га (1986 г.). Там же, в перечне речных русловых плотин и сооружений, в районе н.п. Ульяновка на р. Труев числится русловое сооружение – двухпролетное щитовое из сборного монолитного бетона (1980 г.), однако наличие образованного им небольшого водохранилища не отмечается. Согласно предложенной нами классификации данный водоем является русловым водоподъемным водохранилищем прудового типа [3].

Исследования на р. Труев проводились в рамках договора ФГБОУ ВО Пензенский государственный аграрный университет с ООО «Поволжпроект» в рамках разработки рыбоводно-биологического обоснования проектной документации. Целью данной работы является оценка рыбопродуктивности руслового водоподъемного водохранилища прудового типа по кормовой базе, ихтиофауне в сравнении с естественным руслом реки и определение способов по его рыбохозяйственному использованию как примера зарегулированных участков малых рек Приволжья.

Материалы и методы

Русловое водоподъемное водохранилище прудового типа образовалось в результате строительства руслового сооружения для проезда через р. Труев к санаторию «Надежда» в 1980 г. и в настоящее время носит одноименное название. Длина водоема – 0,6 км, максимальная ширина – 100 м, средняя – 35 м, максимальная глубина – 3 м, средняя – 1,5 м, площадь зеркала – 3,3 га, скорость течения менее – 0,1 м/с. Ширина р. Труев ниже пруда – 4,0–5,0 м, глубина в среднем – 0,2–0,5 м, скорость течения – 0,3–0,5 м/с. Рыбохозяйственные исследования на водохранилище «Надежда» (ст. 1) и р. Труев (ст. 2) проводили в августе 2017 г. (рис. 1).

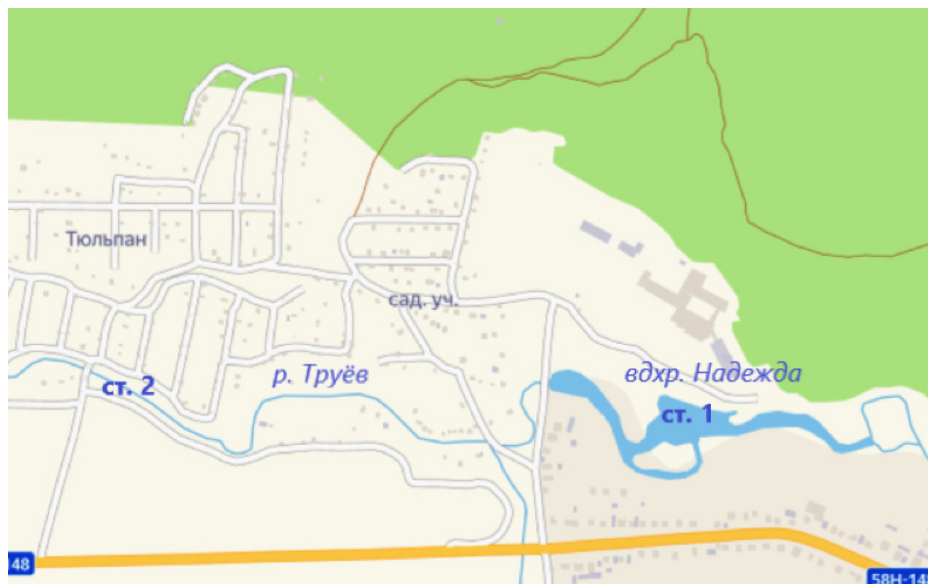


Рис. 1. Русловое водоподъемное водохранилище прудового типа «Надежда» на р. Труев (Кузнецкий р-н Пензенской обл.)

Отбор и обработку гидробиологических и ихтиологических проб осуществляли по общепринятым методикам, адаптированным к региону [4–12]. Для отлова рыб в р. Труев использовали мальковый подъемник 1×1 м, с диаметром ячеи 3 мм, в водохранилище – мальковый невод длиной 6 м и диаметром ячеи 5 мм. Для сравнительной оценки рассматриваются непосредственно сам зарегулированный участок р. Труев – водохранилище «Надежда» и расположенный в 0,9 км ниже по течению участок естественного русла реки.

Результаты

Макрофиты. В мелководной зоне водохранилища «Надежда» хорошо развита как прибрежная, так и погруженная водная растительность, преимущественно – тростник обыкновенный *Phragmites australis*, элодея *Elodea canadensis*, роголистник погруженный *Ceratophyllum demersum*. Зарастаемость водоема в целом достигает 10 % площади. Также отмечается зарастаемость естественного русла р. Труев (до 10 % площади).

Фитопланктон. В водохранилище «Надежда» насчитывается порядка 17 видов микроводорослей, относящихся к четырем типам: сине-зеленые (Cyanophyta), диатомовые (Diatomeae), зеленые (Chlorophyta), жгутиковые (Flagellata). Их биомасса в августе оценивалась на уровне – $4,0 \text{ г/м}^3$. На контрольном участке р. Труев – $0,5 \text{ г/м}^3$.

Зоопланктон. В водохранилище «Надежда» обнаружено 11 видов зоопланктонных организмов. По численности доминировали коловратки *Anuraeopsis fissa* (74,4 %), *Polyarthra dolichoptera* (7,9 %), *Synchaeta oblonga* (8,3 %). По биомассе доминировали ветвистоусые ракообразные *Scapholeberis mucronata* (85,3 %). Суммарные значения численности и биомассы на водоеме составили 2460 тыс. экз./ м^3 и $4,338 \text{ г/м}^3$ соответственно. На естественном участке р. Труев обнаружено 16 видов, при доминировании по численности и биомассе тех же таксонов коловраток. Суммарные значения численности и биомассы на контрольном участке реки составили 453,9 тыс. экз./ м^3 и $0,237 \text{ г/м}^3$ соответственно.

Зообентос. В водохранилище «Надежда» обнаружено шесть видов макрозообентоса. По численности доминирует один вид хирономид *Fleuralia custris* (74,5 %), по биомассе – брюхоногие моллюски *Lymnaea stagnalis* (62,6 %). Суммарные значения численности и биомассы в водоеме составили $343,75 \text{ экз./м}^2$ и $82,056 \text{ г/м}^2$ соответственно. В р. Труев по численности доминировали хирономиды *Cryptochironomus* гр. *Defectus* (25,7 %), *Parachironomuskuzini* (14,3 %); по биомассе – ручейники *Hydropsyche pellucidula* (22,5 %), *Micropterna* sp. (16,8 %), двустворчатые моллюски *Sphaerium* sp. (14,2 %). Суммарные значения численности и биомассы в р. Труев составили $218,75 \text{ экз./м}^2$ и $1,448 \text{ г/м}^2$ соответственно.

Ихтиофауна. В водохранилище «Надежда» отловлено четыре вида рыб. В структуре уловов присутствовали только лимнофильные, неприхотливые к среде обитания виды рыб. По биомассе доминировали ротан *Percottus glehni* Dybowski, 1877 – 55,9 % и серебряный карась *Carassius auratus gibelio* (Bloch, 1782) – 43,3 %, что характерно для непроточных и слабопроточных водоемов. Линь *Tinca tinca* Linnaeus, 1758 и верховка *Leucaspius delineatus* Heckel, 1843 составляли по 0,4 %. Общая численность рыб оценивается на уровне – $1,57 \text{ экз./м}^2$, биомасса – $20,06 \text{ г/м}^2$; из них промысловых – $19,98 \text{ г/м}^2$, непромысловых рыб – $0,08 \text{ г/м}^2$.

На русловом участке р. Труев отмечены преимущественно реофильные виды рыб (за исключением верховки, вероятно, скатывающейся из водоема «Надежда») с преобладанием в структуре уловов по биомассе гольяна *Phoxinus phoxinus* Linnaeus, 1758 – 88,4 %. Доля верховки – 8,6 %, щиповки сибирской *Cobitis melanoleuca* Nichols, 1925 – 4,0 %. Общая численность рыб составила 2,13 экз./м², биомасса – 4,41 г/м². Все виды относятся к промысловым рыбам.

На основании полученных результатов отмечаем, что зарегулированный участок р. Труев, именуемый как водохранилище «Надежда», по значениям биомассы фитопланктона, зоопланктона и моллюсков многократно превосходит естественное русло реки. При этом по числу видов зоопланктона и зообентоса население естественного русла реки разнообразнее, также здесь отмечено и преобладание «мягкого» бентоса. Соответственно, по кормовой базе и площадям нагула ихтиомасса в водохранилище в 4,7 раза выше, чем в реке. Причем в реке на контрольном участке не оказалось промысловых видов рыб.

Оценка продукционных возможностей водохранилища «Надежда» по кормовой базе в сравнении с естественным участком русла р. Труев. По показателям биомассы основных компонентов кормовой базы произведена оценка продукционных возможностей водохранилища «Надежда» и участка естественного русла р. Труев по кормовой базе (табл. 1) [13–15].

Таблица 1

Показатели кормовой базы, коэффициенты расчета рыбопродукции участков, результаты расчетов

| Коэффициенты, показатели | Компоненты кормовой базы | | | | |
|---|--------------------------|----------------|------------------|------------------|-----------|
| | фито-планктон | зоо-планктон | бентос, «мягкий» | бентос, моллюски | макрофиты |
| Водохранилище «Надежда», г/м ² | 4,000 | 4,338 | 0,456 | 81,600 | 3100,0 |
| р. Труев, г/м ² | 0,500 | 0,237 | 1,142 | 0,306 | 3100,0 |
| Р/В коэффициент | 100,0 | 20,0 | 6,0 | 3,0 | 1,1 |
| Площадь, S, м ² | – | – | 10 000 | 10 000 | 1000 |
| Объем, W, м ³ /га: водохранилище, река | 15 000 3500 | 15 000 3500 | – | – | – |
| Кормовой коэффициент, К _Е | 40 | 7 | 6 | 30 | 50 |
| Выдаемость, К _з | 70 | 70 | 80 | 40 | 15 |
| Результаты | | | | | |
| Водохранилище «Надежда», кг/га | 105,000 | 130,139 | 3,648 | 32,640 | 10,230 |
| р. Труев, кг/га | 3,063 | 1,659 | 9,136 | 0,122 | 10,230 |

Рыбопродукция по наиболее востребованным компонентам кормовой базы аборигенными видами рыб (планктофагами и бентофагами) зоопланктон + зообентос (базовая рыбопродукция) в водохранилище «Надежда» составила 166 кг/га, в естественном русле р. Труев – 11 кг/га (рис. 2). Потенциальная рыбопродукция – фитопланктон + макрофиты, которая в незначительной степени

востребована аборигенными видами рыб и которая в основном является потенциальным кормовым объектом при вселении в водоем толстолобиков и белого амура, в водохранилище составила 115 кг/га. В естественном русле р. Труев данный показатель, соответственно, ниже в 9 раз, при этом фитопланктон и макрофиты практически остаются не востребованы из-за отсутствия в условиях мелководья реки растительноядных рыб. Соответственно этому общая рыбопродукция в водохранилище (281 кг/га) выше естественного русла реки (24 кг/га) в 12 раз.

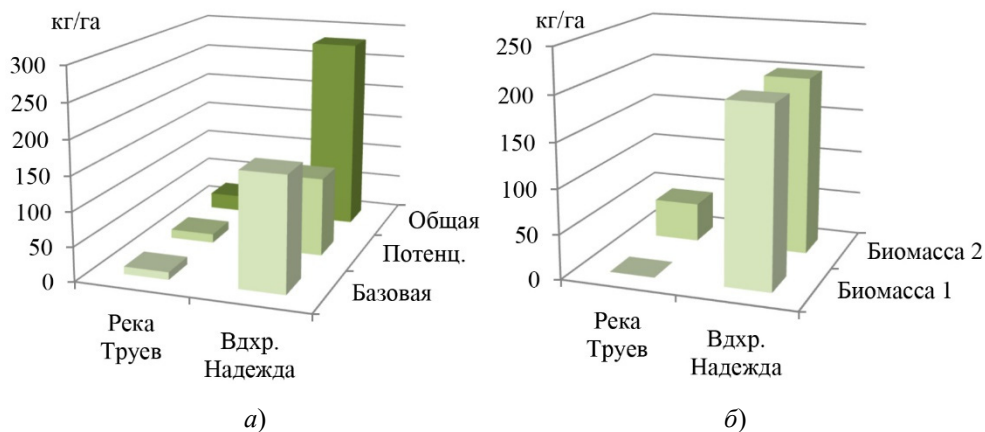


Рис. 2. Рыбопродукция водных объектов с различным количеством компонентов кормовой базы (а) и биомасса рыб с учетом промысловых (1) и непромысловых видов (2) (б), кг/га

Общая ихтиомасса в водохранилище составляет 201 кг/га, или с учетом площади водоема (3,3 га) – 663 кг. Ихтиомасса в естественном русле реки составляет лишь 44 кг/га, причем она формируется за счет непромысловых видов (рис. 2).

Рыбохозяйственное использование. Спортивно-любительское рыболовство. Общая ихтиомасса в водохранилище оценивается на уровне около 700 кг. Величина неистощительного вылова для мелких видов промысловых рыб (карася, ротана) составляет не менее 50 %, поэтому возможный ежегодный вылов может быть оценен в 350 кг.

Пастбищное рыбоводство. Учитывая наличие в большом объеме свободной кормовой базы, невостребованной аборигенными видами рыб – фитопланктона и макрофитов, в водохранилище существуют все условия для развития пастбищного рыбоводства. Для этого на русловом сооружении потребуется установить рыбозащитную сетку и периодически ее очищать. Благодаря вселению ценных видов рыб и, в первую очередь растительноядных, дополнительно с водоема можно получать до 930 кг рыбы, или 282 кг/га. Подобное зарыбление можно осуществлять и при ведении спортивно-любительского рыболовства. Расчет рыбопосадочного материала приведен в табл. 2 [14, 15]. Для получения указанного выше объема товарной рыбопродукции потребуется зарыбить 83 кг сеголеток.

Таблица 2

Расчет необходимого объема посадочного материала
для зарыбления водохранилища «Надежда»

| Кормовые ресурсы | Виды рыб | Рыбопродукция, кг/га | Промысловая масса, кг | Пром-возврат, % | Масса 1 экз. зарыбляемой молоди, г | Кол-во зарыбляемой молоди | | Масса зарыбляемой молоди, кг |
|------------------|--------------------------------|----------------------|-----------------------|-----------------|------------------------------------|---------------------------|-------------|------------------------------|
| | | | | | | экз./га | экз. | |
| Фитопланктон | Толстолобики (белый, гибрид) | 105/347 | 2,0 | 20,5/90,0 | 25–50 200–300 | 256 58 | 845 191 | 31,3 47,9 |
| Зоопланктон | Толстолобики (пестрый, гибрид) | 130/429 | 2,0 | 20,5/90,0 | 25–50/ 200–300 | 317 72 | 1046 238 | 38,7 59,5 |
| Зообентос | Сазан | 36/120 | 2,0 | 13,6 | 21-30 | 132 | 436 | 11 |
| Макрофиты | Белый амур | 10/34 | 2,5 | 20,5 | 25-50 | 20 | 66 | 2,4 |

Товарное рыбоводство. Учитывая мелководность и прогреваемость водоема, его водообмен, возможность сработки уровня до размеров естественного водотока р. Труев, на данном водохранилище возможно осуществлять прудовое рыбоводство. При этом можно использовать типичные нормы посадки годовичков на выращивание для прудов Пензенской обл.: карп – 1000 экз./га, растительные (толстолобик и белый амур) – 500 экз./га [16]. При использовании органических, минеральных удобрений и кормов возможно получение рыбопродукции в объеме 600–800 кг/га или 2,0–2,6 т ценной товарной рыбы.

Обсуждение

Таким образом, водоподъемное водохранилище прудового типа «Надежда» характеризуется рыбопродукцией на уровне средних показателей рыбоводных прудов и водохранилищ комплексного назначения Пензенской области и Республики Мордовия [9, 13, 15, 17, 18]. Так, биомасса зоопланктона в прудах Архангельский (Каменский район) и Урлейский (Пензенский район) в различные годы колебалась в пределах 0,65–13,39 г/м³, составляя в среднем 4,21 г/м³. В водохранилище прудового типа «Надежда» этот показатель имеет сравнимое с указанными выше значение – 4,34 г/м³. Базовая рыбопродукция и ихтиомасса в водохранилищах региона составляют: «Надежда» – 166 и 201 кг/га, Сурском (Пензенском) – 178 и 267 кг/га, Затон – 110 и 114 кг/га, Лямбирском (Саранское море) – 177 и 220 кг/га, Тургеневском – 245 и 146 кг/га. Водоем «Надежда» характеризуется и высокой потенциальной рыбопродукцией – 115 кг/га, что ниже ряда перечисленных водоемов, но выше, чем в Сурском (Пензенском) водохранилище (71 кг/га). Для сравнения в водохранилище Сенеж (Московская область) величина базовой рыбопродукции составляет 50 кг/га (потенциальной – 115 кг/га). Повышенная потенциальная рыбопродукция скорее свидетельствует о чрезмерной эвтрофии и неблагоприятном экологическом состоянии водоема. Такая же ситуация наблюдается на территории региона в Лямбирском водохранилище. Высокие показатели рыбопродукции

в водоеме «Надежда» в сравнении с естественным водотоком р. Труев обусловлены замедленным течением, большими глубинами, прогреваемостью воды, образованием площадей для формирования кормовой базы, нагула и воспроизводства рыбы. Благодаря приведенным факторам в отличие от водотоков рассматриваемый тип водоемов можно использовать как водоемы комплексного назначения в рыбохозяйственных целях: организации спортивно-любительского рыболовства и пастбищного и прудового рыбоводства [19, 20].

Заключение

Согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 19.01.2022 № 18 «О порядке подготовки и принятия решения о предоставлении водного объекта в пользование» пруды, образованные водоподпорными сооружениями на водотоках и с акваторией площадью не более 200 га, могут предоставляться в пользование в качестве водных объектов для осуществления прудовой аквакультуры (рыбоводства). Пользователем водоподъемного водохранилища может стать как общественная организация охотников и рыболовов, так и индивидуальный предприниматель или фермер. В результате заиления и по причине возникшей угрозы подтопления во время паводка мостового перехода, а также негативного экологического влияния такого состояния водоема на окружающую среду в окрестностях с. Ульяновка и санатория «Надежда» в 2019 г. была проведена его расчистка. В настоящее время администрацией санатория «Надежда» этот водоем оформляется в пользование.

На большинстве малых водотоков западного склона Приволжской возвышенности отмечается достаточное количество подобных неучтенных русловых водоподъемных водохранилищ прудового типа. Данный тип водоемов как наиболее востребованный со стороны рыбного хозяйства должен учитываться в прудовом рыбохозяйственном фонде региона и активно эксплуатироваться. Такая практика позволит значительно увеличить объем водных биологических ресурсов маловодных регионов.

Список литературы

1. Крышов К. К., Ивушкин А. С., Битяев Ю. К. [и др.]. Природные водоемы Пензенской области. Пенза : Лопатинская типография, 1990. 64 с.
2. Ивушкин А. С., Крышов К. К., Кантеев К. К. Водорегулирующие сооружения : справочник. Пенза : Пензенская Правда, 1993. 270 с.
3. Асанов А. Ю. Рыбохозяйственное значение водохранилищ, образованных русловыми водоподъемными сооружениями // Сурский вестник. 2019. № 3 (7). С. 22–28.
4. Абакумов В. А. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
5. Практическая гидробиология. Пресноводные экосистемы : учеб. для студ. биол. спец. университетов / под ред. В. Д. Федорова, В. П. Капкова. М. : ПИМ, 2006. 367 с.
6. Бурдова В. А., Стойко Т. Г., Асанов А. Ю. Структура зоопланктона водотоков в лесостепи Среднего Поволжья в осенний период // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2014. Т. 23, № 2. С. 33–39.
7. 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.
8. Стойко Т. Г., Мазей Ю. А., Сенкевич В. А. Планктонные коловратки пензенских водоемов. Пенза : Изд-во ПГУ, 2016. 166 с.

9. Сенкевич В. А., Стойко Т. Г. Состояние зоопланктонных сообществ прудов на реках Челбай и Урлейка спустя 10 лет (Пензенская область, Среднее Поволжье) // Сурский вестник. 2023. № S (25). С. 88–94.
10. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. М. : Пищ. пром-сть, 1966. 226 с.
11. Журавлев В. Б. Методы ихтиологических исследований на малых водоемах. Барнаул : Изд-во АлтГУ, 2014. 111 с.
12. Asanov A. Y., Galiullin A. A., Kalinichev E. A. Biological resources of waterbodies in the Volga region, formed by water retaining structures as exemplified by the Gorooskoye water reservoir in Penza region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : Volga Region Farmland 2021 (VRF 2021). Penza : IOP Publishing Ltd, 2022. P. 012028.
13. Козлов В. И., Иванова Ю. С. Эколого-рыбохозяйственная оценка озера Сенеж // Рыбное хозяйство. 2013. № 1. С. 18–25.
14. 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. : ВНИРО, 2020. 67 с.
15. Асанов А. Ю. Перспективы рыбохозяйственного использования Сурского водохранилища // Нива Поволжья. 2017. № 4 (45). С. 10–16.
16. Богданов Н. И., Асанов А. Ю. Прудовое рыбоводство. 4-е изд. М. : Перо, 2019. 89 с.
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. 7–13.
18. Асанов А. Ю. Особенности формирования естественной рыбопродуктивности 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.
19. Власов В. А., Мустаев С. Б. Разведение пресноводных рыб и раков. М. : Астрель, АСТ, Транзиткнига, 2004. 256 с.
20. Козлов А. В. Экологическая оценка биопродуктивности малых водоемов для создания фермерских хозяйств. Калуга : Эйдос, 2010. 148 с.

References

1. Kryshov K.K., Ivushkin A.S., Bityaev Yu.K. et al. *Prirodnye vodoemy Penzenskoy oblasti* = Natural reservoirs of Penza region. Penza: Lopatinskaya tipografiya, 1990:64. (In Russ.)
2. Ivushkin A.S., Kryshov K.K., Kanteev K.K. *Vodoreguliruyushchie sooruzheniya: spravochnik* = Water regulating structures: reference book. Penza: Penzenskaya Pravda, 1993:270. (In Russ.)
3. Asanov A.Yu. Fishery importance of reservoirs formed by river-bed water-lifting structures. *Surskiy vestnik* = Sura bulletin. 2019;(3):22–28. (In Russ.)
4. Abakumov V.A. *Rukovodstvo po gidrobiologicheskomu monitoringu presnovodnykh ekosistem* = Guidelines for hydrobiological monitoring of freshwater ecosystems. Saint Petersburg: Gidrometeoizdat, 1992:318. (In Russ.)
5. Fedorov V.D., Kapkov V.P. (eds.). *Prakticheskaya gidrobiologiya. Presnovodnye ekosistemy: ucheb. dlya stud. biol. spets. universitetov* = Practical hydrobiology. Freshwater ecosystems: textbook for students of biology in university. Moscow: PIM, 2006:367. (In Russ.)

6. Burdova V.A., Stoyko T.G., Asanov A.Yu. Structure of zooplankton in watercourses in the forest-steppe of the Middle Volga region in autumn. *Samarskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii* = Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology. 2014;23(2):33–39. (In Russ.)
7. Senkevich V.A., Stoyko T.G. Zooplankton community of a pond on the river Urleika in Penza region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2015;(3):32–41. (In Russ.)
8. Stoyko T.G., Mazey Yu.A., Senkevich V.A. *Planktonnye kolovratki penzenskikh vodoemov* = Planktonic rotifers of Penza reservoirs. Penza: Izd-vo PGU, 2016:166. (In Russ.)
9. Senkevich V.A., Stoyko T.G. The state of zooplankton communities in ponds on the Chelbay and Urleika rivers after 10 years (Penza region, the Middle Volga region). *Surskiy vestnik* = Sura bulletin. 2023;(S25):88–94. (In Russ.)
10. Pravdin I.F. *Rukovodstvo po izucheniyu ryb* = Fish Study Guide. Moscow: Pishch. prom-st', 1966:226. (In Russ.)
11. Zhuravlev V.B. *Metody ikhtologicheskikh issledovaniy na malykh vodoemakh* = Methods of ichthyological research in small bodies of water. Barnaul: Izd-vo AltGU, 2014:111. (In Russ.)
12. Asanov A.Y., Galiullin A.A., Kalinichev E.A. Biological resources of waterbodies 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 (VRF 2021)*. Penza: IOP Publishing Ltd, 2022:012028.
13. Kozlov V.I., Ivanova Yu.S. *Ekologo-rybokhozyaystvennaya otsenka ozera Senezh. Rybnoe khozyaystvo* = Ecological and fishery assessment of Lake Senezh. Fisheries. 2013;(1):18–25. (In Russ.)
14. 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: VNIRO, 2020:67. (In Russ.)
15. Asanov A.Yu. Prospects for the fishery use of the Sursky Reservoir. *Niva Povolzh'ya* = Niva of the Volga region. 2017;(4):10–16. (In Russ.)
16. Bogdanov N.I., Asanov A.Yu. *Prudovoe rybovodstvo. 4-e izd.* = Pond fish farming. The 4th edition. Moscow: Pero, 2019:89. (In Russ.)
17. Asanov A.Yu., Nosov A.V. Aquatic biological resources of artificial reservoirs of the Republic of Mordovia by the example of the Turgenevskoye reservoir. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser.: Rybnoe khozyaystvo* = Bulletin of Astrakhan State Technical University. Series: Fisheries. 2021;(4):7–13. (In Russ.)
18. 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. 2023Western ;(3):43–56. (In Russ.)
19. Vlasov V.A., Mustaev S.B. *Razvedenie presnovodnykh ryb i rakov* = Breeding freshwater fish and crayfish. Moscow: Astrel', AST, Tranzitkniga, 2004:256. (In Russ.)
20. Kozlov A.V. *Ekologicheskaya otsenka bioproduktivnosti malykh vodoemov dlya sozdaniya fermerskikh khozyaystv* = Ecological assessment of the bioproductivity of small reservoirs for the creation of farms. Kaluga: Eydos, 2010:148. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Алик Юсупович Асанов

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
Приволжского научного центра
аквакультуры и водных биоресурсов,
Пензенский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Ботаническая, 30)
kfvniro-as@list.ru

Alik Yu. Asanov

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

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию / Received 13.01.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 25.02.2024

Принята к публикации / Accepted 06.03.2024

УДК 581.9

doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-5

Тимьянниковые сообщества Жигулевского заповедника (Самарская область)

В. В. Бондарева

Институт экологии Волжского бассейна РАН – филиал Самарского федерального
исследовательского центра РАН, Тольятти, Россия

bondarevavictoria@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Растительные сообщества с участием узколокального эндемика *Thymus zheguliensis* занимают небольшие участки на склонах Жигулевских гор. Целью данной работы стала эколого-флористическая характеристика тимьянников на территории Жигулевского заповедника (Самарская область). *Материалы и методы.* Использовано 32 геоботанических описания из базы данных «Растительность Средней Волги». Обработка проведена с помощью пакетов программы JUICE. *Результаты и обсуждение.* Сформированы три группы тимьянниковых сообществ. Установлены диагностические и константные таксоны. Отмечены редкие и охраняемые виды. Показана ДСА-ординация и достоверная корреляция между положением фитоценозов в пространстве ДСА-осей и значениями экологических показателей Д. Н. Цыганова (климатических и почвенных). Синтаксономическое сравнение исследуемых сообществ и асс. *Thymo zhegulensis-Stipetum capillatae* Lysenko 2018 показало, что их видовой состав и характеристика экотопов отличаются. Дальнейшее изучение сообществ с участием *Thymus zheguliensis* позволит установить их синтаксономический ранг.

Ключевые слова: растительные сообщества, кластерный анализ, *Thymus zheguliensis*, Жигулевские горы, Жигулевский заповедник, Самарская область

Финансирование: исследования выполнены в рамках государственного задания Института экологии Волжского бассейна РАН «Структура, динамика и устойчивое развитие экосистем Волжского бассейна», № 1021060107217-0-1.6.19.

Благодарности: выражаю глубокую благодарность Владимиру Михайловичу Васюкову за помощь в определении растений и всестороннюю поддержку.

Для цитирования: Бондарева В. В. Тимьянниковые сообщества Жигулевского заповедника (Самарская область) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 1. С. 50–60. doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-5

Thyme plant communities of the Zhiguli Nature Reserve (Samara region)

V.V. Bondareva

Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences –
branch of Samara Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Togliatti, Russia

bondarevavictoria@yandex.ru

© Бондарева В. В., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Abstract. *Background.* Plant communities with the participation of the narrow-locality endemic *Thymus zheguliensis* occupy small areas on the slopes of the Zhiguli Mountains. The purpose of this work was the ecological and floristic characteristics of thyme plant communities on the territory of the Zhiguli Reserve (Samara region). *Materials and methods.* 32 relevés from the database “The vegetation of the Middle Volga” were used. The processing was carried out using JUICE program packages. *Results and discussion.* 3 groups of thyme communities have been formed. Diagnostic and constant taxa have been established. Rare and protected species are noted. The DCA-ordination are presented and the reliable correlation between the position of phytocenosis in the space of DCA-axes and the values of D. N. Tsyganov's environmental indicators (climatic and soil). Syntaxonomic comparison of the studied plant communities and acc. *Thymo zhegulensis-Stipetum capillatae* Lysenko 2018 showed that the species composition and characteristics of ecotopes differ. Further study of thyme plant communities of the rocky steppe will allow us to establish their syntaxonomic rank.

Keywords: plant communities, cluster analysis, *Thymus zheguliensis*, Zhiguli mountains, Zhiguli Reserve, Samara region

Financing: the research was performed within the state task of the Institute of Ecology of the Volga Basin of the Russian Academy of Sciences “Structure, dynamics and sustainable development of ecosystems of the Volga Basin” No. 1021060107217-0-1.6.19.

Acknowledgments: the author extends gratitude to Vladimir Mikhailovich Vasyukov for his help in identifying plants and comprehensive support.

For citation: Bondareva V.V. Thyme plant communities of the Zhiguli Nature Reserve (Samara region). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2024;(1):50–60. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-5

Введение

На каменистых участках Жигулевского государственного природного биосферного заповедника им. И. И. Спрыгина формируются редкие тимьянниковые сообщества с господством узколокального эндемика *Thymus zheguliensis* [1]. Климатические факторы, сильно щебневатый субстрат и недоразвитость почв создают специфические условия для их существования [2].

В литературе представлена единственная ассоциация *Thymo zhegulensis-Stipetum capillatae* Lysenko 2018, которая встречается только на Самарской Луке [3]. В сообществах ассоциации обилие *Thymus zheguliensis* составляет от 10 до 40 %. Фитоценозы ассоциации флористически богаты, содержат реликтовые, эндемичные и краснокнижные виды. Ассоциация отнесена к классу *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947, порядку *Helictotricho desertorum-Stipetalia* Toman 1969, союзу *Centaureion sumensis* Golub et al. 1995 [4].

Предварительно с позиций эколого-флористической классификации растительные сообщества с участием *Thymus zheguliensis* рассматривались ранее [5]. Во время полевого сезона 2023 г. на территории Жигулевского государственного природного биосферного заповедника им. И. И. Спрыгина проведено дополнительное изучение тимьянниковых сообществ. Настоящее исследование является продолжением этой работы.

Материалы и методы

Использовано 32 геоботанических описания с обилием *Thymus zheguliensis* на учетной площадке 10–20 % из базы данных [6]. Все описания выполнены по стандартным методикам в пределах реального контура сообществ с указанием координат на территории Жигулевского государственного природного биосферного заповедника им. И. И. Спрыгина. Гербарные образцы

хранятся в Институте экологии Волжского бассейна РАН (PVB). Латинские названия сосудистых видов растений даны в соответствии со сводкой С. К. Черепанова [7]. Для оценки степени неоднородности выборки описаний с тимусом использовали средние коэффициенты сходства Чекановского – Дайса – Сьеренсена, рассчитанных с помощью программы IBIS [8].

Обработка данных проведена с помощью пакетов программы JUICE [9]. Кластерный анализ выполнен с применением программы PCORD 5.0, в качестве меры расстояния между объектами выбрана эвклидова дистанция, группировка объектов выполнена по методу «гибкой бетты» ($\beta > 0,25$) [10]. Экологическая оценка фитоценозов проведена с применением показателей шкал Д. Н. Цыганова [11], рассчитанных с помощью программы IBIS методом «взвешенного усреднения» [8]. Дана характеристика климатических показателей (термоклиматический (Tm), континентальность климата (Kn), омброклиматический аридности-гумидности (Om); криоклиматический (Cr); освещенности-затенения (Lc)) и почвенных условий (увлажнение (Hd); солевой режим (Tr); кислотность (Rc); богатство азотом (Nt); переменность увлажнения (fH)). Интерпретация осей ДСА-ординации проведена по коэффициенту корреляции между индикаторными показателями и координатами описаний [12]. Диагностические виды определяли с помощью вычисления ϕ -коэффициента [13, 14]. Величина ϕ -коэффициента, выше которой таксон относили к диагностическому, была принята равной 0,5. В дополнение установлена категория константных видов, встречаемость которых в кластере 80 % и более. ДСА-ординация геоботанических описаний выполнялась с помощью встроенного в программу JUICE модуля «Ordjuice» из R-пакета, с понижением веса редких видов [15].

Результаты и обсуждение

Кластерный анализ показал, что наилучшая четкость классификации выборки из 32 геоботанических описаний с участием *Thymus zheguliensis* наблюдается при делении на три группы (рис. 1). Полученные группы далее рассматриваем как вариант ассоциации (ass. prov.) и приводим их характеристику.

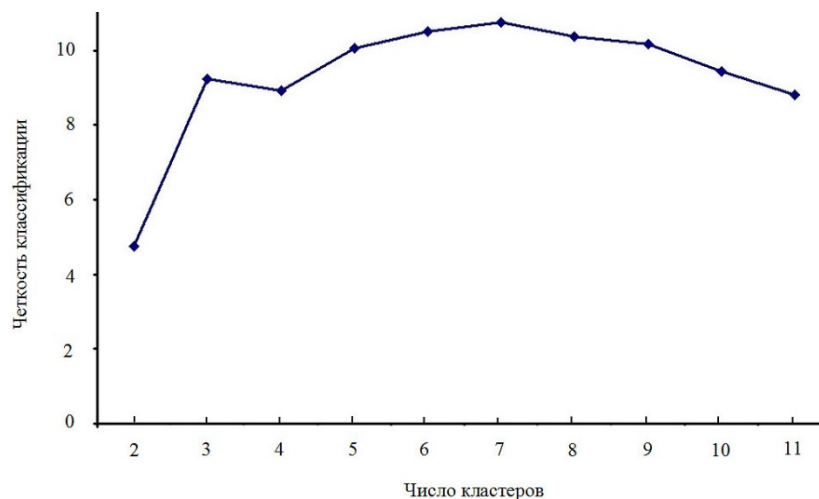


Рис. 1. Изменение показателя четкости классификации с увеличением числа кластеров

Сообщество *Thymus zheguliensis-Stipa pennata* ass. prov. включает 12 площадок (табл. 1). Сообщество с высокой видовой насыщенностью, в среднем на площадке встречается 31 вид. Травостой редкий. Общее проективное покрытие в среднем составляет 40–45%. *Thymus zheguliensis* на площадках с обилием от 10 до 20 %.

Таблица 1

Сокращенная сравнительная таблица тимьянников
Жигулевского заповедника

| Сообщества | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|-----|-----|-----|-----|
| Число описаний | 12 | 15 | 5 | 12 |
| Среднее значение показателей экологических шкал Д. Н. Цыганова | | | | |
| климатических | | | | |
| континентальность (Kn) | 10 | 10 | 10 | 10 |
| термоклиматический (Tm) | 9 | 8,9 | 9 | 8,8 |
| аридность-гумидность (Om) | 7 | 7 | 7 | 7 |
| суровость зимнего периода (Cr) | 8 | 8 | 8 | 7 |
| освещенность-затенение (Lc) | 2,1 | 2,3 | 2 | 2,2 |
| почвенных | | | | |
| увлажнение (Hd) | 8,2 | 8,4 | 7,8 | 8,0 |
| солевой режим (Tr) | 7,8 | 7,7 | 7,8 | 8,0 |
| кислотность (Rc) | 8,8 | 8,9 | 9 | 9 |
| богатство почвы азотом (Nt) | 4,3 | 4,7 | 4,8 | 4,3 |
| переменность увлажнения (Fh) | 6,6 | 6,4 | 6 | 6,9 |
| Среднее число видов на площадке | 31 | 31 | 23 | 23 |
| Диагностические виды: | | | | |
| <i>Thymus zheguliensis</i> | 100 | 100 | 100 | 100 |
| <i>Centaurea carbonata</i> | . | . | . | 100 |
| <i>Stipa capillata</i> | 50 | 60 | 60 | 100 |
| <i>Carex pediformis</i> | 92 | 100 | 80 | 100 |
| <i>Scabiosa ochroleuca</i> | 25 | . | . | 83 |
| <i>Eremogone micradenia</i> | 42 | 47 | 20 | 83 |
| <i>Viola ambigua</i> | 33 | 27 | 20 | 75 |
| <i>Helictotrichon desertorum</i> | 83 | 53 | 80 | . |
| <i>Pulsatilla patens</i> | 75 | 53 | . | . |
| <i>Melampyrum argyrocomum</i> | 58 | 7 | . | . |
| <i>Agropyron desertorum</i> | 8 | 100 | . | . |
| <i>Artemisia campestris</i> | 58 | 87 | 40 | . |
| <i>Helianthemum zheguliense</i> | . | 47 | . | . |
| <i>Linum flavum</i> | . | 47 | . | . |
| <i>Echinops meyeri</i> | . | . | . | 100 |
| <i>Gypsophila altissima</i> | 75 | 87 | 80 | 92 |
| <i>Artemisia marschalliana</i> | 25 | . | 60 | 92 |
| <i>Serratula cardunculus</i> | . | . | . | 58 |
| <i>Euphrasia pectinata</i> | . | . | . | 50 |
| <i>Astragalus testiculatus</i> | . | . | . | 42 |
| <i>Carex supina</i> | . | . | . | 42 |
| <i>Centaurea marschalliana</i> | 92 | 100 | 100 | . |
| <i>Onosma simplicissima</i> | 50 | 53 | 80 | 100 |
| <i>Galium octonarium</i> s.l | 67 | 100 | 60 | 50 |
| <i>Echinops ruthenicus</i> | 75 | 93 | 100 | . |

Окончание табл. 1

| | | | | |
|----------------------------------|----|----|-----|----|
| <i>Jurinea arachnoidea</i> | 75 | 87 | 100 | . |
| <i>Alyssum tortuosum</i> | 58 | 73 | 100 | . |
| <i>Campanula sibirica</i> | 67 | 93 | 40 | 75 |
| <i>Euphorbia seguieriana</i> | 67 | 93 | 80 | 58 |
| <i>Festuca valesiaca</i> | 83 | 60 | 60 | 75 |
| <i>Potentilla humifusa</i> | 17 | 47 | 60 | 92 |
| <i>Vincetoxicum albowianum</i> | 67 | 73 | 60 | . |
| <i>Stipa pennata</i> | 67 | 13 | 40 | 42 |
| <i>Galatella villosa</i> | 58 | 40 | 40 | 42 |
| <i>Alyssum lenense</i> | 58 | 40 | . | 42 |
| <i>Scorzonera austriaca</i> | 50 | 73 | 80 | . |
| <i>Koeleria macrantha</i> | 50 | 67 | 40 | . |
| <i>Tanacetum sclerophyllum</i> | 50 | 67 | 80 | . |
| <i>Polygonatum odoratum</i> | 50 | 53 | . | . |
| <i>Potentilla arenaria</i> | 50 | 47 | 40 | 8 |
| <i>Stipa pulcherrima</i> | 50 | 33 | 20 | 8 |
| <i>Dianthus andrzejowskianus</i> | 50 | 33 | 40 | . |
| <i>Asparagus officinalis</i> | 50 | . | . | 33 |
| <i>Allium cretaceum</i> | 42 | 67 | 40 | 8 |
| <i>Centaurea ruthenica</i> | 42 | 47 | . | . |
| <i>Poa bulbosa</i> | 42 | 33 | 20 | 58 |
| <i>Salvia stepposa</i> | 42 | 27 | . | 42 |
| <i>Scabiosa isetensis</i> | 42 | 27 | 80 | 17 |
| <i>Trinia multicaulis</i> | 42 | 13 | 60 | . |
| <i>Hieracium echioides</i> | 42 | 7 | 20 | . |
| <i>Koeleria sclerophylla</i> | 33 | 40 | 40 | . |
| <i>Caragana frutex</i> | 33 | 27 | 20 | 17 |
| <i>Draba nemorosa</i> | 33 | 20 | . | . |
| <i>Galatella angustissima</i> | 33 | 13 | 20 | 8 |
| <i>Galium ruthenicum</i> | 33 | 13 | 20 | 8 |
| <i>Adonis vernalis</i> | 33 | . | . | 33 |
| <i>Sedum acre</i> | 33 | 7 | . | . |
| <i>Galium tinctorium</i> | 25 | 40 | . | . |
| <i>Astragalus zingeri</i> | 25 | 33 | . | . |
| <i>Aster alpinus</i> | 25 | 27 | . | 17 |
| <i>Arenaria serpyllifolia</i> | 25 | 27 | . | . |
| <i>Hieracium virosum</i> | 25 | 13 | . | . |
| <i>Thesium arvense</i> | 17 | 7 | . | 42 |
| <i>Stipa lessingiana</i> | 8 | 7 | 40 | . |
| <i>Clausia aprica</i> | 17 | 33 | 20 | . |
| <i>Allium lineare</i> | 17 | 20 | . | 25 |
| <i>Scorzonera stricta</i> | 8 | 27 | 20 | 25 |
| <i>Gagea bulbifera</i> | 8 | 27 | . | . |
| <i>Melampyrum arvense</i> | 8 | . | 20 | 25 |
| <i>Anthemis subtinctoria</i> | . | . | . | 25 |
| <i>Oxytropis pilosa</i> | . | . | . | 25 |

П р и м е ч а н и е. Встречаемость растений указана в процентах проективного покрытия. Серым цветом отмечены показатели встречаемости диагностических видов. Таксоны, встречаемость которых не превышает 25 % ни в одной из групп, не приводятся. Растительные сообщества: 1 – *Thymus zheguliensis-Stipa pennata*, 2 – *Thymus zheguliensis-Koeleria macrantha*, 3 – *Thymus zheguliensis-Festuca valesiaca*; 4 – ас. *Thymo zhegulensis-Stipetum capillatae*.

Сообщество занимает самые открытые, верхние участки южных склонов гор Бахиловой и Стрельной с крутизной в среднем 25°. Эти местоположения подвержены сильному воздействию ветра и солнца, субстрат щебневатый, почвенный слой слабо развитый.

Диагностические виды: *Helictotrichon desertorum*, *Pulsatilla patens*, *Melampyrum argyrocomum*.

Константные виды: *Thymus zheguliensis*, *Centaurea marschalliana*, *Carex pediformis*, *Festuca valesiaca*, *Helictotrichon desertorum*.

Редкие виды: *Adonis vernalis*, *Alyssum lenense*, *Aster alpinus*, *Astragalus zingeri*, *Clausia aprica*, *Gagea bulbifera*, *Gypsophila Juzepczukii*, *Globularia punctata*, *Helianthemum nummularium*, *Jurinea ledebourii*, *Koeleria sclerophylla*, *Polygala sibirica*, *Pulsatilla patens*, *Scabiosa isetensis*, *Stipa pennata*, *S. pulcherrima**, *Thymus zheguliensis*, *Valeriana tuberosa* (* – [16, 17]).

Экологические условия фитоценоза по шкалам Д. Н. Цыганова определяются пределами неморального (9 балла по шкале Тм), полуконтинентального (10 балла по шкале Кп), режима климата с субаридной влажностью (7 баллов по шкале Ом), с умеренной суровостью зимнего периода (8 баллов по шкале Сг), с полярной освещенностью (2,1 балла по шкале Лс), промежуточной между открытым и полуоткрытым местообитанием. Почвенные условия характеризуются свежестепным типом увлажнения (8,2 балла по шкале Нд), довольно минерализованные (7,8 балла по шкале Тг), нейтральные (8,8 балла по шкале Rc), очень бедные азотом (4,3 балла по шкале Nt), с умеренно-переменным увлажнением (6,6 балла по шкале Fh).

Сообщество *Thymus zheguliensis-Koeleria macrantha* ass. prov. включает 15 площадок (табл. 1). Сообщество с высокой насыщенностью видов в среднем на площадке встречается 31 вид. Травянистый покров разрежен. ОПП варьирует от 40 до 60 %. Обилие *Thymus zheguliensis* на площадках от 10 до 20 %.

Сообщество занимает верхние и средние участки южных и юго-западных склонов крутизной в среднем 25° гор Бахиловой, Малиновой, Стрельной и Наблюдатель.

Диагностические виды: *Agropyron desertorum*, *Artemisia campestris*, *Helianthemum zheguliense*, *Linum flavum*.

Константные виды: *Thymus zheguliensis*, *Agropyron desertorum*, *Centaurea marschalliana*, *Carex pediformis*, *Galium octonarium* s.l., *Echinops ruthenicus*, *Campanula sibirica*, *Euphorbia seguieriana*, *Gypsophila altissima*, *Artemisia campestris*.

Редкие виды: *Alyssum lenense*, *Artemisia salsoloides*, *Asperula petraea*, *Aster alpinus*, *Astragalus zingeri*, *Clausia aprica*, *Cleistogenes squarrosa*, *Ferula tatarica*, *Fritillaria ruthenica*, *Gagea bulbifera*, *Hedysarum grandiflorum*, *Helianthemum nummularium*, *H. zheguliense*, *Linum flavum*, *Koeleria sclerophylla*, *Polygala sibirica*, *Pulsatilla patens*, *Scabiosa isetensis*, *Stipa pennata*, *S. pulcherrima**, *Thymus zheguliensis*, *Valeriana tuberosa* (* – [16, 17]).

Экологические условия фитоценоза по шкалам Д. Н. Цыганова определяются пределами неморального (8,9 балла по шкале Тм), полуконтинентального (10 балла по шкале Кп), режима климата с субаридной влажностью (7 баллов по шкале Ом), с умеренной суровостью зимнего периода (8 баллов по шкале Сг), с полярной освещенностью (2,3 балла по шкале Лс), промежуточной между открытым и полуоткрытым местообитанием. Почвенные условия характеризуются свежестепным типом увлажнения (8,4 балла по шкале Нд), довольно минерализованные (7,7 балла по шкале Тг), нейтральные (8,9 балла по шкале Rc), бедные азотом (4,7 балла по шкале Nt), с промежуточным

между слабопеременным и умеренно-переменным увлажнением (6,4 балла по шкале Fh).

Сообщество *Thymus zheguliensis-Festuca valesiaca* ass. prov. включает пять площадок (табл. 1). В среднем на учетной площадке отмечается 23 вида. Общее проективное покрытие в среднем составляет 60 %. *Thymus zheguliensis* на площадках с обилием от 10 до 20 %.

Сообщество занимает средние участки более пологих склонов с уклоном в среднем 22° юго-западной экспозиций гор Бахиловой, Яблонной, Стрельной.

Диагностические виды: при уровне значимости phi-коэффициента 0,5 не выявлены.

Константные виды: *Thymus zheguliensis*, *Centaurea marschalliana*, *Echinops ruthenicus*, *Jurinea arachnoidea*, *Alyssum tortuosum*, *Carex pediformis*, *Onosma simplicissima*, *Euphorbia seguieriana*, *Gypsophila altissima*, *Scorzonera austriaca*, *Tanacetum sclerophyllum*, *Scabiosa isetensis*.

Редкие виды: *Clausia aprica*, *Linum uralens*, *Koeleria sclerophylla*, *Scabiosa isetensis*, *Stipa pennata*, *S. pulcherrima**, *Thymus zheguliensis* (* – [16, 17]).

Экологические условия фитоценоза по шкалам Д. Н. Цыганова определяются пределами неморального (9 баллов по шкале Tm), полуконтинентального (10 балла по шкале Kn), режима климата с субаридной влажностью (7 баллов по шкале Om), с умеренной суровостью зимнего периода (8 баллов по шкале Cr), с полевой освещенностью (2 балла по шкале Lc), промежуточной между открытым и полуоткрытым местообитанием. Почвенные условия характеризуются свежестепным типом увлажнения (7,8 балла по шкале Hd), довольно минерализованные (7,8 балла по шкале Tr), нейтральные (9 баллов по шкале Rc), бедные азотом (4,8 балла по шкале Nt), с промежуточным между слабопеременным и умеренно-переменным увлажнением (6 баллов по шкале Fh).

Визуализация проекций положений описаний сообществ в 3d пространстве DCA-ординации показана относительно 1, 3 и 4 осей (рис. 2).

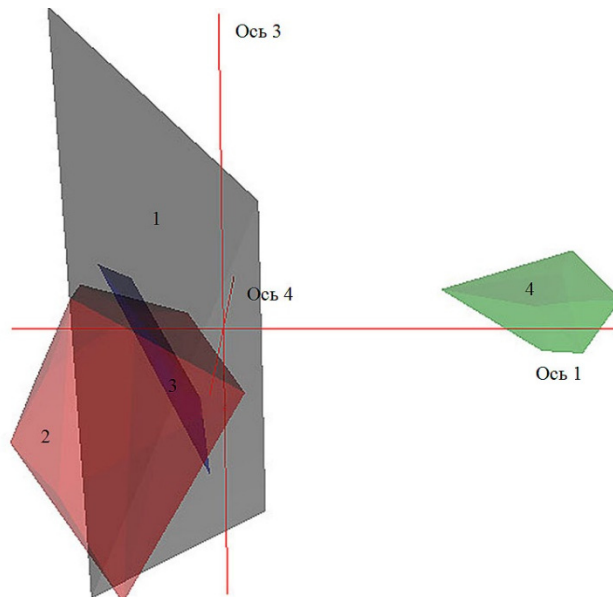


Рис. 2. DCA-ординация сообществ с участием *Thymus zheguliensis* Жигулевского заповедника. Собственные значения DCA осей: ось 1 – 0,35, ось 3 – 0,12, ось 4 – 0,08. Цифрами обозначены: (1, 2, 3, 4) тимьянниковые сообщества

Координаты описаний на ДСА-осях имеют достоверную корреляцию с показателями экологических шкал Д. Н. Цыганова (табл. 2). На ось 1 приходится 15 % общей изменчивости, на ось 3 и 4 – 12 и 8 % соответственно. Оси первую и третью можно интерпретировать как комплексный градиент климатических и эдафических условий экотопов тимьянников.

Таблица 2

Коэффициенты линейной корреляции между величинами проекций на осях ДСА-ординации положений геоботанических описаний и показателями экологических шкал Д. Н. Цыганова

| Показатели | Климатические | | Эдафические | | | | |
|------------|---------------|---------|-------------|---------|---------|---------|--------|
| | Kn | Cr | Tr | Hd | Nt | Rc | Fh |
| Ось 1 | 0,429* | -0,759* | 0,360* | -0,317* | -0,125 | 0,189 | 0,472* |
| Ось 3 | -0,014 | -0,033 | 0,007 | 0,078 | -0,479* | -0,251 | 0,491* |
| Ось 4 | -0,034 | -0,009 | 0,197 | 0,141 | -0,077 | -0,311* | 0,012 |

Примечание. Звездочками отмечены статистически значимые коэффициенты корреляций при уровне значимости 0,05. Kn – континентальность климата; Cr – суровость зимнего периода; Tr – солевой режим; увлажнение (Hd); Nt – богатство азотом; Rc – кислотность; Fh – переменность увлажнения.

Выделенные нами сообщества характеризуются неоднородностью с описаниями асс. *Thymo zhegulensis-Stipetum capillatae*. Средний коэффициент сходства Чекановского – Дайса – Сьеренсена составляет 0,37 (табл. 3).

Таблица 3

Средние значения коэффициентов Чекановского – Дайса – Сьеренсена

| Растительное сообщество | 1 | 2 | 3 |
|------------------------------|------|------|------|
| Число описаний | 12 | 15 | 5 |
| Среднее значение индекса ЧДС | 0,37 | 0,36 | 0,39 |

Заключение

Флористический состав изученных тимьянников образован ксерофитами, ксеромезофитами и мезоксерофитами, многие из которых являются эндемичными для бассейна р. Волга (*Thymus zheguliensis*, *Helianthemum zheguliense*, *Gypsophila juzepczukii*, *G. zhegulensis* и субэндемики: *Allium cretaceum*, *Astragalus zingeri*, *Artemisia salsoloides*, *Centaurea carbonata*, *Galium hexanarium*, *Koeleria sclerophylla*) [18, 19].

Сформировано три вида тимьянниковых сообществ: *Thymus zheguliensis-Stipa pennata*, *Thymus zheguliensis-Koeleria macrantha*, *Thymus zheguliensis-Festuca valesiaca*, которые отличаются от ценозов асс. *Thymo zhegulensis-Stipetum capillatae* Lysenko 2018 по флористическому составу и по характеристике экотопов. Первое сообщество (*Thymus zheguliensis-Stipa pennata*) осваивает местоположения с менее благоприятными условиями: на более обдуваемых ветром склонах гор и очень бедных почвах. Доминируют с высокой встречаемостью на площадке степные злаки (*Helictotrichon desertorum*, *Koeleria macrantha*, *Stipa pennata*, *S. capillata*, *S. pulcherrima*) и разнотравье (*Centaurea marschalliana*, *Galium octonarium* s.l., *Gypsophila altissima*, *Galatella villosa*, *Onosma simplicissima*). Сообщество *Thymus zheguliensis-Koeleria macrantha* занимает более пологие склоны с бедными почвами. К доминирующим степным видам добавляются с высокой встречаемостью: *Agropyron*

desertorum, *Campanula sibirica*, *Allium cretaceum*. Тимьянник *Thymus zheguliensis*-*Festuca valesiaca* размещается на склонах с выходом крупных каменистых форм. Общее флористическое разнообразие несколько снижается, среди доминантов появляются горностепные и кальцефитные виды: *Scabiosa isetensis*, *Potentilla humifusa*, *Trinia multicaulis*.

Тимьянники на территории Жигулевского государственного природного биосферного заповедника им. И. И. Спрыгина являются уникальными растительными сообществами, что вызывает необходимость осуществления постоянного мониторинга и проведения охранных мероприятий.

Список литературы

1. Спрыгин И. И. Реликтовые растения Поволжья // Материалы по истории флоры и растительности СССР. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1941. Вып.1. С. 293–314.
2. Саксонов С. В. Самаролукский флористический феномен. М. : Наука, 2006. 262 с.
3. Лысенко Т. М. Новая ассоциация степной растительности из Жигулевских гор // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27, № 1. С. 213–216. doi: 10.24411/2073-1035-2018-10012
4. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K. [et al.]. Vegetation of Europe: Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities // App. Veg. Sci. 2016. Vol. 19 (s1). P. 3–264.
5. Бондарева В. В. Редкие сообщества с участием *Thymus zheguliensis* в Жигулевских горах // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2023. Т. 17, № 3. С. 5–14. doi: 10.24412/2072-8816-2023-17-3-5-14
6. Бондарева В. В. База данных растительности Среднего Поволжья // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2022. Т. 16, № 3. С. 5–9. doi: 10.24412/2072-8816-2022-16-3-5-9
7. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.
8. Зверев А. А. Информационные технологии в исследованиях растительного покрова. Томск, 2007. 303 с.
9. Tichy L. JUICE, software for vegetation classification // J. Veg. Sci. 2002. Vol. 13. P. 451–453.
10. McCune B., Mefford M. J. PC-ORD. Multivariate Analyses of Ecological Data. Version 5. MjM Software. Gleneden Beach, Oregon, USA, 2006. 24 p.
11. Цыганов Д. Н. Фитоиндикация экологических режимов в подзоне хвойно-широколиственных лесов. М., 1983. 226 с.
12. Боровиков В. А. Statistica. Искусство анализа данных на компьютере. 2-е изд. СПб. : Питер, 2003. 688 с.
13. Chytry M., Tichy L., Holt J., Botta-Dukat Z. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures // J. Veg. Sci. 2002. Vol. 13. P. 79–90.
14. Tichy L., Chytry M. Statistical determination of diagnostic species for site groups of unequal size // J. Veg. Sci. 2006. Vol. 17. P. 809–818.
15. Zelený D., Tichý L. Linking JUICE and R: New developments in visualization of unconstrained ordination analysis. 2009.
16. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М. : Тов-во науч. изданий КМК, 2008. 844 с.
17. Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений и грибов / под ред. С. А. Сенатора, С. В. Саксонова. Самара : Самарская государственная областная академия (Наяновой), 2017. 384 с.
18. Плаксина Т. И. Конспект флоры Волго-Уральского региона. Самара, 2001. 388 с.
19. Васюков В. М., Саксонов С. В., Сенатор С. А. Эндемичные растения бассейна Волги // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2015. Т. 9, № 3. С. 27–43.

References

1. Sprygin I.I. Relict plants of the Volga region. *Materialy po istorii flory i rastitel'nosti SSSR* = Materials on the history of flora and vegetation of the USSR. Moscow; Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1941;(1):293–314. (In Russ.)
2. Saksonov S.V. *Samarolukskiy floristicheskiy fenomen* = Samarolukskiy floristic phenomenon. Moscow: Nauka, 2006:262. (In Russ.)
3. Lysenko T.M. New association of steppe vegetation from the Zhiguli Mountains. *Samarorskaya Luka: problemy regional'noy i global'noy ekologii* = Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology. 2018;27(1):213–216. (In Russ.). doi: 10.24411/2073-1035-2018-10012
4. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K. et al. Vegetation of Europe: Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen, and algal communities. *App. Veg. Sci.* 2016;19(s1):3–264.
5. Bondareva V.V. Rare communities involving *Tnimus zheguliensis* in the Zhiguli Mountains. *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy* = Phytodiversity of Eastern Europe. 2023;17(3):5–14. (In Russ.). doi: 10.24412/2072-8816-2023-17-3-5-14
6. Bondareva V.V. Vegetation database of the Middle Volga region. *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy* = Phytodiversity of Eastern Europe. 2022;16(3):5–9. (In Russ.). doi: 10.24412/2072-8816-2022-16-3-5-9
7. 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.)
8. Zverev A.A. *Informatsionnye tekhnologii v issledovaniyakh rastitel'nogo pokrova* = Information technology in land cover research. Tomsk, 2007:303. (In Russ.)
9. Tichy L. JUICE, software for vegetation classification. *J. Veg. Sci.* 2002;13:451–453.
10. McCune B., Mefford M.J. *PC-ORD. Multivariate Analyses of Ecological Data. Version 5. MjM Software*. Glenden Beach, Oregon, USA, 2006:24.
11. Tsyganov D.N. *Fitoindikatsiya ekologicheskikh rezhimov v podzone khvoynno-shirokolistvennykh lesov* = Phytoindication of ecological regimes in the subzone of coniferous-deciduous forests. Moscow, 1983:226. (In Russ.)
12. Borovikov V.A. *Statistica. Iskustvo analiza dannykh na komp'yutere. 2-e izd.* = Statistics. The art of data analysis on a computer. The 2nd edition. Saint Petersburg: Piter, 2003:688. (In Russ.)
13. Chytry M., Tichy L., Holt J., Botta-Dukat Z. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures. *J. Veg. Sci.* 2002;13:79–90.
14. Tichy L., Chytry M. Statistical determination of diagnostic species for site groups of unequal size. *J. Veg. Sci.* 2006;17:809–818.
15. Zelený D., Tichý L. *Linking JUICE and R: New developments in visualization of unconstrained ordination analysis*. 2009.
16. *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii (rasteniya i griby)* = The Red book of the Russian Federation (plants and mushrooms). Moscow: Tov-vo nauch. izdaniy KMK, 2008:844. (In Russ.)
17. Senator S.A., Saksonov S.V. (eds.). *Krasnaya kniga Samarskoy oblasti. T. 1. Redkie vidy rasteniy i gribov* = The Red book of Samara region. Volume 1. Rare species of plants and mushrooms. Samara: Samarskaya gosudarstvennaya oblastnaya akademiya (Nayanovoy), 2017:384. (In Russ.)
18. Plaksina T.I. *Konspekt flory Volgo-Ural'skogo regiona* = Abstract of the flora of the Volga-Ural region. Samara, 2001:388. (In Russ.)
19. Vasyukov V.M., Saksonov S.V., Senator S.A. Endemic plants of the Volga basin. *Fitoraznoobrazie Vostochnoy Evropy* = Phytodiversity of Eastern Europe. 2015;9(3): 27–43. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Виктория Владимировна Бондарева

кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
лаборатории исследования экосистем,
Институт экологии
Волжского бассейна РАН –
филиал Самарского федерального
исследовательского центра РАН
(Россия, г. Тольятти, ул. Комзина, 10)
E-mail: bondarevavictoria@yandex.ru

Viktoria V. Bondareva

Candidate of biological sciences,
senior staff scientist of the laboratory
of ecosystem research,
Institute of Ecology of the Volga Basin
of the Russian Academy of Sciences –
branch of Samara Federal Research Center
of the Russian Academy of Sciences
(10 Komzina street, Togliatti, Russia)

**Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов /
The authors declare no conflicts of interests.**

Поступила в редакцию / Received 28.12.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 16.02.2024

Принята к публикации / Accepted 12.03.2024

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

УДК 58.037 +633.111.1

doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-6

Влияние магнитоплазменной обработки на активность ферментов и прорастание *Triticum aestivum*

В. Ф. Путько¹, И. Л. Федорова², С. Н. Решетникова³, С. Н. Сергатенко⁴

¹Самарский государственный университет путей сообщения, Самара, Россия

^{2,3,4}Ульяновский государственный аграрный университет, Ульяновск, Россия

¹v.putko@samgups.ru, ²irinalfedorova@yandex.ru,

³reset-69@mail.ru, ⁴ssergatenko@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Применение физических воздействий на семена вместо химических стимуляторов позволит получать экологически чистую продукцию. Приведены результаты экспериментов по обработке семян яровой мягкой пшеницы установкой с одновременным воздействием магнитного поля и озонирования на базе плазменного разряда. Целью исследований является установление влияния комбинированного физического воздействия на посевные качества и физиологические процессы в прорастающих семенах. *Материалы и методы.* Воздействие на семенной материал осуществлялось установкой магнитоплазменной обработки, которая включает в себя мощный магнитный индуктор, создающий градиентное магнитное поле с регулируемым уровнем магнитной индукции от 100 до 500 Гс (0,01–0,05 Тл), а также электрический диффузный разряд, излучающий ультрафиолет с длиной волны $\lambda = 248\text{--}577$ нм. Под действием ультрафиолетового излучения в воздухе образуется озон. Магнитное поле оказывает возбуждающее воздействие на зародыши семян и подавляет личинки насекомых. Ультрафиолет уничтожает бактерии на поверхности семян и разлагает консервирующие элементы в оболочке. Озон оказывает общее обеззараживающее бактерицидное действие. *Результаты.* Установлено стимулирующее действие на энергию прорастания и всхожесть. Изучение активности ферментов выявило стимулирующий эффект обработки на каталазу и амилазу растений. Фитоэкспертиза семян показывает, что проведенные обработки снижают признаки заражения семян гельминтоспориозом. *Выводы.* Предложенный способ магнитоплазменной обработки семян оказывает стимулирующее воздействие на активность ферментов и всхожесть семян, а также уменьшается число семян, пораженных гельминтоспориозом.

Ключевые слова: яровая пшеница, обработка семян, проростки, магнитная обработка семян, озонирование семян, каталаза, амилаза, фитоэкспертиза семян

© Путько В. Ф., Федорова И. Л., Решетникова С. Н., Сергатенко С. Н., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Путько В. Ф., Федорова И. Л., Решетникова С. Н., Сергатенко С. Н. Влияние магнитоплазменной обработки на активность ферментов и прорастание *Triticum aestivum* // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 1. С. 61–71. doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-6

The effect of magnetic and plasma treatment on enzymatic activity and germination of *Triticum aestivum*

V.F. Putko¹, I.L. Fedorova², S.N. Reshetnikova³, S.N. Sergatenko⁴

¹Samara State Transport University, Samara, Russia

^{2,3,4}Ulyanovsk State Agrarian University, Ulyanovsk, Russia

¹v.putko@samgups.ru, ²irinalfedorova@yandex.ru,

³reset-69@mail.ru, ⁴ssergatenko@yandex.ru

Abstract. *Background.* The use of physical effects on seeds instead of chemical stimulants will allow obtaining environmentally friendly products. The article presents the results of experiments on the treatment of spring wheat seeds with an installation of simultaneous exposure to a magnetic action and ozonation based on a plasma discharge. The work objective of the research is to establish the effect of combined physical effects on sowing qualities and physiological processes in germinating seeds. *Materials and methods.* The effect on the seed material was carried out by a magnetoplasma installation, which includes a powerful magnetic inductor that creates a gradient magnetic field with an adjustable magnetic induction level from 100 to 500 Gs (0.01–0.05 T), as well as an electric diffuse discharge emitting ultraviolet with a wavelength of $\lambda = 248\text{--}577$ nm. Ozone is formed in the air under the influence of ultraviolet radiation. The magnetic field has a stimulating effect on seed germs and suppresses insect larvae. Ultraviolet destroys bacteria on the surface of seeds and decomposes the preservative elements in the seed cover. Ozone has a general disinfecting bactericidal action. *Results.* A stimulating effect on germination power and germinability has been established. The study of enzymatic activity revealed a stimulating effect of treatment on plant catalase and amylase. Phyto inspection of seeds shows that conducted treatments reduce the signs of helminthosporiosis in seeds. *Conclusions.* The proposed method of magnetic and plasma seed treatment has a stimulating effect on enzymatic activity and seed germination, and also reduces the number of seeds with helminthosporiosis.

Keywords: spring wheat, seed treatment, seedlings, magnetic seed treatment, seed ozonation, catalase, amylase, phyto inspection of seeds

For citation: Putko V.F., Fedorova I.L., Reshetnikova S.N., Sergatenko S.N. The effect of magnetic and plasma treatment on enzymatic activity and germination of *Triticum aestivum*. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2024;(1):61–71. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-6

Введение

Применение физических воздействий для обработки семян известно со второй половины XX в. Многочисленные исследования, проводимые с применением обработки магнитным полем, лазером, плазмой, ионизирующей радиацией, отмечают стимулирующий эффект подобных обработок. В результате тщательно подобранных дозировок обработанные семена имеют лучшую всхожесть и энергию прорастания, посев такими семенами ведет к получению дружных всходов и увеличению урожайности культуры [1, 2]. Эффект от

применения физических воздействий, по мнению А. М. Кузина, подобен эффекту обрезки на растения [3].

В настоящее время вновь возрастает интерес к применению физических воздействий на семена вместо химических стимуляторов, так как это позволяет получать экологически чистую продукцию [4, 5]. Среди многих способов применения физических воздействий хорошо себя зарекомендовало применение озонирования на базе плазменного разряда [6, 7, 8]. В ряде публикаций приводятся примеры стимулирующего действия на семена электромагнитного излучения для активации физиологических процессов при прорастании [9, 10].

Целью исследований было изучение влияния комбинированного физического воздействия с одновременным действием магнитного поля и озонирования на посевные качества и физиологические процессы прорастающих семян пшеницы.

Материалы и методы

Объектом изучения были семена мягкой яровой пшеницы сорта Ульяновская 105. Воздействие на семенной материал осуществлялось установкой магнитоплазменной обработки (УМПО), которая включает в себя мощный магнитный индуктор, создающий градиентное магнитное поле с регулируемым уровнем магнитной индукции от 100 до 500 Гс (0,01–0,05 Тл), а также электрический диффузный разряд, излучающий ультрафиолет с длиной волны $\lambda = 248\text{--}577$ нм.

Под действием ультрафиолетового излучения в воздухе образуется озон. Таким образом, семена, проходя через центральный цилиндрический канал диаметром 10 см, попадают в зону воздействия градиентного магнитного поля ультрафиолетового излучения и высокой концентрации озона (100 ПДК) 16 мг/м^3 [11].

Магнитное поле оказывает возбуждающее воздействие на зародыши семян и подавляет личинки насекомых. Ультрафиолет уничтожает бактерии на поверхности семян и разлагает консервирующие элементы в оболочке. Озон оказывает общее обеззараживающее бактерицидное действие.

Семена были обработаны в следующих вариантах воздействия:

- 1 – контроль, без обработки,
- 2 – УМПО, $B = 200$ Гс ($I = 3$ А), однократная обработка,
- 3 – УМПО, $B = 100$ Гс ($I = 2$ А), однократная обработка,
- 4 – УМПО, $B = 200$ Гс ($I = 3$ А), двукратная обработка,
- 5 – УМПО, $B = 100$ Гс ($I = 2$ А), двукратная обработка.

После обработки семена прошли период «отлежки» по инструкции к УМПО в течение 6 дней.

В дальнейшем проводили изучение энергии прорастания и лабораторной всхожести семян пшеницы на 3-й и 7-й день соответственно. Семена проращивались в лабораторных условиях в чашках Петри в четырехкратной повторности. Активность ферментов определялись в семенах методом титрования. В эти же дни проводилась фитоэкспертиза семян, для этого определялась пораженность семян заболеваниями. Эффективность обработок определялась по формуле Аббота [12].

Результаты и обсуждение

Согласно методике, энергия прорастания и лабораторная всхожесть определяются на 3-й и 7-й день соответственно (табл. 1).

Таблица 1

Посевные качества семян яровой пшеницы при различных вариантах воздействия установкой магнитоплазменной обработки

| Вариант опыта | Энергия прорастания семян, % | Лабораторная всхожесть семян, % |
|---|------------------------------|---------------------------------|
| 1. Контроль (без обработки) | 62,00 | 95,25 |
| 2. УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), однократная обработка | 71,00 | 96,75 |
| 3. УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), однократная обработка | 66,25 | 96,50 |
| 4. УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), двукратная обработка | 70,75 | 93,75 |
| 5. УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), двукратная обработка | 59,75 | 92,25 |
| НСР ₀₅ | 2,32 | 1,76 |

Можно отметить, что для энергии прорастания доза обработки во втором, третьем и четвертом варианте является стимулирующей, во втором варианте превышает контроль на 9 %, кратность обработки на результат не повлияла. В пятом варианте отмечается небольшое снижение энергии прорастания на 2 %.

Лабораторная всхожесть семян на контроле составляет 95,25 %, однократная обработка положительно влияет на всхожесть, увеличивая ее на 1,25–1,50 %. Двукратная обработка несколько снижает всхожесть, на 1,5–3,0 %. Лучший результат влияния на энергию прорастания и лабораторную всхожесть был получен при варианте обработки УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), однократная обработка.

Следует отметить, что в лабораторных условиях семена находятся в очень благоприятных условиях, их всхожесть и без обработки высокая. В полевых условиях на семена действует ряд негативных факторов, нехватка влаги, снижение или резкие колебания температуры. Потому преимущества при полевой всхожести имеют семена с большей энергией прорастания.

Современные технологии возделывания пшеницы обязательно включают в себя протравливание семян для профилактики болезней. При этом большинство химических протравителей действуют на семена угнетающе, они снижают всхожесть и энергию прорастания семян. Некоторые вещества или обработки могут уменьшить негативное влияние протравителей. Для изучения возможного влияния семена пшеницы, обработанные УМПО, были в дальнейшем обработаны протравителем Скарлет МЭ в рекомендованной для культуры дозе. Изучалась энергия прорастания и лабораторная всхожесть (табл. 2).

Таблица 2

Посевные качества семян яровой пшеницы при обработке прибором УМПО и протравителем Скарлет МЭ

| Вариант опыта | Энергия прорастания семян, % | Лабораторная всхожесть семян, % |
|--|------------------------------|---------------------------------|
| 1. Контроль (Скарлет МЭ) | 58,25 | 84,25 |
| 2. УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), однократная обработка + Скарлет МЭ | 61,25 | 85,00 |
| 3. УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), однократная обработка + Скарлет МЭ | 49,25 | 85,75 |
| 4. УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), двукратная обработка + Скарлет МЭ | 52,00 | 86,50 |
| 5. УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), двукратная обработка + Скарлет МЭ | 59,75 | 83,50 |
| НСР ₀₅ | 2,36 | 1,47 |

Закладка опыта была произведена на 20-й день после облучения УМПО. В результате опыта наблюдается снижение показателей прорастания протравленных семян, особенно существенное на лабораторную всхожесть на 9–11 % по сравнению с непотравленными семенами (табл. 1). Положительный эффект от предварительной обработки УМПО наблюдается во втором и пятом вариантах на 1,5–3,0 %, в третьем и четвертом вариантах энергия прорастания оказалась ниже контроля. На лабораторной всхожести можно отметить слабый положительный эффект в 1–2 %.

Для более глубокого изучения физиолого-биохимических процессов при прорастании семян мы провели изучение активности ферментов каталазы, а также α - и β -амилазы. Стимулирующее влияние физических воздействий на окислительно-восстановительные ферменты, а также α и β -амилазы отмечено В. И. Костиным [13].

Каталаза относится к окислительно-восстановительным ферментам, она встречается во всех органах и тканях, ее активность отражает интенсивность физиолого-биохимических процессов в клетках.

Исследования каталазы проводились на прорастающих семенах ежедневно в течение трех дней (табл. 3).

Таблица 3

Активность фермента каталазы в прорастающих семенах яровой пшеницы

| Вариант | В мкмоль Н ₂ О ₂ , разложившейся под действием фермента за 1 мин на 1 г сухого исследуемого вещества | | |
|--|--|----------|----------|
| | 1-й день | 2-й день | 3-й день |
| 1. Контроль | 54,7 | 72,4 | 82,4 |
| 2. В = 200 Гс (I = 3А) однократная обработка | 60,9 | 75,2 | 88,9 |
| 3. В = 100 Гс (I = 2А) однократная обработка | 62,6 | 76,3 | 87,6 |
| 4. В = 200 Гс (I = 3А) двукратная обработка | 60,9 | 74,8 | 89,2 |
| 5. В = 100 Гс (I = 2А) двукратная обработка | 64,1 | 72,5 | 92,0 |
| НСР ₀₅ | 2,9 | 2,4 | 2,7 |

Все семена, обработанные УМПО, имеют активность каталазы существенно выше, чем в контрольном варианте. Разница выше в 1-й и на 3-й день прорастания. Между обработанными вариантами разница не велика.

При прорастании семян активно действуют процессы гидролиза запасного крахмала, которые протекают с участием ферментов амилаз (табл. 4). Чем больше количество расщепленного гидролизованного крахмала, тем выше активность амилаз, α - и β -амилазы расщепляют разные виды связей в молекуле крахмала.

Таблица 4

Активность ферментов α - и β -амилаз в прорастающих семенах яровой пшеницы (в мг гидролизованного крахмала за 30 мин на 1 г проростков)

| Номер опыта | 1-й день (24 ч) | | 2-й день (48 ч) | | 3-й день (72 ч) | |
|---|-----------------|----------|-----------------|----------|-----------------|----------|
| | $\alpha+\beta$ | α | $\alpha+\beta$ | α | $\alpha+\beta$ | α |
| 1. Контроль | 4116 | 3955 | 4707 | 4043 | 7303 | 7256 |
| 2. В = 200 Гс (I = 3А) однократная обработка | 3525 | 3061 | 4678 | 1829 | 7342 | 7110 |
| 3. В = 100 Гс (I = 2А) однократная обработка | 3955 | 3197 | 5465 | 5231 | 7350 | 5186 |
| 4. В = 200 Гс (I = 3А) двукратная обработка | 4344 | 3503 | 5207 | 4990 | 7295 | 4286 |
| 5. В = 100 Гс (I = 2А) двукратная обработка | 4472 | 3402 | 6291 | 1099 | 7303 | 6631 |
| НСР ₀₅ | 143 | 207 | 102 | 265 | 55 | 83 |

Исследование активности ферментов амилаз в первые сутки показало заметное снижение количества расщепленного крахмала при однократной обработке и увеличение при двукратной обработке по сравнению с контролем, что обусловлено активностью α - и β -амилаз, при этом активность α -амилазы в обработанных вариантах ниже контроля, следовательно, повышение происходило за счет β -амилазы.

На второй день активность α - и β -амилаз во втором варианте почти сравнялась с контролем, на остальных превышала контроль. При этом активность α -амилазы во втором и пятом варианте снизилась, в третьем и четвертом повысилась.

На третий день проращивания семян общая активность амилаз примерно равна контролю, несколько снижена активность α -амилазы в обработанных вариантах, следовательно, повышена активность β -амилазы по сравнению с контролем.

В технологии возделывания пшеницы большое значение имеет защита растений от болезней, в том числе обработка семян перед посевом, как правило, для этого используются протравители семян.

В наших опытах мы провели исследование действия УМПО на зараженность семян по методике фитоэкспертизы. Фитоэкспертиза проводилась одновременно с изучением всхожести и энергии прорастания (табл. 5).

Фитоэкспертиза семян яровой пшеницы сорта Ульяновская 105 показала, что общая зараженность микромицетами на контроле составила 13,5 %; из них патогенной микобиотой: *Fusarium spp.* – 0 (не обнаружено), *Bipolaris sorokiniana* – 8,0 %; и грибами, вызывающими плесневение семян – 5,5 %. Оценка пораженности проводилась два раза, на 3-й и на 7-й день.

Таблица 5

**Фитоэкспертиза семян яровой пшеницы при различных вариантах
воздействия установкой магнитоплазменной обработки**

| Вариант опыта | Микобиота | | | | | | | | Всего | |
|--|--------------------------------------|-------------------|-------------|------------------|------------------------------------|------------------|-------------|------------------|-------------|------------------|
| | патогенная, <i>B. sorokiniana</i> | | | | сапротрофная, плесневение семян | | | | | |
| | 3-й день | | 7-й день | | 3-й день | | 7-й день | | заражено, % | эффективность, % |
| | заражено, % | эффективность*, % | заражено, % | эффективность, % | заражено, % | эффективность, % | заражено, % | эффективность, % | | |
| Контроль (без обработки) | 5,5 | – | 2,50 | – | 1,25 | – | 4,25 | – | 13,5 | – |
| УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), однократная обработка | 5,25 | 4,55 | 2,5 | 0 | 4,75 | 0 | 6,0 | 0 | 18,5 | 0 |
| УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), однократная обработка | 2,0 | 63,64 | 2,5 | 0 | 4,0 | 0 | 4,5 | 0 | 13,0 | 3,7 |
| УМПО, В = 200 Гс (I = 3А), двукратная обработка | 2,0 | 63,64 | 2,0 | 20,0 | 6,0 | 0 | 5,0 | 0 | 15,0 | 0 |
| УМПО, В = 100 Гс (I = 2А), двукратная обработка | 1,5 | 72,73 | 1,25 | 50,0 | 7,75 | 0 | 2,5 | 41,18 | 13,0 | 3,7 |

П р и м е ч а н и е. * – показатель эффективности получен по формуле Аббота.

На третий день проращивания семян они были осмотрены на предмет пораженности, поражения фузариозом в виде розовых пятен на семенах обнаружено не было. Гельминтоспориоз определялся как поражения семян и проростков черного цвета. Плесневение семян отмечалось в виде пятен плесени белого, коричневого и серо-черного цвета. На контроле 5,5 % семян имели признаки гельминтоспориоза, 1,25 % – признаки плесневения. Проведенные обработки снижают признаки заражения *B. sorokiniana*, но также на обработанных семенах увеличилось количество плесени, в основном рода *Mucor*.

На 7-й день проращивания семян заметное снижение заражения *B. sorokiniana* отмечалось только в варианте В = 100 Гс (I = 2А), двукратная обработка. В этом же варианте отмечено снижение количества заплесневевших семян.

Заключение

Использование для обработки семян яровой мягкой пшеницы УМПО, в дозе В = 200 Гс (I = 3А) при однократной обработке повышает энергию прорастания на 9 % и лабораторную всхожесть на 1,5 %.

При использовании обработки семян УМПО в дозе В = 200 Гс (I = 3А) при однократной обработке и последующей протравке семян протравителем

Скарлет МЭ наблюдалось снижение показателей прорастания на контроле под действием Скарлет МЭ на 3 % и увеличение энергии прорастания в случае обработки на 3 %, т.е. предварительно обработанные УМПО семена меньше угнетаются при протравливании.

Обработка УМПО влияет на активность ферментов в прорастающих семенах. Все семена, обработанные УМПО, имеют активность каталазы существенно выше, чем в контрольном варианте. Разница выше в 1-й и на 3-й день прорастания. Между обработанными вариантами разница незначительна.

Исследование активности ферментов α - и β -амилаз в первые сутки прорастания семян показало заметное снижение количества расщепленного крахмала при однократной обработке и увеличение при двукратной обработке по сравнению с контролем, что обусловлено активностью α - и β -амилаз. При этом активность α -амилазы в обработанных вариантах оказалась ниже контроля. Повышение суммарной активности амилаз происходит за счет повышенной активности β -амилазы. Изучение активности амилаз на вторые и третьи сутки показывает явное влияние обработок на активность ферментов. Увеличение активности чаще фиксируется у β -амилазы.

Фитоэкспертиза семян показала, что проведенные обработки снижают признаки заражения семян гельминтоспориозом. Однако на обработанных семенах несколько увеличилось количество плесени, в основном рода *Mucor*.

Список литературы

1. Карагичев М. И., Шуляк М. Д., Худяков А. С. Повышение посевных качеств семян озимой пшеницы при использовании физических факторов // *Современные тенденции развития науки и технологий* (г. Ставрополь, 4–8 апреля 2016 г.). Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2016. С. 76–80.
2. Волхонов М. С., Мамаева И. А., Беляков М. М. Классификация и определение эффективности известных способов предпосевной обработки семян // *Вестник НГИЭИ*. 2022. № 8 (135). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-i-opredelenie-effektivnosti-izvestnyh-sposobov-predposevnoy-obrabotki-semyan> (дата обращения: 27.02.2023).
3. Кузин А. М. Структурно-метаболическая теория в радиобиологии. М. : Наука, 1986. 282 с.
4. Иваненко В. В., Кравцов Е. А., Немыкин А. А. Предпосевная электромагнитная обработка семян как один из наиболее безопасных и перспективных приемов рационального природопользования // *Современные тенденции развития науки и технологий* (г. Ставрополь, 4–8 апреля 2016 г.). Ставрополь : Ставропольский государственный аграрный университет, 2016. С. 72–76.
5. Даниловских М. Г., Винник Л. И. Стимуляция биосистем семян растений пространственным модулятором // *Лучшая научная статья 2016 : сб. ст. победителей IV Междунар. науч.-практ. конкурса* (г. Пенза, 30 ноября 2016 г.). Пенза : Наука и просвещение, 2016. С. 21–25.
6. Чайкин Н. И. Предпосевная стимуляция семян электроозонированием // *Стратегическое развитие АПК и сельских территорий РФ в современных международных условиях : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию Победы в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.* (г. Волгоград, 3–5 февраля 2015 г.) / под ред. А. С. Овчинникова. Волгоград : Волгоградский государственный аграрный университет, 2015. Т. 2. С. 408–411.
7. Гретченко А. Е. Применение физических факторов для повышения посевных качеств семян // *Молодежь XXI века: шаг в будущее : материалы XXII региональной*

- науч.-практ. конф. (г. Благовещенск, 20 мая 2021 г.). Благовещенск : Благовещенский государственный педагогический университет, 2021. С. 533–535.
8. Русакович А. А., Самохина В. В., Войтехович М. А. [и др.] Использование холодной плазмы атмосферного разряда для стимуляции ростовых процессов у высших растений // Клеточная биология и биотехнология растений : тез. докл. III Междунар. науч.-практ. конф. (г. Минск, 24–27 мая 2022 г.). Минск : Белорусский государственный университет, 2022. С. 100–101.
 9. Корлэтяну Л. Б., Ганя А. И., Маслоброд С. Н. Влияние физических факторов на жизнеспособность семян озимой пшеницы при консервации *ex situ* // Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Киров, 4–5 апреля 2021 г.) / под общ. ред. И. А. Устюжанина. Киров : Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, 2021. С. 102–106.
 10. Городецкая Е. А., Дубодел И. Б., Кардашов П. В. [и др.] Исследование процесса стимуляции семян магнитным полем // Биологические активные вещества растений – изучение и использование : материалы международной научной конференции (г. Минск, 29–31 мая 2013 г.). Минск : Центральный ботанический сад НАН Беларуси, 2013. С. 246–247.
 11. Установка магнитоплазменной обработки семян сельскохозяйственных культур «УМПО» : руководство по эксплуатации. 19 с.
 12. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве. СПб., 2009. 378 с.
 13. Костин В. И., Дозоров А. В., Исайчев В. А. К вопросу о стимуляции сельскохозяйственных растений под действием физических и химических факторов при обработке семян // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 2 (42). С. 67–77.

References

1. Karagichev M.I., Shulyak M.D., Khudyakov A.S. Increasing the sowing qualities of winter wheat seeds using physical factors. *Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii (g. Stavropol', 4–8 aprelya 2016 g.)* = Modern trends in the development of science and technology (Stavropol, April 4–8, 2016). Stavropol': Stavropol'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2016:76–80. (In Russ.)
2. Volkhonov M.S., Mamaeva I.A., Belyakov M.M. Classification and determination of the effectiveness of known methods of pre-sowing seed treatment. *Vestnik NGIEI. 2022;(8)*. (In Russ.). Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/klassifikatsiya-i-opredelenie-effektivnosti-izvestnyh-sposobov-predposevnoy-obrabotki-semyan> (accessed 27.02.2023).
3. Kuzin A.M. *Strukturno-metabolicheskaya teoriya v radiobiologii* = Structural-metabolic theory in radiobiology. Moscow: Nauka, 1986:282. (In Russ.)
4. Ivanenko V.V., Kravtsov E.A., Nemykin A.A. Pre-sowing electromagnetic seed treatment as one of the safest and most promising methods for rational environmental management. *Sovremennyye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii (g. Stavropol', 4–8 aprelya 2016 g.)* = Modern trends in the development of science and technology (Stavropol, April 4–8, 2016). Stavropol': Stavropol'skiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2016:72–76. (In Russ.)
5. Danilovskikh M.G., Vinnik L.I. Stimulation of plant seed biosystems with a spatial modulator. *Luchshaya nauchnaya stat'ya 2016: sb. st. pobediteley IV Mezhdunar. nauch.-prakt. konkursa (g. Penza, 30 noyabrya 2016 g.)* = Best scientific article 2016: proceedings of the winners of the 4th International scientific and practical competition (Penza, November 30, 2016). Penza: Nauka i prosveshchenie, 2016:21–25. (In Russ.)
6. Chaykin N.I. Pre-sowing stimulation of seeds by electroozonation. *Strategicheskoe razvitie APK i sel'skikh territoriy RF v sovremennykh mezhdunarodnykh usloviyakh:*

- materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 70-letiyu Pobedy v Velikoy Otechestvennoy voyne 1941–1945 gg. (g. Volgograd, 3–5 fevralya 2015 g.)* = Strategic development of the agro-industrial complex and rural areas of the Russian Federation in modern international conditions: proceedings of the International scientific and practical conference, dedicated to the 70th anniversary of the Great Patriotic War (Volgograd, February 3-5, 2015). Ed. by A.S. Ovchinnikov. Volgograd: Volgogradskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 2015;2:408–411. (In Russ.)
7. Gretchenko A.E. Application of physical factors to improve the sowing qualities of seeds. *Molodezh' XXI veka: shag v budushchee: materialy XXII regional'noy nauch.-prakt. konf. (g. Blagoveshchensk, 20 maya 2021 g.)* = Youth of the 21st century: proceedings of the 22nd regional scientific and practical conference (Blagoveshchensk, May 20, 2021). Blagoveshchensk: Blagoveshchenskiy gosudarstvennyy pedagogicheskiy universitet, 2021:533–535. (In Russ.)
 8. Rusakovich A.A., Samokhina V.V., Voytekhovich M.A. et al. Use of cold atmospheric discharge plasma to stimulate growth processes in higher plants. *Kletochnaya biologiya i biotekhnologiya rasteniy: tez. dokl. III Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Minsk, 24–27 maya 2022 g.)* = Cell biology and plant biotechnology: proceedings of the 3rd International scientific and practical conference (Minsk, May 24-27, 2022). Minsk: Belorusskiy gosudarstvennyy universitet, 2022:100–101. (In Russ.)
 9. Korletyanu L.B., Ganya A.I., Maslobrod S.N. The influence of physical factors on the viability of winter wheat seeds during ex situ preservation. *Metody i tekhnologii v selektsii rasteniy i rastenievodstve: materialy VII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Kirov, 4–5 aprelya 2021 g.)* = Methods and technologies in plant breeding and crop production: proceedings of the 7th International scientific and practical conference (Kirov, April 4-5, 2021). Ed. by I.A. Ustyuzhanin. Kirov: Federal'nyy agrarnyy nauchnyy tsentr Severo-Vostoka imeni N.V. Rudnitskogo, 2021:102–106. (In Russ.)
 10. Gorodetskaya E.A., Dubodel I.B., Kardashov P.V. et al. Studying the process of seed stimulation by a magnetic field. *Biologicheski aktivnye veshchestva rasteniy – izuchenie i ispol'zovanie: materialy Mezhdunar. nauch. konf. (g. Minsk, 29–31 maya 2013 g.)* = Biologically active substances of plants - study and use: proceedings of the International scientific conference (Minsk, May 29-31, 2013). Minsk: Tsentral'nyy botanicheskiy sad NAN Belarusi, 2013:246–247. (In Russ.)
 11. *Ustanovka magnitoplazmennoy obrabotki semyan sel'skokhozyaystvennykh kul'tur «UMPO»: rukovodstvo po ekspluatatsii* = Installation of magnetic plasma treatment of agricultural seeds “UMPO”: operating manual. 19 p. (In Russ.)
 12. *Metodicheskie ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam fungitsidov v sel'skom khozyaystve* = Guidelines for registration testing of fungicides in agriculture. Saint Petersburg, 2009:378. (In Russ.)
 13. Kostin V.I., Dozorov A.V., Isaychev V.A. On the issue of stimulation of agricultural plants under the influence of physical and chemical factors during seed treatment. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. 2018;(2):67–77. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Валерий Федорович Путько

доктор технических наук, профессор,
профессор кафедры электротехники,
Самарский государственный
университет путей сообщения
(Россия, г. Самара, ул. Свободы, 2В),

E-mail: v.putko@samgups.ru

Valery F. Putko

Doctor of engineering sciences, professor,
professor of the sub-department
of electrical engineering,
Samara State Transport University
(2V Svobody street, Samara, Russia)

Ирина Леонидовна Федорова

кандидат химических наук, доцент,
доцент кафедры биологии, химии
и технологии хранения, переработки
продукции растениеводства,
Ульяновский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Ульяновск,
бульвар Новый Венец, 1)

E-mail: irinalfedorova@yandex.ru

Irina L. Fedorova

Candidate of chemical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of biology,
chemistry and technology of storage,
processing of plant products,
Ulyanovsk State Agrarian University
(1 Noviy Venets boulevard,
Ulyanovsk, Russia)

Софья Николаевна Решетникова

кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры биологии, химии
и технологии хранения, переработки
продукции растениеводства,
Ульяновский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Ульяновск,
бульвар Новый Венец, 1)

E-mail: reset-69@mail.ru

Sofya N. Reshetnikova

Candidate of agricultural sciences,
associate professor of the sub-department
of biology, chemistry and technology
of storage, processing of plant products,
Ulyanovsk State Agrarian University
(1 Noviy Venets boulevard,
Ulyanovsk, Russia)

Светлана Николаевна Сергаченко

кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры биологии, химии
и технологии хранения, переработки
продукции растениеводства,
Ульяновский государственный
аграрный университет
(Россия, г. Ульяновск,
бульвар Новый Венец, 1)

E-mail: ssergatenko@yandex.ru

Svetlana N. Sergatenko

Candidate of biological sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of biology, chemistry
and technology of storage,
processing of plant products,
Ulyanovsk State Agrarian University
(1 Noviy Venets boulevard,
Ulyanovsk, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию / Received 22.11.2023

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 27.12.2023

Принята к публикации / Accepted 13.02.2024

УДК 661.162.6;581.144;633.11
doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-7

Роль препаратов Силипланта, Эпин-экстра и Циркона в формировании ассимиляционного аппарата проростков яровой пшеницы в зависимости от условий водообеспечения

М. Анка¹, И. И. Серегина²

^{1,2}Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

¹mayanka12@gmail.com, ²seregina.i@inbox.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В настоящее время применение препаратов различного происхождения является одним из перспективных приемов повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Применение различных биопрепаратов позволяет активизировать физиолого-биохимические процессы растений. Это способствует стимулированию ростовых процессов на ранних этапах их развития растений и реализации адаптивных способностей растений в стрессовых условиях. *Материалы и методы.* Объектом исследований являлась яровая пшеница сорта Злата. Растения выращивали в сосудах Митчерлиха емкостью 500 г почвы. В опытах моделировали оптимальные условия водообеспечения и краткосрочную засуху. Изучаемые препараты вносили путем обработки семян перед посевом. *Результаты.* Показана роль удобрения Силиплант и регуляторов роста Эпин-экстра и Циркон в формировании ассимиляционной поверхности растений яровой пшеницы на ранних этапах развития. Изучаемые препараты в условиях оптимального водообеспечения способствовали увеличению накопления массы растений и площади ассимиляционной поверхности. *Выводы.* Показано, что удобрение Силиплант проявило положительное действие на формирование ассимиляционной поверхности растений пшеницы в оптимальных условиях выращивания и при засухе. Регуляторы роста Эпин-экстра и Циркон в условиях краткосрочной засухи активировали механизмы реализации адаптивных способностей растений яровой пшеницы.

Ключевые слова: Силиплант, Эпин-экстра, Циркон, яровая пшеница, ассимиляционная поверхность растений, масса растений

Финансирование: статья подготовлена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в соответствии с соглашением № 075-15-2020-905 от 16 ноября 2020 г. о предоставлении гранта в виде субсидии из Федерального бюджета Российской Федерации. Грант предоставлен для государственной поддержки создания и развития Научного центра мирового уровня «Агротехнологии будущего».

Для цитирования: Анка М., Серегина И. И. Роль препаратов Силипланта, Эпин-экстра и Циркона в формировании ассимиляционного аппарата проростков яровой пшеницы в зависимости от условий водообеспечения // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 1. С. 72–81. doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-7

The role of Siliplant, Epin-extra and Zircon preparations in the formation of the assimilation apparatus of spring wheat seedlings depending on water supply conditions

M. Anka¹, I.I. Seregina²

© Анка М., Серегина И. И., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

^{1,2}Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
named after K.A. Timiryazev, Moscow, Russia

¹mayanka12@gmail.com, ²seregina.i@inbox.ru

Abstract. *Background.* Currently, the use of drugs of various origins is one of the promising methods for increasing crop yields. The use of various biological products makes it possible to activate the physiological and biochemical processes of plants. This helps stimulate growth processes in the early stages of plant development and realize the adaptive abilities of plants under stressful conditions. *Materials and methods.* The object of research was spring wheat of the Zlata variety. Plants were grown in Mitscherlich vessels with a capacity of 500 g of soil. The experiments simulated optimal water supply conditions and short-term drought. The studied drugs were applied by treating the seeds before sowing. *Results.* The role of the Siliplant fertilizer and the growth regulators Epin-extra and Zircon in the formation of the assimilation surface of spring wheat plants in the early stages of development is shown. The studied preparations under conditions of optimal water supply contributed to an increase in the accumulation of plant mass and assimilation surface area. *Conclusions.* It was shown that the Siliplant fertilizer showed a positive effect on the formation of the assimilation surface of wheat plants under optimal growing conditions and during drought. The growth regulators Epin-extra and Zircon, under short-term drought conditions, activated the mechanisms for realizing the adaptive abilities of spring wheat plants.

Keywords: Siliplant, Epin-extra, Zircon, spring wheat, assimilation surface of plants, plant mass

Financing: the work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation in accordance with the agreement No. 075-15-2020-905 from November 16, 2020 on the provision of a grant in the form of a subsidy from the Federal budget of the Russian Federation. The grant was provided for government support for the creation and development of the world-class Scientific Center “Agricultural Technologies of the Future”.

For citation: Anka M., Seregina I.I. The role of Siliplant, Epin-extra and Zircon preparations in the formation of the assimilation apparatus of spring wheat seedlings depending on water supply conditions. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2024;(1):72–81. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-7

Введение

Использование регуляторов роста растений является одним из важнейших методов и перспективных технологий в области современного сельского хозяйства и интенсификации сельскохозяйственного производства в условиях неустойчивого водообеспечения сельскохозяйственных территорий. Для оптимизации роста растений применяют различные препараты, в том числе содержащие макро- и микроэлементы, а также физиологически активные вещества [1, 2].

Обработка растений регуляторами роста в крайне малых концентрациях совместно с препаратами, содержащими основные макро- и микроэлементы, позволяет создать благоприятные растения для реализации растениями потенциальных возможностей. Регуляторы роста растений обеспечивают эндогенную стимуляцию или ингибирование различных ферментных систем, в результате чего происходят изменения интенсивности метаболических процессов, что позволяет регулировать рост и развитие растений, их устойчивость к различным стрессовым факторам внешней среды, различным патогенам и, как следствие, привести к увеличению урожайности и продуктивности растений. Регуляторы роста применяют в основном в виде диспергаторов и растворов, которыми опрыскивают растения в вегетативной стадии или обрабатывают ими семена,

очень редко – путем внесения в почвенный слой [3–11]. В современных условиях сельскохозяйственного производства продукции растениеводства для получения высокого урожая зерновых культур необходимо применять биологические стимуляторы роста растений. Применение таких стимуляторов путем внесения на листовую поверхность дает возможность снижения потерь действующего вещества. С другой стороны, регуляторы роста растений в виде внекорневых подкормок начинают действовать в более короткий срок по сравнению с другими способами их внесения [2, 12].

В условиях оптимального минерального питания эффективность применяемых регуляторов роста значительно возрастает. В связи с этим возникает необходимость изучения роли различных препаратов в регулировании ростовых процессов, повышении устойчивости посевов к засухе, резким колебаниям температуры и влажности среды [1, 13, 14].

Целью нашего исследования было изучение влияния препаратов различного состава на ростовые процессы и формирование ассимиляционного аппарата растений яровой пшеницы на ранних этапах развития в зависимости от условий водообеспечения. В задачи исследований входило изучение влияния удобрения Силиплант и регуляторов роста Эпин-экстра и Циркон на накопление биомассы растений яровой пшеницы сорта Злата, а также площадь ассимиляционной поверхности растений яровой пшеницы на ранних этапах развития.

Материалы и методы

Для решения поставленных задач был проведен лабораторный краткосрочный опыт с растениями яровой пшеницы (*Triticum aestivum L.*) сорта Злата (ФИЦ «Немчиновка»). Исследования проводили на кафедре агрономической, биологической химии и радиологии ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева. Растения яровой пшеницы выращивали в условиях почвенной культуры в сосудах Митчерлиха вместимостью 500 г почвы. Исследования проводили по общепринятым методикам [15]. Почва, которую использовали в исследованиях, характеризовалась как окультуренная дерново-неглубоко-подзолистая, профильно-глееватая глубокопахотная и легкосуглинистая. Агрохимическая характеристика почвы: содержание гумуса – 1,9 %, рН_{KCl} – 5,7; гидролитическая кислотность – 1,8 мг-экв/100 г почвы, сумма поглощенных оснований – 13,0 мг-экв/100 г почвы, содержание подвижных форм фосфора – 276 мг/кг почвы (VI класс по методу Кирсанова), содержание подвижных форм калия – 112 мг/кг почвы (III класс по методу Кирсанова).

В исследованиях изучали препарат Силиплант, который зарегистрирован как удобрение, поскольку в состав действующего вещества входит кремний, калий и ряд микроэлементов в хелатной форме [16]. Также в исследованиях изучали препарат Эпин-экстра, действующим веществом которого является 24-эпибрассинолида [17, 18], и Циркон, представляющий собой смесь гидроксикоричных кислот [19].

В исследованиях моделировали различные условия водообеспечения. Создавали оптимальные условия полива и засуху при достижении растениями фазы кущения. Длительность засухи продолжалась 3 дня, после чего опыт прекращался.

Условия минерального питания создавали путем внесения аммонийной селитры (NH₄NO₃ – 35 % д.в.) в дозе из расчета 100 мг на 1 кг почвы.

Статистическую обработку полученных результатов проводили с использованием дисперсионного метода [15].

Результаты и обсуждение

Фотосинтетическая деятельность растений в посевах в большей степени определяется размерами и эффективностью работы листовой поверхности [20]. Площадь ассимиляционной поверхности растений яровой пшеницы – генетически детерминированный признак, существенно модифицируемый условиями произрастания, и характеризует состояние фотосинтетической активности [21]. Как правило, существует положительная связь между площадью ассимиляционной поверхности пшеницы, динамикой ее нарастания и урожайностью, что отмечают в различных исследованиях [20, 21].

Результаты исследований по изучению влияния удобрения Силиплант и регуляторов роста Эпин-экстра и Циркон на накопление биомассы и площадь ассимиляционной поверхности растений яровой пшеницы сорта Злата в лабораторных условиях представлены на рис. 1–3.

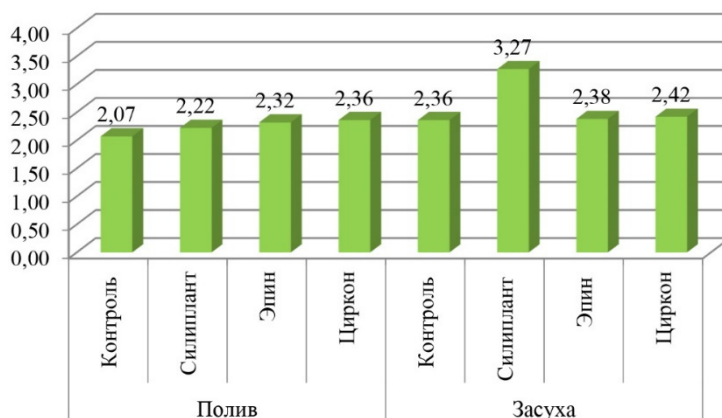


Рис. 1. Влияние удобрения Силиплант и регуляторов роста Эпин-экстра и Циркон на накопление биомассы (г/растение) растениями яровой пшеницы сорта Злата в зависимости условий водообеспечения (НСР₀₅ (полив) – 0,11 г./растение; НСР₀₅ (засуха) – 0,13 г/растение)

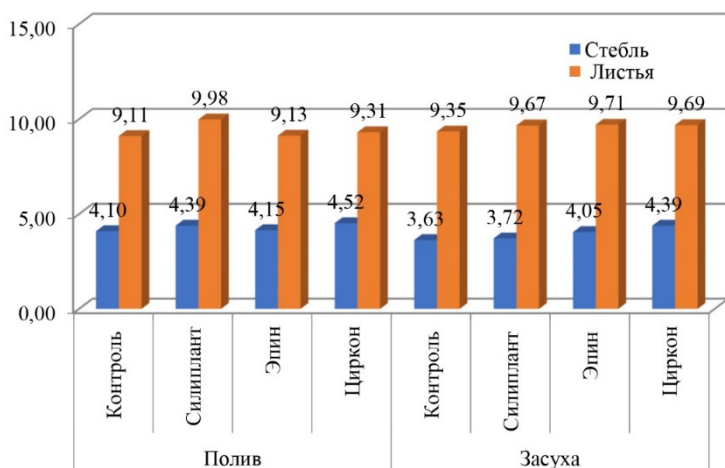


Рис. 2. Влияние удобрения Силиплант и регуляторов роста Эпин-экстра и Циркон на площадь ассимиляционной поверхности стеблей и листьев яровой пшеницы (НСР₀₅ (полив) стебли – 0,21 см², листья – 0,32 см²; НСР₀₅ (засуха) стебли – 0,20 см², листья – 0,48 см²)

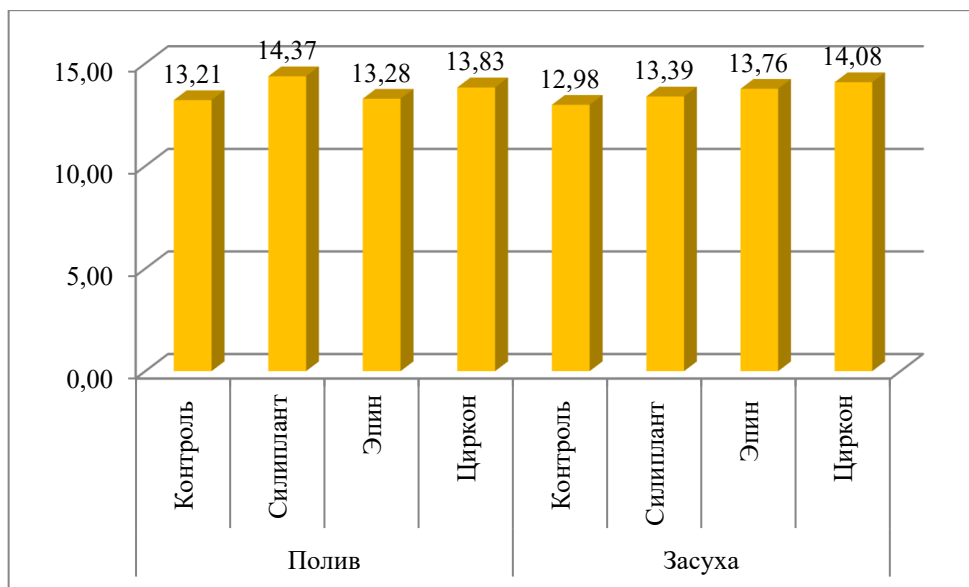


Рис. 3. Влияние удобрения Силиплант и регуляторов роста Эпин-экстра и Циркон на общую площадь ассимиляционной поверхности (cm^2) растений яровой пшеницы в зависимости от условий водообеспечения (НСР_{05} (полив) – $0,69 \text{ cm}^2$; НСР_{05} (засуха) – $0,67 \text{ cm}^2$)

Было установлено, что масса растения увеличивалась во всех вариантах опыта (как при оптимальном водообеспечении, так и при засухе) по сравнению с контролем (рис. 1). При оптимальном водообеспечении изменения массы растений при применении удобрения Силиплант и регуляторов роста Эпин-экстра и Циркон были достоверные при НСР_{05} (полив) – $0,11 \text{ г/растение}$. В то время как при засухе достоверные различия были получены только в условиях применения удобрения Силиплант, при НСР_{05} (засуха) – $0,13 \text{ г/растение}$. При использовании регуляторов роста проявлялись незначительные изменения массы растений, что также подтверждается НСР . Увеличение массы растений при использовании удобрения Силиплант составило 39 % по сравнению с контролем без использования удобрения. Максимальная эффективность действия удобрения Силиплант обусловлена его действующим веществом, которое представлено наличием кремния, калия и микроэлементов в хелатной форме.

Основным показателем, характеризующим состояние посевов относительно фотосинтетической деятельности, является развитие листовой поверхности. Площадь ассимиляционной поверхности листьев растений положительно коррелирует с их продуктивностью. В связи с этим следует обратить внимание на развитие фотосинтетического аппарата растений и особенно на величину листьев [21].

Изучая показатели площади ассимиляционной поверхности стеблей и листьев (рис. 2), а также надземной части растений (рис. 3) яровой пшеницы под влиянием удобрения Силиплант и регуляторов роста Эпин-экстра и Циркон, было установлено их положительное действие как при оптимальном, так и при недостаточном водообеспечении. В то же время следует отметить, что эффективность действия препаратов зависела от их действующего вещества и

отзывчивости растения в данных условиях выращивания. Показано, что в оптимальных условиях выращивания наиболее эффективное достоверное действие на нарастание ассимиляционной поверхности стеблей проявили удобрения Силиплант (7 % по сравнению с контролем) и препарат Циркон (10 % по сравнению с контролем) при НСР₀₅ – 0,21 г/растение. Нарастание ассимиляционной поверхности листьев выявлено только при использовании обработки семян препаратом Силиплант и составило 10 % по сравнению с контролем (при НСР₀₅ – 0,20 г/растение). Это привело к росту площади ассимиляционной поверхности надземной массы растений при использовании удобрения Силиплант. Прибавка составила 9 % по сравнению с контролем (при НСР₀₅ – 0,69 г/растение).

В условиях краткосрочной почвенной засухи в фазу кущения получена иная закономерность. Наибольшее действие оказал препарат Циркон, что вероятно обусловлено антиоксидантными свойствами действующего вещества – смеси гидроксикоричных кислот. Выявлено увеличение площади ассимиляционной поверхности стеблей растений 21 % по сравнению с контролем (при НСР₀₅ – 0,20 г/растение) и надземной части растений – 6 % (при НСР₀₅ – 0,67 г/растение). Препарат Эпин-экстра также оказал положительное влияние на увеличение фотосинтетической поверхности растений. Так, при использовании обработки семян препаратом Эпин-экстра увеличение площади ассимиляционной поверхности стеблей составило 12 % по сравнению с контролем (при НСР₀₅ – 0,20 г/растение), надземной части растений – 8 % (при НСР₀₅ – 0,67 г/растение). Следует отметить, что действие удобрения Силиплант проявилось только на накоплении массы растений, при этом изменения ассимиляционной поверхности растений не выявлено. Эти данные свидетельствуют об увеличении фотосинтетической активности растений пшеницы в результате усиления активного нарастания массы растений на единицу ассимиляционной поверхности, что является одним из механизмов адаптации растений к стрессовому воздействию засухи. В данных условиях выращивания выявлена тенденция нарастания площади ассимиляционной поверхности листьев при использовании обработки семян препаратами по сравнению с контролем. Это может быть обусловлено торможением процессов нарастания листовой поверхности, что также является проявлением механизмов снижения негативного действия засухи.

Заключение

Результаты исследований позволили сравнить действие обработки семян удобрением Силиплант и регуляторами роста Эпин-экстра и Циркон на фотосинтетическую активность растений и нарастание массы пшеницы при оптимальном водообеспечении и при действии краткосрочной почвенной засухи. Выявлено наибольшее достоверное действие удобрения Силиплант как при оптимальных, так и при дефицитных условиях водообеспечения. В условиях засухи действие удобрения Силиплант проявилась в стимулировании фотосинтетической активности растений, что, вероятно, обусловлено составом действующего вещества. Действие препаратов Циркон и Эпин-экстра в условиях засухи проявилось в увеличении площади ассимиляционной поверхности стеблей и уменьшении скорости нарастания площади ассимиляционной поверхности листьев. Таким образом, регуляторы роста Эпин-экстра и Циркон

активизируют механизмы реализации адаптивных способностей растений в стрессовых условиях выращивания.

Список литературы

1. Балакшина В. И., Диканев Г. П., Устименко Н. И., Шевяхова Е. А. Использование регуляторов роста при выращивании сельскохозяйственных культур // Научно-агрономический журнал. 2008. № 2 (83). С. 14–18.
2. Серегина И. И. Цинк, селен и регуляторы роста. М. : Проспект, 2018. 208 с.
3. Ткачук О. А., Павликова Е. В., Орлов А. Н. Эффективность применения регуляторов роста при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Среднего Поволжья // Молодой ученый. 2013. № 4. С. 677–679.
4. Базильжанов Е. К., Кантарбаева А. Д. Влияние регуляторов роста растений на продуктивность и качество яровой пшеницы на южных черноземах Акмолинской области // Молодой ученый. 2016. № 11. С. 579–582.
5. Карпова Г. А., Миронова М. Е. Оптимизация продукционного процесса агроценозов яровой пшеницы и ячменя при использовании регуляторов роста // Нива Поволжья. 2009. № 1. С. 8–13.
6. Гамзаева Р. С. Влияние регуляторов роста на физиолого-биохимические показатели и продуктивность ярового ячменя // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017. № 1 (46). С. 75–79.
7. Карпова Г. А., Карпова Л. В., Фролова Е. Ю. Активация ранних ростовых процессов семян под действием регуляторов роста как фактор повышения полевой всхожести и урожайности яровой пшеницы // Нива Поволжья. 2016. № 1 (38). С. 29–35.
8. Деева В. П., Веденеев А. Н., Пономаренко С. П. Рекомендации по применению регуляторов роста растений в интенсивных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур. Минск, 2005. 23 с.
9. Серегина И. И., Новиков Н. Н., Анка М. Эффективность действия циркона на устойчивость различных сортов яровой пшеницы в стрессовых условиях выращивания // Актуальные вопросы агроинженерных и агрономических наук. 2021. С. 221–227.
10. Анка М., Серегина И. И. Активность изоформ пероксидаз в зерне яровой пшеницы под влиянием регуляторов роста // Сборник научных трудов III Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Красноярск, 2022. С. 318–324.
11. Серегина И. И., Анка М., Новиков Н. Н. [и др.]. Влияние регуляторов роста на активность амилолитических ферментов в зерне яровой пшеницы // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4 (40). С. 24–35.
12. Якушкина Н. И., Сивцова А. М., Тарасенко А. А. Сопровождение по программе «Регуляторы роста растений» : тез. докл. М., 2011. 24 с.
13. Петрова Л. Н. Влияние регуляторов роста на развитие и продуктивность растений. М. : СНИИСХ, 2010. 104 с.
14. Черников В. А., Алексахин Р. М., Голубев А. В. [и др.]. Агрэкология / под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. М. : Колос, 2000. 536 с.
15. Кобзаренко В. И., Волобуева В. Ф., Серегина И. И., Ромодина Л. В. Агрехимические методы исследований. М. : Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 309 с.
16. Кшникаткина А. Н., Дорожкина Л. А. Применение силипланта в технологии возделывания зерновых и кормовых культур // Агрехимический вестник. 2014. № 5. С. 41–44.
17. Прусакова Л. Д., Чижова С. И. Применение брассиностероидов в экстремальных условиях // Агрехимия. 2005. № 7. С. 87–94.

18. Kagale S., Divi U. K., Krochko J. E. [et al.]. Brassinosteroid confers tolerance in *Arabidopsis thaliana* and *Brassica napus* to a range of abiotic stress // *Planta*. 2007. Vol. 225. P. 353–364.
19. Добрева Н. И. Агроэкологическая оценка применения удобрения силиплант и регулятора роста Циркон в смеси с пестицидами при возделывании ячменя : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М. : ВНИИА, 2015. 27 с.
20. Никифорова И. Ю., Фадеева А. Н., Петрякова Н. В. Показатели фотосинтетической деятельности посевов проса посевного по группам спелости // *Зернобобовые и крупяные культуры*. 2018. № 2 (26). С. 46–52.
21. Стрижкова Ф. М., Ожогина Л. В. Формирование площади ассимиляционной поверхности сортами яровой пшеницы // *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2005. № 4 (20). С. 16–19.

References

1. Balakshina V.I., Dikanov G.P., Ustimenko N.I., Shevyakhova E.A. The use of growth regulators in growing crops. *Nauchno-agronomicheskii zhurnal* = Scientific and agronomic journal. 2008;(2):14–18. (In Russ.)
2. Seregina I.I. *Tsink, selen i regulatory rosta* = Zinc, selenium and growth regulators. Moscow: Prospekt, 2018:208. (In Russ.)
3. Tkachuk O.A., Pavlikova E.V., Orlov A.N. An efficiency of using growth regulators when cultivating spring wheat in the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Molodoy uchenyy* = Young scientist. 2013;(4):677–679. (In Russ.)
4. Bazil'zhanov E.K., Kantarbaeva A.D. The influence of plant growth regulators on the productivity and quality of spring wheat on the southern chernozems of the Akmola region. *Molodoy uchenyy* = Young scientist. 2016;(11):579–582. (In Russ.)
5. Karpova G.A., Mironova M.E. Optimization of the production process of agrocenoses of spring wheat and barley using growth regulators. *Niva Povolzh'ya* = Niva of the Volga region. 2009;(1):8–13. (In Russ.)
6. Gamzaeva R.S. The influence of growth regulators on the physiological and biochemical parameters and productivity of spring barley. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Proceedings of Saint Petersburg State Agrarian University. 2017;(1):75–79. (In Russ.)
7. Karpova G.A., Karpova L.V., Frolova E.Yu. Activation of early growth processes of seeds under the influence of growth regulators as a factor in increasing field germination and yield of spring wheat. *Niva Povolzh'ya* = Niva of the Volga region. 2016;(1):29–35. (In Russ.)
8. Deeva V.P., Vedenev A.N., Ponomarenko S.P. *Rekomendatsii po primeniyu regulyatorov rosta rasteniy v intensivnykh tekhnologiyakh vozdeleyvaniya sel'skokhozyaystvennykh kul'tur* = Recommendations for the use of plant growth regulators in intensive crop cultivation technologies. Minsk, 2005:23. (In Russ.)
9. Seregina I.I., Novikov N.N., Anka M. The effectiveness of zircon on the resistance of various varieties of spring wheat under stressful growing conditions. *Aktual'nye voprosy agroinzhenernykh i agronomicheskikh nauk* = Current issues of agroengineering and agronomic sciences. 2021:221–227. (In Russ.)
10. Anka M., Seregina I.I. Activity of peroxidase isoforms in spring wheat grain under the influence of growth regulators. *Sbornik nauchnykh trudov III Vseros. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem* = Proceedings of the 3rd All-Russian scientific conference with international participation. Krasnoyarsk, 2022:318–324. (In Russ.)
11. Seregina I.I., Anka M., Novikov N.N. et al. The influence of growth regulators on the activity of amylolytic enzymes in spring wheat grain. *Izvestiya vysshikh uchebnykh*

- zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki* = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2022;(4):24–35. (In Russ.)
12. Yakushkina N.I., Sivtsova A.M., Tarasenko A.A. *Soveshchanie po programme «Regulyatory rosta rasteniy»: tez. dokl.* = Meeting on the program “Plant growth regulators”: abstracts of reports. Moscow, 2011:24. (In Russ.)
 13. Petrova L.N. *Vliyanie regulyatorov rosta na razvitie i produktivnost' rasteniy* = The influence of growth regulators on the development and productivity of plants. Moscow: SNIISKh, 2010:104. (In Russ.)
 14. Chernikov V.A., Aleksakhin R.M., Golubev A.V. et al. *Agroekologiya* = Фпкшус-щдщпн. Ed. by V.A. Chernikov, A.I. Chekeres. Moscow: Kolos, 2000:536. (In Russ.)
 15. Kobzareno V.I., Volobueva V.F., Seregina I.I., Romodina L.V. *Agrokhimicheskie metody issledovaniy* = Agrochemical research methods. Moscow: Izd-vo RGAU-MSKhA, 2015:309. (In Russ.)
 16. Kshnikatkina A.N., Dorozhkina L.A. Application of siliplant in the technology of cultivation of grain and fodder crops. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical bulletin . 2014;(5):41–44. (In Russ.)
 17. Prusakova L.D., Chizhova S.I. The use of brassinosteroids in extreme conditions. *Agrokhimiya* = Agrochemistry. 2005;(7):87–94. (In Russ.)
 18. Kagale S., Divi U.K., Krochko J.E. et al. Brassinosteroid confers tolerance in Arabidopsis thaliana and Brassica napus to a range of abiotic stress. *Planta*. 2007;225:353–364.
 19. Dobreva N.I. *Agroecological assessment of the use of Siliplant fertilizer and growth regulator Zircon mixed with pesticides when cultivating barley*. PhD abstract. Moscow: VNIIA, 2015:27. (In Russ.)
 20. Nikiforova I.Yu., Fadeeva A.N., Petryakova N.V. Indicators of photosynthetic activity of millet crops by ripeness groups. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Leguminous and cereal crops. 2018;(2):46–52. (In Russ.)
 21. Strizhkova F.M., Ozhogina L.V. Formation of assimilation surface area by spring wheat varieties. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altay State Agrarian University. 2005;(4):16–19. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Майя Анка

аспирант,
Российский государственный
аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева
(Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)
E-mail: mayaanka12@gmail.com

Maya Anka

Postgraduate student,
Russian State Agrarian University –
Moscow Agricultural Academy
named after K.A. Timiryazev
(49 Timiryazevskaya street,
Moscow, Russia)

Инга Ивановна Серегина

доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры агрономической,
биологической химии и радиологии,
Институт агrobiотехнологии,
Российский государственный
аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева
(Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)
E-mail: seregina.i@inbox.ru

Inga I. Seregina

Doctor of biological sciences, professor,
professor of the sub-department
of agronomic, biological
chemistry and radiology,
Institute of Agrobiotechnology,
Russian State Agrarian University –
Moscow Agricultural Academy
named after K.A. Timiryazev
(49 Timiryazevskaya street,
Moscow, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 22.01.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 12.02.2024

Принята к публикации / Accepted 11.03.2024

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

BRIEF MESSAGES

УДК 577.32.579

doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-8

Влияние бензимидазола на аминокислотный состав гемолимфы имаго *Drosophila melanogaster*

В. В. Дружинина¹, Е. С. Селезнева², З. П. Белоусова³

^{1,2,3}Самарский национальный исследовательский университет имени академика С. П. Королева, Самара, Россия

¹valentina.alex.drug@mail.ru, ²catana7@yandex.ru, ³zbelousova@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Среда обитания все больше подвергается антропогенному прессу. Чтобы понять механизмы адаптации насекомых к широко распространенным ксенобиотикам, необходимы модельные эксперименты, позволяющие определить реакцию насекомых как к высокотоксичным дозам, так и к слаботоксичным. Целью работы явился анализ изменения пула аминокислот при действии бензимидазола, производные которого широко используются в фармакологии и сельском хозяйстве. *Материалы и методы.* Имаго *Drosophila melanogaster* дикой линии Canton-S подвергали суточному воздействию бензимидазола в концентрациях: 0,0001 мг/мл и 0,001 мг/мл и в дозе LD₅₀. Имаго усыпляли и по 300 штук растирали в фарфоровой ступке с 2 мл дистиллированной воды. Полученную суспензию наносили на бумажные диски для экспресс-тестов. Затем высушенные образцы помещали в пластиковые пробирки на 0,5 мл и заливали элюирующей жидкостью (6:4 – метанол : вода) и оставляли на сутки при комнатной температуре. Для разделения смесей аминокислот использовали пластинки ВЭТСК Sorbfil с толщиной слоя силикагеля 160 мкм. Мобильная фаза состояла из системы растворителей: н-бутанол – ледяная уксусная кислота – вода, в соотношении 3:1:1 по объему. Камеру ТСХ заряжали 25 мл мобильной фазы за 1 час до возгонки. Для окраски использовали универсальный краситель для аминокислот – нингидриновый реагент. Хроматограмму окрашивали под тягой и высушивали, сначала при комнатной температуре, а затем помещали в сушильный шкаф на 1–2 мин для ускорения проявления и сравнивали с тестовой разгонкой аминокислот. Анализировали наличие следующих аминокислот: тирозин (ТИР), метионин (МЕТ), аланин (АЛА), глицин (ГЛИ), пролин (ПРО), цистеин (ЦИС), лизин (ЛИЗ), лейцин (ЛЕЙ), валин (ВАЛ), орнитин (ОРН), гистидин (ГИС), треонин (ТРЕ), фенилаланин (ФЕН). *Результаты.* В контроле выявилось только 11 аминокислот, из всех проанализированных аминокислот отсутствовали ЦИС и ЛИЗ. Воздействие нетоксичной дозой бензимидазола привело к изменению спектра аминокислот в гемолимфе имаго. При воздействии дозой 0,00001 мг/мл в гемолимфе выявляются только: ГЛИ, ПРО, ВАЛ, ОРН, ФЕН, а при воздействии дозой 0,001 мг/мл выявляется только: ПРО, ВАЛ, ОРН, ФЕН, т.е. не выявляется ГЛИ. При воздействии бензотриазолом в дозе LD₅₀ в гемолимфе исчезли аминокислоты: ВАЛ, ГИС и ТРЕ по сравнению с контролем, зато появились: ЦИС и ЛИЗ, отсутствующие в контроле и при воздействии на имаго обеими нетоксичными дозами бензимидазола. *Выводы.* В регуляции метаболизма имаго дрозофилы большую роль играет пул свободных аминокислот гемолимфы. Воздействие бензимидазолом в дозе LD₅₀ вызывает стресс у самцов имаго дрозофилы, что приводит

© Дружинина В. В., Селезнева Е. С., Белоусова З. П., 2024. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

к появлению цис и лиз. Нетоксичные дозы также вызывают изменение состава свободных аминокислот, что позволяет организмам справиться с токсичностью. Сам адаптивный потенциал формируется в процессе эволюции в результате отбора группы генов, формирующих системы возможных успешных адаптивных ответов.

Ключевые слова: бензимидазол, свободные аминокислоты, хроматография, *Drosophila melanogaster*

Для цитирования: Дружинина В. В., Селезнева Е. С., Белоусова З. П. Влияние бензимидазола на аминокислотный состав гемолимфы имаго *Drosophila melanogaster* // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2024. № 1. С. 82–88. doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-8

The effect of benzimidazole on the amino acid composition of the hemolymph of imago *Drosophila melanogaster*

V.V. Druzhinina¹, E.S. Selezneva², Z.P. Belousova³

^{1,2,3}Samara National Research University
named after Academician S.P. Korolev, Samara, Russia

¹valentina.alex.drug@mail.ru, ²catana7@yandex.ru, ³zbelousova@mail.ru

Abstract. Background. Habitats are increasingly subjected to anthropogenic press. In order to understand the mechanisms of insect adaptation to widespread xenobiotics, model experiments are needed to determine the response of insects to both highly toxic doses and low toxic doses. The aim of the work was to analyse changes in the amino acid pool under the action of benzimidazole, derivatives of which are widely used in pharmacology and agriculture. **Materials and methods.** *Drosophila melanogaster* imago of the wild line Canton-S were exposed daily to benzimidazole at concentrations of: 0.0001 mg/ml and 0.001 mg/ml and LD₅₀ dose. The imago were sedated and 300 each were rubbed in a porcelain mortar with 2 ml of distilled water. The resulting suspension was applied to paper discs for rapid tests. The dried samples were then placed in 0.5 ml plastic tubes and filled with elution liquid (6:4 – methanol: water) and left for 24 hours at room temperature. Sorbfil VETSC plates with a silica gel layer thickness of 160 µm were used for the separation of amino acid mixtures. The mobile phase consisted of the solvent system: n-butanol - glacial acetic acid - water, in a ratio of 3:1:1 by volume. The TLC chamber was charged with 25 mL of mobile phase 1 h before sublimation. Ninhydrin reagent, a universal dye for amino acids, was used for staining. The chromatogram was stained under draught and dried, first at room temperature and then, placed in a desiccator for 1-2 minutes to speed up the manifestation and compared with the test amino acid dispersion. The following amino acids were analysed: tyrosine (Tyr), methionine (Met), alanine (Ala), glycine (Gly), proline (Pro), cysteine (Cys), lysine (Lys), leucine (Leu), valine (Val), ornithine (Orn), histidine (His), threonine (Tre), phenylalanine (Phe). **Results.** Only 11 amino acids were detected in the control, of all the amino acids analysed, Cys and Lys were missing. Exposure to a non-toxic dose of benzimidazole resulted in a change in the amino acid spectrum in the haemolymph of imago. When exposed to a dose of 0.00001 mg/ml, only: Gly, Pro, Val, Orn, Phe are detected in haemolymph, and when exposed to a dose of 0.001 mg/ml, only: Pro, Val, Orn, Phe are detected, i.e., no Gly is detected. When exposed to benzotriazole at a dose of LD₅₀, the amino acids Val, Hys and Tre disappeared in haemolymph compared to the control, but Cys and Lys appeared, which were absent in the control and when imago were exposed to both non-toxic doses of benzimidazole. **Conclusions.** The pool of free amino acids in the hemolymph plays an important role in the regulation of the metabolism of *Drosophila* imagoes. Exposure to benzimidazole at an LD₅₀ dose causes stress in male *Drosophila* adults, resulting in the appearance of cis and lys. Non-toxic doses also cause changes in the composition of free amino acids, which allows organisms to cope with toxicity. The adaptive potential itself is formed in the process of evolution as a result of the selection of a group of genes that form systems of possible successful adaptive responses.

Keywords: Benzimidazole, free amino acids, chromatography, *Drosophila melanogaster*

For citation: Druzhinina V.V., Selezneva E.S., Belousova Z.P. The effect of benzimidazole on the amino acid composition of the hemolymph of imago *Drosophila melanogaster*. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2024;(1):82–88. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-9150-2024-1-8

В течение многих лет происходит изучение адаптаций позвоночных животных к стрессу. Механизмы стресс-реакций у насекомых изучены гораздо хуже. Однако исследование такого рода должно проводиться, потому что среда обитания все более подвергается антропогенному прессу за счет синтезируемых ксенобиотиков.

Вне зависимости от вида ксенобиотиков дозировки их, не вызывавшие летальных эффектов, стимулировали ускорение онтогенетических процессов, повышали жизнеспособность личинок и плодовитость имаго. Сублетальные дозы приводили к векторному отбору в пользу появления генотипов, устойчивых к этим веществам. Сами механизмы таких изменений могут быть различными у разных насекомых. Так, было показано, что независимо от стрессора резко повышается транскрипционная активность генов профенолоксидазы у комнатной мухи и медоносной пчелы и антибактериальных пептидов медоносной пчелы при стрессах [1].

Причины повышения транскрипционной активности именно этой группы ферментов непонятны. Не установлено также, какие факторы выступают в роли стимулирующих транскрипционную активность. Однако известно, что некоторые аминокислоты гемолимфы насекомых влияют на активность ферментов, участвующих в метаболизме нуклеиновых кислот [2] и, следовательно, могут принимать участие в регуляции экспрессии и других генов. Поэтому необходимы модельные эксперименты, позволяющие выявить динамику комплекса свободных аминокислот гемолимфы при воздействии генотоксикантов, чтобы понять механизмы как специфической, так и неспецифической адаптации у насекомых к ксенобиотикам.

Целью работы является анализ изменения комплекса аминокислот гемолимфы насекомых при действии бензимидазола, производные которого широко используются в фармакологии и сельском хозяйстве.

Материал и методы

Имаго самок и самцов *Drosophila melanogaster* дикой линии Canton-Sco держали отдельно в популяционных ящиках объемом 250 мл в течение трех суток на стандартном корме. Затем на сутки туда помещали чашки Петри диаметром 2,5 см, в которых на желатиновую подложку наносили суспензию бензимидазола. Исследовали две абсолютно нетоксичные дозы бензимидазола – 0,0001 мг/мл и 0,001 мг/мл, а также дозу LD₅₀, которая составила для самцов имаго 13,3 мг/мл при суточном воздействии.

Живых самцов имаго усыпляли эфиром, после чего 300 экземпляров растирали в фарфоровой ступке с 2 мл дистиллированной воды. Полученную суспензию наносили на специальную бумагу для экспресс-тестов, марки 11 (ТУ 13-7308001-721-85, производства Малиновской бумажной фабрики) и высушивали.

Затем бумажные диски с высушенным материалом помещали в пластиковые пробирки на 0,5 мл и заливали элюирующей жидкостью (60 % раствор метанола). Закрытые пробирки оставляли на сутки при комнатной температуре [3].

Для разделения смеси аминокислот использовали пластинки ВЭТСХ Sorbfil с толщиной слоя силикагеля 160 мкм. Элюат наносили на пластинки с помощью капилляров при постоянном просушивании. Мобильная фаза состояла из системы растворителей: н-бутанол – ледяная уксусная кислота – вода, в соотношении 3:1:1 по объему. Камеру ТСХ заряжали 25 мл мобильной фазы за один час до возгонки.

Для окраски использовали универсальный краситель для аминокислот – нингидриновый реагент. Для приготовления красителя 500 мг нингидрина растворяли в смеси 85 мл ацетона и 5 мл уксусной кислоты и смешивали с 1 % раствором ацетата кадмия. Хроматограмму окрашивали под тягой и высушивали, сначала при комнатной температуре, а затем помещали в сушильный шкаф на 1–2 мин для ускорения проявления. Полученную хроматограмму сравнивали с тестом разгонки аминокислот. Анализировали наличие или отсутствие следующих аминокислот: тирозин (ТИР), метионин (МЕТ), аланин (АЛА), глицин (ГЛИ), пролин (ПРО), цистеин (ЦИС), лизин (ЛИЗ), лейцин (ЛЕЙ), валин (ВАЛ), орнитин (ОРН), гистидин (ГИС), треонин (ТРЕ), фенилаланин (ФЕН).

Результаты и обсуждение

В составе гемолимфы имаго из проанализированных нами аминокислот в контроле выявили только 11 (табл. 1).

Таблица 1

Качественный состав свободных аминокислот в гемолимфе имаго самцов *Drosophila melanogaster* дикой линии Canton-S

| Аминокислоты* | Контроль | Трехсуточное воздействие бензимидазолом в следующих концентрациях | | |
|---------------|----------|---|-------------|------------------|
| | | 0,00001 мг/мл | 0,001 мг/мл | LD ₅₀ |
| ТИР | + | | | + |
| МЕТ | + | | | + |
| АЛА | + | | | + |
| ГЛИ | + | + | | + |
| ПРО | + | + | + | + |
| ЦИС | | | | + |
| ЛИЗ | | | | + |
| ЛЕЙ | + | | | + |
| ВАЛ | + | + | + | |
| ОРН | + | + | + | + |
| ГИС | + | | | |
| ТРЕ | + | | | |
| ФЕН | + | + | + | + |

П р и м е ч а н и е. * Обозначения аминокислот: тирозин (ТИР), метионин (МЕТ), аланин (АЛА), глицин (ГЛИ), пролин (ПРО), цистеин (ЦИС), лизин (ЛИЗ), лейцин (ЛЕЙ), валин (ВАЛ), орнитин (ОРН), гистидин (ГИС), треонин (ТРЕ), фенилаланин (ФЕН).

Как видно из представленных результатов, воздействие в течение суток нетоксичной дозой бензимидазола привело к изменению состава комплекса

аминокислот в гемолимфе имаго. Даже нетоксичная концентрация по-разному влияет при воздействии на имаго. Так, при воздействии дозой 0,00001 мг/мл в гемолимфе выявляются только: ГЛИ, ПРО, ВАЛ, ОРН, ФЕН, а при воздействии дозой на порядок выше (0,001 мг/мл) выявляется только ПРО, ВАЛ, ОРН, ФЕН, т.е. не выявляется ГЛИ.

Исследование воздействия дозой LD₅₀ показало, что в гемолимфе исчезли следующие аминокислоты: ВАЛ, ГИС И ТРЕ. При этом появились ЦИС и ЛИЗ, отсутствующие в контроле и при воздействии на имаго нетоксичными дозами бензимидазола.

Известно, что у насекомых отмечается высокое содержание свободных аминокислот в различных тканях и органах. Обычно в гемолимфе находят 15–16 свободных аминокислот [4, 5]. Состав аминокислот является чутким показателем изменения метаболизма насекомых. Отдельные аминокислоты могут воздействовать непосредственно и на молекулы ферментов. Так, АРГ и ЛИЗ непосредственно влияют на активность кислой РНКазы у вошиной моли и капустной белянки, вызывая ее ингибирование, а ГЛИ – активирование фермента. Повышение активности фермента под влиянием этих аминокислот может быть вызвано различными механизмами. Не исключено, что эти аминокислоты способны активировать транскрипцию соответствующих генов, таким образом, увеличивая число копий соответствующих мРНК. Показано, что аминокислоты могут оказывать мощное воздействие на активность нуклеаз, вызывая деструкцию РНК и ДНК у насекомых. При этом ряд аминокислот может оказывать непосредственное воздействие на молекулы кислых РНКаз и ДНКаз (возможно, в качестве регуляторов эффективности связывания полинуклеотидов в активном центре нуклеаз). Возможно и опосредованное воздействие аминокислот на активность нуклеаз посредством индукции или репрессии их синтеза на уровне транскрипции, как это было показано для фосфатаз насекомых. Таким образом, аминокислоты способны выступать в качестве тонких регуляторов катаболизма РНК и ДНК в тканях и органах насекомых [2].

Влияние аминокислот подобного типа на метаболизм выполняет у насекомых роль адаптаций в постоянно изменяющихся условиях среды. Одним из доказательств этого предположения является быстрое изменение состава фосфатаз и связанное с этим изменение комплекса свободных аминокислот в гемолимфе насекомых [6].

Воздействие бензимидазолом в дозе LD₅₀ вызывает стресс у самцов имаго дрозофилы. Подтверждением этого вывода могут быть результаты последних исследований, показавших, что аминокислоты ЦИС и ЛИЗ, модифицируясь в редокс-чувствительных белках, являются ключевыми для редокс-сигнализации и реакции на стресс во всех организмах [7].

Полученные нами данные указывают на малую изученность механизмов регуляции метаболизма имаго дрозофилы. Большую роль в регуляции играет комплекс свободных аминокислот гемолимфы, который даже при нетоксичных дозах меняет свой состав, позволяя организму справиться с токсичностью. Возможно, выявленный адаптивный потенциал гемолимфы формируется в процессе эволюции в результате отбора группы генов, формирующих системы адаптивных ответов.

Список литературы

1. Соколянская М. П., Беньковская Г. В., Николенко А. Г. Динамика формирования резистентности личинок комнатной мухи к стресс-факторам различной природы // Агрохимия. 2005. № 9. С. 70–75.
2. Пиункова С. А. Влияние аминокислот на активность фосфатаз и нуклеаз насекомых : дис. ... канд. биол. наук. М., 2000. 191 с.
3. Шаршунова М., Шварц В., Михалец Ч. Тонкослойная хроматография в фармации и клинической биохимии. М. : Мир, 2010. 450 с.
4. Дэвени Т., Гергей Я. Аминокислоты. Пептиды и Белки. М. : Мир, 2010. 362 с.
5. Филиппович Ю. Б., Минина Н. И. Ферменты насекомых // Итоги науки и техники. Сер.: Биологическая химия. М. : ВИНТИ, 1976. Т. 9. 218 с.
6. Эчкалов А. П. Комплекс кислых фосфатаз насекомых : дис. ... канд. биол. наук. М., 1988. 180 с.
7. Fabian Rabe von Pappenheim, Kai Tittmann. Lysines and cysteines: partners in stress?// Trends Biochem Sci. 2022. Vol. 47. P. 372–374.

References

1. Sokolyanskaya M.P., Ben'kovskaya G.V., Nikolenko A.G. Dynamics of resistance formation in housefly larvae to stress factors of various natures. *Agrokimiya = Agrochemistry*. 2005;(9):70–75. (In Russ.)
2. Piunkova S.A. *An effect of amino acids on the activity of insect phosphatases and nucleases*. PhD dissertation. Moscow, 2000:191. (In Russ.)
3. Sharshunova M., Shvarts V., Mikhalets Ch. *Tonkosloynaya khromatografiya v farmatsii i klinicheskoy biokhimii = Thin layer chromatography in pharmacy and clinical biochemistry*. Moscow: Mir, 2010:450. (In Russ.)
4. Deveni T., Gergey Ya. *Aminokisloty. Peptidy i Belki = Amino acids. Peptides and Proteins*. Moscow: Mir, 2010:362. (In Russ.)
5. Filippovich Yu.B., Minina N.I. Insect enzymes. *Itogi nauki i tekhniki. Ser.: Biologicheskaya khimiya = Results of science and technology. Series: Biological chemistry*. Moscow: VINITI, 1976;9:218. (In Russ.)
6. Echkalov A.P. *Insect acid phosphatase complex*. PhD dissertation. Moscow, 1988. 180. (In Russ.)
7. Fabian Rabe von Pappenheim, Kai Tittmann. Lysines and cysteines: partners in stress? *Trends Biochem Sci*. 2022;47:372–374.

Информация об авторах / Information about the authors

Валентина Викторовна Дружинина
студентка,
Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С. П. Королева
(Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)

E-mail: valentina.alex.drug@mail.ru

Valentina V. Druzhinina
Student,
Samara National Research University
named after Academician S.P. Korolev
(34 Moskovskoye avenue, Samara, Russia)

Екатерина Сергеевна Селезнева
кандидат биологических наук, доцент,
доцент кафедры биохимии,
биотехнологии и биоинженерии,
Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С. П. Королева
(Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)

E-mail: catana7@yandex.ru

Ekaterina S. Selezneva
Candidate of biological sciences,
associate professor,
associate professor of the sub-department
of biochemistry, biotechnology
and bioengineering,
Samara National Research University
named after Academician S.P. Korolev
(34 Moskovskoye avenue, Samara, Russia)

Зоя Петровна Белоусова

доктор химических наук, доцент,
профессор кафедры неорганической химии,
Самарский национальный
исследовательский университет
имени академика С. П. Королева
(Россия, г. Самара, Московское шоссе, 34)

E-mail: zbelousova@mail.ru

Zoya P. Belousova

Doctor of chemical sciences,
associate professor,
professor of the sub-department
of inorganic chemistry,
Samara National Research University
named after Academician S.P. Korolev
(34 Moskovskoye avenue, Samara, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 09.01.2024

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 08.02.2024

Принята к публикации / Accepted 12.03.2024