

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ ПОВОЛЖСКИЙ РЕГИОН

ЕСТЕСТВЕННЫЕ НАУКИ

№ 4 (40)

2022

СОДЕРЖАНИЕ

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

- Еремченко О. З., Арисова А. К., Кайгородов Р. В.** Изменения пероксидазной активности и содержания органических кислот в листьях пшеницы в условиях сощелочного стресса..... 3
- Антонова Е. Е., Кучарова Е. В., Охлопкова Ж. М.** Введение в суспензионную культуру клеток *Artemisia vulgaris* L. 13
- Серегина И. И., Анка М., Новиков Н. Н., Белопухов С. Л., Дмитриевская И. И.** Влияние регуляторов роста на активность амилолитических ферментов в зерне яровой пшеницы..... 24
- Новиков Н. Н., Исламгулова Р. Р.** Сравнение активности амилаз и антиоксидантных ферментов (каталаз и пероксидаз) при солодоращении зерна различных сортов ячменя 36

БОТАНИКА

- Тунгрикова В. В., Худогова Е. Г.** Онтогенетические особенности и продуктивность *Symphytum officinale* L. в условиях Приангарья 46
- Афонин А. А.** Дискретность развития побегов в клонах *Salix gmelinii* Pall. (Salicaceae Mirb.) 55
- Пивоварова Ж. Ф., Багаутдинова З. З., Благодатнова А. Г.** Возможности использования водорослей в экологической оценке городских почв 68
- Любов М. С., Недосеко О. И.** Влияние климатических изменений на динамику фенологических процессов в Нижегородском Правобережье 78

ЗООЛОГИЯ

- Корепов М. В., Николаева Д. А., Стрюков С. А., Павлов П. О., Арюлина И. П., Голубева М. Н.** Гнездовая биология орланов-белохвостов (*Haliaeetus albicilla*) на этапе строительства гнезда в национальном парке «Сенгилеевские горы»..... 95

UNIVERSITY PROCEEDINGS
VOLGA REGION

NATURAL SCIENCES

№ 4 (40)

2022

CONTENTS

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

- Eremchenko O.Z., Arisova A.K., Kaygorodov R.V.* The changes in peroxidase activity and organic acid content in wheat leaves exposed to salt-alkali stress 3
- Antonova E.E., Kucharova E.V., Okhlopko Zh.M.* Introduction to the suspension *Artemisia vulgaris* L. cell culture 13
- Seregina I.I., Anka M., Novikov N.N., Belopukhov S.L., Dmitrevskaya I.I.* Influence of growth regulators on the activity of amylolytic enzymes in spring wheat grain 24
- Novikov N.N., Islamgulova R.R.* Comparison of amylases and antioxidant enzymes (catalases and peroxidases) activity in the grain malting of various barley varieties 36

BOTANY

- Tungrikova V. V., Khudonogova E. G.* Ontogenetic features and productivity *Symphytum officinale* L. in the conditions of the Angara region 46
- Afonin A.A.* Discreteness of shoots development in clones *Salix gmelinii* Pall. (Salicaceae Mirb.) 55
- Pivovarova Zh.F., Bagautdinova Z.Z., Blagodatnova A.G.* Possibilities of using algae in the ecological assessment of urban soils 68
- Lyubov M.S., Nedoseko O.I.* The impact of climate change on the dynamics of phenological processes in the Nizhny Novgorod right bank region 78

ZOOLOGY

- Korepov M.V., Nikolaeva D.A., Stryukov S.A., Pavlov P.O., Aryulina I.P., Golubeva M.N.* Nesting biology of white-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the nest building stage in "Sengileevskiye gory" national park 95

ФИЗИОЛОГИЯ И БИОХИМИЯ РАСТЕНИЙ

PHYSIOLOGY AND BIOCHEMISTRY OF PLANTS

УДК 581.1

doi:10.21685/2307-9150-2022-4-1

Изменения пероксидазной активности и содержания органических кислот в листьях пшеницы в условиях сощелочного стресса

О. З. Еремченко¹, А. К. Арисова², Р. В. Кайгородов³

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

¹eremch@psu.ru, ²nast483@bk.ru, ³romankaygorodov@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* При одновременном воздействии засоления и щелочности на растения их ответные реакции направлены на осморегуляцию, защиту от избытка засоряющих ионов и окислительных радикалов, а также на pH-регуляцию. Существует определенная трудность в отделении эффекта токсичности солей от воздействия высоких pH на растение. Цель исследований – в условиях сощелочного стресса определить вклад засоления и щелочности в изменение пероксидазной активности и содержания некоторых органических кислот (восстановленной аскорбиновой кислоты, щавелевой, яблочной, янтарной, лимонной) в листьях пшеницы. *Материалы и методы.* Объектом является пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.). Исследования проведены в двухфакторном эксперименте с воздействием NaCl-засоления (30 мМ, 70 мМ, 100 мМ, 150 мМ) и щелочности (7, 8, 9, 10 pH). Отбор растительных проб провели через 1, 4, 24 ч после стресс-воздействия. Определили активность пероксидаз – по методу Бояркина, восстановленную аскорбиновую кислоту – по Чупахинной, содержание щавелевой, лимонной, яблочной, янтарной – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. *Результаты.* Проведена оценка влияния засоления и щелочности, а также их взаимного действия на варьирование показателей, связанных с развитием окислительного стресса (пероксидазная активность и восстановленная аскорбиновая кислота), с осморегуляцией и pH-гомеостазом (органические кислоты). *Выводы.* В условиях сощелочного стресса концентрация NaCl и щелочность в максимальной степени определяли варьирование содержания органических кислот цикла Кребса в листьях пшеницы. Несколько ниже показатель влияния факторов на активность пероксидаз и содержание щавелевой кислоты. Факторная нагрузка на изменчивость содержания восстановленной аскорбиновой кислоты в первые часы была относительно пониженной, через сутки действие факторов стало незначимым. Проявилась тенденция к повышенному влиянию NaCl-засоления на пероксидазную активность в листьях пшеницы по сравнению с щелочностью. Величина pH в несколько большей степени, чем концентрация NaCl, определяла изменчивость содержания органических кислот в листьях растений.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., солевой стресс, щелочной стресс, пероксидаза, органические кислоты

© Еремченко О. З., Арисова А. К., Кайгородов Р. В., 2022. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Еремченко О. З., Арисова А. К., Кайгородов Р. В. Изменения пероксидазной активности и содержания органических кислот в листьях пшеницы в условиях сощелочного стресса // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 3–12. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-1

The changes in peroxidase activity and organic acid content in wheat leaves exposed to salt-alkali stress

O.Z. Eremchenko¹, A.K. Arisova², R.V. Kaygorodov³

^{1,2,3}Perm State National Research University, Perm, Russia

¹eremch@psu.ru, ²nast483@bk.ru, ³romankaygorodov@mail.ru

Abstract. *Background.* Simultaneous exposure of plants to saline and alkaline stress induces feedback reactions directed at osmoregulation, pH regulation and protection against excess salt ions and oxygen radicals. It's relatively hard to discriminate the toxic effect of salinity from the effect of high pH on plants. The purpose of the study was to determine the influence of salinity and alkalinity on peroxidase activity and organic acid content (reduced ascorbic acid, oxalic acid, malic acid, succinic acid, citric acid) in wheat leaves exposed to salt-alkali stress. *Materials and methods.* The object of the study is a soft spring wheat (*Triticum aestivum* L.). The two-factor experiment was conducted: plants were exposed to NaCl salinity (30 mM, 70 mM, 100 mM, 150 mM) and alkalinity (7, 8, 9, 10 pH). Plant samples were harvested 1h, 4h and 24h after exposure to stress. Peroxidase activity was determined according to Boyarkin; reduced ascorbic acid content was measured according to Chupakhina; oxalic, malic, succinic and citric acid concentrations were determined by HPLC. *Results.* The study determined the influence of salinity and alkalinity as well as its combined impact on parameters associated with the development of oxidative stress (peroxidase activity and reduced ascorbic acid), osmoregulation, pH-stat and ion balance (organic acids). *Conclusions.* In salt-alkali stress conditions NaCl concentration and alkalinity had the highest impact on the content of Krebs cycle acids in wheat leaves. The effect of these factors on peroxidase activity and oxalic acid content was slightly lower. The impact of both factors on reduced ascorbic acid content during the first hours of the experiment was low and didn't reach significance by the end of the day. The impact of NaCl-salinity on peroxidase activity tended to be increased when compared to alkalization. A pH value influenced organic acids content in wheat leaves to a greater extent than NaCl concentration.

Keywords: *Triticum aestivum* L., salt-stress, alkali-stress, peroxidase, organic acids

For citation: Eremchenko O.Z., Arisova A.K., Kaygorodov R.V. The changes in peroxidase activity and organic acid content in wheat leaves exposed to salt-alkali stress. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(4):3–12. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-1

Введение

При одновременном воздействии засоления и щелочности на растения их ответные реакции направлены на осморегуляцию, защиту от избытка засоляющих ионов и окислительных радикалов, а также на pH-регуляцию. Солевой и щелочной стресс рассматривают как разные типы стресса; одновременно отмечают, что воздействие щелочных солей на растение более негативное, чем нейтральных солей [1–3].

В основе адаптации и кросс-адаптации растений к неблагоприятным условиям внешней среды лежит эффективное функционирование антиокси-

дантной системы [4, 5]. Окислительный стресс у растений вызывается как избытком солей [6], так и щелочностью [7]. Устойчивость растений в условиях стресса в определенной степени связывают и с метаболизмом органических кислот. Органические кислоты участвуют в рН-гомеостазе, осмотической регуляции и балансе избытка катионов [8]. При щелочном засолении отмечают определенную трудность в отделении эффекта токсичности солей от воздействия высоких рН на растения [9, 10]. Цель наших исследований – в условиях солещелочного стресса изучить вклад засоления и щелочности в изменение пероксидазной активности и содержание некоторых органических кислот (восстановленной аскорбиновой кислоты, яблочной, янтарной, лимонной, щавелевой) в листьях пшеницы.

Материалы и методы

Объектом исследований является пшеница мягкая яровая (*Triticum aestivum* L.) сорта Горноуральский. Исследования проведены в двухфакторном опыте с комбинированным воздействием NaCl-засоления (30, 70, 100, 150 мМ) и щелочности (7, 8, 9, 10 рН).

Растения выращивали на увлажненном вермикулите в течение пяти дней, на 6-й день в корневую среду вносили растворы с определенной концентрацией соли и разной реакцией среды (рН). Реакцию среды в растворах регулировали внесением NaOH, величину рН контролировали на приборе «Экотест-120». Концентрация натрия в незасоленных щелочных вариантах опыта находилась в пределах 2–5 мМ.

Отбор растительных проб провели через 1, 4, 24 ч после стресс-воздействия. Пробу измельчали вручную, из нее брали навеску. В сырой массе листьев растений изучены активность пероксидаз по методу Бояркина [11] и восстановленная аскорбиновая кислота – по методу Чупахиной [12].

Содержание лимонной, яблочной, янтарной, щавелевой кислот определяли в образцах сухой массы растений. После стресс-воздействия в каждый период наблюдений проводили сбор образцов растительной массы, фиксировали при температуре 105 °С и досушивали при 60 °С. Водный экстракт органических кислот исследовали методом обращено-фазной высокоэффективной жидкостной хроматографии с ультрафиолетовой детекцией (ОФ ВЭЖХ УФ) на приборе «Dionex, Ultimate 3000».

Биологическая повторность определения физиолого-биохимических показателей – трехкратная. Данные эксперимента обрабатывались двухфакторным дисперсионным анализом с повторными измерениями (при уровне значимости нулевой гипотезы $P < 0,05$), с определением влияния факторов на варьирование показателей по Снедекору. Расчеты проведены в пакете Stadia 8.0.

Результаты

Пероксидазная активность. Во все периоды наблюдений изменчивость пероксидазной активности зависела от NaCl-засоления на 22–31 % при уровне значимости $P < 0,0001$ (табл. 1). Факторная нагрузка щелочности была сравнительно низкой в первый и третий период наблюдений (7–8 %, $P < 0,0001$) и повышалась до 23 % ($P < 0,0001$) через 4 ч после стресс-воздействия. От взаимного действия факторов изменчивость пероксидазной активности зависела на 32–33 % ($P = 0,0001$).

Таблица 1

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа активности пероксидаз и содержания восстановленной аскорбиновой кислоты в листьях пшеницы в зависимости от NaCl-засоления (фактор NaCl), щелочности (фактор pH) и при взаимном их действии (фактор NaCl × pH)

Период наблюдений	Показатель	Факторы, показатель влияния (%)		
		NaCl	pH	NaCl × pH
1 ч	Пероксидазная активность	22	7	32
	Восстановленная аскорбиновая кислота	4	–	20
4 ч	Пероксидазная активность	31	23	32
	Восстановленная аскорбиновая кислота	17	26	17
24 ч	Пероксидазная активность	29	8	33
	Восстановленная аскорбиновая кислота	–	–	–

Примечание. «–» – отсутствие значимого влияния факторов.

Восстановленная аскорбиновая кислота. Пониженную факторную нагрузку выявили в изменениях содержания восстановленной аскорбиновой кислоты в листьях пшеницы (табл. 1). Показатель влияния концентрации NaCl в первый час наблюдений составил 4 % ($P = 0,0001$) и увеличился до 17 % ($P = 0,001$) через 4 ч после стресс-воздействия. Значимое влияние щелочности (26 %, $P = 0,006$) на этот показатель отмечено только во второй период наблюдений. В первые два периода наблюдений варьирование содержания этой кислоты зависело от взаимного действия NaCl-засоления и щелочности на 17–20 % ($P < 0,0001$). Через сутки после стресс-воздействия такого значимого влияния факторов на содержание восстановленной аскорбиновой кислоты не было выявлено.

Органические кислоты цикла Кребса. Влияние засоления и щелочности на изменчивость содержания яблочной кислоты в растениях оставалось высоким (68–99 %, $P < 0,0001$) в течение всех периодов наблюдений (табл. 2). Относительно пониженная факторная нагрузка через 1 ч после стресс-воздействия связана с небольшим по силе влиянием NaCl-засоления на изменения содержания яблочной кислоты в листьях пшеницы.

Показатели отдельного влияния факторов засоления и щелочности, а также взаимное их действие на количество лимонной кислоты во все периоды наблюдений были примерно равными (28–33 %, $P < 0,0001$), а их общая факторная нагрузка на изменчивость содержания кислоты составляла 93–97 %.

Общая факторная нагрузка на изменчивость содержания янтарной кислоты в листьях пшеницы по всем периодам наблюдений колебалась в пределах 71–97 % ($P \leq 0,0001$). Относительное снижение влияния факторов через 4 ч после стресс-воздействия было связано с уменьшением показателя отдельного влияния NaCl-засоления до 5 % ($P = 0,0001$).

Щавелевая кислота. Через 1 ч после стресс-воздействия изменения в содержании щавелевой кислоты зависели от щелочности (33 %, $P < 0,0001$) и взаимного влияния засоления и щелочности (28 %, $P < 0,0001$); общая факторная нагрузка в варьировании содержания щавелевой кислоты составила

62 % (табл. 2). Через 4 ч после стресс-воздействия сила отдельного влияния засоления и щелочности была около 8 % ($P < 0,0001$), высоким осталось влияние взаимного их действия (33 %, $P < 0,0001$). Через 24 ч изменения содержания щавелевой кислоты определяла общая факторная нагрузка (на 54 %).

Таблица 2

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа содержания органических кислот в листьях пшеницы в зависимости от NaCl-засоления (фактор NaCl), щелочности (фактор pH) и при взаимном их действии (фактор NaCl × pH)

Период наблюдений	Кислота	Факторы, показатель влияния (%)		
		NaCl	pH	NaCl × pH
1 ч	Яблочная	6	32	30
	Лимонная	28	32	33
	Янтарная	32	22	32
	Щавелевая	2	33	28
4 ч	Яблочная	23	33	33
	Лимонная	31	33	33
	Янтарная	5	33	33
	Щавелевая	8	8	33
24 ч	Яблочная	33	33	33
	Лимонная	30	33	33
	Янтарная	28	33	33
	Щавелевая	21	16	17

Примечание. Все показатели влияния значимы при $P \leq 0,0001$.

Обсуждение

Используемый в эксперименте интервал концентраций NaCl (от 30 до 150 мМ) относится к условиям умеренного солевого стресса. По ранее опубликованным результатам двухфакторного эксперимента [13] общая факторная нагрузка засоления, щелочности и их взаимного действия на высоту и массу пшеницы через 24 ч после стресс-воздействия составляла 5 и 12 % соответственно, а через 48 ч – 5 и 18 % соответственно.

В условиях стресса на сверхпродукцию активных форм кислорода (АФК) растения отвечают усилением антиоксидантной защиты [14, 15]. Повышенная активность антиоксидантных ферментов отмечалась в условиях солевого [16] и щелочного стресса [7]. По нашим данным изменение пероксидазной активности под воздействием засоления и щелочности проявилось через 1 ч после стресс-воздействия, что указывает на быструю ответную реакцию растений. Вероятно, повышенная активность антиоксидантных ферментов связана с включением пероксидаз, находящихся в неактивном состоянии [17].

Окислительный стресс растений и увеличение продукции АФК в условиях засоления связывают с избыточным накоплением ионов Na^+ [16]. В нашем эксперименте в течение суток изменчивость пероксидазной активности зависела от NaCl-засоления на 22–31 %. По мнению ряда исследователей, для первой стадии солевого стресса наиболее характерно нарушение осморегуляции [6, 18], что сопровождается также и окислительным стрессом.

Щелочность, с одной стороны, может способствовать усилению ферментативной защиты растений [7], а с другой – нарушения рН-гомеостаза и баланса ионов могут снизить активность ферментов в клетке. В нашем эксперименте сила влияния фактора щелочности на изменчивость пероксидазной активности уступала фактору засоления.

По нашим данным, сила совместного факторного действия во все периоды наблюдений была достаточно устойчивой и определяла изменчивость пероксидазной активности в листьях пшеницы более чем на 30 %. Щелочная среда нарушает строение клеточных мембран и влияет на транспорт засоряющих ионов в клетки [3, 9, 19]. По-видимому, в условиях сощелочного стресса концентрация NaCl в зависимости от градиента щелочности может по-разному влиять на пероксидазную активность в листьях пшеницы.

В фотосинтетических и митохондриальных электронтранспортных цепях аскорбиновая кислота участвует в функционировании аскорбат-глутатионового цикла, в котором H_2O_2 восстанавливается до H_2O . В условиях стресса этот цикл играет важную роль в регуляции уровня АФК [4, 15]. В нашем исследовании в течение первых 4 ч развития стресса показатель влияния NaCl-засоления возрастал от 4 до 17 %. Обычно увеличение количества аскорбиновой кислоты, как и других неферментативных антиоксидантов, связывают с адаптацией растений к засолению [6]. Щелочность повлияла на изменение содержания аскорбиновой кислоты только во второй период наблюдений (4 ч). Взаимное действие засоления и щелочности на изменения количества восстановленной аскорбиновой кислоты в первые два периода наблюдений (1 и 4 ч), возможно, связано с нарушением строения и функций мембран, как это было установлено в исследованиях влияния щелочных солей на растения [3, 9, 19].

Через сутки после стресс-воздействия влияние засоления и щелочности на содержание аскорбиновой кислоты становится незначимым, возможно, по причине того, что для защиты от избытка АФК активизировались другие низкомолекулярные антиоксиданты [5, 14, 15].

Следует отметить, что факторная нагрузка на изменения содержания восстановленной аскорбиновой кислоты в листьях пшеницы оказалась заметно ниже по сравнению с нагрузкой факторов на пероксидазную активность. Считается, что антиоксидантные ферменты находятся на первой линии защиты от окислительного стресса [5, 14, 15].

Влияние NaCl-засоления на изменчивость содержания органических кислот цикла Кребса и щавелевой кислоты может быть обусловлено их участием в осморегуляции. Осмотический компонент в действии засоления проявляется практически мгновенно; он связан со снижением поступления воды из засоленного раствора и возникновением дефицита воды. Ответной реакцией растений на дефицит воды является накопление осмотически активных веществ в клетке [18]. По данным Чжоу и Юй [20], при засолении органические кислоты поддерживают низкий водный потенциал в корнях и листьях проростков *Vetiveria zizanioides*. В условиях щелочного засоления накопление органических кислот в пшенице, рисе и подсолнечнике связывают с восстановлением осмотического баланса внутри растительных клеток [1, 21].

В течение всех периодов наблюдений значимое влияние щелочности на изменчивость содержания органических кислот, вероятно, связано с их участием в регуляции рН внутренней среды растений. Изменения в метаболизме

органических кислот принято рассматривать в качестве важнейшего адаптивного ответа растений при щелочном стрессе [1].

Выявленные колебания показателей содержания органических кислот в листьях пшеницы могут быть также обусловлены нарушением гликолиза в условиях сощелочного стресса. При подщелачивании протоплазмы рН-чувствительные ферменты переключают системы с продуцирования протонов (при гликолизе) на потребление протонов (в альтернативном пути дыхания). Альтернативный путь способен в течение короткого времени реагировать на сдвиги рН; отмечают его активизацию в условиях стресса [2, 22].

Таким образом, устойчивое влияние засоления и щелочности, а также максимально возможная в эксперименте общая факторная нагрузка на содержание органических кислот связаны со сложным метаболизмом органических кислот, их функциональной ролью в адаптационных процессах растений.

Заключение

1. В условиях сощелочного стресса содержание яблочной, лимонной и янтарной кислот в листьях пшеницы в максимальной степени зависело от концентрации NaCl и щелочности. В меньшей степени эти факторы воздействовали на активность пероксидаз, количество восстановленной аскорбиновой и щавелевой кислоты.

2. Проявилась тенденция к повышенному влиянию NaCl-засоления на пероксидазную активность и содержание восстановленной аскорбиновой кислоты в пшенице по сравнению со щелочностью.

3. Щелочность корневой среды в большей степени, чем концентрация NaCl, воздействовала на содержание органических кислот цикла Кребса и щавелевой кислоты в листьях пшеницы.

4. Отмечено взаимное действие засоления и щелочности на активность пероксидаз и содержание органических кислот, что связано, по-видимому, с тем, что влияние градаций одного из факторов зависит от того, на фоне какой градации другого фактора оно проявляется.

Список литературы

1. Liu J., Shi D.-C. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, inorganic ion and organic acid accumulations of sunflower in responses to salt and salt-alkaline mixed stress // *Photosynthetica*. 2010. Vol. 48, № 1. P. 127–134. doi:10.1007/s11099-010-0017-4
2. Guo R., Yang Z., Li F. [et al.]. Comparative metabolic responses and adaptive strategies of wheat (*Triticum aestivum*) to salt and alkali stress // *BMC Plant Biology*. 2015. Vol. 15, № 1. P. 1–13. doi:10.1186/s12870-015-0546-x
3. Guo R., Shi L., Yan C. [et al.]. Ionic and metabolic responses to neutral salt or alkaline salt stresses in maize (*Zea mays* L.) seedlings // *BMC Plant Biology*. 2017. Vol. 17, № 1. P. 1–13. doi:10.1186/s12870-017-0994-6
4. Shao H. B., Chu L. Y., Lu Zh. H., Kang C. M. Primary Antioxidant Free Radical Scavenging and Redox Signaling Pathways in Higher Plant Cells // *International Journal of Biological Sciences*. 2008. Vol. 4, № 1. P. 8–14. doi:10.7150/ijbs.4.8
5. Колупаев Ю. Е., Карпец Ю. В., Кабашникова Л. Ф. Антиоксидантная система растений: клеточная компартментация, защитные и сигнальные функции, механизмы регуляции (обзор) // *Прикладная биохимия и микробиология*. 2019. Т. 55, № 5. С. 419–440. doi:10.1134/S0555109919050088
6. Arif Y., Singh P., Siddiqui H. [et al.]. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance // *Plant. Physiol. Biochem.* 2020. Vol. 156. P. 64–77. doi:10.1016/j.plaphy.2020.08.042

7. Bhuyan M. H. M., Hasanuzzaman M., Mahmud J. A. [et al.]. Unraveling morphophysiological and biochemical responses of *Triticum aestivum* L. to extreme pH: Coordinated actions of antioxidant defense and glyoxalase systems // *Plants*. 2019. Т. 8, № 1. P. 24. doi:10.3390/plants8010024
8. López-Bucio J., Nieto-Jacobo M. F., Ramírez-Rodríguez V., Herrera-Estrella L. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils // *Plant Sci*. 2000. Vol. 160, № 1. P. 1–13. doi:10.1016/S0168-9452(00)00347-2
9. Shi D., Wang D. Effects of various salt-alkaline mixed stresses on *Aneurolepidium chinense* (Trin.) Kitag // *Plant and soil*. 2005. Vol. 271, № 1. P. 15–26. doi:10.1007/s11104-004-1307-z
10. Genc Y., Taylor J., Lyons G. [et al.]. Bread wheat with high salinity and sodicity tolerance // *Frontiers in plant science*. 2019. Vol. 10. P. 1280. doi:10.3389/fpls.2019.01280
11. Бояркин А. Н. Быстрый метод определения активности пероксидазы // *Биохимия*. 1951. Т. 16, № 4. С. 352–355.
12. Чупахина Г. Н. Физиологические и биохимические методы анализа растений : практикум. Калининград : Калинингр. ун-т, 2000. 59 с.
13. Арисова А. К., Еремченко О. З., Семенова В. А. Комбинированное воздействие NaCl-засоления и щелочности корневой среды на пероксидазную активность *Triticum aestivum* L. // *ЭкоБиоТех 2021* : сб. науч. тр. Всеросс. науч. конф. с междунар. участием. Уфа, 2021. С. 110–113.
14. Noctor G., Lelarge-Trouverie C., Mhamdi A. The metabolomics of oxidative stress // *Phytochemistry*. 2015. Vol. 112. P. 33–53. doi:10.1016/j.phytochem.2014.09.002
15. Прадедова Е. В., Нимаева О. Д., Саляев Р. К. Редокс-процессы в биологических системах // *Физиология растений*. 2017. Т. 64, № 6. С. 433–445. doi:10.7868/s0015330317050104
16. Amin I., Rasool S., Mir M. A. [et al.]. Ion homeostasis for salinity tolerance in plants: A molecular approach // *Physiologia Plantarum*. 2021. Vol. 171, № 4. P. 578–594. doi:10.1111/ppl.13185
17. Минибаева Ф. В., Гордон Л. Х. Продукция супероксида и активность внеклеточной пероксидазы в растительных тканях при стрессе // *Физиология растений*. 2003. Т. 50, № 3. С. 459–464.
18. Веселов Д. С., Маркова И. В., Кудоярова Г. Р. Реакция растений на засоление и формирование солеустойчивости // *Успехи современной биологии*. 2007. Т. 127, № 5. С. 482–493.
19. Zhang H., Liu X. L., Zhang R. X. [et al.]. Root damage under alkaline stress is associated with reactive oxygen species accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) // *Frontiers in plant science*. 2017. Т. 8. P. 1580. doi:10.3389/fpls.2017.01580
20. Чжоу К., Юй В. Дж. Накопление неорганических и органических осмолитов и их роль в осмотической регуляции у проростков *Vetiveria zizanioides* при действии NaCl // *Физиология растений*. 2009. Т. 56, № 5. С. 751–758.
21. Guo R., Shi L., Ding X. [et al.]. Effects of Saline and Alkaline Stress on Germination, Seedling Growth, and Ion Balance in Wheat // *Agronomy journal*. 2010. Vol. 102, № 4. P. 1252–1260. doi:10.2134/agronj2010.0022
22. Van Dongen J. T., Gupta K. J., Ramirez-Aguilar S. J. [et al.]. Regulation of respiration in plants: a role for alternative metabolic pathways // *Journal of Plant Physiology*. 2011. Vol. 168. P. 1434–1443. doi:10.1016/j.jplph.2010.11.004

References

1. Liu J., Shi D.-C. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence, inorganic ion and organic acid accumulations of sunflower in responses to salt and salt-alkaline mixed stress. *Photosynthetica*. 2010;48(1):127–134. doi:10.1007/s11099-010-0017-4

2. Guo R., Yang Z., Li F. et al. Comparative metabolic responses and adaptive strategies of wheat (*Triticum aestivum*) to salt and alkali stress. *BMC Plant Biology*. 2015;15(1):1–13. doi:10.1186/s12870-015-0546-x
3. Guo R., Shi L., Yan C. et al. Ionic and metabolic responses to neutral salt or alkaline salt stresses in maize (*Zea mays* L.) seedlings. *BMC Plant Biology*. 2017;17(1):1–13. doi:10.1186/s12870-017-0994-6
4. Shao H.B., Chu L.Y., Lu Zh.H., Kang C.M. Primary Antioxidant Free Radical Scavenging and Redox Signaling Pathways in Higher Plant Cells. *International Journal of Biological Sciences*. 2008;4(1):8–14. doi:10.7150/ijbs.4.8
5. Kolupaev Yu.E., Karpets Yu.V., Kabashnikova L.F. Plant antioxidant system: cell compartmentation, protective and signaling functions, regulatory mechanisms (review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya = Applied biochemistry and microbiology*. 2019;55(5):419–440. (In Russ.). doi:10.1134/S0555109919050088
6. Arif Y., Singh P., Siddiqui H. et al. Salinity induced physiological and biochemical changes in plants: An omic approach towards salt stress tolerance. *Plant. Physiol. Biochem.* 2020;156:64–77. doi:10.1016/j.plaphy.2020.08.042
7. Bhuyan M.H.M., Hasanuzzaman M., Mahmud J.A. et al. Unraveling morphophysiological and biochemical responses of *Triticum aestivum* L. to extreme pH: Coordinated actions of antioxidant defense and glyoxalase systems. *Plants*. 2019;8(1):24. doi:10.3390/plants8010024
8. López-Bucio J., Nieto-Jacobo M.F., Ramírez-Rodríguez V., Herrera-Estrella L. Organic acid metabolism in plants: from adaptive physiology to transgenic varieties for cultivation in extreme soils. *Plant Sci*. 2000;160(1):1–13. doi:10.1016/S0168-9452(00)00347-2
9. Shi D., Wang D. Effects of various salt-alkaline mixed stresses on *Aneurolepidium chinense* (Trin.) Kitag. *Plant and soil*. 2005;271(1):15–26. doi:10.1007/s11104-004-1307-z
10. Genc Y., Taylor J., Lyons G. et al. Bread wheat with high salinity and sodicity tolerance. *Frontiers in plant science*. 2019;10:1280. doi:10.3389/fpls.2019.01280
11. Boyarkin A.N. Fast method for determining peroxidase activity. *Biokhimiya = Biochemistry*. 1951;16(4):352–355. (In Russ.)
12. Chupakhina G.N. *Fiziologicheskie i biokhimicheskie metody analiza rasteniy: praktikum = Physiological and biochemical methods of plant analysis: practical textbook*. Kaliningrad: Kaliningr. un-t, 2000:59. (In Russ.)
13. Arisova A.K., Eremchenko O.Z., Semenova V.A. Combined effect of NaCl-salinization and alkalinity of the root medium on the peroxidase activity of *Triticum aestivum* L. *EkoBioTekh 2021: sb. nauch. tr. Vseross. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem = EcoBioTech 2021: proceedings of All-Russian scientific conference with international participation*. Ufa, 2021:110–113. (In Russ.)
14. Noctor G., Lelarge-Trouverie C., Mhamdi A. The metabolomics of oxidative stress. *Phytochemistry*. 2015;112:33–53. doi:10.1016/j.phytochem.2014.09.002
15. Pradedova E.V., Nimaeva O.D., Salyaev R.K. Redox processes in biological systems. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology*. 2017;64(6):433–445. (In Russ.). doi:10.7868/s0015330317050104
16. Amin I., Rasool S., Mir M.A. et al. Ion homeostasis for salinity tolerance in plants: A molecular approach. *Physiologia Plantarum*. 2021;171(4):578–594. doi:10.1111/ppl.13185
17. Minibaeva F.V., Gordon L.Kh. Superoxide production and extracellular peroxidase activity in plant tissues under stress. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology*. 2003;50(3):459–464. (In Russ.)
18. Veselov D.S., Markova I.V., Kudoyarova G.R. Plant response to salinity and formation of salt tolerance. *Uspekhi sovremennoy biologii = Advances in modern biology*. 2007;127(5):482–493. (In Russ.)

19. Zhang H., Liu X.L., Zhang R.X. et al. Root damage under alkaline stress is associated with reactive oxygen species accumulation in rice (*Oryza sativa* L.). *Frontiers in plant science*. 2017;8:1580. doi:10.3389/fpls.2017.01580
20. Chzhou K., Yuy V.Dzh. Accumulation of inorganic and organic osmolytes and their role in osmotic regulation in seedlings of *Vetiver zizanioides* under the action of NaCl. *Fiziologiya rasteniy = Plant physiology*. 2009;56(5):751–758. (In Russ.)
21. Guo R., Shi L., Ding X. et al. Effects of Saline and Alkaline Stress on Germination, Seedling Growth, and Ion Balance in Wheat. *Agronomy journal*. 2010;102(4):1252–1260. doi:10.2134/agronj2010.0022
22. Van Dongen J.T., Gupta K.J., Ramirez-Aguilar S.J. et al. Regulation of respiration in plants: a role for alternative metabolic pathways. *Journal of Plant Physiology*. 2011;168:1434–1443. doi:10.1016/j.jplph.2010.11.004

Информация об авторах / Information about the authors

Ольга Зиновьевна Еремченко

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

E-mail: eremch@psu.ru

Ol'ga Z. Eremchenko

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

Анастасия Каримовна Арисова

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

E-mail: nast483@bk.ru

Anastasiya K. Arisova

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

Роман Владимирович Кайгородов

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

E-mail: romankaygorodov@mail.ru

Roman V. Kaygorodov

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

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

Поступила в редакцию / Received 18.10.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 10.11.2022

Принята к публикации / Accepted 20.11.2022

УДК 58.085

doi:10.21685/2307-9150-2022-4-2

Введение в суспензионную культуру клеток *Artemisia vulgaris* L.**Е. Е. Антонова¹, Е. В. Кучарова², Ж. М. Охлопкова³**^{1,2,3}Северо-Восточный федеральный университет
имени М. К. Аммосова, Якутск, Россия¹ee.antonova@s-vfu.ru, ²oleneek@mail.ru, ³zhm.okhlopkova@s-vfu.ru

Аннотация. *Актуальность и цель.* Растения рода Полынь (*Artemisia* L.) представляют интерес как источники вторичных метаболитов, востребованных для разработки профилактических и лечебных средств. Технологии и методы культивирования клеток растений *in vitro* считаются альтернативным путем получения растительного лекарственного сырья. Целью работы является введение в суспензионную культуру клеток *in vitro Artemisia vulgaris* L. на основе каллусной культуры клеток, полученной от дикорастущего растения центрально-якутской популяции. *Материалы и методы.* Наземная фитомасса полыни обыкновенной была собрана на территории фитоценозов Хангаласского и Намского районов Республики Саха (Якутия) в 2020–2021 гг. Для получения каллусных культур клеток в качестве инициальных эксплантов были использованы листья стерильных растений, выращенных в контролируемых условиях из семян дикорастущих растений. Экспланты культивировали на питательной среде Мурасиге – Скуга (МС) с добавлением 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты, кинетина, 6-бензиламинопурина и α -нафтилуksусной кислоты. Из первичных каллусов была выделена линия для дальнейшего сохранения путем пересадки на новые питательные среды. Далее каллусы из этой линии были использованы для получения суспензионной культуры клеток *Artemisia vulgaris* L. с пересадкой в жидкую среду МС. *Результаты.* Максимальный рост биомассы суспензии *Artemisia vulgaris* L. наблюдался в среде МС с добавлением 6-бензиламинопурина (0,2 мг/л) и α -нафтилуksусной кислоты (0,5 мг/л) на варианте каллуса, полученной при сочетании 2,0 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты и 0,5 мг/л α -нафтилуksусной кислоты в твердой питательной среде МС. Полученная суспензионная культура клеток полыни обыкновенной представлена паренхимоподобными агрегатами из двух морфологических групп клеток округлой формы и клеток вытянутой и/или червеобразно-удлиненной формы. *Выводы.* Определен оптимальный гормональный состав для введения в суспензионную культуру клеток *Artemisia vulgaris* L. на основе каллусной культуры листового происхождения. Сочетание гормонов НУК и 6-БАП в жидкой среде МС позволило получить клеточную биомассу с наилучшим показателем индекса роста. Полученные данные будут использованы для изучения дыхательной активности суспензионной культуры клеток полыни обыкновенной и для подбора оптимальных условий аппаратного выращивания в условиях биореактора.

Ключевые слова: культура клеток *in vitro*, суспензионная культура клеток, *Artemisia vulgaris* L.

Финансирование: работа выполнена в рамках реализации Соглашения СВФУ № 6-НИП от 30.10.2020 и гранта «НОФМУ» № 2 от 23.12.2021.

Для цитирования: Антонова Е. Е., Кучарова Е. В., Охлопкова Ж. М. Введение в суспензионную культуру клеток *Artemisia vulgaris* L. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 13–23. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-2

Introduction to the suspension *Artemisia vulgaris* L. cell culture

E.E. Antonova¹, E.V. Kucharova², Zh.M. Okhlopkova³

^{1,2,3}North-Eastern Federal University in Yakutsk, Yakutsk, Russia

¹ee.antonova@s-vfu.ru, ²oleneek@mail.ru, ³zhm.okhlopkova@s-vfu.ru

Abstract. *Background.* Plants of the genus *Artemisia* L. are of interest as sources of secondary metabolites in demand for the development of preventive and therapeutic agents. Technologies and methods of cultivation of plant cells *in vitro* are considered an alternative way of obtaining herbal medicinal raw materials. The aim of the work is to introduce *Artemisia vulgaris* L. into the suspension culture of cells *in vitro* based on a callus cell culture obtained from a wild plant of the Central Yakut population. *Materials and methods.* The ground phytomass of common wormwood was collected on the territory of the phytocenoses of the Khangalassky and Namsky districts of the Republic of Sakha (Yakutia) in 2020–2021. To obtain callus cell cultures, leaves of sterile plants grown under controlled conditions from seeds of wild plants were used as initial explants. Explants were cultured on Murashige-Skoog nutrient medium (MS) with the addition of 2,4-dichlorophenoxyacetic acid, kinetin, 6-benzylaminopurine and α -naphthylacetic acid. A line was isolated from the primary callus for further preservation by transplanting to new nutrient media. Further, calluses from this line were used to obtain a suspension culture of *Artemisia vulgaris* L. cells with transplantation into a liquid medium MS. *Results.* The maximum growth of the cell biomass of *Artemisia vulgaris* L. suspension was observed in the medium MS with the addition of 6-benzylaminopurine (0.2 mg/L) and α -naphthylacetic acid (0.5 mg/L) on the callus variant obtained by combining 2.0 mg/L 2,4-dichlorophenoxyacetic acid and 0.5 mg/L α -naphthylacetic acid in a solid medium MS. The resulting suspension culture of wormwood cells is represented by parenchyma-like aggregates of two morphological groups of cells of rounded shape and cells of elongated and/or worm-like elongated shape. *Conclusions.* The optimal hormonal composition for the introduction of *Artemisia vulgaris* L. cells into suspension culture has been determined based on callus culture of leaf origin. The combination of the hormones NAA and BAP in a liquid medium MS allowed to obtain cellular biomass with the best growth index. The obtained data will be used to study the respiratory activity of a suspension culture of *Artemisia vulgaris* L. cells and to select optimal conditions for hardware cultivation in a bioreactor.

Keywords: cell culture *in vitro*, suspension cell culture, *Artemisia vulgaris* L.

Acknowledgments: the work was performed within the NEFU Agreements No.6-RP from October 30, 2020 and a Scientific and Educational Fund for Support of Young Scientists grant No.2 from December 23, 2021.

For citation: Antonova E.E., Kucharova E.V., Okhlopkova Zh.M. Introduction to the suspension *Artemisia vulgaris* L. cell culture. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(4):13–23. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-2

Введение

Клеточные технологии высших растений дают возможность получения альтернативного растительного лекарственного сырья в виде каллусных и суспензионных клеток *in vitro*, аккумулирующих вторичные метаболиты, которые могут храниться длительное время в лиофильно высушенном состоянии без потери фитохимического состава и физиологической активности [1].

Перспективными объектами в этом направлении являются представители рода *Artemisia* L. Одним из широко распространенных в природе и применяемых в народной медицине видов этого рода является *Artemisia vulgaris* L.

Полынь обыкновенная, чернобыльник, по-якутски «уөрэ ото» – многолетнее травянистое растение семейства Сложноцветные (Asteraceae), один из 22 видов рода *Artemisia* L., произрастающих на территории Центральной Якутии [2, 3]. Цветение центрально-якутских популяций наблюдается в июле-августе. Произрастает на пустырях, огородах, сорных местах, окрестностях домов, реже – на лугах и берегах рек. На территории Якутии полынь обыкновенная распространена повсеместно, большое количество популяций отмечено в Центральной, Южной и Северо-Восточной Якутии [4].

Полынь обыкновенная (*A. vulgaris*) является богатым источником таких вторичных метаболитов, как монотерпеновые, сесквитерпеновые и флавоноидные соединения, трава полыни имеет многовековой опыт применения в народной медицине как слабительное, потогонное, мочегонное, глистогонное средство и проявляет антиоксидантную, антибактериальную и противовирусную активность [5]. Исследования также показали наличие у полыни обыкновенной противовоспалительных, гиполипидемических, антималярийных, противоопухолевых, бронхорасширяющих и противосудорожных свойств [6–9]. В последние годы был показан высокий потенциал представителей рода *Artemisia* против коронавирусной инфекции [10–12].

Целью работы является получение суспензионной культуры *A. vulgaris in vitro* на основе каллусных культур, инициированных от листовых эксплантов стерильных проростков, выращенных на основе семян дикорастущего растения центрально-якутской популяции.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- 1) оптимизация питательной среды для инициации суспензионной культуры клеток *A. vulgaris in vitro*;
- 2) получение первичной суспензионной культуры клеток *A. vulgaris* и морфологический анализ клеток;
- 3) анализ интенсивности перехода каллусной культуры *A. vulgaris* в суспензионную культуру *in vitro*;
- 4) анализ динамики роста суспензионной культуры клеток *A. vulgaris in vitro*.

Материалы и методы

Надземная фитомасса полыни обыкновенной была собрана во время экспедиционных работ на территории фитоценозов Хангаласского и Намского районов Республики Саха (Якутия) в 2020–2021 гг.

Растительный материал подвергали естественной сушке, равномерно выстелив в сухом хорошо проветриваемом помещении. Полностью высушенную фитомассу клали на специальный подготовленный сухой поддон, где проводили камеральную обработку и вылушивание семян. Семена помещали в крафтовые или пергаментные пакетики, указывали дату и место сбора и хранили в условиях холодильника. Семена полыни обыкновенной центрально-якутской популяции, как и семена других дикорастущих растений Якутии, входят в коллекцию лаборатории «Молекулярно-генетические и клеточные технологии» (УНЛ «МГиКТ») СВФУ.

Во время проведения клеточно-культуральных работ придерживались требований и подходов, применяемых для работы с культурами клеток высших растений [13]. Каллусы были иницированы и получены от листовых

эксплантов стерильных проростков, выращенных из семян *A. vulgaris* центрально-якутской популяции [14].

Для получения суспензионной культуры *A. vulgaris* была использована линия каллусных культур полыни обыкновенной, выведенная от 18 марта 2019 г. в условиях УНЛ «МГиКТ».

В качестве питательной среды была использована стандартная питательная среда Мурасиге – Скуга (МС) без агара [15, 16]. Приготовленная питательная среда проходила обработку в паровом стерилизаторе (автоклаве) ВК-75-01 (АО «ТЗМОИ», Россия) при температуре 120 °С в течение 2 ч. Сначала в среду с помощью дозатора добавляли определенное сочетание синтетических гормонов: 2,4-дихлорфеноксиускусную кислоту (2,4-Д), α-нафтилуксусную кислоту (НУК), кинетин, 6-бензиламинопурин (6-БАП) в различной дозировке, разливали по 100 мл среды в колбы на 250 мл. Затем в асептических условиях с помощью пинцета в каждую колбу с питательной средой помещали кусочек каллуса, после чего закупоренные колбы ставили в орбитальный шейкер PSU-20i (Biosan, Латвия) с постоянным перемешиванием на скорости 120 об/мин.

Для пересадки суспензионных культур клеток использовали стеклянные пипетки на 10 мл и силиконовые трубки, обработанные в сухожаровом шкафу при температуре 120 °С в течение 2 ч. В пипетки в качестве фильтра на одном из концов была набита вата. С помощью стерильных пипеток с трубками из полученной первичной суспензионной культуры клеток отбирали 20 мл суспензии на 100 мл новой порции питательной среды в колбах на 250 мл.

Нами были использованы питательные среды, которые помимо базовых солей содержали различные соотношения фитогормонов: первый вариант (№ 1) включал в себя фитогормоны НУК (0,5 мг/л) и кинетин (0,5 мг/л); второй вариант (№ 2) – 2,4-Д (0,5 мг/л) и НУК (0,5 мг/л); третий вариант (№ 3) – 6-БАП (0,2 мг/л) и НУК (0,5 мг/л); четвертый вариант (№ 4) – кинетин (0,5 мг/л), НУК (0,5 мг/л) и 6-БАП (0,2 мг/л).

Общую характеристику роста биомассы суспензионной культуры *in vitro* анализировали с помощью общепринятого показателя – ростового индекса [13, 17]. Индекс роста (I) вычисляется на основе следующей формулы:

$$I = \frac{X_{\max} - X_0}{X_0},$$

где X_{\max} – максимальное содержание клеточной биомассы, г; X_0 – начальное содержание клеточной биомассы, г.

Для каждого измерения по датам использовали три повторности (по три пробы из колбы, $n = 3$). Взвешивание отобранных образцов суспензионной культуры клеток проводили с помощью высокоточных аналитических весов Adventurer™ Pro (Ohaus, США) дискретностью 0,0001 г.

Морфологическую характеристику суспензионных культур клеток *A. vulgaris* определяли визуально. Для более подробного описания дифференциации, пролиферации и особенностей морфогенеза был проведен цитологический анализ на временных давленных микропрепаратах, которые были предварительно окрашены свежеприготовленным 0,1 % раствором метиленового синего. Наблюдение проводилось с помощью микроскопа Primo Star (ZEISS,

Германия) со встроенной камерой AxioCamErg 5s при увеличениях $\times 40$, $\times 100$ и $\times 400$.

Результаты и обсуждение

Наиболее интенсивный переход в суспензионную культуру клеток *in vitro* мы наблюдали при варианте культивирования № 2 с сочетанием 2,4-Д (0,5 мг/л) и НУК (0,5 мг/л) в питательной среде МС. Для сохранения полученного штамма суспензионной культуры клеток *A. vulgaris* пассаж проводили с интервалом каждые 21 сут в другой культуральный сосуд с питательной средой МС с тем же составом фитогормонов.

Полученная суспензионная культура *A. vulgaris* L. обладала следующими морфологическими характеристиками: биомасса преимущественно однородная, слегка плотноватая, обводненная, имеет бледную зеленовато-бежевую окраску. Цитологический анализ показал, что суспензионная культура состоит из паренхимоподобных агрегатов из двух морфологических групп клеток, преимущественно из паренхимных клеток округлой формы и в малом количестве – из клеток вытянутой и/или червеобразно удлинённой формы (рис. 1). На основе полученного штамма суспензионной культуры клеток мы проводили исследование для оптимизации питательных сред для суспензионных культур полыни обыкновенной.

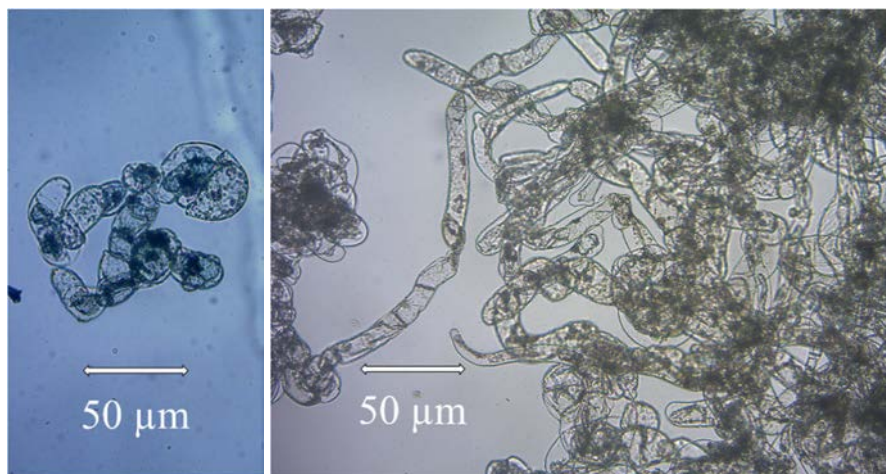


Рис. 1. Морфологическая структура клеток в суспензионной культуре *Artemisia vulgaris* L. (метиленовый синий, увеличение $\times 100$)

Далее питательную среду модифицировали различными сочетаниями фитогормонов: 2,4-Д, 6-БАП, НУК и кинетин. По возможности образования суспензионных биомасс и по индексу роста в расчете на сырую массу суспензий мы выделили те сочетания фитогормонов, которые демонстрировали наиболее высокий результат.

Анализ динамики роста суспензионных культур клеток *A. vulgaris* показал, что прирост по сырой массе при варианте культивирования № 1 в течение 18 сут составил 8,14 г, по сухой массе – 0,38 г; при варианте № 2 прирост по сырой массе в течение 18 сут составил 7,25 г, по сухой массе – 0,41 г; при варианте № 3 прирост по сырой массе в течение 20 сут составил 38,99 г,

прирост по сухой массе – 1,36 г. При варианте культивирования № 4 прирост по сырой массе в течение 18 сут составил 8,75 г, по сухой массе – 0,41 г. Из апробированных вариантов культивирования наилучший рост суспензионной культуры клеток *in vitro* для полыни обыкновенной наблюдается при варианте № 3 с сочетанием фитогормонов 6-БАП (0,2 мг/л) и НУК (0,5 мг/л). Варианты культивирования № 1, № 2 и № 4 показывают схожие между собой результаты и значительно уступают по показателям роста (рис. 2, 3).

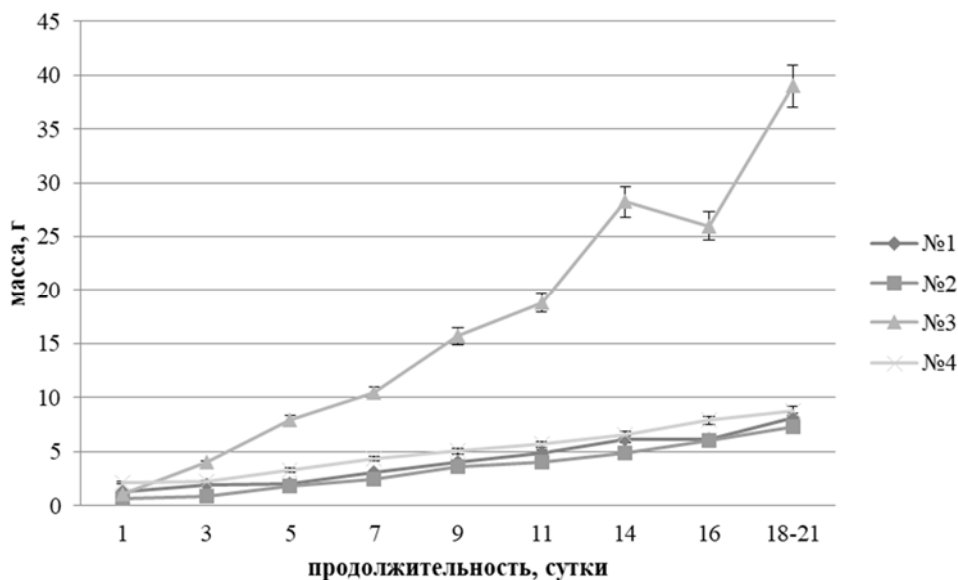


Рис. 2. Динамика роста суспензионной культуры клеток *Artemisia vulgaris* L. по сырой массе при разных вариантах культивирования

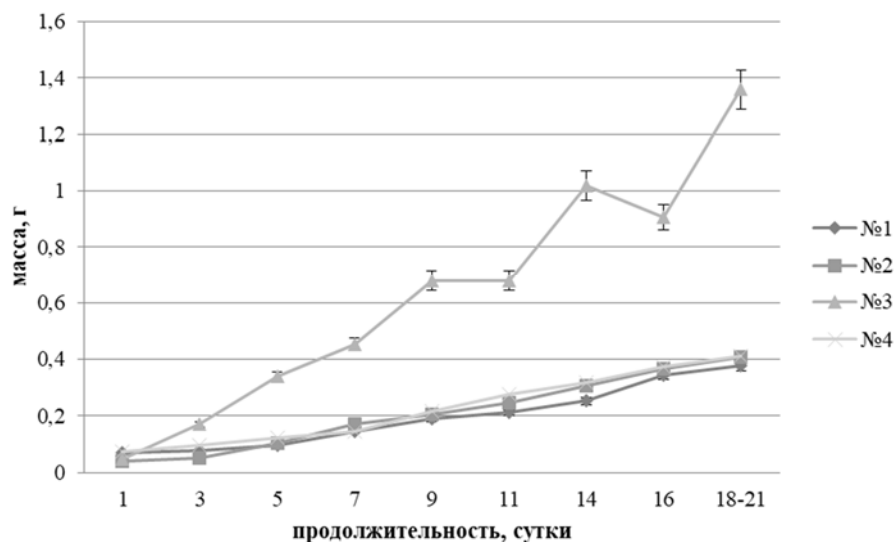


Рис. 3. Динамика роста суспензионной культуры клеток *Artemisia vulgaris* L. по сухой массе при разных вариантах культивирования

Полученные данные по изучению динамики роста суспензионной культуры объекта исследования позволили рассчитать индекс роста. Наилучший индекс роста по сырой и сухой массе наблюдали при варианте культивирования № 3 в сочетании фитогормонов 6-БАП и НУК. Однако добавление в питательную среду к этим гормонам кинетина (вариант № 4) демонстрирует наименьший показатель индекса роста. Индекс роста при варианте культивирования № 2 примерно в 2,5 раза уступает данным при варианте № 3 (табл. 1).

Таблица 1

Индекс роста суспензионной культуры клеток
Artemisia vulgaris L. при разных вариантах культивирования

Номер варианта	Кол-во суток	Концентрация фитогормонов, в мг/л				Индекс роста по сырой массе	Индекс роста по сухой массе
		2,4-Д	6-БАП	НУК	кинетин		
1	18	–	–	0,5	0,5	5,5328 ± 0,2766	4,5073 ± 0,2253
2	18	0,5	–	0,5	–	10,0874 ± 0,5044	9,5123 ± 0,4756
3	20	–	0,2	0,5	–	27,9328 ± 1,3966	22,3700 ± 1,1185
4	21	–	0,2	0,5	0,5	2,7689 ± 0,1385	4,6525 ± 0,2326

Примечание: 2,4-Д – 2,4-дихлорфеноксисукусная кислота; 6-БАП – 6-бензиламинопурин; НУК – α -нафтилукусная кислота.

Комбинация 2,4-Д (2,0 мг/л) и НУК (0,5 мг/л) в питательной среде показала наиболее интенсивную индукцию каллусогенеза, что было замечено и в работах других ученых, в которых эту особенность связывали с функцией 2,4-Д в синтезе ДНК и митозе при взаимодействии с другими фитогормонами [17–19].

Сочетание БАП в концентрации 2,0 мг/л и НУК в концентрации 0,5 мг/л в жидкой среде МС показало наилучший рост суспензионной культуры клеток полыни обыкновенной, иницированных из каллусной культуры, полученной из листовых эксплантов. Полученный штамм суспензионной культуры клеток *A. vulgaris* L. *in vitro* имеет листовое происхождение.

Заключение

Растения рода Полынь (*Artemisia* L.) представляют интерес как источники вторичных метаболитов, востребованных для разработки профилактических и лечебных средств. Возможности клеточной биотехнологии позволяют получить экологически чистые натуральные растительные субстанции в виде суспензионных культур клеток *in vitro* в бесперебойном режиме с масштабированием до промышленных объемов.

В данной работе нами был определен оптимальный гормональный состав для введения в суспензионную культуру клеток *Artemisia vulgaris* L. на основе каллусной культуры листового происхождения. В условиях сочетания гормонов НУК и 6-БАП в жидкой среде МС (вариант № 3) получена клеточная биомасса с наилучшим показателем индекса роста, равным 27,9 и 22,3 (по сырой и сухой массе). Наименьший индекс роста клеточной биомассы суспензии наблюдали при культивировании с добавлением кинетина к НУК и 6-БАП (вариант № 4), что меньше показателя при варианте (№ 3) на 79,3–90,3 % по сухой и сырой массе.

Полученные данные будут использованы для изучения дыхательной активности суспензионной культуры клеток полыни обыкновенной и для подбора оптимальных условий аппаратного выращивания в условиях биореактора.

Список литературы

1. Янг Й., Асякина Л. К., Бабич О. О. [и др.]. Изучение физико-химических свойств и биологической активности экстрактов из высушенной биомассы каллусных, суспензионных клеток и корневых культур *in vitro* // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50, № 3. С. 480–492. URL: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-480-492>
2. Красноборов И. М. *Artemisia L.* – Полынь // Флора Сибири : в 14 т. / под ред. Л. И. Мальшева, Г. А. Пешковой. Новосибирск : Наука, 1997. Т. 13. 472 с.
3. Захарова В. И. Разнообразие растительного мира Якутии. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2005. 328 с.
4. Данилова Н. С., Борисова С. З., Иванова Н. С. Краткий обзор полыней Центральной Якутии // Вестник Северо-Восточного федерального университета имени М. К. Аммосова. 2011. Т. 8, № 1. С. 11–16.
5. Pandey B. P., Thapa R., Upreti A. Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of essential oil and methanol extract of *Artemisia vulgaris* and *Gaultheria fragrantissima* collected from Nepal // Asian Pacific Journal of Tropical Medicine. 2017. Vol. 10. P. 952–959. URL: <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.09.005>
6. Давлатова М. С., Кароматов И. Д. Полынь обыкновенная // Биология и интегративная медицина. 2017. № 5. С. 101–108.
7. Кароматов И. Д., Аминова М. З., Авезова Х. Ж. Противомаларийные средства растительного происхождения в народной и научной фитотерапии // Биология и интегративная медицина. 2018. № 11. С. 81–92.
8. Кароматов И. Д., Давлатова М. С. Лекарственные растения с противогельминтной и противоэхинококковой активностью // Биология и интегративная медицина. 2018. № 11. С. 116–130.
9. Minda D., Ghiulai R., Banciu C. D. [et al.]. Phytochemical profile, antioxidant and wound healing potential of three *Artemisia* species: *in vitro* and *in ovo* evaluation // Applied Sciences. 2022. Vol. 12, № 3. P. 1359. URL: <https://doi.org/10.3390/app12031359>
10. Haq F. U., Roman M., Ahmad K. [et al.]. *Artemisia annua*: trials are needed for COVID-19 // Phytotherapy Research. 2020. Vol. 34, № 10. P. 2423–2424. URL: <https://doi.org/10.1002/ptr.6733>
11. Orege J. I., Adeyemi S. B., Tihami B. B. [et al.]. *Artemisia* and *Artemisia*-based products for COVID-19 management: current state and future perspective // Advances in Traditional Medicine. Springer. 2021. URL: <https://doi.org/10.1007/s13596-021-00576-5>
12. Hasan A., Biswas P., Bondhon T. A. [et al.]. Can *Artemisia herba-alba* Be Useful for Managing COVID-19 and Comorbidities? // Molecules. 2022. Vol. 27, № 2. P. 492. URL: <https://doi.org/10.3390/molecules27020492>
13. Бутенко Р. Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе : учеб. пособие. М. : ФБК-ПРЕСС, 1999. 160 с.
14. Кучарова Е. В., Охлопкова Ж. М., Антонова Е. Е. Получение каллусных культур полыни обыкновенной (*Artemisia vulgaris* L.) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2020. № 1 (29). С. 3–11. doi:10.21685/2307-9150-2020-1-1
15. Salehi M., Karimzadeh G., Naghavi M. R. Synergistic effect of coronatine and sorbitol on artemisinin production in cell suspension culture of *Artemisia annua* L. cv. Anamed // Plant Cell, Tissue and Organ Culture. 2019. Vol. 137. P. 587–597. URL: <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01593-8>

16. Huang Y. L., Yuan S. C., Chen F. C. Establishment of an efficient micropropagation system in anthurium hybrids through *in vitro* callogenesis and suspension culture // *Horticulture Journal*. 2020. Vol. 89. P. 54–60. URL: <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-112>
17. Песяк С. В. Действие селективного света на рост клеточных культур растения *Artemisia annua* L. // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2010. № 2. С. 29–36.
18. Ganesan C. M., Paulsamy S. Standardized protocol for the *in vitro* culture of *Artemisia annua* L. – A medicinal plant at high altitudes of Nilgiris, the Western Ghats // *Journal of Research in Biology*. 2011. Vol. 1, № 3. P. 173–178.
19. Dangash A., Ram M., Niranjan R. [et al.]. *In vitro* selection and hormonal regulation in cell culture of *Artemisia annua* L. plant // *JSM Cell Dev Biol*. 2015. Vol. 3, № 1. P. 1013.

References

1. Yang Y., Asyakina L.K., Babich O.O. et al. Study of the physicochemical properties of the biological activity of the extraction from the dried biomass of callus, suspension cells and root cultures *in vitro*. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv = Technique and technology of food production*. 2020;50(3):480–492. (In Russ.). Available at: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-3-480-492>
2. Krasnoborov I.M. *Artemisia* L. – wormseed. *Flora Sibiri: v 14 t. = Flora of Siberia: in 14 volumes*. Novosibirsk: Nauka, 1997;13:472. (In Russ.)
3. Zakharova V.I. *Raznoobrazie rastitel'nogo mira Yakutii = Diversity of the flora of Yakutia*. Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2005:328. (In Russ.)
4. Danilova N.S., Borisova S.Z., Ivanova N.S. Brief review of polynyas in Central Yakutia. *Vestnik Severo-Vostochnogo federal'nogo universiteta imeni M.K. Ammosova = Bulletin of the North-Eastern Federal University in Yakutsk*. 2011;8(1):11–16. (In Russ.)
5. Pandey B.P., Thapa R., Upreti A. Chemical composition, antioxidant and antibacterial activities of essential oil and methanol extract of *Artemisia vulgaris* and *Gaultheria fragrantissima* collected from Nepal. *Asian Pacific Journal of Tropical Medicine*. 2017;10:952–959. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.apjtm.2017.09.005>
6. Davlatova M.S., Karomatov I.D. Wormseed. *Biologiya i integrativnaya meditsina = Biology and integrative medicine*. 2017;(5):101–108. (In Russ.)
7. Karomatov I.D., Aminova M.Z., Avezova Kh.Zh. Antimalarial drugs of plant origin in folk and scientific herbal medicine. *Biologiya i integrativnaya meditsina = Biology and integrative medicine*. 2018;(11):81–92. (In Russ.)
8. Karomatov I.D., Davlatova M.S. Medicinal plants with anthelmintic and antiechinococcosis activity. *Biologiya i integrativnaya meditsina = Biology and integrative medicine*. 2018;(11):116–130. (In Russ.)
9. Minda D., Ghiulai R., Banciu C.D. et al. Phytochemical profile, antioxidant and wound healing potential of three *Artemisia* species: *in vitro* and *in ovo* evaluation. *Applied Sciences*. 2022;12(3):1359. Available at: <https://doi.org/10.3390/app12031359>
10. Haq F.U., Roman M., Ahmad K. et al. *Artemisia annua*: trials are needed for COVID-19. *Phytotherapy Research*. 2020;34(10):2423–2424. Available at: <https://doi.org/10.1002/ptr.6733>
11. Orege J.I., Adeyemi S.B., Tihamiyu B.B. et al. *Artemisia* and *Artemisia*-based products for COVID-19 management: current state and future perspective. *Advances in Traditional Medicine*. Springer. 2021. Available at: <https://doi.org/10.1007/s13596-021-00576-5>
12. Hasan A., Biswas P., Bondhon T.A. et al. Can *Artemisia herba-alba* Be Useful for Managing COVID-19 and Comorbidities? *Molecules*. 2022;27(2):492. Available at: <https://doi.org/10.3390/molecules27020492>
13. Utenko R.G. *Biologiya kletok vysshikh rasteniy in vitro i biotekhnologii na ikh osnove: ucheb. posobie = Biology of cells of higher plants in vitro and biotechnologies based on them: textbook*. Moscow: FBK-PRESS, 1999:160. (In Russ.)

14. Kucharova E.V., Okhlopko Zh.M., Antonova E.E. Obtaining callus cultures of wormseed (*Artemisia vulgaris* L.). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavede-niy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2020;(1):3–11. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2020-1-1
15. Salehi M., Karimzadeh G., Naghavi M.R. Synergistic effect of coronatine and sorbitol on artemisinin production in cell suspension culture of *Artemisia annua* L. cv. Anamed. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture.* 2019;137:587–597. Available at: <https://doi.org/10.1007/s11240-019-01593-8>
16. Huang Y.L., Yuan S.C., Chen F.C. Establishment of an efficient micropropagation system in anthurium hybrids through *in vitro* callogenesis and suspension culture. *Horticulture Journal.* 2020;89:54–60. Available at: <https://doi.org/10.2503/hortj.UTD-112>
17. Pesyak S.V. The effect of selective light on the growth of plant cell cultures *Artemisia annua* L. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Bulletin of Tomsk State University. Biology.* 2010;(2):29–36. (In Russ.)
18. Ganesan C.M., Paulsamy S. Standardized protocol for the *in vitro* culture of *Artemisia annua* L. – A medicinal plant at high altitudes of Nilgiris, the Western Ghats. *Journal of Research in Biology.* 2011;1(3):173–178.
19. Dangash A., Ram M., Niranjana R. et al. *In vitro* selection and hormonal regulation in cell culture of *Artemisia annua* L. plant. *JSM Cell Dev Biol.* 2015;3(1):1013.

Информация об авторах / Information about the authors

Елена Евгеньевна Антонова

инженер-исследователь, учебно-научная лаборатория «Молекулярно-генетические и клеточные технологии», Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (Россия, г. Якутск, ул. Кулаковского, 46)

E-mail: ee.antonova@s-vfu.ru

Elena E. Antonova

Research engineer, laboratory “Molecular-genetic and cell technologies”, Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University in Yakutsk (46 Kulakovskogo street, Yakutsk, Russia)

Елена Валериевна Кучарова

младший научный сотрудник, учебно-научная лаборатория «Молекулярно-генетические и клеточные технологии», Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (Россия, г. Якутск, ул. Кулаковского, 46)

E-mail: oleneek@mail.ru

Elena V. Kucharova

Junior researcher, laboratory “Molecular-genetic and cell technologies”, Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University in Yakutsk (46 Kulakovskogo street, Yakutsk, Russia)

Жанна Михайловна Охлопкова

кандидат биологических наук, доцент, доцент отделения биологии, заведующий учебно-научной лабораторией «Молекулярно-генетические и клеточные технологии», Институт естественных наук, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова (Россия, г. Якутск, ул. Кулаковского, 48)

E-mail: zhm.okhlopko@s-vfu.ru

Zhanna M. Okhlopko

Candidate of biological sciences, associate professor, associate professor of the department of biology, head of laboratory “Molecular-genetic and cell technologies”, Institute of Natural Sciences, North-Eastern Federal University in Yakutsk (48 Kulakovskogo street, Yakutsk, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 30.09.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 24.10.2022

Принята к публикации / Accepted 28.11.2022

УДК 661.162.66: 577.151.63:633.111.1
doi:10.21685/2307-9150-2022-4-3

Влияние регуляторов роста на активность амилолитических ферментов в зерне яровой пшеницы

И. И. Серегина¹, М. Анка², Н. Н. Новиков³,
С. Л. Белопухов⁴, И. И. Дмитриевская⁵

^{1,2,3,4,5}Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

¹seregina.i@inbox.ru, ²mayasanka.93m@gmail.com, ³tshanovikov@gmail.com,
⁴sbelopuhov@rgau-msha.ru, ⁵i.dmitrevskaya@rgau-msha.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Известно, что одним из основных показателей биохимических изменений, происходящих при прорастании семян, является усиление ферментативной активности амилолитического комплекса. В связи с этим целью проведенных исследований явилось изучение ферментативной активности различных изоформ амилазного комплекса зерна яровой мягкой пшеницы сорта Дарья в состоянии покоя и при прорастании в зависимости от применения регуляторов роста. В результате исследований были изучены следующие вопросы: влияние биорегуляторов роста растений на активность изоформ α -амилаз и β -амилаз в покоящемся и пророщенном зерне. *Материалы и методы.* В условиях полевых опытов выращивали яровую пшеницу (*Triticum aestivum* L.) сорта Дарья при использовании фолиарной обработки растений различными регуляторами роста в течение вегетационного периода. После уборки урожая в полученном зерне пшеницы для оценки качества семенного материала определяли активность кислых, нейтральных и щелочных изоформ амилолитического комплекса в покоящемся и пророщенном зерне. *Результаты.* Установлено, что активность изоформ амилазных ферментов зависела от применяемых в течение вегетационного периода регуляторов роста. Установлено, что в покоящемся зерне наибольшую эффективность на активность изоформ α -амилаз проявили биопрепарат Харди, а также смесь препаратов Харди и Феровит, что определяет хорошие семенные качества зерна яровой пшеницы. Использование защитно-стимулирующего комплексного биопрепарата и регулятора роста Феровит при выращивании яровой пшеницы оказало существенное действие на активность изоформ α -амилаз при проращивании полученного зерна, что определяет высокий уровень растворимости эндосперма и способствует улучшению ростовых функций проростков. Выявлено, что изменения, происходящие в ферментативной активности амилолитического комплекса зерна пшеницы, определялись разной эффективностью действующего вещества используемых препаратов.

Ключевые слова: яровая пшеница, изоформы α -амилаз, изоформы β -амилаз, биорегуляторы роста растений

Финансирование: исследование осуществлялось в РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева в рамках гранта Фонда содействия инновациям (Фонд Бортника) «Новые органоминеральные удобрения, корректоры роста и развития зерновых и зернобобовых культур».

Благодарности: авторы статьи выражают огромную благодарность ректору РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, академику РАН, д.с.-х.н., профессору Трухачеву В. И., заведующему лабораторией кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Исламгуловой Р. Р., заведующему кафедрой агрономической, биологиче-

ской химии и радиологии, д.б.н., профессору Торшину С. П., д.б.н., профессору Дорожкиной Л. А. за помощь и поддержку проведенных исследований.

Для цитирования: Серегина И. И., Анка М., Новиков Н. Н., Белопухов С. Л., Дмитриевская И. И. Влияние регуляторов роста на активность амилолитических ферментов в зерне яровой пшеницы // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 24–35. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-3

Influence of growth regulators on the activity of amylolytic enzymes in spring wheat grain

I.I. Seregina¹, M. Anka², N.N. Novikov³, S.L. Belopukhov⁴, I.I. Dmitrevskaya⁵

^{1,2}Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev
Agricultural Academy, Moscow, Russia

¹seregina.i@inbox.ru, ²maya5anka.93m@gmail.com, ³tshanovikov@gmail.com,
⁴sbelopuhov@rgau-msha.ru, ⁵i.dmitrevskaya@rgau-msha.ru

Abstract. *Background.* It is known that one of the main indicators of biochemical changes occurring during seed germination is an increase in the enzymatic activity of the amylolytic complex. In this regard, the purpose of the studies was to study the enzymatic activity of various isoforms of the amylase complex of grains of spring soft wheat variety Darya at rest and during germination, depending on the use of growth regulators. As a result of the research, the following issues were studied: the effect of plant growth bioregulators on the activity of α -amylase and β -amylase isoforms in dormant and germinated grain. *Materials and methods.* Under the conditions of field experiments, spring wheat (*Triticum aestivum* L.) of the Darya variety was grown using foliar treatment of plants with various growth regulators during the growing season. After harvesting, the activity of acidic, neutral and alkaline isoforms of the amylolytic complex in dormant and germinated grain was determined in the resulting wheat grain to assess the quality of the seed material. *Results.* It was found that the activity of isoforms of amylase enzymes depended on the growth regulators used during the growing season. It was found that in the dormant grain, the biological preparation Hardy and, as well as a mixture of Hardy and Ferovit preparations, showed the highest efficiency on the activity of α -amylase isoforms, which determines the good seed quality of spring wheat grain. The use of a protective-stimulating complex biological product and growth regulator Ferovit in the cultivation of spring wheat had a significant effect on the activity of α -amylase isoforms during the germination of the resulting grain, which determines the high level of endosperm solubility and improves the growth functions of seedlings. It was revealed that the changes occurring in the enzymatic activity of the amylolytic complex of wheat grain were determined by the different effectiveness of the active substance of the drugs used.

Keywords: spring wheat, α -amylase isoforms, β -amylase isoforms, plant growthbioregulators

Acknowledgments: the research was taken in Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev within the Innovation Promotion Foundation (Bortnik Foundation) grant “New organomineral fertilizers, correctors for the growth and development of grain and leguminous crops”. The authors extends gratitude to V.I. Trukhachev (rector of Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, academician of the Russian Academy of Sciences), to R.R. Islamgullova (head of the labarotary of the sub-departmnet of agronomic, biological chemistry and radiology), to S.P. Torshin (doctor of biological sciences, professor, head of the sub-department of agronomic, biological chemistry and radiology), to L.A. Dorozhkina (doctor of biological sciences, professor) for help and support of the research.

For citation: Seregina I.I., Anka M., Novikov N.N., Belopukhov S.L., Dmitrevskaya I.I. Influence of growth regulators on the activity of amylolytic enzymes in spring wheat grain. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(4):24–35. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-3

Введение

Известно, что интенсивность процессов перехода семян из состояния покоя в активное состояние зависит от внешних условий и характеристик, обусловленных сортовыми особенностями выращиваемой культуры. Активность протекания процессов набухания семян определяется физиолого-биохимическими реакциями, связанными с прорастанием, а также внешними воздействиями, которым они подвергаются перед посевом. При прорастании семян происходит распад сложных запасных высокомолекулярных материалов в эндосперме на более простые растворимые низкомолекулярные вещества. Под влиянием соответствующих ферментов осуществляется синтез высокомолекулярных соединений, характерных для конкретного растения и необходимых для прорастания и формирования новых тканей и органов нового растения [1–5]. При прорастании семян содержание ферментов существенно возрастает, что связано с усилением интенсивности дыхания. При дыхании зерна происходит полное и частичное окисление углеводов, что способствует разрушению структуры эндосперма семени. Таким образом, в процессе прорастания происходит перестройка ферментного комплекса цельного зерна и изменение активности гидролитических и амилолитических ферментных комплексов. В связи с этим одним из основных показателей биохимических изменений, сопровождающих прорастание семян, является усиление ферментативной активности амилолитического комплекса и в первую очередь α -амилазы [1–4, 6].

На активность α -амилаз зерна при прорастании существенное влияние оказывают фитогормоны растений, минеральные удобрения, синтетические регуляторы роста, микроэлементы [6–8]. Показано, что применение минеральных удобрений, микроэлементов и регуляторов роста способствует активизации биохимических процессов в созревающем зерне, влияя на процессы формирования его качества и в прорастающем зерне, стимулируя процессы прорастания [8–11].

Обработку яровых культур проводят различными биопрепаратами с целью стимуляции роста растений, особенно в его ранние сроки, а также с целью создания соответствующих условий для повышения устойчивости к засухе, фитопатогенам и другим стрессовым состояниям [12–15]. Была выявлена высокая эффективность действия регуляторов роста на физиолого-биохимические показатели и фотосинтетический потенциал растений в онтогенезе, что способствовало увеличению урожайности сельскохозяйственных культур [16–18].

В связи с этим целью проведенных исследований явилось изучение ферментативной активности различных изоформ амилазного комплекса зерна яровой мягкой пшеницы сорта Дарья в состоянии покоя и при прорастании в зависимости от применения регуляторов роста. В результате исследований были изучены следующие вопросы: влияние биорегуляторов роста растений

на активность изоформ α -амилаз и β -амилаз в покоящемся и пророщенном зерне.

Материал и методы

Для решения поставленных вопросов был проведен микрополевым опытом на учебном опытном поле РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева. Объектом исследований была яровая мягкая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Дарья. Сорт Дарья является среднеспелым, устойчивым к полеганию, по хлебопекарным качествам относится к ценным сортам пшеницы. Оригинатор сорта – РНИУП «Институт земледелия и селекции НАН Беларуси». Для проведения исследований семена пшеницы сорта Дарья были предоставлены ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка». Почва опытного участка – урбанозем типичный с агрохимической характеристикой: pH_{KCl} – 6,2 (ГОСТ 26483-85), N_g 0,9 мг-экв/100 г почвы (ГОСТ 26212-91), S – 24,3 (ГОСТ 27821-88), $N_{ш.г.}$ – 90 мг/кг почвы (по Корнфилду). Обеспеченность подвижными формами фосфора – 155 мг/кг почвы (V класс), калия – 182 мг/кг почвы (V класс) (по Кирсанову) (ГОСТ Р 54650-2011).

Проведение полевых исследований осуществляли по общепринятым методикам [19]. Общая площадь опытной делянки – 1 м². Посев семян проводили из расчета 5 млн всхожих семян на 1 га. Делянки размещали путем организованных повторений. Повторность опыта – 4-кратная. Биорегуляторы роста применяли путем фолиарной обработки вегетирующих растений вначале V и VI этапов органогенеза. При обработке исследуемых растений пшеницы использовали растворы регуляторов роста: защитно-стимулирующий комплексный биорегулятор (ЗСК), Феровит, Харди, смесь препаратов Харди – Феровит (1:1). В качестве контроля растения обрабатывали дистиллированной водой, той же, что и для приготовления растворов регуляторов роста. После уборки урожая и после уборочного дозревания полученное зерно использовали для лабораторных исследований.

Активность исследуемых ферментов определяли в сухом (покоящемся) зерне и при его прорастивании [20]. Изоформы амилаз определяли с использованием 1/15 М фосфатного буфера при pH 5,5, pH 7,0, pH 8,0. Процесс прорастивания семян проводили в лабораторных условиях в чашках Петри в течение 7 сут и определяли изоформы амилаз посуточно на 3, 5 и 7-е сут. Статистическую обработку полученных результатов исследований проводили с использованием программного комплекса статистического обслуживания «STPAZ» [19].

Результаты и обсуждение

Полученные результаты исследований показали, что под влиянием изучаемых биорегуляторов роста изменяется активность амилолитических ферментов в зерне яровой пшеницы (табл. 1, 2). Было установлено, что в покоящихся семенах пшеницы, не подвергшихся прорастиванию, наблюдается очень низкая активность всех изоформ ферментов α -амилаз. Следует отметить, что на этом этапе, во время послеуборочного дозревания, вероятно, преобладают процессы синтеза некоторых запасных веществ в эндосперме семени. Это обуславливает стабильное состояние зерна, что имеет большое значение при его хранении. Выявлено, что применение биорегуляторов роста при выращивании яровой пшеницы способствовало увеличению общей ами-

лолитической активности покоящегося зерна, что определяет интенсификацию процессов гидролиза по мере его прорастания и усиление ростовых процессов.

Таблица 1

Влияние биорегуляторов роста на активность изоформ α -амилаз (мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы) в зерне яровой пшеницы

Применение биорегулятора	Покоящееся зерно	Продолжительность проращивания зерна, сут		
		3	5	7
Активность кислых изоформ α -амилаз (pH 5,5)				
Контроль	2,6	72,3	95,3	119,6
ЗСК	2,8	87,9	115,0	158,7
Феровит	3,5	171,2	177,8	224,9
Харди	8,1	100,7	113,8	125,0
Феровит+Харди	4,3	76,0	80,4	136,7
НСР ₀₅	0,2	7,3	6,2	8,0
Активность нейтральных изоформ α -амилаз (pH 7,0)				
Контроль	2,6	84,0	97,8	106,4
ЗСК	3,0	89,4	134,8	182,3
Феровит	2,7	149,9	173,9	175,9
Харди	4,4	74,5	125,9	116,8
Феровит+Харди	3,8	77,6	85,4	161,7
НСР ₀₅	0,2	6,8	5,5	6,9
Активность щелочных изоформ α -амилаз (pH 8,0)				
Контроль	3,1	89,9	93,4	99,8
ЗСК	3,3	98,6	136,3	116,8
Феровит	2,6	146,0	130,1	109,3
Харди	4,2	69,9	136,2	81,3
Феровит+Харди	3,6	89,1	118,4	139,2
НСР ₀₅	0,2	6,9	5,9	6,1

Установлено, что биопрепараты, используемые в период выращивания яровой пшеницы, оказали неодинаковое действие на активность изоформ амилазного комплекса зерна. Максимальная активность кислых изоформ α -амилаз получена при применении биопрепарата Харди (табл. 1). Активность кислых изоформ α -амилаз в данном варианте составила 8,1 мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы против 2,6 мг в контрольном варианте (возрастание произошло в 3,1 раза по отношению к контрольному варианту). Использование при выращивании и других регуляторов роста способствовало увеличению активности кислых α -амилаз. Так, возрастание активности кислых α -амилаз по отношению к контрольным вариантам варьировало от 7 % при использовании защитно-стимулирующего комплексного биостимулятора до 65 % при использовании смеси Харди+Феровит. Следует отметить, что применение регулятора роста Феровит привело к увеличению активности только кислых изоформ α -амилаз на 35 % по отношению к контролю. Биопрепараты Харди и смесь Харди и Феровита повышали активность нейтральных и щелочных изоформ α -амилаз, хотя в меньшей степени по сравнению с кислыми изоформами. По отношению

к контрольным вариантам выявлено увеличение активности нейтральных изоформ α -амилаз на 69 и 46 % соответственно и щелочных изоформ α -амилаз – на 35 и 16 % соответственно. Отмечено, что использование защитно-стимулирующего биопрепарата способствовало увеличению активности нейтральных изоформ α -амилаз покоящегося зерна на 15 % и щелочных изоформ α -амилаз на 6 % по отношению к контрольным вариантам. Выявлено, что активность изоформ β -амилаз под действием биопрепаратов в покоящемся зерне пшеницы снижалась или не изменялась по сравнению с контрольными вариантами (табл. 2). Таким образом, можно сделать вывод, что общая амилазная активность покоящегося зерна возрастала в основном в результате роста активности α -амилаз.

Таблица 2

Влияние регуляторов роста на активность изоформ β -амилаз (мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы) в зерне яровой пшеницы

Применение биорегулятора	Покоящееся зерно	Продолжительность проращивания зерна, сут		
		3	5	7
Активность кислых изоформ β -амилаз (pH 5,5)				
Контроль	72,0	131,4	193,8	261,5
ЗСК	71,4	257,8	275,0	361,2
Феровит	66,5	269,4	127,3	330,7
Харди	64,9	218,5	227,8	193,9
Феровит+Харди	64,5	212,1	196,3	231,1
НСР ₀₅	3,5	9,2	11,2	13,9
Активность нейтральных изоформ β -амилаз (pH 7,0)				
Контроль	71,1	138,2	223,8	196,3
ЗСК	67,6	192,4	163,6	102,9
Феровит	69,4	220,2	149,0	163,9
Харди	67,4	175,1	220,4	95,3
Феровит+Харди	64,1	124,4	175,4	132,6
НСР ₀₅	3,4	7,4	8,1	7,6
Активность щелочных изоформ β -амилаз (pH 8,0)				
Контроль	69,8	120,0	239,6	196,8
ЗСК	67,6	182,2	130,1	71,8
Феровит	67,9	172,7	121,0	124,4
Харди	67,2	126,3	184,0	112,3
Феровит+Харди	64,3	106,3	122,9	105,6
НСР ₀₅	3,7	6,2	6,6	6,8

Было установлено, что при прорастании зерна происходит резкое возрастание активности ферментов амилотического комплекса (табл. 1, 2). Результаты исследований показали, что на третьи сутки проращивания увеличение активности как изоформ α -амилаз (в 16–55 раз), так и изоформ β -амилаз (в 1,6–4,1 раз) по сравнению с активностью изоформ амилаз покоящегося зерна. В дальнейшем по мере прохождения процессов прорастания увеличение активности амилазного комплекса семян пшеницы снижалось. Наибольшая активность кислых, нейтральных и щелочных α -амилаз получена на седьмые сутки проращивания семян пшеницы. Биорегуляторы в большин-

стве вариантов опыта увеличивали активность α -амилаз при прорастании семян, активизируя разные изоформы ферментного комплекса.

При прорастании семян защитно-стимулирующий биостимулятор способствовал увеличению активности кислых, нейтральных и щелочных изоформ α -амилаз, которое на седьмые сутки проращивания зерна по отношению к контрольным вариантам составило 33, 71 и 17 % соответственно (см. табл. 1). При этом активность β -амилаз возростала только для кислых изоформ ферментов и на седьмые сутки на 38 % по отношению к контролю (см. табл. 2). Активность нейтральных и щелочных изоформ β -амилаз снижалась в 1,9 раз и в 2,7 раз соответственно по отношению к контролю.

Применение биопрепарата Феровит способствовало увеличению активности кислых, нейтральных и щелочных α -амилаз пророщенного зерна (см. табл. 2). Выявлено, что активность изоформ α -амилаз возростала в течение семи суток. Однако интенсивность нарастания активности α -амилаз к седьмым суткам снижалась. Так, увеличение активности кислых изоформ α -амилаз на третьи сутки при использовании Феровита произошло в 2,4 раза, на седьмые сутки – в 1,9 раз. Активность нейтральных изоформ α -амилаз увеличилась в 1,8 и 1,7 раз, щелочных изоформ α -амилаз – в 1,6 и 1,1 раз соответственно по отношению к контрольному варианту. Действие препарата Феровит на активность изоформ β -амилаз было похожем на действие органоминерального биостимулятора (см. табл. 2). Так, активность кислых изоформ β -амилаз возростала на 26 %, нейтральных и щелочных изоформ β -амилаз снижалась на 26 и 58 % соответственно по отношению к контрольным вариантам.

Применение препарата Харди при прорастании зерна не оказало значительного влияния на активность изоформ α -амилаз (см. табл. 1). Активность кислых изоформ α -амилаз возростала достоверно на третьи и пятые сутки, но к седьмым суткам активность изоформ не изменяется достоверно, хотя ее величина выше, чем в контрольном варианте. Активность нейтральных α -амилаз возростала достоверно начиная только с третьих суток. Активность щелочных изоформ α -амилаз проявляется положительно только на третьи сутки и затем опять снижается (см. табл. 1). Активность всех изоформ β -амилаз при использовании регулятора роста Харди снижалась к седьмым суткам проращивания семян (см. табл. 2). Вероятно, что такое действие данного биопрепарата обусловлено недостаточным количеством действующего вещества при его применении. В данном случае рекомендуется использовать большую дозу для опрыскивания вегетирующих растений, а также большее количество обработок при выращивании яровой пшеницы.

Применение смеси двух препаратов Харди+Феровит способствовало увеличению активности изоформ α -амилаз, которое было ниже, чем эффективность отдельно препарата Феровит и выше, чем действие препарата Харди (см. табл. 1). При этом активность ферментного комплекса β -амилаз снижалась для кислых, нейтральных и щелочных изоформ (см. табл. 2).

Таким образом, проведенные исследования позволили изучить эффективность последствий регуляторов роста различной природы на активность амилиотического комплекса зерна яровой пшеницы покоящегося зерна, а также при его прорастании. Было выявлено, что эффективность действия препаратов на активность ферментного комплекса амилаз отличалась в покоящемся зерне и при прорастании и зависела от активного компонента, вхо-

дящего в состав изучаемого регулятора роста. В покое зерне наибольшую эффективность влияния на активность изоформ α -амилаз проявил биопрепарат Харди, а также смесь препаратов Харди и Феровит. Однако при проращивании эффективность препарата Харди оказалась самая низкая. Использование органоминерального биостимулятора и регулятора Феровит оказало существенное действие на активность изоформ α -амилаз при проращивании зерна, что определяет высокий уровень растворимости эндосперма и способствует улучшению ростовых функций проростков и энергии их роста.

Заключение

1. Установлено, что биорегуляторы роста оказывают существенное влияние на активность амилолитического комплекса зерна яровой пшеницы. Активность различных изоформ ферментного комплекса амилаз зависела от используемого препарата.

2. Выявлено, что применение биорегулятора Харди способствовало увеличению активности кислых, нейтральных и щелочных изоформ α -амилаз покоящегося зерна. При этом активность изоформ β -амилаз уменьшалась.

3. Использование защитно-стимулирующего комплексного биостимулятора оказало наибольшее действие на активность амилазного комплекса по сравнению с другими регуляторами роста. Выявлено возрастание кислых, нейтральных и щелочных изоформ α -амилаз. При этом общая активность амилазного комплекса нейтральных и щелочных амилаз возрастала за счет роста активности α -амилаз и снижения активности β -амилаз.

4. Регулятор роста Феровит оказывал положительное действие на активность амилазного комплекса как покоящегося зерна, так и при его проращивании. При его использовании проявилась наибольшая активность кислых α -амилаз. Хотя активность нейтральных и щелочных изоформ α -амилаз к седьмым суткам проращивания также была на высоком уровне. Показано, что общая амилазная активность зерна возрастала за счет роста активности изоформ α -амилаз и снижения активности β -амилаз.

5. Использование смеси препаратов Харди и Феровита оказало положительное действие на активность изоформ α -амилаз покоящегося зерна. При проращивании зерна активность изоформ α -амилаз до 5-х сут была снижена и только к 7-м сут превысила контрольные величины.

Список литературы

1. Бастриков Д., Панкратов Г. Изменение биохимических свойств зерна при замачивании // Хлебопродукты. 2006. № 1. С. 40–41.
2. Казаков Е. Д., Карпиленко Г. П. Биохимия зерна и хлебопродуктов. 3-е изд., перераб. и доп. СПб. : ГИОРД, 2005. 512 с.
3. Игнатенко И. С. Влияние экологических условий года репродукции семян на развитие амилолитической активности в прорастающих семенах ярового ячменя // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2011. № 70. С. 617–626.
4. 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. С. 29–35.
5. Наumenко Н. В., Потороко И. Ю., Малинин А. В., Цатуров А. В. Оптимизация условий процесса проращивания зерна пшеницы // Политематический сетевой

- электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 151. С. 1–11.
6. Бережная О. В. Разработка технологии получения проростков зерна пшеницы для производства хлебопекарной и кулинарной продукции : автореф. дис. ... к.т.н. М. : МГУПП, 2015. 25 с.
 7. Овсиенко С. М. Биостимуляторы – резерв повышения продуктивности яровой пшеницы // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2010. № 2. С. 59–62.
 8. Кацурба Т. В., Евстафьев С. Н., Франтенко В. К., Демина А. И. Селенит натрия как интенсификатор солодоращения для пивоваренного ячменя // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. № 1. С. 67–73.
 9. Серегина И. И., Ниловская Н. Т., Обуховская Л. В., Осипова Л. В. Влияние предпосевной обработки семян цинком на проростки яровой пшеницы в условиях водного стресса // Агрехимия. 2005. № 8. С. 34–38.
 10. Новиков Н. Н., Жарихина А. А. Состав белков и качество зерна яровой пшеницы (*T.aestivum*) в зависимости от уровня азотного питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2012. № 5. С. 73–82.
 11. Шумилин А. О., Серегина И. И., Хрунов А. А. [и др.]. Эффективность действия селенсодержащих соединений на урожайность и показатели качества зерна яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Злата // Проблемы агрохимии и экологии. 2016. № 1. С. 24–28.
 12. Серегина И. И. Влияние циркона на продуктивность пшеницы // Агрехимический вестник. 2007. № 3. С. 18–19.
 13. Шатилова Т. И., Витол И. С., Герчиу Я. П., Белопухов С. Л., Семко В. Т. Действие препаратов – фиторегуляторов на формирование качества зерновых // Достижения науки и техники в АПК. 2010. № 12. С. 47–48.
 14. Вакуленко В. В. Регуляторы роста растений повышают стрессоустойчивость культур // Защита и карантин растений. 2015. № 2. С. 13–15.
 15. Новиков Н. Н., Соловьева Н. Е. Формирование качества зерна пивоваренного ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // Агрехимия. 2019. № 2. С. 43–51.
 16. Волобуева О. Г., Скоробогатова И. В., Шильникова В. К. Взаимодействие биологически активных веществ ризобий и ризобактерий с эндогенными фитогормонами растений гороха разных сортов // Агрехимия. 2008. № 8. С. 42–45.
 17. Волобуева О. Г. Влияние эпина на содержание фитогормонов и симбиотическую активность растений сои разных сортов // Ученые записки Орловского государственного университета. Сер.: Естественные, технические и медицинские науки. 2010. № 2. С. 98–104.
 18. Карпова Г. А., Теплицкая Д. Г. Влияние регуляторов роста на формообразовательные, ростовые и физиологические процессы в онтогенезе растений пшеницы и ячменя // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2019. № 4. С. 16–25.
 19. Кобзаренко В. И., Волобуева В. Ф., Серегина И. И., Ромодина Л. В. Агрехимические методы исследований. М. : Изд-во РГАУ–МСХА. 2015, 309 с.
 20. Новиков Н. Н., Таразанова Т. В. Лабораторный практикум по биохимии растений. М. : Изд. РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2012. 97 с.

References

1. Bastrikov D., Pankratov G. Changes in the biochemical properties of grain during soaking. *Khleboprodukty = Bakery products*. 2006;(1):40–41. (In Russ.)
2. Kazakov E.D., Karpilenko G.P. *Biokhimiya zerna i khleboproduktov. 3-e izd., pererab. i dop. = Biochemistry of grain and bakery products. The 3rd edition, edited and supplemented*. Saint Petersburg: GIORD, 2005:512. (In Russ.)

3. Ignatenko I.S. Influence of ecological conditions of the year of seed reproduction on the development of amylolytic activity in germinating spring barley seeds. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2011;(70):617–626. (In Russ.)
4. Karpova G.A., Karpova L.V., Frolova E.Yu. Activation of early seed growth processes under the action of growth regulators as a factor in increasing field germination and yield of spring wheat. *Niva Povolzh'ya = Niva of Volga region*. 2016;(1):29–35. (In Russ.)
5. Naumenko N.V., Potoroko I.Yu., Malinin A.V., Tsaturov A.V. Optimization of the conditions of the wheat grain germination process. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Polythematic network electronic scientific journal of Kuban State Agrarian University*. 2019;(151):1–11. (In Russ.)
6. Berezhnaya O.V. *Development of technology for obtaining wheat seedlings for the production of bakery and culinary products*. PhD abstract. Moscow: MGUPP, 2015:25. (In Russ.)
7. Ovsienko S.M. Biostimulators - a reserve for increasing the productivity of spring wheat. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin Orel State Agrarian University*. 2010;(2):59–62. (In Russ.)
8. Katsurba T.V., Evstaf'ev S.N., Frantenko V.K., Demina A.I. Sodium Selenite as a malting intensifier for malting barley. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya = Univeristy proceedings. Applied chemistry and biotechnology*. 2018;(1):67–73. (In Russ.)
9. Seregina I.I., Nilovskaya N.T., Obukhovskaya L.V., Osipova L.V. Effect of pre-sowing treatment of seeds with zinc on seedlings of spring wheat under conditions of water stress. *Agrokimiya = Agrichemistry*. 2005;(8):34–38. (In Russ.)
10. Novikov N.N., Zharikhina A.A. The composition of proteins and grain quality of spring wheat (*T.aestivum*) depending on the level of nitrogen nutrition and the use of phyto regulators when grown on soddy-podzolic medium loamy soil. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Proceedings of Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy*. 2012;(5):73–82. (In Russ.)
11. Shumilin A.O., Seregina I.I., Khrunov A.A. et al. Efficiency of action of selenium-containing compounds on the yield and quality indicators of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) variety Zlata. *Problemy agrokhemii i ekologii = Issues of agrochemistry and ecology*. 2016;(1):24–28. (In Russ.)
12. Seregina I.I. Effect of zircon on wheat productivity. *Agrokhimicheskiy vestnik = Agrochemical Bulletin*. 2007;(3):18–19. (In Russ.)
13. Shatilova T.I., Vitol I.S., Gerchiu Ya.P., Belopukhov S.L., Semko V.T. The effect of drugs - phyto regulators on the formation of the quality of cereals. *Dostizheniya nauki i tekhniki v APK = Achievements of science and technology in the agro-industrial complex*. 2010;(12):47–48. (In Russ.)
14. Vakulenko V.V. Plant growth regulators increase crop stress tolerance. *Zashchita i karantin rasteniy = Plant protection and quarantine*. 2015;(2):13–15. (In Russ.)
15. Novikov N.N., Solov'eva N.E. Formation of the grain quality of malting barley depending on the diet and the use of phyto regulators when grown on soddy-podzolic soil. *Agrokimiya = Agrochemistry*. 2019;(2):43–51. (In Russ.)
16. Volobueva O.G., Skorobogatova I.V., Shil'nikova V.K. Interaction of biologically active substances of rhizobia and rhizobacteria with endogenous phytohormones of pea plants of different varieties. *Agrokimiya = Agrochemistry*. 2008;(8):42–45. (In Russ.)
17. Volobueva O.G. Effect of epin on the content of phytohormones and symbiotic activity of soybean plants of different varieties. *Uchenye zapiski Orlovskogo gosudarstvennogo*

universiteta. Ser.: Estestvennye, tekhnicheskie i meditsinskie nauki = Proceedings of Orel State University. Series: natural, engineering and medical sciences. 2010;(2):98–104. (In Russ.)

18. Karpova G.A., Teplitskaya D.G. The effect of growth regulators on shaping, growth and physiological processes in the ontogeny of wheat and barley plants. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2019;(4):16–25. (In Russ.)*
19. Kobzarenko 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.)*
20. Novikov N.N., Tarazanova T.V. *Laboratornyy praktikum po biokhimmii rasteniy = Laboratory practical textbook on plant biochemistry. Moscow: Izd. RGAU – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2012:97. (In Russ.)*

Информация об авторах / Information about the authors

Инга Ивановна Серегина

доктор биологических наук, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, 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 of the sub-department of agronomic, biological chemistry and radiology, Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

Майя Анка

аспирант, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: maya5anka.93m@gmail.com

Mayya Anka

Postgraduate student, Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

Николай Николаевич Новиков

доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: tshanovikov@gmail.com,

Nikolay N. Novikov

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

Сергей Леонидович Белопухов

доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры химии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: sbelopuhov@rgau-msha.ru

Sergey L. Belopukhov

Doctor of agricultural sciences, professor, professor of the sub-department of chemistry, Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya street, Moscow, Russia)

Инна Ивановна Дмитриевская

доктор сельскохозяйственных наук,
доцент, заведующий кафедрой химии,
Российский государственный аграрный
университет – МСХА имени
К. А. Тимирязева (Россия,
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: i.dmitrevskaya@rgau-msha.ru

Inna I. Dmitrevskaya

Doctor of agricultural sciences, associate
professor, head of the sub-department
of chemistry, Russian State Agrarian
University–Moscow Timiryazev
Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya
street, Moscow, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 16.11.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 08.12.2022

Принята к публикации / Accepted 16.12.2022

УДК 633.162.631.559.2
doi:10.21685/2307-9150-2022-4-4

Сравнение активности амилаз и антиоксидантных ферментов (каталаз и пероксидаз) при солодоращении зерна различных сортов ячменя

Н. Н. Новиков¹, Р. Р. Исламгулова²

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

¹tshanovikov@gmail.com, ²17regin@mail.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* В результате солодоращения в зерне активизируется ряд ферментов, среди которых большое значение имеют гидролитические и антиоксидантные ферменты. Активность ферментов и качество солода зависят не только от условий произрастания, условий хранения и проращивания, но в определенной степени от генетически обусловленных сортовых особенностей зерна. В связи с этим целью наших исследований являлось сравнение активности амилаз, каталаз и пероксидаз в процессе солодоращения семян ярового ячменя в зависимости от генотипических особенностей сортов. *Материалы и методы.* В лабораторных исследованиях использовали семена 15 сортов и сортообразцов ярового ячменя (*Hordeum vulgare*), выведенных селекционерами разных стран. Зерновки ячменя проращивали на воде в течение 7 сут при температуре 12–14 °С. В проросшем зерне определяли активность амилолитических ферментов методом йод-крахмальной пробы, каталаз – по Баху и Опарину, пероксидаз – методом пероксидного окисления тирозина. Каталитическую активность изоформ указанных ферментов при pH = 5,5, 7,0, 8,0 оценивали с использованием фосфатной буферной системы (1/15 М фосфатный буфер). *Результаты и выводы.* В зерне 7-суточных проростков наиболее высокую активность всех изоферментов амилаз (кислых, нейтральных, щелочных) имели сорта Раушан, Ксанаду и Черио, что повышало у них растворимость эндосперма при солодоращении. У сортов ячменя Надежный и Ксанаду в проросшем зерне была повышена активность всех изоферментов каталаз, а у сортов Владимир, Ксанаду и Пионер – всех изоформ пероксидаз. Высокий уровень активности указанных ферментов стабилизировал биохимические процессы в проросшем зерне и таким образом повышал способность зерновок к солодоращению.

Ключевые слова: солодоращение зерна ярового ячменя, активность амилаз, каталаз, пероксидаз при солодоращении, сорта ярового ячменя

Благодарности: авторы статьи выражают огромную благодарность ректору РГАУ – МСХА имени К. А. Тимирязева, академику РАН, д.с.-х.н., профессору Трухачеву В. И., д.с.-х.н., профессору Белопухову С. Л. за помощь и поддержку проведенных исследований.

Для цитирования: Новиков Н. Н., Исламгулова Р. Р. Сравнение активности амилаз и антиоксидантных ферментов (каталаз и пероксидаз) при солодоращении зерна различных сортов ячменя // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 36–45. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-4

Comparison of amylases and antioxidant enzymes (catalases and peroxidases) activity in the grain malting of various barley varieties

N.N. Novikov¹, R.R. Islamgulova²

^{1,2}Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev
Agricultural Academy, Moscow, Russia

¹tshanovikov@gmail.com, ²17regin@mail.ru

Abstract. *Background.* As a result of malting, a number of enzymes are activated in the grain, among which hydrolytic and antioxidant enzymes are of great importance. The activity of enzymes and the quality of malt depends not only on the conditions of growth, storage and germination conditions, but also largely on the genetically determined varietal characteristics of the grain. In this regard, the purpose of our research was to evaluate the activity of amylases, catalases, and peroxidases in the process of malting spring barley seeds, depending on the genotypic characteristics of varieties of different origin. *Materials and methods.* In laboratory studies, seeds of 15 varieties of spring barley (*Hordeum vulgare*) were used, which differed in origin. Barley grains were germinated on water for 7 days at a temperature of 12-14 °C. In sprouted grain, the activity of amylolytic enzymes was determined by the method of iodine-starch test, catalases - according to Bach and Oparin, peroxidases - by the method of tyrosine peroxidation. The catalytic activity of the isoforms of these enzymes at pH=5.5, 7.0, 8.0 was evaluated using a phosphate buffer system (1/15 M phosphate buffer). *Results.* In the grain of 7-day-old seedlings, the Raushan, Xanadu and Cherio varieties had the highest activity of all amylase isoenzymes (acidic, neutral, alkaline), which increased their endosperm solubility during malting. In the barley varieties Nadezhny and Xanadu, the activity of all catalase isoenzymes was increased in the germinated grain, and in the Vladimir, Xanadu and Pioneer varieties, all isoforms of peroxidases were increased. The high level of activity of these enzymes stabilized the biochemical processes in the germinated grain and thus increased the ability of the grains to malt.

Keywords: spring barley grain malting, amylase, catalase, peroxidase activity during malting, spring barley varieties

Acknowledgments: The author extends gratitude to rector of Russian State Agrarian University–Moscow Timiryazev Agricultural Academy, academician of the Russian Academy of Sciences, doctor of agricultural sciences, professor V.I. Trukhachev, professor S.L. Belopukhov for helping and supporting the research.

For citation: Novikov N.N., Islamgulova R.R. Comparison of amylases and antioxidant enzymes (catalases and peroxidases) activity in the grain malting of various barley varieties. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(4):36–45. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-4

Введение

В настоящее время возникает потребность получения необходимого количества сырья для производства пива. В этом отношении важным вопросом является создание современных сортов ячменя, способных обеспечить высококачественные, устойчивые урожаи зерна, отвечающего требованиям солодоращения, в условиях экстремального земледелия, характерного для многих регионов России и стран СНГ. С учетом специфики таких сортов и природно-климатических условий регионов разрабатываются технологические процессы выращивания пивоваренного ячменя, включающие примене-

ние новых сортов для формирования высокой продуктивности растений и улучшения технологических свойств зерна [1–4].

В солодоращении важные функции выполняют амилазы и ферменты, относящиеся к классу оксидоредуктаз – каталазы и пероксидазы.

Амилазы катализируют гидролитическое расщепление крахмала в прорастающих зерновках и играют важную роль в пивоварении. Количество экстракта, интенсивность брожения, фильтрация пива и его стабильность зависят от степени гидролиза крахмала, которая зависит от активности амилолитических ферментов [5–7].

Важную антиоксидантную роль в растительном организме выполняют каталазы и пероксидазы. Каталазы катализируют разложение пероксида водорода на воду и кислород и таким образом предотвращают его накопление в клетках растений и пероксидное окисление различных органических веществ, а также компонентов клеточных мембран. Пероксидазы также снижают концентрацию пероксида водорода, так как катализируют многие реакции окисления и синтеза различных органических веществ с его участием в ходе метаболизма растений [8–10]. В ряде исследований выяснено, что активность каталаз при солодоращении увеличивается меньше, чем активность пероксидаз, так как чувствительность этих ферментов к низкой концентрации пероксида водорода ниже, чем у пероксидаз [10–13].

В связи с тем, что качество солода зависит от активности ферментов гидролитического и антиоксидантного действия в процессе прорастания зерновок, целью наших исследований являлось сравнение активности амилаз, каталаз и пероксидаз в процессе солодоращения зерна пивоваренного ячменя в зависимости от генотипических особенностей сортов различного селекционного происхождения.

Материалы и методы

Для достижения поставленной цели была проведена серия лабораторных исследований с различными сортами и сортообразцами ярового ячменя (*Hordeum vulgare*). В исследованиях использовали следующие сорта и сортообразцы ярового ячменя из селекционных центров разных европейских стран: Россия (Надежный, Владимир, Знатный, Раушан, Яромир, Рафаэль), Беларусь (Куфаль), Германия (Квс Харрис, Ксанаду, Квс Бекки), Франция (Пионер, Эйфель, Овертор), Дания (Черио), Шотландия (Collie). Зерновки ячменя проращивали на воде в течение 7 сут при температуре 12–14 °С. Активность ферментов оценивали в проросшем зерне после удаления ростков и корешков. Активность амилолитических ферментов определяли методом йод-крахмальной пробы, каталаз – по Баху и Опарину [9], пероксидаз – методом пероксидного окисления тирозина (Новиков, 2016). Каталитическую активность изоформ указанных ферментов при pH = 5,5, 7,0, 8,0 оценивали с использованием фосфатной буферной системы (1/15 М фосфатный буфер).

Статистическую обработку полученного экспериментального материала проводили дисперсионным методом при использовании компьютерной программы «Straz» (Версия 2.1 информационно-вычислительного центра РГАУ–МСХА имени К. А. Тимирязева, 1991).

Результаты и обсуждение

В зерне 7-суточных проростков наиболее высокую амилазную активность имели кислые изоформы этих ферментов (табл. 1–3).

Изученные сорта по активности кислых изоформ амилаз можно разделить на две группы. Первая группа сортов обладает наиболее высокой общей амилазной активностью кислых изоформ этих ферментов (табл. 1). По мере возрастания ее величины сорта можно перечислить следующим образом: Collie, Квс Бекки, Черио, Знатный, Пионер, Раушан, Ксанаду, Надежный. Общая амилазная активность сортов первой группы составила 1080–1449 мг гидролизованного крахмала за 1 мин (в расчете на 1 г сухой массы зерна), а у второй группы сортов ярового ячменя амилазная активность была меньше в 1,5–2 раза по сравнению с сортами из первой группы и составила от 624 до 934 мг.

Таблица 1

Активность амилаз в зерне 7-суточных проростков ячменя
(мг гидролизованного крахмала за 1 мин в расчете на 1 г сухой массы)

Сорт ячменя	Активность кислых изоформ амилаз (pH 5,5)	Активность нейтральных изоформ амилаз (pH 7,0)	Активность щелочных изоформ амилаз (pH 8,0)
I группа			
Надежный	1449	535	395
Ксанаду	1445	887	609
Раушан	1363	741	463
Пионер	1250	667	421
Черио	1180	692	479
КВС Бекки	1173	671	442
Знатный	1145	642	423
Collie	1080	639	496
II группа			
Ейфель	1017	610	254
КВС Харрис	934	708	472
Куфаль	878	616	361
Яромир	789	516	516
Овертюр	734	480	348
Владимир	696	406	280
Рафаэль	624	535	418
НСР ₀₅	53	31	21

Общая амилазная активность в проросшем зерне нейтральных изоформ этих ферментов у всех генотипов была существенно ниже, чем у кислых изоферментов. Наибольший уровень амилазной активности нейтральных изоформ выявлен у следующих сортов по мере возрастания ее величины: Collie, Знатный, Квс Бекки, Пионер, Черио, Квс Харрис, Раушан, Ксанаду. Активность нейтральных изоформ амилаз составила 639–887 мг гидролизованного крахмала за 1 мин (в расчете на 1 г сухой массы), что почти в 1,7 раза меньше, чем величины активности кислых изоформ амилаз.

Активность щелочных изоферментов амилаз в зерне 7-суточных проростков оказалась на более низком уровне по сравнению с активностью кислых и нейтральных амилаз. У ряда сортов была выявлена наибольшая амилазная активность щелочных изоформ этих ферментов, по мере возрастания ее величины они могут быть представлены в следующей последовательности: Рафаэль, Знатный, Квс Бекки, Раушан, Квс Харрис, Черио, Collie, Яромир, Ксанаду. Их активность составила 418–609 мг гидролизованного крахмала за 1 мин (в расчете на 1 г сухой массы), что примерно в 2,5 раза меньше, чем величины активности кислых изоформ и в 1,5 раза меньше, чем нейтральных изоформ амилаз.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о существовании сортовой специфики в отношении амилазной активности пророщенного зерна, что обусловлено генетическими особенностями изучаемых сортов и сортообразцов. Вероятно, зерно изученных групп ярового ячменя обладает и разной степенью активизации процессов солодоращения. Следует отметить, что в проросшем зерне наиболее активными оказались кислые изоформы этих ферментов. Установлено, что при проращивании зерна ячменя наибольшей активностью всех изоферментов амилаз (кислых, нейтральных, щелочных) характеризовались сорта Раушан, Ксанаду и Черио, что определяет у них высокий уровень растворимости эндосперма при солодоращении.

Проведенные исследования показали наибольшую активность каталаз и пероксидаз у щелочных изоформ этих ферментов. Однако по каждой группе изоферментов (кислых, нейтральных и щелочных) выявлены сорта с повышенным уровнем активности антиоксидантных ферментов (каталаз и пероксидаз). В группе кислых изоформ была выявлена повышенная активность каталаз в зерне 7-суточных проростков сорта Надежный, которая составила 1390 нкат (в расчете на 1 г сухой массы) (табл. 2). У остальных сортов активность кислых изоформ каталаз варьировала от 370 до 760 нкат (в расчете на 1 г сухой массы). Активность нейтральных изоформ каталаз была выше у всех изучаемых сортов по сравнению с активностью кислых изоформ этих ферментов. У сортов Раушан, Эйфель, Collie, Владимир выявлена наибольшая активность нейтральных изоформ каталаз, величина которой составила от 2000 до 2100 нкат (в расчете на 1 г сухой массы). Наименьшая активность нейтральных изоформ каталаз выявлена у сорта Пионер (1030 нкат). Остальные сорта характеризовались активностью нейтральных изоформ каталаз в пределах от 1410 до 1950 нкат.

Активность щелочных изоформ каталаз отличалась наибольшими величинами по сравнению с нейтральными и кислыми изоформами каталаз. Сорта ярового ячменя Владимир, Ксанаду, Эйфель, Collie, Надежный, Яромир характеризовались наибольшей активностью щелочных изоформ каталаз от 2100 до 2900 нкат (в расчете на 1 г сухой массы). Таким образом, была выделена группа сортов, которая отличается максимальной активностью нейтральных и щелочных каталаз: Владимир, Эйфель, Collie. Отличительной особенностью сорта Надежный является высокая активность всех изучаемых изоформ каталаз, что свидетельствует о наибольшей каталитической способности в прорастающих зерновках и стимулировании защитных реакций в условиях пероксидного окисления липидов мембранных структур. Это позволяет сохранять стабильность биохимических процессов при солодоращении.

Таблица 2

Активность каталаз в зерне 7-суточных проростков ячменя (нкат в расчете на 1 г сухой массы)

Сорт ячменя	Активность кислых изоформ каталаз (рН 5,5)	Активность нейтральных изоформ каталаз (рН 7,0)	Активность щелочных изоформ каталаз (рН 8,0)
Надежный	1390	1950	2110
Владимир	490	2100	2900
Знатный	370	1530	1800
Раушан	550	2000	2160
Яромир	570	1770	2100
Ксанаду	640	1880	2700
Ейфель	530	2060	2540
Collie	430	2100	2160
Рафаэль	470	1780	1960
КвсБекки	620	1660	1870
Куфаль	520	1410	1670
КвсХаррис	530	1580	1630
Овертюр	760	1450	1730
Пионер	470	1030	1900
Черио	520	1610	1760
НСР ₀₅	30	100	100

Изучение активности пероксидаз в прорастающем зерне различных сортов показало наибольшие величины щелочных изоформ этих ферментов почти у всех изучаемых сортов (табл. 3). Наибольшая активность кислых изоформ пероксидаз проявилась при проращивании сортов Ксанаду, Владимир, Куфаль, Пионер и составила 10,9–12,7 мккат в расчете на 1 г сухой массы (соответственно). У остальных сортов была выявлена в 1,5–2,0 раза меньшая активность кислых изоформ пероксидаз.

При использовании нейтрального буфера было показано увеличение почти в 2 раза активности пероксидаз в зерне ячменя почти всех изученных сортов. Наибольшая активность нейтральных изоформ пероксидаз выявлена у сортов: Надежный, Ксанаду, Знатный, Пионер, Владимир, Раушан, Черио и составила 19,2–24,8 мккат (в расчете на 1 г сухой массы). При использовании щелочного буфера (рН 8,0) проявилась наибольшая активность пероксидаз всех сортов за исключением сорта Раушан. Следует отметить сорта, которые характеризовались наибольшей активностью всех изучаемых изоформ пероксидаз: Пионер, Ксанаду, Владимир, Черио, что обусловлено сортовой спецификой, которая, вероятно, определяется их селекционным происхождением.

Таким образом, изучение активности ферментов в зерне 7-суточных проростков показало, что наибольшую активность в ходе солодоращения проявляли кислые изоферменты амилаз, значительно меньшую – нейтральные и еще меньшую – щелочные изоформы указанных ферментов. Наиболее высокую активность всех форм амилаз (кислые, нейтральные, щелочные) имели сорта Раушан, Ксанаду и Черио, что свидетельствовало об их повы-

шенной способности к солодоращению. Из антиоксидантных ферментов каталаз и пероксидаз более высокую активность в проросшем зерне имели их щелочные изоферменты, меньшую – нейтральные и еще меньшую кислые изоформы. У сортов ячменя Надежный и Ксанаду в проросшем зерне была повышена активность всех изоформ каталаз (щелочные, нейтральные, кислые), а у сортов Черио, Владимир, Ксанаду и Пионер – всех изоформ пероксидаз. Высокий уровень активности этих ферментов обуславливает стабильное прохождение биохимических процессов в проросшем зерне и таким образом определяет высокую способность зерна к солодоращению.

Таблица 3

Активность пероксидаз в зерне 7-суточных проростков ячменя (мккат в расчете на 1 г сухой массы)

Сорт ячменя	Активность кислых изоформ пероксидаз (pH 5,5)	Активность нейтральных изоформ пероксидаз (pH 7,0)	Активность щелочных изоформ пероксидаз (pH 8,0)
Надежный	7,2	19,2	25,6
Владимир	11,2	24,0	29,6
Знатный	8,0	22,4	30,5
Раушан	6,4	24,8	21,6
Яромир	5,6	15,9	24,0
Ксанаду	10,9	20,4	28,9
Ейфель	7,3	12,8	20,8
Collie	8,0	14,9	22,4
Рафаэль	6,1	12,8	17,6
КвсБекки	4,8	12,0	17,6
Куфаль	11,2	14,4	19,2
КвсХаррис	7,2	12,8	21,6
Овертюр	7,3	10,4	16,0
Пионер	12,7	23,2	28,8
Черио	8,0	24,8	35,3
НСР ₀₅	0,1	0,9	1,2

Заключение

1. Изучение действия ферментов в условиях кислой (pH = 5,5), нейтральной (pH = 7) и щелочной (pH = 8) среды показало, что в проросшем зерне у всех изученных генотипов ячменя наиболее высокую активность имели кислые изоферменты амилаз, а также щелочные изоферменты каталаз и пероксидаз.

2. В зерне 7-суточных проростков наиболее высокую активность всех изоферментов амилаз (кислых, нейтральных, щелочных) имели сорта Раушан, Ксанаду и Черио. Высокий уровень активности амилаз в зерне указанных сортов повышал у них растворимость эндосперма при солодоращении.

3. У сортов ячменя Надежный и Ксанаду в проросшем зерне была повышена активность всех изоферментов каталаз, а у сортов Владимир, Ксанаду и Пионер – всех изоформ пероксидаз. Высокий уровень активности указанных ферментов стабилизировал биохимические процессы в проросшем зерне и таким образом повышал способность зерновок к солодоращению.

Список литературы

1. Витол И. С., Карпиленко Г. П. Белково-протеиназный комплекс ячменя, выращенного на разном агрофоне с применением препаратов регуляторного действия // Прикладная биохимия и микробиология. 2007. Т. 43, № 3. С. 356–364.
2. Гайда В. К., Верхотуров В. В. Применение способов интенсификации солодоращения для повышения качества солода // Известия Иркутского государственного университета. 2008. № 2. С. 78–80.
3. Гамзаева Р. С. Динамика активности амилолитических ферментов в прорастающих зерновках ярового ячменя, выращенного на возрастающих дозах азотных удобрений // Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сб. тр. науч. конф. СПб., 2018. С. 9–11.
4. Новиков Н. Н., Соловьева Н. Е. Формирование пивоваренных свойств зерна ячменя в зависимости от режима питания и применения фиторегуляторов при выращивании на дерново-подзолистой почве // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 5–19.
5. Верхотуров В. В., Топорищева В. К. Активность некоторых оксидоредуктаз при хранении и солодоращении ячменя // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2004. № 2. С. 82–84.
6. Шапкарин В. В., Королев А. П., Гридина С. Б. [и др.]. Биохимия : сб. лаб. работ для студентов вузов. Кемерово : Кемеров. технол. ин-т пищевой пром., 2005. С. 83.
7. Гамзаева Р. С. Влияние фиторегуляторов эпин и циркон на амилолитическую активность и содержание редуцирующих сахаров в прорастающих зернах пивоваренного ячменя // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2016. № 44. С. 27–32.
8. Белозерская Т. А., Гесслер Н. Н. Инициирование и ингибирование свободнорадикальных процессов в биохимических пероксидазных системах // Прикладная биохимия и микробиология. 2007. Т. 43, № 5. С. 565–575.
9. Новиков Н. Н., Таразанова Т. В. Лабораторный практикум по биохимии растений. М. : Изд. РГАУ – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2012. 97 с.
10. Андреева В. А. Фермент пероксидаза: участие в защитном механизме растений. М. : Наука, 1988. 128 с.
11. Новиков Н. Н., Исламгулова Р. Р., Серегина И. И. Активность каталаз в зерне пивоваренных сортов ячменя // Актуальные вопросы агроинженерных и агрономических наук : материалы Нац. (Всерос.) науч. конф. Института агроинженерии, Института агроэкологии. Челябинск, 2021. С. 204–209.
12. Кения М. В., Лукаш А. И., Гуськов Е. П. Роль низкомолекулярных антиоксидантов при окислительном стрессе // Успехи современной биологии. 1993. № 4. С. 113.
13. Мерзляк М. Н. Активированный кислород и окислительные процессы в мембранах растительной клетки // Итоги науки и техники. ВИНТИ. Сер.: Физиология растений. 1989. С. 6.

References

1. Vitol I.S., Karpilenko G.P. Protein-proteinase complex of barley grown on different agricultural background with the use of drugs of regulatory action. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya = Applied biochemistry and microbiology*. 2007;43(3):356–364. (In Russ.)
2. Gayda V.K., Verkhotur V.V. Application of methods of intensification of malting to improve the quality of malt. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of Irkutsk State University*. 2008;(2):78–80. (In Russ.)
3. Gamzaeva R.S. The dynamics of the activity of amylolytic enzymes in the germinating grains of spring barley, grown on increasing doses of nitrogen fertilizers. *Nauchnoe obespechenie razvitiya APK v usloviyakh importozameshcheniya: sb. tr. nauch. konf.* =

- Scientific support for the development of the agro-industrial complex in the context of import substitution: collected papers.* Saint Petersburg, 2018:9–11. (In Russ.)
4. Novikov N.N., Solov'eva N.E. Formation of the brewing properties of barley grain depending on the diet and the use of phyto regulators when grown on soddy-podzolic soil. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Proceedings of Timiryazev Agricultural Academy.* 2020;(2):5–19. (In Russ.)
 5. Verkhoturov V.V., Toporishcheva V.K. Activity of some oxidoreductases during storage and malting of barley. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokho-zyaystvennykh nauk = Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences.* 2004;(2):82–84. (In Russ.)
 6. Shapkarin V.V., Korolev A.P., Gridina S.B. et al. *Biokhimiya: sb. lab. rabot dlya studentov vuzov = Biochemistry: collected laboratory works for university students.* Kemerovo: Kemerov. tekhnol. in-t pishchevoy prom., 2005:83. (In Russ.)
 7. Gamzaeva R.S. Influence of phyto regulators epin and zircon on amylolytic activity and the content of reducing sugars in germinating grains of malting barley. *Izvestiya Sankt Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of Saint Petersburg State Agrarian University.* 2016;(44):27–32. (In Russ.)
 8. Belozerskaya T.A., Gessler N.N. Initiation and inhibiting of free radical processes in biochemical per-oxidate systems. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya = Applied biochemistry and microbiology.* 2007;43(5):565–575. (In Russ.)
 9. Novikov N.N., Tarazanova T.V. *Laboratornyy praktikum po biokhimii rasteniy = Laboratory workshop on plant biochemistry.* Moscow: Izd. RGAU – MSKhA im. K.A. Timiryazeva, 2012:97. (In Russ.)
 10. Andreeva V.A. *Ferment peroksidaza: uchastie v zashchitnom mekhanizme rasteniy = Peroxidase enzyme: participation in the defense mechanism of plants.* Moscow: Nauka, 1988:128. (In Russ.)
 11. Novikov N.N., Islamgulova R.R., Seregina I.I. Catalase activity in malting barley grains. *Aktual'nye voprosy agroinzhenernykh i agronomi-cheskikh nauk: materialy Nats. (Vseros.) nauch. konf. Instituta agroinzhenerii, Instituta agroekologii = Topical issues of agroengineering and agronomic sciences: proceedings of the National (All-Russian) scientific conference of Institute of agricultural engineering, Institute of agroecology.* Chelyabinsk, 2021:204–209. (In Russ.)
 12. Keniya M.V., Lukash A.I., Gus'kov E.P. The role of low molecular weight antioxidants in oxidative stress. *Uspekhi sovremennoy biologii = Advances in modern biology.* 1993;(4):113. (In Russ.)
 13. Merzlyak M.N. Activated oxygen and oxidative processes in the membranes of the plant cell. *Itogi nauki i tekhniki. VINITI. Ser.: Fiziologiya rasteniy = Results of science and technology. All-Russian Institute of Scientific and Engineering Information of the Russian Academy of Sciences. Series: Plant physiology.* 1989:6. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Николай Николаевич Новиков

доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры агрономической, биологической химии и радиологии, Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева (Россия, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: tshanovikov@gmail.com

Nikolay N. Novikov

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

Регина Рафиковна Исламгулова

аспирант, Российский государственный
аграрный университет – МСХА имени
К. А. Тимирязева (Россия,
г. Москва, ул. Тимирязевская, 49)

E-mail: 17regin@mail.ru

Regina R. Islamgulova

Postgraduate student, Russian State
Agrarian University–Moscow Timiryazev
Agricultural Academy (49 Timiryazevskaya
street, Moscow, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 10.08.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 11.11.2022

Принята к публикации / Accepted 05.12.2022

УДК 581(58.009):633.2

doi:10.21685/2307-9150-2022-4-5

Онтогенетические особенности и продуктивность *Symphytum officinale* L. в условиях Приангарья

В. В. Тунгрикова¹, Е. Г. Худоногова²

^{1,2}Иркутский государственный аграрный университет имени А. А. Ежевского,
п. Молодежный, Иркутская обл., Россия

¹vtungrikova@bk.ru, ²doky2015@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* *Symphytum officinale* L. – ценное кормовое и лекарственное растение. Корни и листья вида в народной медицине применяются в качестве противомикробного и противовоспалительного средства, препараты из корней растения обладают выраженными иммуностимулирующими свойствами. Основа интродукции – прохождение видом всех этапов жизненного цикла в условиях культуры, способность к образованию плодов и семян. *Материалы и методы.* Онтогенетические исследования были выполнены по методике Т. А. Работнова с дополнениями А. А. Уранова и Е. Л. Нухимовского. *Результаты.* *S. officinale* в условиях Приангарья проходит три периода онтогенеза: латентный, виргинильный, генеративный. Проростки появляются на 14–15 день. У ювенильных растений начинается формирование розетка листьев, у иммагурных ветвление побегов, при этом количество листьев в розетке увеличивается в 2 раза. Молодые генеративные особи впервые зацветают на 1–2-й год жизни. В средневозрастном генеративном состоянии особи вступают на 3-й год, у растений наблюдается две генерации побегов. На 4-й год жизни растения переходят в старое генеративное состояние. В конце августа-сентябре у особей наблюдается партикуляция корневища. На следующий год от почек возобновления на корневище начинает отрастать большое количество новых репродуктивных побегов. *Выводы.* В условиях культуры Приангарья *S. officinale* успешно проходит все стадии развития, цветет, образует плоды и семена. Растение является перспективным видом для выращивания в условиях культуры Приангарья, обладает рядом преимуществ для кормопроизводства: быстрыми темпами роста и развития, за сезон вегетации у вида наблюдается две генерации побегов, растение обладает хорошей отавностью и способностью образовывать большое количество придаточных почек и побегов, отсутствием характерных признаков быстрого биологического старения, самоомоложением, вегетативным и семенным размножением, высокой продуктивностью стеблей, листьев и корней.

Ключевые слова: онтогенез, биологическая продуктивность, *Symphytum officinale*

Финансирование: работа выполнена в рамках темы научно-исследовательской работы «Биология, экология и адаптация полезных растений в условиях Восточной Сибири», № АААА-А19-119032090027-8.

Для цитирования: Тунгрикова В. В., Худоногова Е. Г. Онтогенетические особенности и продуктивность *Symphytum officinale* L. в условиях Приангарья // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 46–54. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-5

© Тунгрикова В. В., Худоногова Е. Г., 2022. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Ontogenetic features and productivity *Symphytum officinale* L. in the conditions of the Angara region

V.V. Tungrikova¹, E.G. Khudonogova²

^{1,2}Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky,
Molodezhny village, Irkutsk region, Russia

¹vtungrikova@bk.ru, ²doky2015@yandex.ru

Abstract. *Background.* *Symphytum officinale* L. is a valuable forage and medicinal plant. The roots and leaves of the species are used in folk medicine as an antimicrobial and anti-inflammatory agent; preparations from the roots of the plant have pronounced immunostimulating properties. The basis of introduction is the passage of the species through all stages of the life cycle in the conditions of culture, the ability to form fruits and seeds. *Materials and methods.* Ontogenetic studies were carried out according to the methodology of T.A. Rabinova, with additions by A.A. Uranov and E.L. Nukhimovsky. *Results.* *S. officinale* in the conditions of the Angara region there are 3 periods of ontogenesis: latent, virginal, generative. Seedlings appear on the 14th-15th day. A rosette of leaves begins to form in juvenile plants. In immature individuals, branching of shoots begins, while the number of leaves in the rosette increases by 2 times. Young generative individuals bloom for the first time for 1-2 years of life. Individuals enter the middle-aged generative state for 3 years, two generations of shoots are observed in plants. At the 4th year of life, the plants pass into the old generative state. At the end of August-September, individuals have a partial rhizome. The following year, a large number of new reproductive shoots begin to grow from the renewal buds on the rhizome. *Conclusions.* In the conditions of the Angara culture, *S. officinale* successfully passes all stages of development, blooms, forms fruits and seeds. The plant is a promising species for cultivation in the conditions of culture of the Angara region. It has a number of advantages for feed production: with rapid growth and development, during the growing season, the species has two generations of shoots, the plant has good otavnost and the ability to form a large number of adventitious buds and shoots, the absence of characteristic signs of rapid biological aging, self-rejuvenation, vegetative and seed reproduction, high productivity of stems, leaves and roots.

Keywords: ontogenesis, biological productivity, *Symphytum officinale*

Acknowledgments: the work was performed within a research project "Biology, ecology and adaptation of useful plants in Eastern Siberia", No.AAAA-A19-119032090027-8.

For citation: Tungrikova V.V., Khudonogova E.G. Ontogenetic features and productivity *Symphytum officinale* L. in the conditions of the Angara region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(4):46–54. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-5

Введение

Symphytum officinale L. (окопник лекарственный) – лекарственное, кормовое, декоративное и медоносное многолетнее растение семейства Boraginaceae, является восточноевропейским и западноазиатским видом, широко культивируется в разных регионах мира, произрастает на влажных лугах, по берегам водоемов в южных районах Европейской части страны, в южных районах Нечерноземья. В Сибири – инвазионный вид, встречается редко, описан на территории Бурятии и Читинской области, в Иркутской области обнаружен в Усольском районе (близ пос. Тальяны) [1].

Упоминания о лечебных свойствах растения встречаются во многих английских травниках и медицинских словарях XVI–XVII вв. Корни и листья

S. officinale в народной медицине применяются в качестве противомикробного и противовоспалительного средства. В Европейских странах и США корни *S. officinale* являются официальным сырьем, препараты из корней растения обладают выраженными иммуностимулирующими свойствами [2].

Согласно результатам исследований П. Ф. Медведева, А. И. Сметанниковой *S. officinale* является высоко урожайной силосной культурой, которую можно использовать для изготовления травяной муки, в свежем виде хорошо поедается овцами, козами и свиньями, в измельченном виде – птицами [2].

Адаптация и акклиматизация перспективных полезных растений в условиях культуры конкретного региона являются основными задачами для интродукторов и селекционеров. Исследования эколого-биологических, морфологических, онтогенетических, фармакологических и других особенностей полезных растений проводятся многими учеными России и зарубежья [3, 4].

Морфологические и кормовые свойства *S. officinale* ранее были описаны в работах И. В. Ларина в условиях Нечерноземья [5], П. Ф. Медведева на территории Европейской части СССР [2]. Онтогенез вида в условиях Восточной Сибири изучается впервые.

Цель исследования – изучение онтогенетических особенностей и биологической продуктивности сырья *S. officinale* в условиях культуры Приангарья.

Объекты и методы исследования

Объект исследования – *S. officinale*. Посев семян проводили на территории опытного поля Иркутского ГАУ с 2016 по 2022 г. широкорядным способом.

Онтогенетические состояния вида были определены с использованием методики Т. А. Работнова [6, 7] с дополнениями А. А. Уранова [8] и Е. Л. Нухимовского [9]. Для определения периодов онтогенеза *S. officinale* учитывали несколько морфологических признаков: высоту, размеры и количество листьев, наличие и формирование побегов, особенности корневой системы, формирование придаточных почек, генеративных побегов, плодов и семян, а также длительность нахождения вида в определенном возрастном состоянии. Особи, относящиеся к одному онтогенетическому состоянию, объединяли в одну группу [12–14].

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена по методике Н. А. Плохинского [10] с использованием программы Excel.

Результаты и обсуждения

Интродукционные исследования перспективных культивируемых растений необходимо начинать с изучения их онтогенетических особенностей в природно-климатических условиях конкретного региона.

Климат Приангарья характеризуется как резко континентальный, средние температуры января колеблются от минус 18 °С до минус 35 °С. Продолжительность зимы от 180 до 200 дней. Мощность снежного покрова колеблется до 600 мм. Весна начинается в конце марта и продолжается около 35 дней. Снежный покров сходит в апреле. Продолжительность летнего периода составляет 90–110 дней. Средние температуры июля, самого теплого месяца года, колеблются в пределах +15–20 °С до +30 °С. Первая половина лета, как правило, жаркая и сухая. В конце июля и в августе часто отмечают

ся затяжные дожди (до 85 % годовой суммы осадков). Осенний период характеризуется резкими суточными колебаниями температур и ранними заморозками. Распределение осадков неравномерное, около 60 % их годовой суммы выпадает на летние месяцы, на весну приходится 12–15 %, на осень – 20 %, а зимой в виде снега выпадает только 10 %. Максимум осадков приходится на июль-август, минимум – на февраль-март. На равнинной территории в среднем за год выпадает 300–400 мм осадков, в горах – свыше 600 мм [11].

Важнейшей особенностью интродуцентов является их способность последовательного прохождения всех стадий онтогенетического развития, в не характерных для них природно-климатических условиях, заканчивающаяся образованием плодов и семян. Индикатором онтогенетических состояний являются морфологические признаки, неразрывно связанные с экологическими, биохимическими и другими особенностями видов [6, 7].

S. officinale в условиях Приангарья проходит три периода онтогенеза: латентный, виргинильный и генеративный. Результаты исследований онтогенетических особенностей *S. officinale* представлены на рис. 1.

Проростки с двумя семядольными листьями появляются на 14–15 день после посева семян, при этом формируется молодой побег и стержневой корешок (длиной около 17,5 мм).

У ювенильных особей начинает формироваться розетка листьев, молодой побег не ветвится, листья ланцетные (до 10–12 см длиной), стержневой корень увеличивается до 8–10 см. Длительность ювенильного состояния – 10–14 дней.

У имматурных особей начинается ветвление побегов, при этом количество листьев в розетке увеличивается в 2 раза (до 8–10), длина ланцетных листьев возрастает до 20–30 см. Длительность имматурного состояния составляет около 1 месяца.

Виргинильные особи – число ланцетных листьев в розетке увеличивается до 12–13 (длиной от 5 до 30 см, шириной – 3–4 см), формируется корневище (длиной до 13–15 см, диаметром 1–3 см). В пазухах листьев – по 3–4 придаточные почки. У особей *S. officinale* на ранних стадиях развития, вплоть до виргинильного состояния формируется розеточная стержнекорневая жизненная форма. Длительность особей в данном возрастном состоянии – 1 месяц и более.

Молодые генеративные особи – впервые зацветающие, зацветает *S. officinale* на 1–2 год жизни, у растений формируются 1–2 генеративных побега. В первый год жизни, к середине июня зацветают около 40 % особей, на второй в генеративное состояние вступают все остальные растения. Соцветие – двойной завиток длиной до 15 см, цветки грязно-лиловые, фиолетовые, розовые. Длина завитка цветка достигает 20 см. Во время цветения растения опыляют пчелы и шмели. Семена созревают не равномерно, от верхушки к основанию. Плод – орешек. Длина и толщина корневища увеличиваются (длина до 20–25 см, диаметр до 15 см), на корневище формируются многочисленные почки, от которых начинают отрастать побеги длиной до 30–40 см. Стадия молодого генеративного состояния длится около года.

В средневозрастном генеративном состоянии особи вступают на 3-й год жизни, количество генеративных побегов возрастает до 15–27, корневище начинает нарастать быстрыми темпами, длина корневища увеличивается до 30 см, диаметр – до 20 см. В средневозрастном генеративном состоянии у

растения наблюдается две генерации побегов. Первая генерация наблюдается от середины мая до середины июля, растение формирует соцветия и семена. Вторая генерация – с июля по август, а при благоприятных условиях – до сентября. В пазухах каждого листа и боковых побегов закладываются пазушные почки, дающие начало новым побегам, которые формируют вторую генерацию побегов. Длительность средневозрастного генеративного состояния составляет 3–4 года.



Рис. 1. Возрастные состояния *Symphytum officinale*:
1 – проростки; 2 – ювенильные особи; 3 – виргинильные особи;
4 – молодые генеративные особи; 5 – средневозрастные генеративные особи;
6 – старые генеративные особи

У старых генеративных особей *S. officinale* на четвертый год жизни (в конце лета – начале осени) наблюдается процесс партикуляции – корневище делится на две части по центру. На следующий год от почек возобновления на корневище начинает отрастать большое количество новых репродуктивных побегов, очевидно у особей *S. officinale* четвертого года жизни начинается процесс самоомоложения. Длина корней достигает максимальных размеров (длиной до 1,5 м с диаметром до 40 см), масса корней – до 8 кг [15].

Таким образом, особи *S. officinale* в условиях Приангарья отличаются быстрыми темпами роста. Ранние стадии развития (всходы, ювенильные, иматурные, виргинильные) проходят за три месяца, значительный процент особей (около 40 %) вступают в молодое генеративное состояние в августе – начале сентября в первый год жизни. В средневозрастном генеративном состоянии находятся непродолжительное время – 3–4 года. Старое генеративное состояние сопровождается осенней партикуляцией корневища на 4-м году жизни и массовым отрастанием побегов от почек возобновления на следующий год.

Растения *S. officinale* в условиях Приангарья способны длительное время произрастать на одной территории и обладать высокой биологической продуктивностью, что необходимо для успешного ведения кормопроизводства [14–16]. Результаты исследований биологической продуктивности растений *S. officinale* двухлетнего и шестилетнего возраста приведены в табл. 1.

Таблица 1
Биологическая продуктивность органов растений разного возраста

Возраст, лет	Масса растения (возд.-сух.), г	Масса вегетативных и генеративных органов (возд.-сух.), г					
		стебель		лист		соцветие	
		г	%	г	%	г	%
2	119,7 ± 2,5	25,7 ± 0,9	21,5 ± 0,8	60,0 ± 1,0	50,1 ± 0,8	34,0 ± 0,6	28,4 ± 0,5
6	1174,1 ± 3,0	362,0 ± 1,2	30,8 ± 0,1	722,0 ± 0,8	61,5 ± 0,1	90,1 ± 1,0	7,7 ± 0,1

У двулетних растений *S. officinale* преобладает масса листьев – 60 г, масса стеблей составляет 25,7 г, масса соцветий – 43 г. По сравнению с двулетними, у шестилетних растений масса стеблей увеличивается в 14 раз (до 362 г), листьев – более чем в 12 раз (до 722 г), масса соцветий возрастает более чем в 2 раза (до 90,1 г). Таким образом, *S. officinale* отличается высокой биологической продуктивностью как надземной массы (1174,1 г), так и корней (до 8 кг у генеративных растений [15]).

Заключение

В условиях культуры Приангарья *S. officinale* успешно проходит все стадии развития, цветет, образует плоды и семена. В результате 7-летних исследований вид прошел семь возрастных состояний от проростков до старых генеративных особей.

S. officinale является перспективным видом для выращивания в условиях культуры Приангарья, обладает рядом преимуществ для кормопроизводства (быстрыми темпами роста и развития, за сезон вегетации у вида наблю-

дается две генерации побегов, растение обладает хорошей отавностью и способностью образовывать большое количество придаточных почек и побегов, отсутствием характерных признаков быстрого биологического старения, самоомоложением, вегетативным и семенным размножением, высокой продуктивностью стеблей (362 г), листьев (722 г), корней (до 8 кг) и может быть рекомендован в качестве лекарственного и кормового растения для птицеводства и свиноводства.

Список литературы

1. Чепинога В. В. Конспект флоры Иркутской области (сосудистые растения). Иркутск : Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2008. 327 с.
2. Медведев П. Ф., Сметанникова А. И. Кормовые растения Европейской части СССР : справочник. Л. : Колос. Ленингр. отд-ние, 1981. 336 с.
3. Le V., Ivanova S., Dyshlyuk L. [et al.]. Phytochemical analysis of *Symphytum officinale* root culture extract // *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021. Т. 11, № 10.
4. Yunusova S. G., Yunusov M. S., Lyashenko S. S. [et al.]. Lipids and lipophilic constituents of Comfrey (*Symphytum officinale* L.) // *Seeds Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2017. Т. 50, № 11. P. 728–731.
5. Ларин И. В. Кормовые растения сенокосов и пастбищ. М.-Л. : Сельхозгиз, 1953. 701 с.
6. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах. М.-Л., 1950. Вып. 6. 204 с.
7. Работнов Т. А. Определение возрастного состава популяций видов в сообществе. М.-Л. : Наука, 1964. 144 с.
8. Уранов А. А. Большой жизненный цикл и возрастной спектр ценопопуляций цветковых растений. Киев : Всесоюз. бот. об-во, 1973. 36 с.
9. Нухимовский Е. Л. Основы биоморфологии семенных растений: Габитус и формы роста в организации биоморф. М. : Оверлей, 2002. Т. 2. 859 с.
10. Имыкшенова В. В., Лукина И. А. Ценопопуляционная структура окопника лекарственного // *Актуальные вопросы аграрной науки*. 2013. № 6. С. 5–9.
11. Асташенков А. Ю., Черемушкина В. А., Курочкина Н. Ю. Особенности онтогенеза и побегообразования эндемика Центральной Азии *NEPETA FORMOSA* KUDR. (LAMIACEAE) // *Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки*. 2019. № 3. С. 24–33.
12. Лукина И. А., Тунгрикова В. В. Отавность окопника лекарственного *Symphytum officinale* L. в условиях Приангарья // *Вестник ИрГСХА*. 2016. № 73. С. 14–18.
13. Плохинский Н. А. Биометрия. М. : Изд-во Москов. ун-та, 1970. 368 с.
14. Беркин Н. С., Филиппова С. А., Бояркин В. М. [и др.]. Иркутская область (природные условия административных районов). Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1993. 304 с.
15. Тунгрикова В. В., Филиппова Т. А. Периоды и онтогенетические состояния популяции *Symphytum officinale* L. в условиях Приангарья // *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2019. № 1. С. 47–50.
16. Khudonogova E., Tretyakova S., Mikhlyeva A. [et al.]. Ecological features of useful plants in natural populations of the western Baikal region // *19th International scientific geoconference SGEM 2019*. 2019. P. 301–306.

References

1. Chepinoga V.V. *Konspekt flory Irkutskoy oblasti (sosudistye rasteniya) = Synopsis of the flora of the Irkutsk region (vascular plants)*. Irkutsk: Izd-vo Irkut. gos. un-ta, 2008:327. (In Russ.)

2. Medvedev P.F., Smetannikova A.I. *Kormovye rasteniya Evropeyskoy chasti SSSR: spravochnik = Feed plants in the European part of the USSR: reference book*. Leningrad: Kolos. Leningr. otd-nie, 1981:336. (In Russ.)
3. Le V., Ivanova S., Dyshlyuk L. et al. Phytochemical analysis of *Symphytum officinale* root culture extract. *Applied Sciences (Switzerland)*. 2021;11(10).
4. Yunusova S.G., Yunusov M.S., Lyashenko S.S. et al. Lipids and lipophilic constituents of Comfrey (*Symphytum officinale* L.). *Seeds Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2017;50(11):728–731.
5. Larin I.V. *Kormovye rasteniya senokosov i pastbishch = Fodder plants of hayfields and pastures*. Moscow-Leningrad: Sel'khozgiz, 1953:701. (In Russ.)
6. Rabotnov T.A. *Zhiznennyy tsikl mnogoletnikh travyanistykh rasteniy v lugovykh tsenozakh = Life cycle of perennial herbaceous plants in meadow cenoses*. Moscow-Leningrad, 1950;(6):204. (In Russ.)
7. Rabotnov T.A. *Opreделение vozrastnogo sostava populyatsiy vidov v soobshchestve = Determination of the age composition of population populations in the community*. Moscow-Leningrad: Nauka, 1964:144. (In Russ.)
8. Uranov A.A. *Bol'shoy zhiznennyy tsikl i vozrastnoy spektr tsenopopulyatsiy tsvetkovykh rasteniy = Determination of the age composition of population populations in the community*. Kiev: Vsesoyuz. bot. ob-vo, 1973:36. (In Russ.)
9. Nukhimovskiy E.L. *Osnovy biomorfologii semennykh rasteniy: Gabitus i formy rosta v organizatsii biomorf = Fundamentals of biomorphology of seminal plants: gabitus and growth forms in the organization of biomorph*. Moscow: Overley, 2002;2:859. (In Russ.)
10. Imykshenova V.V., Lukina I.A. Cenopopulation structure of comfrey officinalis. *Aktual'nye voprosy agrarnoy nauki = Actual issues of agrarian science*. 2013;(6):5–9. (In Russ.)
11. Astashenkov A.Yu., Cheremushkina V.A., Kurochkina N.Yu. Features of ontogenesis and shoot formation of the endemic of Central Asia NEPETA FORMOSA KUDR. (LAMIACEAE). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences*. 2019;(3):24–33. (In Russ.)
12. Lukina I.A., Tungrikova V.V. The growth of comfrey *Symphytum officinale* L. in the conditions of the Angara region. *Vestnik IrGSKhA = Bulletin of Irkutsk State Agricultural Academy*. 2016;(73):14–18. (In Russ.)
13. Plokhinskiy N.A. *Biometriya = Biometrics*. Moscow: Izd-vo Moskov. un-ta, 1970:368. (In Russ.)
14. Berkin N.S., Filippova S.A., Boyarkin V.M. et al. *Irkutskaya oblast' (prirodnye usloviya administrativnykh rayonov) = Irkutsk region (natural conditions of administrative areas)*. Irkutsk: Izd-vo Irkut. un-ta, 1993:304. (In Russ.)
15. Tungrikova V.V., Filippova T.A. Periods and ontogenetic states of *Symphytum officinale* L. in the conditions of the Angara region. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Bashkir State Agrarian University*. 2019;(1):47–50. (In Russ.)
16. Khudonogova E., Tretyakova S., Mikhlyaeva A. et al. Ecological features of useful plants in natural populations of the western Baikal region. *19th International scientific geoconference SGEM 2019*. 2019:301–306.

Информация об авторах / Information about the authors

Валерия Владиславовна Тунгрикова
аспирант, Иркутский государственный
аграрный университет имени
А. А. Ежевского (Россия, Иркутская
область, п. Молодежный)

Valeriya V. Tungrikova
Postgraduate student, Irkutsk State
Agrarian University named after
A.A. Ezhevsky (Molodezhny village,
Irkutsk region, Russia)

E-mail: vtungrikova@bk.ru

Елена Геннадьевна Худоногова

доктор биологических наук, доцент,
заведующий кафедрой ботаники,
плодоводства и ландшафтной
архитектуры, Иркутский
государственный аграрный
университет имени А. А. Ежевского
(Россия, Иркутская область,
п. Молодежный)

E-mail: doky2015@yandex.ru

Elena G. Khudonogova

Doctor of biological sciences, associate
professor, head of the sub-department
of botany, fruit growing and landscape
architecture, Irkutsk State Agrarian
University named after A.A. Ezhevsky
(Molodezhny village,
Irkutsk region, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 14.10.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 11.11.2022

Принята к публикации / Accepted 28.11.2022

УДК 582.623.2 + 57.034
doi:10.21685/2307-9150-2022-4-6

Дискретность развития побегов в клонах *Salix gmelinii* Pall. (Salicaceae Mirb.)

А. А. Афонин

Брянский государственный университет
имени академика И. Г. Петровского, Брянск, Россия
afonin.salix@gmail.com

Аннотация. *Актуальность и цели.* Ива шерстистопобеговая – *Salix gmelinii* – высокопродуктивный вид ив, который используется для создания сырьевых плантаций. Высокая продуктивность этого вида обусловлена способностью образовывать мощные однолетние побеги. *Цель* – структурный анализ сезонного прироста побегов *S. gmelinii* в культуре. *Материалы и методы.* Объект – модельная инбредно-клоновая популяция. Материал – растущие однолетние побеги. Для получения и обработки исходных данных применяли комплекс методов экспериментальной ботаники, хронобиологии, анализа рядов динамики. *Результаты.* В условиях данного эксперимента длина годовых побегов изменялась в широких пределах: от 34 до 252 см. Выявлена дискретность распределения побегов по их годовому приросту. Установленная дискретность развития побегов обусловлена разными сроками завершения роста. Дискретность сроков завершения роста связана с циклическим чередованием пиков и провалов суточного прироста побегов. Цикличность суточного прироста определяется инфрадианными ритмами с периодом 14, 18 и 27 сут, а также субаннуальными ритмами с периодом 54 сут. Выявлено шесть типов развития побегов, которые различаются по продолжительности роста. *Выводы.* Дискретность развития побегов определяется циклическостью сезонной динамики суточного прироста. Цикличность сезонной динамики суточного прироста побегов определяется взаимодействием биоритмов с разными периодами колебаний. В большинстве случаев различия в сезонной динамике нарастания побегов обусловлены внутриклоновой изменчивостью. Отдельные клоны характеризуются высоким годовым приростом побегов независимо от других факторов. Для обеспечения высоких показателей годового прироста побегов необходимо создавать благоприятные условия для их развития в первой половине вегетационного периода. Полученные результаты рекомендуется использовать в селекции *S. gmelinii* на высокую и стабильную продуктивность, а также при планировании, создании и эксплуатации культур.

Ключевые слова: ива шерстистопобеговая, *Salix gmelinii*, однолетние побеги, суточный прирост, сезонная динамика, цикличность развития, дискретность развития, субаннуальные биоритмы, инфрадианные биоритмы

Для цитирования: Афонин А. А. Дискретность развития побегов в клонах *Salix gmelinii* Pall. (Salicaceae Mirb.) // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 55–67. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-6

Discreteness of shoots development in clones *Salix gmelinii* Pall. (Salicaceae Mirb.)

A.A. Afonin

Bryansk State University named after Academician I.G. Petrovsky, Bryansk, Russia
afonin.salix@gmail.com

© Афонин А. А., 2022. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Abstract. *Background.* Woolly-twigged willow – *Salix gmelinii* – a highly productive type of willow that is used to create raw material plantations. The high productivity of this species is due to the ability to form powerful annual shoots. Purpose of research: structural analysis of seasonal growth of *S. gmelinii* shoots in culture. *Materials and methods.* Object: model inbred-clone population. Material: increasing annual shoots. To obtain and process the initial data, a set of methods of experimental botany, chronobiology, and analysis of time series was used. *Results.* Under the conditions of this experiment, the length of annual shoots varied widely: from 34 to 252 cm. The discreteness of the distribution of shoots by their annual increment is revealed. The established discreteness of the development of shoots is due to different terms for the completion of growth. The discreteness of the growth completion dates is associated with the cyclic alternation of peaks and dips in the daily increment of shoots. The cyclicity of the daily increase is determined by infradian rhythms with a period of 14, 18 and 27 days, as well as subannual rhythms with a period of 54 days. Six types of shoot development were identified, which differ in the duration of growth. *Conclusions.* The discreteness of the development of shoots is determined by the cyclical seasonal dynamics of daily increment. The cyclical nature of the seasonal dynamics of the daily increment of shoots is determined by the interaction of biorhythms with different periods of fluctuations. In most cases, differences in the seasonal dynamics of shoot growth are due to intra-clonal variability. Some clones are characterized by high annual growth of shoots, regardless of other factors. To ensure high annual growth rates of shoots, it is necessary to create favorable conditions for their development in the first half of the vegetation period. The obtained results are recommended to be used in the selection of *S. gmelinii* for high and stable productivity, as well as in the planning, creation and operation of crops.

Keywords: woolly-twigged willow, *Salix gmelinii*, annual shoots, daily increment, seasonal dynamics, cyclical development, discreteness development, subannual biorhythms, infradian biorhythms

For citation: Afonin A.A. Discreteness of shoots development in clones *Salix gmelinii* Pall. (Salicaceae Mirb.). *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennyye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(4):55–67. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-6

Ивы (*Salix* L.) – широко известные деревья и кустарники средней полосы России [1]. По современным представлениям, общее число видов *Salix* варьируется от 330–350 [1] до 450 [2] и более [3]. Кроме того, известно не менее 200 гибридов *Salix* [4]. Многие виды *Salix* имеют важное практическое значение благодаря высокой продуктивности, способности к аутовегетативному размножению, неприхотливости и другим ценным качествам [5]. Это позволяет выращивать их в виде сырьевых культур с коротким оборотом срезки наземной биомассы (*short rotation coppice – SRC*) [6, 7]. Плантации *SRC* создаются как источник биотоплива, дешевой древесины и разнообразных видов сырья [8, 9]. Кустарниковые ивы традиционно используются как источник прута для различных видов плетения [10]. Кроме того, ивы используются для широкого спектра экологических проектов: для закрепления берегов водоемов [11], для фиторемедиационного восстановления почв [12], для очистки сточных вод и осушения заболоченных земель [13], для создания лесопастбищных агроэкосистем [14] и зеленых коридоров [15].

Ива шерстистопобеговая – *Salix gmelinii* Pall. 1849 – широко известный представитель кустарниковых ив Старого Света с обширным ареалом евроазиатского бореального типа [1]. Ранее нами было высказано предположение о том [16], что таксон *S. gmelinii* включает популяции с разным уровнем пло-

идности: диплоиды ($2n = 38$), тетраплоиды ($2n = 76$), гексаплоиды ($2n = 114$), что, так или иначе, подтверждается данными других авторов [17–20]. Полиплоидия в популяциях ивы связана, главным образом, с гибридизацией [21]. Таким образом, материал для исследования *S. gmelinii* должен быть привязан к определенным частям ареала и должен быть генетически однородным.

Ива шерстистопобеговая широко используется в программах плантационного выращивания благодаря своей высокой продуктивности, обусловленной способностью образовывать мощные однолетние побеги [22]. Ранее нами была описана ритмы развития побегов ивы шерстистопобеговой на фоне дефицита осадков [23]. Известно, что ритм роста побегов древесных растений складывается из целой серии разных ритмов [24]. Однако вклад этих ритмов в динамику развития побегов изучен недостаточно.

Цель данного исследования – структурный анализ сезонного прироста побегов *S. gmelinii* в культуре.

Материал и методы

Место и условия проведения исследований. Исследования проводили вблизи южной границы естественного ареала *S. gmelinii* в почвенно-климатических условиях Брянского округа зоны широколиственных лесов (район хвойно-широколиственных (смешанных) лесов Европейской части РФ). Координаты опытного участка $53^{\circ}16'23.50''$ с.ш., $34^{\circ}21'11.50''$ в.д. Тип почв: серые лесные на лёссовидном суглинке с меловыми подстилающими породами. Тип лесорастительных условий (ТЛУ): D3 (вблизи аутоэкологического оптимума *S. gmelinii*). Исследования проводили в течение вегетационного периода 2019 г., агрометеорологические условия которого описаны нами ранее [23].

Материал для исследования – нарастающие однолетние побеги *S. gmelinii*.

Объект исследования – генетически выравненная модельная инбредно-клоновая популяция *S. gmelinii*, созданная на основе семьи, полученной в культуре путем семенной репродукции на протяжении трех поколений. Генеалогия и история создания данной семьи изложены нами ранее [25].

Для создания модельной популяции весной 2018 г. высокопродуктивные генеты исследуемой семьи были расчеренкованы. Схема посадки линейно-треугольная. Расстояние между посадочными местами – 1 м. В 2019 г. модельная популяция состояла из восьми клонов, каждый клон был представлен тремя черенковыми саженцами (раметами). Каждая ракета (куст) формировалась в два побега на одном низком штамбе. Все изучаемые клоны были пронумерованы: *da 1...da 8*. В пределах каждого клона были пронумерованы раметы (например, *da 11, da 12, da 13*). На каждой рамете (т.е. на каждом штамбе) были пронумерованы побеги (например, *da 111, da 112*). Такой дизайн эксперимента позволил проанализировать три уровня изменчивости: межклоновый (фактор клона), внутрикловый (фактор ракеты) и межпобеговый (фактор побега).

Получение исходных данных. Все даты (9 в формате *число.месяц*), в которые проводились наблюдения, пронумеровали в соответствии с днями вегетационного периода t (1, 5, 9... t_i). Каждому наблюдению присвоили порядковый номер k (1, 2, 3... k_i). Начиная с 01.05 каждые четверо суток измеряли

длину побегов: L , см (всего выполнено 927 измерений). Наблюдения завершились после прекращения роста побегов с отмиранием точки роста и формированием верхней замещающей почки.

Анализ данных. Для выявления и анализа закономерностей сезонной динамики суточного прироста побегов использовался следующий алгоритм:

1. Вычисление текущего прироста побегов $-\Delta L$, см/сут – для каждого дня вегетационного периода t в интервале $t_{k-1} \dots t_{k+1}$ по формуле

$$\Delta L_t = \frac{L_{k+1} - L_{k-1}}{t_{k+1} - t_{k-1}}, \quad (1)$$

где ΔL_t (см/сут) – текущий суточный прирост побега в интервале между предыдущим и последующим наблюдениями; L_{k-1} и L_{k+1} – длина побега (см) в предыдущем и последующем наблюдении; t_{k-1} и t_{k+1} – предыдущий и последующий пронумерованный день.

В итоге были получены эмпирические траектории суточного прироста побегов $\Delta L(t)$, выровненные методом скользящего интервала продолжительностью 8 сут с шагом (скольжением) 4 сут. На основании сравнительного анализа полученных рядов $\Delta L(t)$ была произведена группировка побегов по их длине и продолжительности роста.

2. Аппроксимация сезонных трендов динамики $-\Delta L(t)_{\text{trend}}$ – с помощью уравнений регрессии третьего порядка или полиномов третьей степени:

$$\Delta L(t)_{\text{trend}} = at^3 + bt^2 + ct + d, \quad (2)$$

где $\Delta L(t)_{\text{trend}}$ – нелинейный сезонный тренд динамики суточного прироста побегов; a, b, c, d – эмпирические коэффициенты; t – пронумерованный день; надежность аппроксимации оценивали с помощью коэффициента детерминации R^2 .

3. Вычисление отклонений динамики суточного прироста побегов от нелинейной регрессии $-dL(t)$ – для каждого пронумерованного дня t :

$$dL(t) = \Delta L(t) - \Delta L(t)_{\text{trend}}, \quad (3)$$

где $\Delta L(t)$ – эмпирические ряды сезонной динамики суточного прироста побегов; $\Delta L(t)_{\text{trend}}$ – нелинейные сезонные тренды суточного прироста побегов.

4. Вычисление средних рядов $-dL(t)_{\text{av}}$ – для каждой группы побегов по формуле

$$dL(t)_{\text{av}} = \sum_{i=1}^n dL(t)_i / n, \quad (4)$$

где $dL(t)_i$ – ряды отклонений фактической динамики суточного прироста побегов от нелинейной регрессии для каждого побега группы; n – число побегов в группе.

5. Аппроксимация средних рядов $dL(t)_{\text{av}}$ суммами гармонических колебаний (гармоник) с порядковым номером v :

$$dL(t)_{\text{calc}} = \sum_{v=1}^{\infty} A_v \sin\left(v2\pi \frac{t}{T} + \varphi_v\right), \quad (5)$$

где $dL(t)_{\text{calc}}$ – вычисленное отклонение текущего суточного прироста побегов от нелинейной регрессии; v – порядковый номер гармоники; A_v – амплитуда колебания; t – пронумерованные дни вегетационного периода; T – основной период колебаний; φ_v – смещение начальной фазы от 0 до 2π .

Смещение начальной фазы переводили в абсолютные единицы t (сут). Достоверность аппроксимации эмпирических рядов $dL(t)$ суммами гармоник определяли, используя F -критерий Фишера и коэффициент детерминации R^2 .

6. Вычисление вклада каждой гармоники v в сезонную динамику отклонений dL как отношение факториальной суммы квадратов отклонений к общей сумме квадратов отклонений:

$$H_v^2 = D_v^2 / \sum_{v=i}^{\infty} D_i^2, \quad (6)$$

где H_v^2 – вклад гармоники v ; D_v^2 – сумма квадратов отклонений фактических значений dL от значений, рассчитанных по уравнению гармоники; D_i^2 – общая сумма квадратов отклонений от нелинейной регрессии.

Для построения окончательных диаграмм (графиков) порядковые дни вегетационного периода t вновь преобразовывались в даты ϑ (формат *день.месяц*).

Результаты

В течение периода наблюдений большинство побегов нормально закончили свое развитие с отмиранием точек роста верхушечных почек и образованием на вершине замещающих почек (верхних боковых). Часть побегов была исключена из выборки по различным причинам (очень слабый или исключительно сильный прирост, отмирание точки роста с последующим развитием замещающих побегов). Для анализа использовались ряды $\Delta L(t)$ в интервале дат ϑ с 13.05 по 21.08.

Эмпирические траектории $\Delta L(t)$ характеризуются чередованием пиков и провалов ΔL . Таким образом, сезонная динамика суточного прироста побегов носит циклический характер. На основании сравнительного анализа эмпирических рядов $\Delta L(t)$ исследуемые побеги были распределены по шести группам. Эти группы отличаются по срокам завершения роста побегов и по их длине. Кроме того, каждой группе побегов присуща собственная ритмика, а именно, количество чередующихся пиков и провалов ΔL . Таким образом, каждая из выделенных групп побегов характеризуется собственным типом биологических ритмов – биоритмотипом. Номер биоритмотипа соответствует числу пиков ΔL .

Распределение исследованных побегов по биоритмотипам показано в табл. 1.

В большинстве случаев принадлежность побегов к тому или иному биоритмотипу определяется внутриклоновой изменчивостью (различиями между ракетами одной генеты). При этом ракета одного клона могут принадлежать либо смежным (клон *da1*), либо разнесенным биоритмотипам (клоны *da2*, *da3*). Как исключение, все побеги одного клона могут принадлежать одному биоритмотипу (клон *da4*). На всех ракетах клонов *da1* и *da5* все побеги продолжили свой рост во второй половине лета.

Таблица 1

Распределение исследованных побегов по биоритмотипам

Показатели роста побегов	Биоритмотипы					
	I	II	III	IV	V	VI
даты завершения роста (от – до)	29.05 – – 6.06	26.06 – – 22.06	10.06 – – 4.07	28.07 – – 24.08	24.07 – – 1.08	28.07 – – 21.08
длина побегов, см (от – до)	34 – – 58	63 – – 77	88 – – 116	122 – – 163	109 – – 168	151 – – 252
число побегов	9	4	6	6	9	7
Клоны	Номера побегов (клон, рамета, побег)					
<i>da 1</i>	–	–	–	–	<i>da 121</i>	<i>da 111</i>
	–	–	–	–	<i>da 122</i>	<i>da 112</i>
	–	–	–	–	<i>da 131</i>	–
	–	–	–	–	<i>da 132</i>	–
<i>da 2</i>	<i>da 221</i>	–	<i>da 231</i>	–	–	<i>da 211</i>
	<i>da 222</i>	–	<i>da 232</i>	–	–	<i>da 212</i>
<i>da 3</i>	–	<i>da 331</i>	<i>da 321</i>	–	<i>da 311</i>	–
	–	<i>da 332</i>	<i>da 322</i>	–	<i>da 312</i>	–
<i>da 4</i>	<i>da 411</i>	–	–	–	–	–
	<i>da 412</i>	–	–	–	–	–
	<i>da 421</i>	–	–	–	–	–
	<i>da 422</i>	–	–	–	–	–
	<i>da 431</i>	–	–	–	–	–
<i>da 5</i>	<i>da 432</i>	–	–	–	–	–
	–	–	–	<i>da 511</i>	<i>da 532</i>	<i>da 531</i>
	–	–	–	<i>da 512</i>	–	–
	–	–	–	<i>da 521</i>	–	–
	–	–	–	<i>da 522</i>	–	–
	–	–	–	–	–	–
<i>da 6</i>	–	–	<i>da 631</i>	<i>da 621</i>	<i>da 622</i>	<i>da 612</i>
	–	–	<i>da 632</i>	–	–	–
<i>da 7</i>	–	<i>da 711</i>	–	–	–	–
	–	<i>da 712</i>	–	–	–	–
<i>da 8</i>	<i>da 832</i>	–	–	<i>da 812</i>	<i>da 811</i>	<i>da 821</i>

В то же время принадлежность к тому или иному биоритмотипу может определяться межпобеговой изменчивостью (различиями между побегами одной раметы). Кроме того, принадлежность побегов к тому или иному биоритмотипу может определяться и внутриклоновой, и межпобеговой изменчивостью (клоны *da5*, *da6*). И наконец, нельзя исключить влияние фактора клона на принадлежность к тому или иному биоритмотипу, отчетливо видимых в паре клонов *da1* и *da4*.

Для каждого биоритмотипа был вычислен средний ряд динамики суточного прироста побегов – $\Delta L(t)_{\text{mean}}$. Сезонные тренды этих рядов были аппроксимированы полиномами третьей степени с высокой надежностью: для биоритмотипов I, II, III $R^2 = 0,928...0,971$, для биоритмотипов IV, V, VI $R^2 = 0,663...0,848$. Графики вычисленных нелинейных сезонных трендов представляют собой выпуклые одновершинные асимметричные параболы с максимумами в интервале дат 17.05...29.05, после чего ΔL постепенно снижается.

Далее были вычислены ряды отклонений суточного прироста от нелинейных трендов биоритмотипов – $dL(t)$. Пронумерованные дни t были преобразованы в даты ϑ . Траектории $dL(\vartheta)$ показаны на рис. 1.

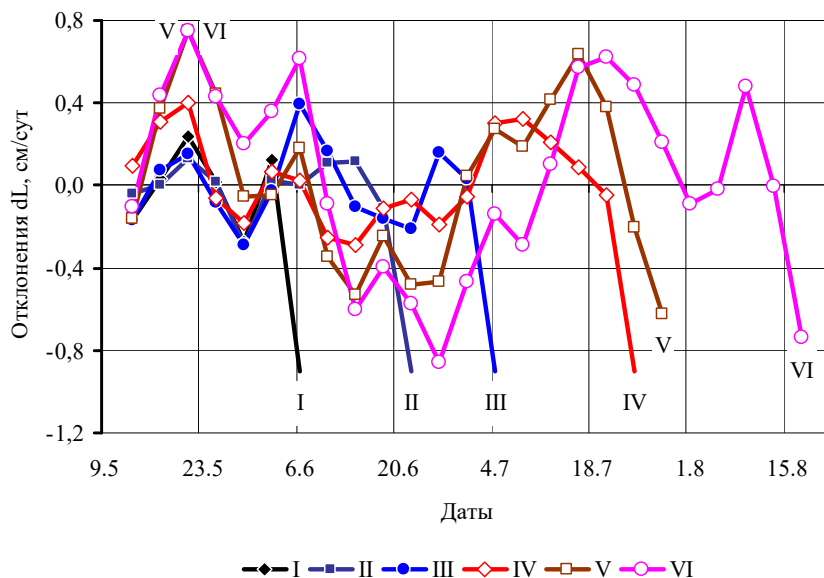


Рис. 1. Траектории отклонений средних рядов динамики суточного прироста от нелинейных трендов. В легенде указаны обозначения биоритмотипов. Особые точки траекторий подписаны

Сезонная динамика отклонений средних рядов динамики суточного прироста от нелинейных трендов носит циклический характер, обусловленный правильным чередованием на графиках восходящих и нисходящих ветвей траекторий $dL(\vartheta)$. Восходящие ветви завершаются пиками (локальными максимумами), нисходящие – провалами (локальными минимумами). Для всех биоритмотипов выявлены весенне-летние пики dL (21.05 и 6.06). При этом первые пики dL полностью синхронизированы, а значения dL у биоритмотипов V и VI полностью совпадают. Дополнительно для биоритмотипов IV, V, VI выявлены позднелетние пики dL . На побегах биоритмотипов IV, V, VI весенне-летние и позднелетние максимумы dL разделены среднелетним минимумом (14–26.06). Кроме того, для всех биоритмотипов выявлен слабо выраженный пик в самом начале вегетации (5...9.05), который на диаграмме (рис. 1) не показан и в дальнейшем анализе не учитывался. Количество выявленных пиков (без учета самого раннего) соответствует номеру биоритмотипа. На побегах биоритмотипов I, II, III интервал между пиками составил 16...20 сут, а на побегах биоритмотипов IV, V, VI – 12...16 (24) сут.

Для гармонического (амплитудно-частотного) анализа даты ϑ были вновь преобразованы в пронумерованные дни t . Полученные ряды $dL(t)$ были аппроксимированы суммами гармоник с исключительно высокой надежностью: $R^2 = 0,945...0,997$, $F = 18,2...361,5$ ($P < 0,001$). Результаты гармонического анализа сезонной динамики $dL(t)$ приведены в табл. 2.

В целом цикличность сезонной динамики отклонений $dL(t)$ определяется инфрадианными (многодневными) ритмами с периодом 14, 18 и 27 сут, а

также субаннуальными (субсезонными) ритмами с периодом 54 сут. При этом периоды 18, 27 и 54 сут кратны 9, а периоды 14 и 27 сут примерно кратны 7. В составе разных биоритмотипов (I, IV, V, VI) ритмы с периодом 14 сут в высшей степени синхронизированы: разность фаз менее 1 сут. Остальные ритмы (с периодом 18, 27 и 54 сут) в составе разных биоритмотипов менее синхронизированы: разность фаз составляет примерно 4...10 сут.

Таблица 2

Гармоническая структура биоритмотипов

Биоритмотипы	Параметры гармоник	Периоды гармонических колебаний, сут					
		54	27	22	18	14	12
I	A	–	–	0,07	0,20	0,10	–
	t , сут	–	–	15	2	8	–
	H^2	–	–	0,11	0,83	0,21	–
II	A	–	0,1	–	0,08	–	0,1
	t , сут	–	19	–	0	–	6
	H^2	–	0,33	–	0,25	–	0,37
III	A	–	0,12	–	0,2	–	–
	t , сут	–	21	–	2	–	–
	H^2	–	0,23	–	0,66	–	–
IV	A	0,20	0,12	–	0,12	0,12	0,10
	t , сут	50	18	–	6	7	7
	H^2	0,34	0,14	–	0,14	0,14	0,10
V	A	0,45	0,14	–	–	0,15	–
	t , сут	46	13	–	–	7	–
	H^2	0,58	0,07	–	–	0,08	–
VI	A	0,55	0,13	0,20	–	0,20	–
	t , сут	40	14	11	–	8	–
	H^2	0,72	0,04	0,09	–	0,09	–
–	A_{cp}	0,40	0,12	0,14	0,15	0,14	0,10

Примечание. A – амплитуды гармоник для каждого биоритмотипа, A_{cp} – средние амплитуды гармоник, t – смещения начальных фаз гармоник на ранние сроки (сут), H^2 – сила влияния гармоник на цикличность сезонной динамики отклонений суточного прироста побегов от нелинейных сезонных трендов.

Для побегов, отнесенных к биоритмотипам I, II, III и IV, цикличность сезонной динамики отклонений $dL(t)$ определяется инфрадианными ритмами с периодом 18 сут, которые дополняются либо ритмами с периодом 27 сут (для биоритмотипов II, III и IV), либо 22 сут (для биоритмотипа I). Для побегов, отнесенных к биоритмотипам IV, V и VI, цикличность сезонной динамики отклонений $dL(t)$ определяется субаннуальными ритмами с периодом 54 сут, которые дополняются инфрадианными ритмами с периодом 14 и 27 сут.

Отчетливо выраженным весенне-летним пикам dL (21.05 и 6.06), выявленным у всех биоритмотипов, соответствует высшая степень синхронизации биоритмов с периодами 14 и 18 сут. Позднелетняя динамика $dL(t)$, выявленная у биоритмотипов IV, V и VI, определяется синхронизацией биоритмов с периодом 27 и 14 сут: в синфазе возникает пик 16.07, а в противофазе выпадает ожидаемый пик 1.08. В структуре биоритмотипа VI значительную роль играет взаимодействие биоритмов с периодами 14 и 22 сут: положительной

синхронизацией этих биоритмов обусловлен самый поздний пик 9.08, а также раннелетний пик 6.06.

Обсуждение

В изученной модельной популяции *S. gmelinii* годичный прирост побегов охарактеризовался высоким размахом изменчивости: от 34...58 см до 151...252 см. Одной из причин столь высокой изменчивости длины побегов является разная продолжительность их роста, которая носит дискретный характер. Дискретность продолжительности роста побегов определяется ритмичностью отклонений суточного прироста побегов от нелинейных сезонных трендов. Структуру сезонного прироста побегов определяют два типа биоритмов: субаннуальные (субсезонные) и инфрадианные (многодневные).

Дискретность продолжительности роста побегов определяется, прежде всего, субаннуальными биоритмами с периодом 54 сут, которые отражают наличие двух периодов интенсивного роста: ранне- и позднелетнего. У наиболее слабых побегов (с годичным приростом менее 100 см) выявлен только первый период, и к середине лета эти побеги прекращают свое развитие. У более сильных побегов (с годичным приростом более 100 см) после прохождения среднелетнего минимума вновь наступает период интенсивного роста, который завершается в конце лета. Наличие или отсутствие второго субаннуального периода может определяться как межклоновыми, так и внутрикловыми различиями.

В пределах субаннуальных периодов также выявлена дискретность продолжительности роста побегов, обусловленная инфрадианными биоритмами с периодом 14, 18 и 27 сут. При этом биоритмы с периодом 14 сут в наибольшей степени отражают дискретность развития побегов в изученной модельной популяции. 14-суточные биоритмы в высшей степени синхронизированы в разных группах побегов независимо от фактора клона.

Можно предположить, что дискретность продолжительности роста побегов определяется физиологическими процессами, регулируемыми перераспределением ассимилятов на уровне целостного растения, что не исключает регуляцию на уровне отдельных побегов [24]. Восходящим ветвям траекторий прироста побегов соответствует направление ассимилятов на рост побегов в длину и создание энергетических запасов, нисходящим – расходование ассимилятов на иные ростовые процессы. При достаточных энергетических запасах побеги возобновляют свой рост, при недостаточных – прекращают. На уровне субаннуальных ритмов побеги с интенсивным приростом в первой половине лета способны перейти к позднелетнему приросту после прохождения среднелетнего минимума. Побеги с менее интенсивным раннелетним приростом не способны пройти среднелетний минимум и преждевременно прекращают свое развитие. Подобная регуляция возможна и на уровне инфрадианных ритмов, что и обуславливает дискретность продолжительности роста побегов в течение всего вегетационного периода.

Заключение

1. Изменчивость годичного прироста и продолжительности роста побегов в клонах *S. gmelinii* носит дискретный характер. Дискретность развития побегов определяется цикличностью сезонной динамики суточного прироста.

2. Цикличность сезонной динамики суточного прироста побегов определяется взаимодействием биоритмов с разными периодами колебаний: субаннуальными с периодом 54 сут и инфрадианными с периодами 14...27 сут.

3. В большинстве случаев различия в сезонной динамике нарастания побегов обусловлены внутриклоновой изменчивостью. Данный факт рекомендуется учитывать при селекции *S. gmelinii* на высокую и стабильную продуктивность, а также при планировании, создании и эксплуатации культур.

4. Для обеспечения высоких показателей годового прироста побегов рекомендуется создавать благоприятные условия для их развития в первой половине вегетационного периода.

5. На генетически выравненном материале выявлены отдельные клоны с высоким годовым приростом побегов независимо от фактора раметы и фактора побега. Подобные клоны рекомендуется использовать в селекции *S. gmelinii* на высокую продуктивность по длине годовых побегов.

Список литературы

1. Skvortsov A. K. Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision. Joensuu : University of Joensuu, 1999. 307 p.
2. Argus G. W. Infrageneric classification of *Salix* (Salicaceae) in the New World // Systematic Botany Monographs. 1997. Vol. 52. P. 1–21.
3. Fang C.-F. On the distribution and origin of *Salix* in the world // Journal of Systematics and Evolution. 1987. Vol. 25. P. 307–313.
4. Wu J., Nyman T., Wang D.-C. [et al.]. Phylogeny of *Salix* subgenus *Salix* s.l. (Salicaceae): delimitation, biogeography, and reticulate evolution // BMC Evolutionary Biology. 2015. Vol. 15. P. 31. doi:10.1186/s12862-015-0311-7
5. Епанчинцева О. В., Тишкина Е. А., Монтиле А. А. Опыт выращивания ив в различных почвенно-гидрологических условиях // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021. № 6. С. 118–123. doi:10.37670/2073-0853-2021-92-6-118-123
6. Dillen M., Vanhellemont M., Verdonck P. [et al.]. Productivity, stand dynamics and the selection effect in a mixed willow clone short rotation coppice plantation // Biomass and Bioenergy. 2016. Vol. 87. P. 46–54. doi:10.1016/j.biombioe.2016.02.013
7. Fabio E. S., Leary C. J., Smart L. B. Tolerance of novel inter-specific shrub willow hybrids to water stress // Trees. 2019. Vol. 33. P. 1015–1026. doi:10.1007/s00468-019-01835-4
8. Karp A. Willows as a source of renewable fuels and diverse products // Challenges and opportunities for the world's forests in the 21st century / T. Fenning (eds). 2014. Vol. 81. P. 617–641. doi:10.1007/978-94-007-7076-8_27
9. Cunniff J., Purdy S. J., Barraclough T. J. [et al.]. High yielding biomass genotypes of willow (*Salix* spp.) show differences in below ground biomass allocation // Biomass and Bioenergy. 2015. Vol. 80. P. 114–127. doi:10.1016/j.biombioe.2015.04.020
10. Rather T. A., Qaisar K. N., Raja T. A., Khan M. A. Growth and productivity of wicker willow (*Salix triandra* L.) plantation in Kashmir // Journal of Research and Development. 2009. Vol. 96. P. 30–44.
11. Schaff S., Pezeshki S., Shields F. Effects of soil conditions on survival and growth of black willow cuttings // Environmental Management. 2003. Vol. 31. P. 748–763. doi:10.1007/s00267-002-2909-y
12. Zhao F., Yang W. Review on application of willows (*Salix* spp.) in remediation of contaminated environment // Acta Agriculturae Zhejiangensis. 2017. Vol. 29. P. 300–306.
13. Fredette C., Labrecque M., Comeau Y., Brisson J. Willows for environmental projects: A literature review of results on evapotranspiration rate and its driving factors across the

- genus *Salix* // Journal of Environmental Management. 2019. Vol. 246. P. 526–537. doi:10.1016/j.jenvman.2019.06.010
14. Bhat G. M., Islam M. A., Malik A. R. [et al.]. Productivity and economic evaluation of Willow (*Salix alba* L.) based silvopastoral agroforestry system in Kashmir valley // Journal of Applied and Natural Science. 2019. Vol. 11. P. 743–751. doi:10.31018/jans.v11i3.2104
 15. Sitzia T., Barcaccia G., Lucchin M. Genetic diversity and stand structure of neighboring white willow (*Salix alba* L.) populations along fragmented riparian corridors: A case study // *Silvae Genetica*. 2018. Vol. 67. P. 79–88. doi:10.2478/sg-2018-0011
 16. Афонин А. А. Изменчивость длины пыльцевых зерен аборигенных видов ив Брянского лесного массива // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2006. № 5. С. 25–34.
 17. Rönnerberg-Wästljung A. C., Tsarouhas V., Semerikov V., Lagercrantz U. A genetic linkage map of a tetraploid *Salix viminalis* × *S. dasyclados* hybrid based on AFLP markers // *Forest Genetics*. 2003. Vol. 10. P. 185–194.
 18. Fogelqvist J., Verkhovzina A. V., Katyshev A. I. [et al.]. Genetic and morphological evidence for introgression between three species of willows // *BMC evolutionary biology*. 2015. Vol. 15. P. 193. doi:10.1186/s12862-015-0461-7
 19. Петрук А. А. Морфология пыльцевых зерен 25 видов рода *Salix* (Salicaceae) Азиатской России по данным электронной микроскопии // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2019. № 133. С. 94–101. doi:10.36305/0513-1634-2019-133-94-101
 20. Maciejewska-Rutkowska I., Bocianowski J., Wrońska-Pilarek D. Pollen morphology and variability of Polish native species from genus *Salix* L. // *PLoS One*. 2021. Vol. 16. P. e0243993. doi:10.1371/journal.pone.0243993
 21. Wagner N. D., He L., Hörandl E. Phylogenomic relationships and evolution of polyploid *Salix* species revealed by RAD sequencing data // *Frontiers in Plant Science*. 2020. Vol. 11. P. 1077. doi:10.3389/fpls.2020.01077
 22. Berlin S., Lagercrantz U., von Arnold S. [et al.]. High-density linkage mapping and evolution of paralogs and orthologs in *Salix* and *Populus* // *BMC Genomics*. 2010. Vol. 11. P. 129. doi:10.1186/1471-2164-11-129
 23. Афонин А. А. Динамика развития побегов ивы шерстистопобеговой (*Salix dasyclados* Wimm.) на фоне дефицита осадков // Социально-экологические технологии. 2021. № 2. С. 171–183. doi:10.31862/2500-2961-2021-11-2-171-183
 24. Mikhalevskaya O. B. Growth rhythms at different stages of shoot morphogenesis in woody plants // *Russian Journal of Developmental Biology*. 2008. Vol. 39. P. 65–72.
 25. Афонин А. А. Редуцированный гаметофитный апомиксис в популяциях ивы шерстистопобеговой (*Salix dasyclados* Wimm. = *S. gmelinii* Pall.) // Бюллетень Главного ботанического сада. 2018. № 1. С. 43–51.

References

1. Skvortsov A.K. *Willows of Russia and adjacent countries. Taxonomical and geographical revision*. Joensuu: University of Joensuu, 1999:307.
2. Argus G.W. Infrageneric classification of *Salix* (Salicaceae) in the New World. *Systematic Botany Monographs*. 1997;52:1–21.
3. Fang C.-F. On the distribution and origin of *Salix* in the world. *Journal of Systematics and Evolution*. 1987;25:307–313.
4. Wu J., Nyman T., Wang D.-C. et al. Phylogeny of *Salix* subgenus *Salix* s.l. (Salicaceae): delimitation, biogeography, and reticulate evolution. *BMC Evolutionary Biology*. 2015;15:31. doi:10.1186/s12862-015-0311-7
5. Epanchintseva O.V., Tishkina E.A., Montile A.A. Experience in growing willows in various soil and hydrological conditions. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Proceedings of Orenburg State Agrarian University*. 2021;(6):118–123. doi:10.37670/2073-0853-2021-92-6-118-123

6. Dillen M., Vanhellemont M., Verdonckt P. et al. Productivity, stand dynamics and the selection effect in a mixed willow clone short rotation coppice plantation. *Biomass and Bioenergy*. 2016;87:46–54. doi:10.1016/j.biombioe.2016.02.013
7. Fabio E.S., Leary C.J., Smart L.B. Tolerance of novel inter-specific shrub willow hybrids to water stress. *Trees*. 2019;33:1015–1026. doi:10.1007/s00468-019-01835-4
8. Karp A. *Willows as a source of renewable fuels and diverse products. Challenges and opportunities for the world's forests in the 21st century*. 2014;81:617–641. doi:10.1007/978-94-007-7076-8_27
9. Cunniff J., Purdy S.J., Barraclough T.J. et al. High yielding biomass genotypes of willow (*Salix* spp.) show differences in below ground biomass allocation. *Biomass and Bioenergy*. 2015;80:114–127. doi:10.1016/j.biombioe.2015.04.020
10. Rather T.A., Qaisar K.N., Raja T.A., Khan M.A. Growth and productivity of wicker willow (*Salix triandra* L.) plantation in Kashmir. *Journal of Research and Development*. 2009;96:30–44.
11. Schaff S., Pezeshki S., Shields F. Effects of soil conditions on survival and growth of black willow cuttings. *Environmental Management*. 2003;31:748–763. doi:10.1007/s00267-002-2909-y
12. Zhao F., Yang W. Review on application of willows (*Salix* spp.) in remediation of contaminated environment. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*. 2017;29:300–306.
13. Fredette C., Labrecque M., Comeau Y., Brisson J. Willows for environmental projects: A literature review of results on evapotranspiration rate and its driving factors across the genus *Salix*. *Journal of Environmental Management*. 2019;246:526–537. doi:10.1016/j.jenvman.2019.06.010
14. Bhat G.M., Islam M.A., Malik A.R. et al. Productivity and economic evaluation of Willow (*Salix alba* L.) based silvopastoral agroforestry system in Kashmir valley. *Journal of Applied and Natural Science*. 2019;11:743–751. doi:10.31018/jans.v11i3.2104
15. Sitzia T., Barcaccia G., Lucchin M. Genetic diversity and stand structure of neighboring white willow (*Salix alba* L.) populations along fragmented riparian corridors: A case study. *Silvae Genetica*. 2018;67:79–88. doi:10.2478/sg-2018-0011
16. Afonin A.A. Variability in the length of pollen grains of native species of willows in the Bryansk forest area. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal = University proceedings. Journal of forest*. 2006;(5):25–34. (In Russ.)
17. Rönnberg-Wästljung A.C., Tsarouhas V., Semerikov V., Lagercrantz U. A genetic linkage map of a tetraploid *Salix viminalis* × *S. dasyclados* hybrid based on AFLP markers. *Forest Genetics*. 2003;10:185–194.
18. Fogelqvist J., Verkhovina A.V., Katyshev A.I. et al. Genetic and morphological evidence for introgression between three species of willows. *BMC evolutionary biology*. 2015;15:193. doi:10.1186/s12862-015-0461-7
19. Petruk A.A. Morphology of pollen grains 25 species of the *Salix* (Salicaceae) of Asian Russia according to electron microscopy. *Byulleten' Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada = Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*. 2019;(133):94–101. (In Russ.). doi:10.36305/0513-1634-2019-133-94-101
20. Maciejewska-Rutkowska I., Bocianowski J., Wrońska-Pilarek D. Pollen morphology and variability of Polish native species from genus *Salix* L. *PLoS One*. 2021;16:e0243993. doi:10.1371/journal.pone.0243993
21. Wagner N.D., He L., Hörandl E. Phylogenomic relationships and evolution of polyploid *Salix* species revealed by RAD sequencing data. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:1077. doi:10.3389/fpls.2020.01077
22. Berlin S., Lagercrantz U., von Arnold S. et al. High-density linkage mapping and evolution of paralogs and orthologs in *Salix* and *Populus*. *BMC Genomics*. 2010;11:129. doi:10.1186/1471-2164-11-129
23. Afonin A.A. Dynamics of development of *Salix dasyclados* Wimm. shoots in the background of a deficit of precipitation. *Sotsial'no-ekologicheskie tekhnologii = Socio-*

environmental technologies. 2021;(2):171–183. (In Russ.). doi:10.31862/2500-2961-2021-11-2-171-183

24. Mikhalevskaya O.B. Growth rhythms at different stages of shoot morphogenesis in woody plants. *Russian Journal of Developmental Biology*. 2008;39:65–72.
25. Afonin A.A. Reduced gametophytic apomixis in the populations of *Salix dasyclados* Wimm. = *S. gmelinii* Pall. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada = Bulletin of the Main Botanical Garden*. 2018;(1):43–51. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Алексей Алексеевич Афонин

доктор сельскохозяйственных наук,
доцент, профессор кафедры биологии,
Брянский государственный университет
имени академика И. Г. Петровского
(Россия, г. Брянск, ул. Бежицкая, 14)

E-mail: afonin.salix@gmail.com

Aleksey A. Afonin

Doctor of agricultural sciences, associate
professor, professor of the sub-department
of biology, Bryansk State University
named after Academician I.G. Petrovsky
(14 Bezhitskaya street, Bryansk, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 22.07.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 08.11.2022

Принята к публикации / Accepted 21.11.2022

УДК 58+581.6

doi:10.21685/2307-9150-2022-4-7

Возможности использования водорослей в экологической оценке городских почв

Ж. Ф. Пивоварова¹, З. З. Багаутдинова², А. Г. Благодатнова³

^{1,2,3}Новосибирский государственный педагогический университет,
Новосибирск, Россия

²Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

¹pivovarova4117@yandex.ru, ²zulfir-a@yandex.ru, ³ablagodatnova@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Рассматриваются результаты исследования видового разнообразия водорослей на урбанизированных почвах г. Новосибирска. Целью данной работы является выяснение ответной реакции альгофлоры на степень антропогенной нагрузки как возможный биоиндикатор состояния окружающей среды. *Материалы и методы.* В пределах г. Новосибирска были выбраны 9 участков с разной степенью антропогенной нагрузки, на которых проводили сбор проб по общепринятой альгологической методике. *Результаты.* Было выявлено 92 вида и внутривидовых таксонов (в/в) водорослей, относящихся к 4 отделам, 7 классам, 11 порядкам, 22 семействам, 39 родам. В почве исследуемых участков обнаружены водоросли из отдела сине-зеленых водорослей – 42 вида, зеленых водорослей – 31 вид, желтозеленых – 6 видов и диатомовых водорослей – 13 видов. Изменение показателей эколого-ценотической значимости от 0,13 до 0,77 и интегрального показателя развития альгогруппировок от 29 до 211 (по разным участкам) позволило судить об ответных реакциях альгогруппировок на степень антропогенного воздействия. *Выводы.* Использование эколого-ценотической значимости видов и интегрального показателя развития позволило выяснить степень сформированности альгогруппировок как ответную реакцию на антропогенную нагрузку в г. Новосибирске. Антропогенная нагрузка существенно влияет на степень сформированности альгогруппировок, которая может служить биоиндикатором состояния окружающей среды.

Ключевые слова: почвенные водоросли, городские почвы, фитоценотическая организация, окружающая среда, Новосибирск, Западная Сибирь

Финансирование: работа поддержана бюджетным проектом FWNR-2022-0007.

Для цитирования: Пивоварова Ж. Ф., Багаутдинова З. З., Благодатнова А. Г. Возможности использования водорослей в экологической оценке городских почв // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 68–77. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-7

Possibilities of using algae in the ecological assessment of urban soils

Zh.F. Pivovarova¹, Z.Z. Bagautdinova², A.G. Blagodatnova³

^{1,2,3}Novosibirsk State Pedagogical University, Novosibirsk, Russia

²Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences (SB RAS), Novosibirsk, Russia

¹pivovarova4117@yandex.ru, ²zulfir-a@yandex.ru, ³ablagodatnova@yandex.ru

Abstract. *Background.* This article discusses the results of a study of the species diversity of algae on urbanized soils in the city of Novosibirsk. The purpose of this work is to elucidate the response of algoflora to the degree of anthropogenic load as a possible bioindicator of the state of the environment. *Materials and methods.* Within the city of Novosibirsk, 9 sites were selected with varying degrees of anthropogenic load, where samples were collected according to the generally accepted algological method. *Results.* During the studies, 92 species and intraspecific taxa (c/o) belonging to 4 divisions, 7 classes, 11 orders, 22 families, and 39 genera were identified. Algae from the blue-green algae division - 42 species, green algae - 31 species, yellow-green algae - 6 species and diatom algae - 13 species were found in the soil of the studied sites. Changes in the ecological and cenotic significance from 0.13 to 0.77 and in the integral index of algogroup development from 29 to 211 for different plots allowed us to judge about the responses of algogroups to the degree of anthropogenic impact. *Conclusions.* The use of the ecological and cenotic significance of species and the integral indicator of development made it possible to determine the degree of formation of algal groups as a response to the anthropogenic load in Novosibirsk. Anthropogenic load significantly affects the degree of formation of algal groups, which can serve as a bioindicator of the state of the environment.

Keywords: soil algae, urban soils, phytocoenotic organization, environment, Novosibirsk, Western Siberia

Acknowledgments: the work is supported by the budget project FWNR-2022-0007.

For citation: Pivovarova Zh.F., Bagautdinova Z.Z., Blagodatnova A.G. Possibilities of using algae in the ecological assessment of urban soils. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(4):68–77. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-7

Введение

Город Новосибирск – один из крупнейших мегаполисов России, и влияние его на окружающую природу колоссально. Специфика в том, что «преобладает экстенсивный характер рекреационного освоения, который выражается в стихийности процесса, а обеспеченность населения агломерации в территории в шесть раз ниже требуемой» [1]. Поэтому изучение трансформации альгофлоры как отклика на антропогенные воздействия является необходимым условием для выявления общих тенденций изменения экосистем городской агломерации, а также ее пригорода [2].

Материалы и методика исследования

Сбор проб проведен по общепринятой альгологической методике [3]. Культивирование проводили в установке Флора-1 при температуре 20–22 °С, освещении люминесцентными лампами (ЛБ-40) 8–10 ч в сутки. Для полива применяли питательную среду Кнопа. Просмотр проводили после трех недель выращивания культур в течение 4 мес. [4]. Определяли обилие вида, ЭЦЗ (коэффициент эколого-ценотической значимости вида), ИПР (интегральный показатель развития альгогруппировки) [5, 6], который зависит от числа входящих в альгогруппировку видов и степени их обилия. Таксономический анализ альгофлоры проведен в соответствии с системой М. М. Голлербаха [7].

В пределах г. Новосибирска было выбрано 9 участков: Заельцовский сосновый бор – фоновый участок (№ 1) и участки № 2 и 3 – с низкой антропогенной нагрузкой – лесопарк: газон и дорожки Заельцовского парка куль-

туры и отдыха (ПКиО). Участки со значительной антропогенной нагрузкой: открытая промышленная территория завода «Экран» – участок № 4, свалка завода – участок № 5. Третья группа проб была отобрана у бензоколонки – участок № 9, пробы № 6, 7, 8 – участки скоростной дороги: обочина дороги (1 м), на расстоянии 10 м от дороги и 300 м от дороги соответственно.

Особое внимание следует уделить характеристикам участков Заельцовского соснового бора. Экологический мониторинг парковых зон позволяет оценить степень негативного антропогенного воздействия в результате эксплуатации данных территорий в качестве рекреационных, прогнозировать дальнейшее состояние парковых экосистем и определить оптимальные меры по их поддержанию и восстановлению. Именно поэтому в качестве фонового и участка с минимальным прессингом была выбрана парковая территория.

Результаты и обсуждение

В исследованных биотопах г. Новосибирска всего выявлено 92 вида и внутривидовых таксонов (в/в) водорослей, относящихся к 4 отделам, 7 классам, 11 порядкам, 22 семействам, 39 родам. Из них сине-зеленых водорослей (С) 42 вида (45,7 % от всей обнаруженной альгофлоры), зеленых водорослей (З) – 31 вид (33,7 %), желтозеленых (Ж) – 6 видов (6,5 %) и диатомовых водорослей (Д) – 13 видов (14,1 %). Таксономическая структура альгофлоры отдельных участков проявляет некоторую специфику (табл. 1).

Таблица 1
Таксономическая структура альгофлоры исследованных территорий

Таксон	Участки взятия проб									Всего
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Отдел	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4
Класс	7	6	6	6	6	4	5	7	5	7
Порядок	9	8	8	8	7	6	7	9	6	11
Семейство	17	12	14	13	10	12	13	14	7	22
Род	30	17	16	16	14	15	20	22	7	39
Вид	50	25	21	21	20	18	27	36	8	92

Фоновый участок расположен в северной части Заельцовского бора, тянется узкой полосой вдоль береговой линии и представлен сосняком разнотравным. Травяной ярус имеет 80–90 % проективного покрытия. Почвы дерново-подзолистые, супесчаные. При таком высоком проективном покрытии почвенные водоросли находятся на положении альгосинузий. Как и следовало ожидать, на фоновом участке обнаружено 50 видов водорослей – это самое большое число видов из всех обследованных биотопов: С₁₈З₂₃, Ж₅Д₄ (50 видов и в/в таксонов), что составляет 54 % от всей выявленной альгофлоры. Прева-лирование по числу видов зеленых водорослей – характерная черта лесных экосистем.

В фитоценотической организации прослеживаются определенные закономерности. Подстилка в любой экосистеме – это особый специфический горизонт. В исследованном фоновом сосновом лесу в подстилке доминировали сине-зеленые водоросли *Lyngbya martensiana* Menegh. (ЭЦЗ = 0,37) и из диатомовых *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun. с ЭЦЗ = 0,66. Многие исследова-

тели отмечают [8–10], что сине-зеленые и диатомовые водоросли в лесах встречаются редко и приурочены к подстилке. В почве не только по числу видов, но и с самым высоким показателем ЭЦЗ отмечены зеленые водоросли *Chlorella mirabilis* V. Andr. (0,70), *Bracteococcus minor* (Chodat) Petrová (0,64), *Myrmecia bisecta* (Reisigl) (0,63), что собственно и характерно для лесных экосистем.

Для водорослей характерны те же экологические группы по отношению к воде, что и для высших растений. Среди видов водорослей к мезофитам относится 38 %, с учетом ксеромезофитов всего 84 % от всей флоры, обнаруженной на фоновом участке. Ксерофитов вместе с мезоксерофитами 16 %. Преобладание мезофитов и ксеромезофитов подчеркивает лесную природу сообщества. По морфотипам преобладали коккоидные (27 %) и трихальные (12 %) виды водорослей. Кроме того, обнаружены монадные, политрихальные и колониально-коккоидные морфотипы. Анализ этих данных позволяет заключить, что этот биотоп вполне может считаться фоновым.

Однако альгофлора двух других биотопов в пределах парковой зоны (газон и дорожки) проявляет некоторые отличия по ряду параметров. Прежде всего, приблизительно в два раза сократилось число родов и видов водорослей (см. табл. 1). На газоне таксономический состав: С₁₀З₁₁Ж₂Д₂(25), а на дорожке: С₉З₈Ж₁Д₃(21). По наполняемости отделов видами между ними разницы большой нет. Несколько изменилась организация водорослевого сообщества. Произошла смена доминантов, ЭЦЗ – резко снизилась. На газоне *Bracteococcus minor* сохранил положение доминанта, но с более низким показателем ЭЦЗ (0,50), чем в ненарушенном сообществе. На лесных дорожках альгогруппировка по всем показателям более гетерогенная. Возросло разнообразие морфотипов, особенно на дорожках (до 8), но при этом практически в 2,5–3 раза сократилось число видов трихального и коккоидного морфотипа. На дорожках появились представители колониально-трихального морфотипа с высоким баллом обилия – виды рр. *Nostoc* и *Microcoleus*. Это виды пленкообразователи, а виды р. *Nostoc* еще и азотфиксаторы. Как отмечают Э. А. Штина и М. М. Голлербах [11], эти виды не способны конкурировать с высшими растениями, но относительно быстро осваивают открытые или обедненные азотом участки почвы.

В целом следует отметить, что соотношение отделов водорослей, доминантных видов, морфотипов соответствует фоновому лесному сообществу. Тем не менее даже относительно небольшие антропогенные нагрузки приводят к снижению ИПР в 2 раза.

Участки со значительной антропогенной нагрузкой: открытая промышленная территория завода «Экран» – участок № 4, свалка завода – участок № 5. Несмотря на то, что завод работает на природном газе, идет существенное загрязнение, связанное с гальванопластикой. Отвалы завода (возраст отвалов около 2–3 лет) характеризуются токсичными отходами производства (стекло, шлаки, наполнители, пенопласт, строительные отходы, глина и др.). Концентрация меди в промышленных отходах – 3,4 мг/кг, а никеля – 4,2 мг/кг, что незначительно превышает ПДК. После замечаний Новосибирского городского Комитета охраны окружающей среды недочеты были устранены [12].

В альгофлоре открытой промышленной территории завода и свалки число семейств, особенно на свалке, уменьшилось в 1,7 раза, число родов

уменьшилось практически в 2 раза (16 и 14 родов соответственно, против 30 родов на фоновом лесном участке). Таксономическая структура флоры водорослей на открытой промышленной территории завода и на свалке по числу видов в отделах практически не отличается: $C_8Z_9Ж_1Д_3(21)$ и $C_9Z_8Ж_1Д_2(20)$ соответственно. Вместе с тем очевидно, что по числу видов явно преобладают сине-зеленые и зеленые водоросли. Несмотря на уменьшение числа видов сине-зеленых водорослей (при общем видовом обеднении), долевое участие сине-зеленых резко возросло с 26 % на фоновом лесном массиве до 43 % – на открытой промышленной территории завода «Экран».

Исследованные места обитания можно рассматривать как экотоп, мало преобразованный водорослями. В организации альгогруппировок активное участие принимают *Microcoleus vaginatus* (Vauch.) Gom., *Phormidium autumnale* (Ag.) Gom., *Lyngbya martensiana* Menegh., *Gloeocapsa minor* (Kütz.) Hollerb. и *Microcystis pulverea f. incerta* (Lemm.). Преимущественно это трихальные и колониально-коккоидные морфотипы. На свалке, кроме выше перечисленных видов, отмечено активное развитие *Phormidium tenue* (Menegh.) Gom. и *Ph. foveolarum* (Mont.) Gom. Совместно с колониальными морфотипами *Gloeocapsa minor* и *Microcystis pulverea f. incerta*, которые образуют обильную слизь, трихальные структуры активно начинают процесс освоения субстратов на начальных этапах первичной сукцессии. Их нити могут достигать значительных размеров. Известно, что нити *Microcoleus vaginatus* в 1 г воздушно-сухой почвы могут достигать 92 м длины [13]. ИПР альгогруппировок на открытом участке территории составляет 87, а на свалке – 82. В сравнении, к примеру, с аналогичным показателем лесного массива, он в 2,6 раза ниже, что свидетельствует о слабой сформированности водорослевого сообщества свалок.

Третья группа с 6 по 9 пробы взяты с целью выяснения влияния бензина, выхлопных газов, тяжелых металлов на альгофлору. Бензоколонка (т. 9) представляет площадку с твердым покрытием, на которой лежит наносной слой почвы с колес машин местами до 1 см. Растения отмечены на расстоянии около 20 м от колонки, весьма угнетенные, с большой долей сухостоя. Здесь формируется самая бедная альгогруппировка: $C_3Z_3Ж_0Д_2(8)$. Обнаружены *Microcystis pulverea f. incerta*, *Gloeocapsa minor*, *Microcoleus vaginatus*, из зеленых водорослей отмечены *Chlorella mirabilis*, *Chlorococcum infusionum* (Schrank) Menegh., диатомовые представлены видами *Navicula popula var. popula* Kutz. и *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grun. Большинство из них имели значительно выраженную слизь. Желто-зеленые водоросли как наиболее чувствительные к загрязнению обнаружены не были. Число видов водорослей и их встречаемость позволяют установить доминирование.

Обочина дороги (т. 6): узкая полоса наносного грунта вдоль трассы около 1 м шириной. Постоянно подвергается смыву потоком воды или сдуванию от движения транспорта. Высших растений нет. Группировка водорослей неустойчивая, обеднена видами и представлена $C_9Z_6Ж_0Д_3(18)$. По обилию доминируют сине-зеленые водоросли: *Phormidium tenue*, *Ph. autumnale*, *Oscillatoria tenuis* Ag., *Gloeocapsa minor*; в субдоминантах *Hantzschia amphioxys*, *Bracteococcus minor*. Показатели ЭЦЗ доминантов лежат в относительно низких пределах от 0,47 до 0,57. Вместе с тем отмечено для обочин дорог большое число видов, в среднем 49 видов на одну пробу [14].

Следующий участок (т. 7) расположен в 10 м от дороги в понижении, с одной стороны образовавшемся в результате искусственной насыпи вдоль дороги, а с другой – лесозащитной полосой из *Betula pendula*. Почва влажная, растительность с элементами олуговения с преобладанием злаков и разнотравья – с проективным покрытием 85–100 %. Смыв и сток с дороги, оседание выхлопных газов происходят регулярно. Во флористическом отношении сообщество водорослей представлено большим числом видов, чем предыдущая точка: С₁₁З₁₂Ж₀Д₄(27). Число видов сине-зеленых и зеленых водорослей практически равно, однако доминанты представлены от всех трех отделов: *Microcoleus vaginatus*, *Bracteococcus minor* и *Hantzschia amphioxys*. Э. А. Штина и другие установили [15], что дымо-газовые эмиссии существенно влияют на почвенные водоросли, клетки которых могут проявлять своеобразный «гигантизм», а полисахаридные слизистые чехлы надежно защищают водоросли [16].

Наиболее удаленный участок от трассы (т. 8) находится на расстоянии 300 м за полосой лесонасаждения на злаково-разнотравном лугу с проективным покрытием 70–80 %. Это отразилось на таксономической структуре альгофлоры: С₁₃З₁₅Ж₃Д₅(36). Из всех исследованных территорий здесь обнаружено больше всего видов и внутривидовых таксонов. Появились виды, которых не было на загрязненных участках (*Scenedesmus acutus* Meyen, *Tetracystis aggregata* R.M.Brown et Bold). По многочисленным исследованиям известно, что в травянистых экосистемах число видов водорослей всегда больше, чем в лесных экосистемах [11]. Исследованный луговой фитоценоз все же испытывает антропогенное воздействие: отголоски близости скоростной автотрассы, выпас скота и частично сенокосение. Это не могло не сказаться на относительно обедненном видовом составе. Тем не менее характерные для луговых сообществ виды здесь широко представлены: *Phormidium foveolarum*, *Ph. autumnale*, *Nostoc microscopicum*, *N. muscorum*, *Microcoleus vaginatus* и др. В доминантный комплекс вошли *Oscillatoria tenuis* Ag., *Ph. foveolarum*, *Ph. autumnale*.

Рассматривая в целом структуру альгофлоры всех исследованных участков, можно отметить некоторые ее особенности (табл. 2).

Таблица 2

Структура альгофлоры исследованных участков

Отделы водорослей	Участки								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сине-зеленые	18	10	9	8	9	9	11	13	3
Зеленые	23	11	8	9	8	6	12	15	3
Желто-зеленые	5	2	1	1	1	0	0	3	0
Диатомовые	4	2	3	3	2	3	4	5	2
Всего видов	50	25	21	21	20	18	27	36	8

Совершенно очевидно, что флоры всех участков значительно уступают по числу видов водорослей фоновому участку. Особенно ярко это проявилось с флорой у бензоколонки (№ 9), которая практически в 6 раз меньше альгофлоры фонового леса. Другим антиподом из обследованных территорий является участок на расстоянии 300 м от скоростной дороги (№ 8), где число видов водорослей почти в 1,5 раза меньше альгофлоры фонового леса. Флора остальных участков колеблется в пределах 18–25 видов.

Используя интегральный показатель степени развития водорослевой группировки (ИПР), можно оценивать роль той или иной группировки водорослей. Очевиден их определенный ранжир, ИПР уменьшается практически в 2 раза (в 1,9) в ряду биотопов: фон – газон – дорожка (211, 162, 113 соответственно) (табл. 3).

Таблица 3

Показатели ИПР альгогруппировок исследованных участков

Участки	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ИПР	211	162	113	87	82	86	117	146	29

Выпадает из этого ряда участок № 9 (территория бензоколонки), где явно еще не сформировалось сообщество водорослей, состоящее всего из восьми видов, ИПР = 29. Л. Н. Новичкова-Иванова [17] предлагает называть такое образование, вслед за А. А. Гроссгеймом [18] для высших растений, агломерацией. Участки 4–6 (открытая промышленная территория завода «Экран», свалка и участок вдоль трассы) имеют от 18 до 21 видов, но они еще недостаточно ассоциированы. Их вполне можно отнести в соответствии с выше предложенной классификацией к семиассоциации. ИПР = от 82 до 86. Участки с 1 по 3 (фоновый лес и газоны и дорожки парка), а также участки 7 и 8 (10 и 300 метров от скоростной трассы) явно можно объединить в единую группу относительно сформированных водорослевых группировок на положении альгосинузий. Показатели ИПР лежат в пределах от 113 до 211.

Заключение

Таким образом, альгофлора в исследованных биотопах г. Новосибирска достаточно разнообразна и представлена 92 видами и внутривидовыми таксонами почвенных водорослей. Исследования альгофлоры на разных участках показали изменение таксономической структуры, уменьшение числа видов по мере антропогенного прессинга на тот или иной участок, смены доминантных видов. Изменение показателей ЭЦЗ и ИПР позволило выявить постепенный переход водорослевых группировок от агломераций через семиассоциации до сформированных альгосинузий. Полученные результаты исследования могут служить основанием для дальнейшего мониторинга городских почв.

Список литературы

1. Пивкин В. М., Чиндяева Л. Н. Экологическая инфраструктура сибирского города. Новосибирск : СИБПРИНТ, 2005. 193 с.
2. Бачура Ю. М. Почвенные водоросли и цианобактерии антропогенно-преобразованных почв (на примере Гомельского региона). Чернигов : Десна Полиграф, 2016. 156 с.
3. Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. Л. : Наука, 1969. 228 с.
4. Некрасова К. А., Бусыгина Е. А. Некоторые уточнения к методу количественного учета почвенных водорослей // Ботанический журнал. 1977. Т. 62, № 2. С. 214–222.
5. Кабилов Р. Р., Шилова И. И. Почвенные водоросли свалок и полигонов твердых бытовых и промышленных отходов в условиях крупного промышленного города // Экология. 1990. № 5. С. 10–18.

6. Кабилов Р. Р. Альгосинузии луговых фитоценозов в окрестностях Назаровской ГРЭС // Ботанический журнал. 1992. Т. 77, № 12. С. 102–104.
7. Голлербах М. М., Матвиенко А. М., Николаев И. И. Жизнь растений : в 6 т. Водоросли, лишайники. М. : Просвещение, 1977. Т. 3. 487 с.
8. Гаель А. Г., Штина Э. А., Петрова Н. И. О Минусинских борах и распределении в них почвенных водорослей // Биологические науки. 1980. № 3. С. 86–95.
9. Алексахина Т. И., Штина Э. А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. М. : Наука, 1984. 149 с.
10. Алексахина Т. И. Изменение почвенной альгофлоры сложных сосняков под влиянием рекреационных нагрузок // Природные аспекты рекреационного использования леса. М. : Наука, 1987. С. 126–137.
11. Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. М. : Наука, 1976. 144 с.
12. Аналитический обзор состояния окружающей природной среды в г. Новосибирске в 1995 г. / под ред. А. А. Даниленко, В. С. Чередниченко. Новосибирск, 1996. 100 с.
13. Маркова Г. И. Биомасса водорослей в некоторых типах растительности ущелья реки Варзоб : автореф. дис. канд. биол. наук. Душанбе, 1976. 24 с.
14. Хайбуллина Л. С., Суханова Н. В., Кабилов Р. Р. Флора и синтаксономия почвенных водорослей и цианобактерий урбанизированных территорий. Уфа : Гилем, 2011. 214 с.
15. Штина Э. А., Шилова И. И., Неганова Л. Б. Влияние дымо-газовой эмиссии на развитие водорослей в почве // Известия АН СССР. 1984. № 5. С. 58–64.
16. Ельшина Т. А. Почвенные водоросли как индикаторы некоторых видов техногенного загрязнения почвы на примере загрязнений, связанных с нефтедобычей : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Киров, 1986. 16 с.
17. Новичкова-Иванова Л. Н. Почвенные водоросли фитоценозов Сахаро-Гобийской пустынной области. Л. : Наука, 1980. 255 с.
18. Гроссгейм А. А. Введение в геоботаническое обследование зимних пастбищ ССР Азербайджана // Труды по геоботанике. Обследование пастбищ ССР Азербайджана. Сер. А. 1929. Вып. 1. С. 69–75.

References

1. Pivkin V.M., Chindyayeva L.N. *Ekologicheskaya infrastruktura sibirskogo goroda = Ecological infrastructure of the Siberian city*. Novosibirsk: SIBPRINT, 2005:193. (In Russ.)
2. Bachura Yu.M. *Pochvennye vodorosli i tsianobakterii antropogenno-preobrazovannykh pochv (na primere Gomel'skogo regiona) = Soil algae and cyanobacteria of anthropogenic-transformed soils (by example of Gomel region)*. Chernigov: Desna Poligraf, 2016:156. (In Russ.)
3. Gollerbach M.M., Shtina E.A. *Pochvennye vodorosli = Soil algae*. Leningrad: Nauka, 1969:228. (In Russ.)
4. Nekrasova K.A., Busygina E.A. Some refinements to the method of quantitative accounting of soil algae. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1977;62(2):214–222. (In Russ.)
5. Kabirov R.R., Shilova I.I. Soil algae of landfills and landfills of solid household and industrial departments in a large industrial city. *Ekologiya = Ecology*. 1990;(5):10–18. (In Russ.)
6. Kabirov R.R. Algosynucia of meadow phytocenoses in the vicinity of Nazarovskaya GRES. *Botanicheskiy zhurnal = Botanical journal*. 1992;77(12):102–104. (In Russ.)
7. Gollerbach M.M., Matvienko A.M., Nikolaev I.I. *Zhizn' rasteniy: v 6 t. Vodorosli, lishayniki = Plant life: in 6 volumes. Algae, lichens*. Moscow: Prosveshchenie, 1977;3:487. (In Russ.)

8. Gael' A.G., Shtina E.A., Petrova N.I. On the Minusinsk gods and the distribution of soil algae in them. *Biologicheskie nauki = Biological sciences*. 1980;(3):86–95. (In Russ.)
9. Aleksakhina T.I., Shtina E.A. *Pochvennye vodorosli lesnykh biogeotsenozov = Soil algae of forest biogeocenoses*. Moscow: Nauka, 1984:149. (In Russ.)
10. Aleksakhina T.I. Changes in the soil algaoflora of complex pine forests under the influence of recreational loads. *Prirodnye aspekty rekreatsionnogo ispol'zovaniya lesa = Natural aspects of recreational forest use*. Moscow: Nauka, 1987:126–137. (In Russ.)
11. Shtina E.A., Gollerbakh M.M. *Ekologiya pochvennykh vodorosley = Ecology of soil algae*. Moscow: Nauka, 1976:144. (In Russ.)
12. Danilenko A.A., Cherednichenko V.S. (eds.). *Analiticheskiy obzor sostoyaniya okruzhayushchey prirodnoy sredy v g. Novosibirske v 1995 g. = Analytical review of the state of the natural environment in Novosibirsk in 1995*. Novosibirsk, 1996:100. (In Russ.)
13. Markova G.I. *Biomass of algae in some types of vegetation of the Varzob river gorge*. PhD abstract. Dushanbe, 1976:24. (In Russ.)
14. Khaybullina L.S., Sukhanova N.V., Kabirov R.R. *Flora i sintaksonomiya pochvennykh vodorosley i tsianobakteriy urbanizirovannykh territoriy = Flora and syntaxonomy of soil algae and cyanobacteria in urban areas*. Ufa: Gilem, 2011:214. (In Russ.)
15. Shtina E.A., Shilova I.I., Neganova L.B. Effect of dimo-gas emission on the development of Algae in the soil. *Izvestiya AN SSSR = Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR*. 1984;(5):58–64. (In Russ.)
16. El'shina T.A. *Soil algae as indicators of certain types of technogenic soil pollution using the example of pollution associated with oil production*. PhD abstract. Kirov, 1986:16. (In Russ.)
17. Novichkova-Ivanova L.N. *Pochvennye vodorosli fitotsenozov Sakharo-Gobiyskoy pustynnoy oblasti = Soil algae of phytocenoses of the Sahara-Gobi desert region*. Leningrad: Nauka, 1980:255. (In Russ.)
18. Grossgeym A.A. Introduction to a geobotanic examination of the winter pastures of the USSR Azerbaijan. *Trudy po geobotanike. Obsledovanie pastbishch SSR Azerbaydzhana. Ser. A = Proceedings on geobotany. Examination of pastures of the Azerbaijan SSR. Series A*. 1929;(1):69–75. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Жанна Филипповна Пивоварова

доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры биологии и экологии, Новосибирский государственный педагогический университет (Россия, г. Новосибирск, ул. Виллюйская, 28)

E-mail: pivovarova4117@mail.ru

Zhanna F. Pivovarova

Doctor of biological sciences, professor, professor of the sub-department of biology and ecology, Novosibirsk State Pedagogical University (28 Vilyuiskaya street, Novosibirsk, Russia)

Зульфира Зиннуровна Багаутдинова

младший научный сотрудник, Институт цитологии и генетики СО РАН (Россия, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 10); Новосибирский государственный педагогический университет (Россия, г. Новосибирск, ул. Виллюйская, 28)

E-mail: zulfir-a@yandex.ru

Zul'fira Z. Bagautdinova

Junior researcher, Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (10 Akademika Lavrentyeva avenue, Novosibirsk, Russia); Novosibirsk State Pedagogical University (28 Vilyuiskaya street, Novosibirsk, Russia)

Анастасия Геннадьевна Благодатнова

кандидат биологических наук,
доцент кафедры биологии и экологии,
Новосибирский государственный
педагогический университет (Россия,
г. Новосибирск, ул. Вилуйская, 28)

E-mail: ablagodatnova@yandex.ru

Anastasiya G. Blagodatnova

Candidate of biological sciences, associate
professor of the sub-department of biology
and ecology, Novosibirsk State
Pedagogical University (28 Vilyuiskaya
street, Novosibirsk, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 06.10.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 29.11.2022

Принята к публикации / Accepted 08.12.2022

УДК 551.5

doi:10.21685/2307-9150-2022-4-8

Влияние климатических изменений на динамику фенологических процессов в Нижегородском Правобережье

М. С. Любов¹, О. И. Недосеко²

^{1,2}Арзамасский филиал Национального исследовательского Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского, Арзамас, Нижегородская обл., Россия

¹lubov.arz@mail.ru, ²nedoseko@bk.ru

Аннотация. *Актуальность и цель.* В связи с потеплением климата на региональном и глобальном уровнях одним из актуальных направлений в современной науке является выявление изменений климатических условий на основе изучения фенологических процессов. *Цель работы* – выявление особенностей фенологических процессов в условиях изменения климата на примере Арзамасского региона Нижегородского Правобережья. *Материалы и методы.* Для анализа были выбраны ключевые фенологические процессы и фенообъекты живой и неживой природы по сезонам. В весенний период фиксировались: первые проталины, начало весны, сход снежного покрова, появление листьев на на березе повислой (*Betula pendula* Roth.), начало цветения черемухи обыкновенной (*Prunus padus* L.), начало цветения сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris* L.), последний заморозок на почве. В летний период фиксировалась дата начала лета и отмечалось начало цветения шиповника волосистого (*Rosa villosa* L.) и липы сердцевидной (*Tilia cordata* Mill.). В осенний сезон фиксировалась дата наступления осени, а также первый заморозок, первый снег, первый снежный покров, окончание массового листопада и начало зимы. *Результаты.* Тенденцию потепления климата в Нижегородском Правобережье подтверждают многолетние метеорологические (средние месячные температуры воздуха и суммы осадков) и фенологические наблюдения по сезонам. Анализ статистических данных метеорологических наблюдений подтверждает, что по сравнению с прошлым веком: существенно потеплели практически все месяцы холодного периода; обновилась положительные температурные рекорды многих месяцев; сроки последнего заморозка сместились с конца на начало второй декады мая; в результате более теплых зим и затяжных оттепелей мощность снежного покрова сократилась в среднем на 10–15 см, наибольшее количество осадков выпадает не на июль, а на июнь или август; циркуляционные процессы в атмосфере стали более активными; произошло удлинение продолжительности теплого времени года и, как следствие этого процесса, – увеличение периода вегетации растений более чем на одну неделю. *Выводы.* В Нижегородском Правобережье по сравнению с XX в. наблюдается сдвиг фенологических процессов: весной в сторону более раннего их наступления, а осенью в сторону запаздывания. Это обусловлено меняющимися климатическими условиями. По сравнению с XX в. весна стала приходиться в среднем на неделю раньше, с заметным опозданием отмечается начало зимы, а зимний сезон сократился примерно на две недели.

Ключевые слова: потепление климата, Нижегородское Правобережье, Арзамасский регион, фенологические процессы

Для цитирования: Любов М. С., Недосеко О. И. Влияние климатических изменений на динамику фенологических процессов в Нижегородском Правобережье // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 78–94. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-8

The impact of climate change on the dynamics of phenological processes in the Nizhny Novgorod right bank region

M.S. Lyubov¹, O.I. Nedoseko²

^{1,2}Arzamas Branch of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod,
Arzamas, Nizhny Novgorod region, Russia

¹lubov.arz@mail.ru, ²nedoseko@bk.ru

Abstract. *Background.* In connection with climate warming at the regional and global levels, one of the topical areas in modern science is the identification of changes in climatic conditions based on the study of phenological processes. The purpose of the work is to identify the features of phenological processes under the conditions of climate change by the example of Arzamas region of the Nizhny Novgorod right riverbank. *Materials and methods.* Key phenological processes and phenological objects of animate and inanimate nature were selected for analysis by seasons. In the spring period, the following were recorded: the first thaws, the beginning of spring, the melting of the snow cover, the appearance of leaves on the birch (*Betula pendula* Roth.), the beginning of bird cherry (*Prunus padus* L.) blossoms, the beginning of lilac (*Syringa vulgaris* L.) blossoms, the last frost on the soil. During the summer period, the date of the beginning of summer was fixed and the beginning of flowering of wild rose (*Rosa villosa* L.) and linden (*Tilia cordata* Mill.) was noted. In the autumn season, the date of the onset of autumn was recorded, as well as the first frost, the first snow, the first snow cover, the end of mass leaf fall and the beginning of winter. *Results.* The trend of climate warming in the Nizhny Novgorod right riverbank is confirmed by long-term meteorological (average monthly air temperatures and total precipitation) and phenological observations by season. Analysis of the statistical data of meteorological observations confirms that, compared with the last century: almost all months of the cold period have become significantly warmer; positive temperature records have been updated for many months; the timing of the last frost shifted from the end to the beginning of the second decade of May; as a result of warmer winters and prolonged thaws, the thickness of the snow cover has decreased by an average of 10–15 cm; the largest amount of precipitation falls not in July, but in June or August; circulation processes in the atmosphere have become more active; there was a lengthening of the duration of the warm season and, as a result of this process, an increase in the vegetation period of plants by more than one week. *Conclusions.* In the Nizhny Novgorod right riverbank compared to the 20th century there is a shift in phenological processes: in spring towards their earlier onset, and in autumn towards delay. This is due to changing climatic conditions. Compared to the 20th century spring began to arrive on average a week earlier, the beginning of winter is marked with a noticeable delay, and the winter season has shortened by about two weeks.

Keywords: climate warming, Nizhny Novgorod right riverbank, Arzamas region, phenological processes

For citation: Lyubov M.S., Nedoseko O.I. The impact of climate change on the dynamics of phenological processes in the Nizhny Novgorod right bank region. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(4):78–94. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-8

Введение

В настоящее время мы становимся свидетелями быстро меняющегося климата. За последние сто лет глобальная температура воздуха на планете выросла более, чем на 1 °С, причем потепление на Земле происходит неравномерно [1–3]. Так, в тропическом поясе температурный тренд практически не выражен. В то же время потепление в Арктике происходит быстрее и мас-

штабнее, чем в других регионах мира [4, 5]. Заметное изменение климата происходит и на территории России. Временной ход аномалии температуры приземного воздуха как отклонение от средней величины за 1961–1990 гг. показывает потепление климата на территории России на 1,4 °С [6]. При этом аномалии составили в Северном полушарии +0,8 °С, в Южном полушарии +0,4 °С [7]. В наступившем XXI столетии тенденция потепления климата в северных широтах продолжает сохраняться. На большей части территории России темпы потепления климата превышают среднемировые. За период 1976–2019 гг. рост средней годовой приземной температуры воздуха составил 0,52 °С/10 лет [8]. Одним из актуальных направлений в современной науке является выявление изменений климатических условий на основе изучения фенологических процессов [9–12]. Во многих странах мира создаются базы данных фенологической информации, ведется мониторинг [13–15]. Потепление климата происходит и в средней полосе Европейской части России, в том числе и в Нижегородском Правобережье.

Цель работы – выявление особенностей фенологических процессов в условиях изменения климата на примере Арзамасского региона Нижегородского Правобережья.

Климат Нижегородского Правобережья

Территория Нижегородского Правобережья занимает южную половину Нижегородской области и ограничена реками: Волгой – на севере, Окой – на западе, Сурой – на востоке. Регион расположен в пределах 56°30′ с.ш. и 54°30′ с.ш. Правобережье Нижегородской области находится в средних умеренных широтах. Суммарная среднегодовая солнечная радиация на территории региона составляет около 90 ккал/см². Продолжительность солнечного сияния составляет примерно 40 %. Максимальное количество пасмурных дней в период с ноября по январь – в среднем до 20 суток за месяц. Наиболее солнечные дни наблюдаются в Нижегородском регионе с мая по июль [16–18].

На формирование климата Нижегородского Правобережья оказывают влияние и арктические воздушные массы, которые вызывают сухую и очень холодную погоду зимой, заморозки весной и осенью и прохладную погоду летом. Арктические воздушные массы проникают с севера Скандинавии и с акватории Карского моря (ультраполярные вхождения антициклонов), в случае последних – зимой наблюдаются сильные морозы. В XXI в. ультраполярные вхождения зимой стали крайне редкими. Летом, при установлении антициклональной погоды (малооблачной), арктические воздушные массы вследствие большой сухости воздуха могут вызывать в Нижегородском Правобережье продолжительные засухи с быстрым прогревом воздуха. На погодноклиматических условиях теплого сезона в определенной мере сказывается влияние тропических континентальных воздушных масс, поступающих с юго-востока из районов Центральной Азии. Вторжение тропического воздуха вызывает летом сильную жару и засуху, а осенью приводит к возврату летнего режима погоды (такие возвраты тепла осенью становятся одной из причин установления «бабьего лета» в Нижегородском регионе) [18].

В определенной степени климатообразующим фактором Окско-Волжско-Сурского междуречья выступает рельеф. Отсутствие гор на севере, западе и юге Восточно-Европейской равнины способствует свободному воз-

духообмену как в субширотном, так и в субмеридианальном направлениях. Расположенные на востоке от нашего региона Уральские горы вследствие их незначительной высоты не представляют собой серьезных препятствий для проникновения воздушных масс из Сибири. Слабая вертикальная расчлененность рельефа в пределах Нижегородского Правобережья заметных климатических различий не создает, но низины, лежащие в «дождевой тени», как и долины рек, получают на несколько миллиметров влаги меньше, чем наветренные склоны положительных форм рельефа [19].

Безусловно, на степень континентальности климата влияет удаленность от Атлантического океана. Влажный морской воздух, проходя над подстилающей поверхностью Зарубежной Европы и Восточно-Европейской равнины, трансформируется, т.е. изменяется, теряя при этом часть влаги и, соответственно, прогреваясь летом и остывая зимой. Территория Нижегородского Правобережья располагается как раз на пути движения воздушных масс, где происходит трансформация воздуха. Морские воздушные массы теряют свои первоначальные свойства и на территории нашего региона их влияние несколько ослабевает. Трансформация этих воздушных масс еще не доходит до такой стадии, чтобы нельзя было говорить об участии атлантического воздуха в формировании местного климата. Вследствие даже небольшого потепления океана воздушные массы теперь оказываются более прогретыми и, поступая в наш регион, не успевают достаточно охладиться. Это в свою очередь приводит к частым оттепелям зимой и выпадению осадков в жидкой фазе. Влияние Атлантики придает климату Нижегородского Правобережья черты умеренной континентальности, что проявляется в теплом, но не жарком лете и слабо морозной зиме. Однако Нижегородская область – это значительно удаленный от океана регион, и степень континентальности климата здесь достаточно выражена в сравнении, например, с Западной Европой.

Материалы и методы

Для анализа были выбраны ключевые фенологические процессы и фенообъекты живой и неживой природы по сезонам. В весенний период фиксировались: первые проталины, начало весны, сход снежного покрова, появление листьев на березе, начало цветения черемухи, начало цветения сирени, последний заморозок на почве. Первые проталины регистрировались на открытых местах – пойменных лугах реки Тешы. За начало весны принимался устойчивый переход средней суточной температуры воздуха в городе через 0 °С в сторону повышения. Наблюдения за сходом снежного покрова проводились в окрестных лесных массивах Арзамаса. Наблюдения за появлением листьев на березе, цветением черемухи и сирени (обыкновенной) осуществлялись в городе. Последний заморозок на почве также фиксировался в пределах городской черты.

В летний период фиксировалась дата начала лета (устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха в городе через отметку +15 °С в сторону повышения) и велось наблюдение за двумя фенообъектами: шиповником и липой (отмечалось начало цветения).

В осенний сезон фиксировалась дата наступления осени (устойчивый переход средней суточной температуры воздуха, в городе, через отметку +15 °С в сторону понижения), а также первый заморозок, первый снег, первый снежный покров, окончание массового листопада и начало зимы (образова-

ние постоянного снежного покрова при устойчивом переходе средней суточной температуры воздуха в через 0 °С к отрицательным значениям).

Результаты исследования

Тенденцию потепления климата в Нижегородском Правобережье подтверждают многолетние наблюдения, полученные для города Арзамаса, являющегося фактически географическим центром Нижегородского Правобережья (табл. 1, рис. 1).

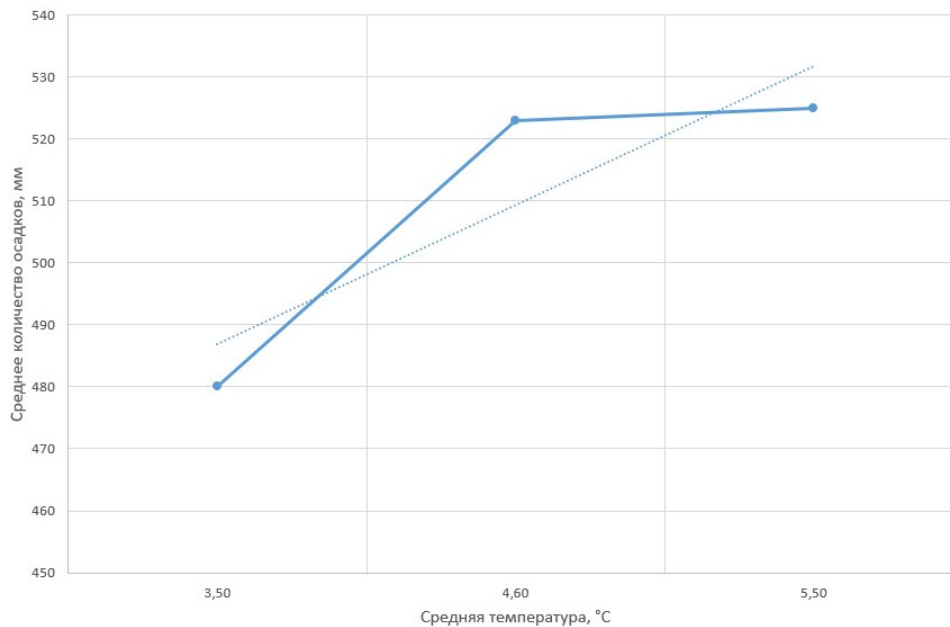


Рис. 1. Средняя месячная температура (°С) и количество осадков (мм) для г. Арзамаса в период с XX в. по 2020 г.

В табл. 2 представлены средние месячные температуры воздуха и количество осадков за каждый месяц первых двадцати лет XXI в., на рис. 2 – график многолетнего хода среднегодовой температуры воздуха (°С) для г. Арзамаса.

Резюмируя вышеизложенное отметим, что климат Нижегородского Правобережья имеет все основные черты умеренной континентальности. При этом происходящие изменения климата в целом не повлияли на природные комплексы региона. Тем не менее полученные данные метеорологических наблюдений за последние 40 лет убедительно говорят о происходящем потеплении климата в Нижегородском Правобережье:

1. Существенно потеплели практически все месяцы холодного периода, с ноября по март. По сравнению с XX в. средние месячные температуры воздуха традиционно зимних месяцев в регионе выросли на 3–4 °С. Ноябрь приобрел черты типично осеннего месяца, когда довольно часто на фоне положительных температур отсутствует снежный покров. Месяц март все чаще по температурному режиму становится весенним месяцем (со среднемесячной температурой воздуха около 0 °С или чуть выше). При этом, соответственно, заметно сократилась продолжительность зимнего сезона.

Таблица 1

Средняя месячная температура и количество осадков по месяцам для г. Арзамаса

Показатели	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средняя температура, °С	-12	-11	-5	4	12	17	19	17	11	4	-3	-8	3,5
осадки XX в. , мм	26	20	17	27	45	60	73	52	48	43	37	31	480 мм
Средняя температура, °С	-9	-10	-4	6	13	17	19	17	11	5	-3	-8	4,6
осадки 1981–2010 гг. , мм	33	27	24	28	39	69	69	57	49	49	40	39	523
Средняя температура, °С	-8	-7	-2	6	14	17	19	17	11	6	-1	-6	5,5
осадки 2001–2020 гг. , мм	35	25	27	36	44	68	61	66	48	49	33	33	525

Таблица 2

Средняя месячная температура воздуха и количество осадков по месяцам для г. Арзамаса (2001–2020 гг.)

Года	Показатели	Месяц												За год
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2001	средняя температура, °С	-4	-6	-2	9	12	18	23	17	13	3	-1	-12	6,1
	количество осадков, мм	45	50	22	35	50	65	5	45	30	87	55	55	510
2002	средняя температура, °С	-7	-2	1	7	12	17	23	16	13	4	-2	-15	5,7
	количество осадков, мм	57	40	27	15	20	70	115	15	80	99	55	43	640
2003	средняя температура, °С	-8	-10	-6	5	15	13	22	19	12	6	1	-3	5,6
	количество осадков, мм	30	7	20	33	30	95	70	120	50	53	30	43	580
2004	средняя температура, °С	-7	-9	1	4	14	17	21	19	13	6	-2	-5	6,0
	количество осадков, мм	37	20	65	50	30	110	80	60	58	56	30	47	645
2005	средняя температура, °С	-5	-10	-8	5	16	17	19	18	13	6	1	-4	5,4
	количество осадков, мм	35	35	35	36	45	85	50	40	35	35	33	65	545
2006	средняя температура, °С	-14	-15	-5	6	13	20	18	18	13	6	-1	-2	4,5
	количество осадков, мм	25	25	35	25	50	60	75	60	80	45	87	35	600
2007	средняя температура, °С	-3	-13	2	5	16	17	20	22	12	7	-3	-7	5,9
	количество осадков, мм	50	45	15	27	33	37	100	30	90	42	40	25	545

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
2008	средняя температура, °С количество осадков, мм	-11 35	-5 38	1 35	9 40	12 40	16 60	20 45	19 100	10 45	9 45	1 50	-3 15	6,2 550
2009	средняя температура, °С количество осадков, мм	-8 30	-6 10	-3 25	4 20	13 30	18 70	20 65	17 70	14 14	6 37	0 35	-8 25	5,5 435
2010	средняя температура, °С количество осадков, мм	-17 50	-10 25	-4 10	7 10	17 40	20 8	25 10	22 45	12 50	3 30	1 40	-9 110	5,6 440
2011	средняя температура, °С количество осадков, мм	-12 55	-14 25	-6 35	4 20	14 20	17 30	22 72	18 22	12 85	6 30	-3 45	-3 60	4,5 550
2012	средняя температура, °С количество осадков, мм	-9 30	-15 15	-5 25	8 50	15 45	17 37	21 40	18 110	12 55	7 75	1 30	-9 32	5,1 550
2013	средняя температура, °С количество осадков, мм	-9 42	-6 10	-8 45	5 50	15 38	19 48	19 100	18 52	11 140	6 55	3 25	-4 50	5,2 650
2014	средняя температура, °С количество осадков, мм	-12 23	-6 22	0 20	5 6	16 15	16 75	20 15	19 47	11 17	2 40	-3 20	-5 40	5,5 342
2015	средняя температура, °С количество осадков, мм	-8 20	-4 28	-2 1	5 40	15 10	18 120	18 50	15 50	14 40	3 37	0 40	-2 45	5,9 480
2016	средняя температура, °С количество осадков, мм	-11 80	-2 65	-1 50	8 120	13 30	17 15	20 55	20 55	10 60	4 20	-3 50	-8 25	5,6 630
2017	средняя температура, °С количество осадков, мм	-10 26	-6 25	1 15	6 43	11 45	14 46	18 168	18 43	12 62	5 40	0 58	-1 77	5,6 650
2018	средняя температура, °С количество осадков, мм	-7 26	-12 12	-9 23	6 48	15 13	16 30	20 132	18 31	13 47	6 43	-3 17	-7 25	4,7 435
2019	средняя температура, °С количество осадков, мм	-9 21	-4 30	-1 20	6 18	15 99	17 85	17 60	15 68	10 28	8 78	-1 5	-2 35	5,9 545
2020	средняя температура, °С количество осадков, мм	-2 34	-3 23	3 15	5 65	12 60	17 75	19 52	15 75	12 22	7 30	0 23	-9 13	6,3 490
XXI в. Среднее	средняя температура, °С количество осадков, мм	-8 35	-7 25	-2 27	6 36	14 44	17 68	19 59	17 66	11 48	6 49	-1 33	-6 33	5,5 520

Примечание. Жирным шрифтом выделены отклонения от средней многолетней нормы.

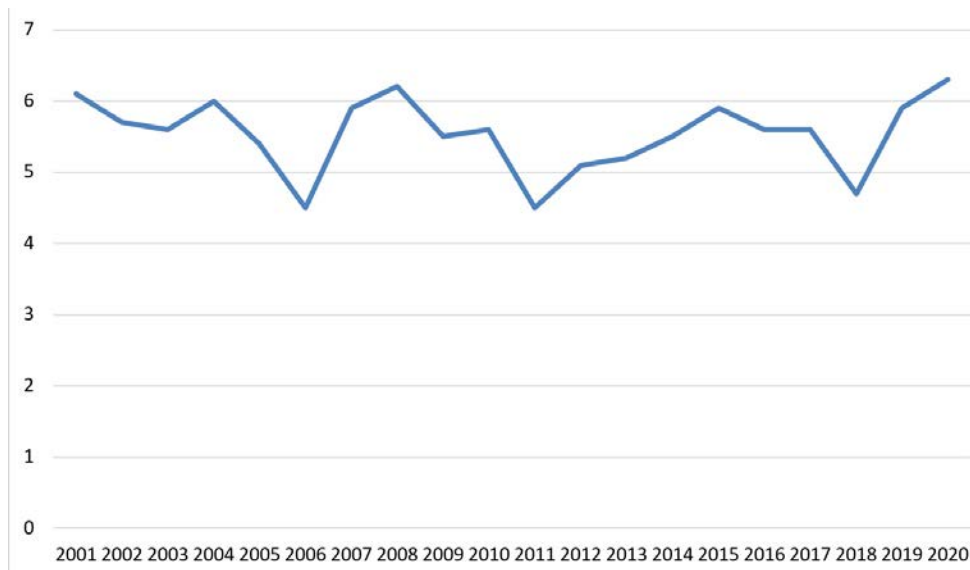


Рис. 2. График многолетнего хода среднегодовой температуры воздуха (°C) с 2001 по 2020 г. для г. Арзамаса

2. Обновились положительные температурные рекорды многих месяцев. Теперь абсолютный максимум температуры воздуха для города Арзамаса составляет $+40^{\circ}\text{C}$ (обновление произошло в июле 2010 г.), абсолютный максимум зимних месяцев превышает $+5^{\circ}\text{C}$.

3. Изменились сроки последнего заморозка, средняя дата его, теперь сместилась с конца на начало второй декады мая.

4. Наблюдается уменьшение размаха – разницы между среднемесячными температурами воздуха января и июля (вследствии существенного потепления января). Так, если в XX в. годовая амплитуда средних температур составляла 31°C , то теперь это значение снизилось до 27°C (см. табл. 2).

5. Вместе с повышением среднемесячных температур воздуха возросло количество осадков в холодные месяцы года (в среднем на 5–10 мм, при этом увеличилась доля осадков в жидкой фазе), что в свою очередь является прямым свидетельством участвовавшей повторяемости вторжения морского воздуха на территорию региона (см. табл. 2).

6. В результате более теплых зим и затяжных оттепелей мощность снежного покрова сократилась в среднем на 10–15 см, по сравнению с прошлым веком.

7. Изменилась картина выпадения максимальных и в меньшей степени наименьших сумм количества осадков за месяц. В прошлом веке наибольшее количество осадков выпадало в июле, теперь их максимум приходится на июнь или август. Март «разделил» название самого сухого месяца года с февралем.

8. Немного сместился в сторону повышения и коэффициент Высоцкого – Иванова (показатель численного соотношения годовых сумм осадков и испаряемости за год).

9. Циркуляционные процессы в атмосфере стали более активными. Наблюдается более частая смена одних циклонов другими – разных по про-

исхождению. Увеличилась доля средиземноморских циклонов. Резкие скачки атмосферного давления, особенно в холодный период, стали достигать 10–15 единиц за сутки. В теплый сезон возросла вероятность блокирующих антициклонов.

10. Произошло удлинение продолжительности теплого времени года и как следствие этого процесса – увеличение периода вегетации растений более чем на одну неделю.

О потеплении климата говорят не только статистические метеоданные, но и динамика фенологических процессов и динамика растительного покрова в Нижегородском регионе за последние полвека. Анализ процессов изменения общей картины зональности на территории региона позволили нижегородским ученым выявить феномен трансэкстразональности [20]. Другими словами, в условиях меняющегося климата (его потепления) на территориях с интенсивными антропогенными нарушениями происходит продвижение южных, в нашем случае степных, видов, в более северные природные подзоны. При этом наблюдается одновременный процесс сокращения ареалов бореальной растительности, внедрение в лесные сообщества представителей степного ценоэлемента.

Изменения климата в регионе коснулись и динамики фенологических процессов. Как известно, из всех факторов среды наибольшее влияние на фенологические процессы оказывает климат. Источником энергии для развития растений является солнечная радиация, которая является определяющей в температурном режиме региона и зависит от географической широты. Для растений основным источником тепла является температура окружающей среды, а ход изофен в значительной мере обусловлен температурными условиями. Любые изменения солнечной радиации и температуры воздуха влекут за собой изменения в развитии растений. При этом следует иметь в виду, что солнечная радиация – это не только тепло, но и солнечный свет, поступление которого зависит также от состояния облачности и продолжительности дня.

Заметное влияние на фенологические процессы оказывает и смена воздушных масс. Развитие растений весной ускоряется под влиянием вторжения теплых воздушных масс. Так, увеличение повторяемости вторжения южных циклонов весной приводит к более раннему снеготаянию в регионе и прогреву деятельной поверхности. Это в свою очередь ведет к ускорению оттаивания и прогреву почвы. Все фенологические фазы в почве или близ ее поверхности находятся под непосредственным влиянием температуры почвы. Преждевременный прогрев почвы ускоряет в особенности цветение низких растений, незначительно поднимающихся над поверхностью почвы (большинство первоцветов). Более раннему весеннему развитию растений способствует и тот факт, что в последние десятилетия снег в Нижегородском Правобережье ложится на незамерзшую почву. В этом случае определенное количество тепла в почве сохраняется и растения при благоприятных условиях весной начинают раньше вегетировать. Влияет на фенологические процессы и количество выпадающих осадков. Обилие осадков может вызывать за поздание созревания семян и плодов растений. В дождливую погоду естественно температура понижается и замедляется процесс созревания. Кроме того, обилие осадков само по себе при равных температурных условиях не-

сколько задерживает созревание. Особенно заметно на условия увлажнения реагирует процесс пожелтения листьев и листопад. Продолжительность листопада также зависит от интенсивности ветра.

При выявлении динамики фенологических процессов и явлений нами был проанализирован период с 2001 по 2020 г., когда заметно стало проявляться потепление климата в Нижегородском Правобережье, в частности на территории Арзамасского региона.

Появление первых проталин весной, как правило, становится возможным уже с началом положительных дневных температур воздуха при свободной солнечной инсоляции, даже при сохранении еще отрицательного среднесуточного фона температур. Анализ весенних наблюдений показывает, что данный фенологический процесс стал происходить в среднем на неделю раньше по сравнению с XX в. (табл. 3). Начало весны также сместилось к более ранним срокам. Теперь почти на целую декаду раньше весна приходит в Нижегородское Правобережье (середина II декады марта). Более раннее начало весенних процессов обуславливает заметно более ранний срок схода снежного покрова в регионе. В новом столетии средняя дата схода снежного покрова приходится на 6 апреля. На 2–3 дня раньше по сравнению с прошлым веком раскрываются листья березы, зацветают черемуха, а за ней и сирень (табл. 3).

Результаты наблюдения показывают, что сроки наступления лета по сравнению с XX в. почти не изменились и совпадают практически с календарем (2 июня). Фактически мало изменилась средняя дата начала цветения шиповника, а вот липа зацветает почти на неделю раньше многолетних сроков. Теперь ее цветение приходится на конец июня, тогда как еще тридцать лет назад это происходило в первой декаде июля. Изменение сроков цветения липы, вероятно, обусловлено более высокими температурами воздуха и почвы в первой половине теплого июня (табл. 4, рис. 3).

Анализ наблюдений показывает, что сроки наступления осени мало изменились по сравнению с прошлым веком. В наступившем столетии осень приходит в среднем на три дня позднее. Практически не изменилась дата первого заморозка – 22 сентября. Гораздо заметнее, с запаздыванием на декаду отмечается первый снег и образуется первый снежный покров. Причем в редких случаях (раз в 10–12 лет) выпадение первого снега и образование при этом снежного покрова совпадают. Окончание массового листопада у большинства местных видов деревьев, включая поздноопадающие дуб и березу, происходит, как и прошлым веком, в середине третьей декады октября.

Малоизменившиеся средние сроки наступления осени, первого заморозка, окончания листопада, продолжительности осени (рис. 4) вероятно следует объяснить относительной стабильностью осенних погодноклиматических процессов, практически неизменившихся в последние десятилетия (см. средние месячные температуры воздуха сентября и октября, табл. 2). Что касается других фенологических процессов межсезонья, то средняя дата начала зимы сместилась с 25 ноября в XX в. на 2 декабря в новом столетии (табл. 5).

Причиной столь существенного смещения сроков первого снега и наступления зимы считаем активизацию западных атлантических и южных средиземноморских циклонов в холодный период.

Таблица 3
Весенние фенологические явления и даты их наступления для г. Арзамаса

Год	Фенофаза									
	Первые проталины	Начало весны	Сход снежного покрова	Появление листьев на березе	Начало цветения черемухи	Начало цветения сирени	Последний заморозок на почве			
2001	6 апреля	12 марта	19 апреля	24 апреля	30 апреля	7 мая	14 апреля			
2002	7 марта	10 марта	14 апреля	24 апреля	2 мая	10 мая	27 мая			
2003	14 марта	29 марта	20 апреля	6 мая	14 мая	22 мая	31 мая			
2004	1 марта	13 марта	14 апреля	4 мая	11 мая	23 мая	23 мая			
2005	5 апреля	2 апреля	19 апреля	5 мая	11 мая	20 мая	27 апреля			
2006	30 марта	29 марта	17 апреля	4 мая	14 мая	24 мая	19 мая			
2007	15 марта	4 марта	29 марта	28 апреля	10 мая	19 мая	4 мая			
2008	4 марта	24 февраля	30 марта	12 апреля	29 апреля	11 мая	9 июня			
2009	27 марта	29 марта	15 апреля	4 мая	8 мая	14 мая	25 апреля			
2010	29 марта	28 марта	10 апреля	25 апреля	5 мая	9 мая	28 апреля			
2011	8 апреля	3 апреля	23 апреля	4 мая	16 мая	22 мая	14 мая			
2012	2 апреля	30 марта	18 апреля	23 апреля	1 мая	9 мая	7 апреля			
2013	7 апреля	1 апреля	22 апреля	5 мая	10 мая	14 мая	2 мая			
2014	7 марта	9 марта	10 апреля	30 апреля	4 мая	13 мая	4 мая			
2015	15 марта	27 февраля	17 апреля	1 мая	11 мая	17 мая	10 мая			
2016	18 марта	27 марта	12 апреля	26 апреля	3 мая	11 мая	24 мая			
2017	6 марта	1 марта	9 апреля	30 апреля	4 мая	21 мая	29 мая			
2018	1 апреля	4 апрел	15 апреля	3 мая	7 мая	15 мая	11 июня			
2019	12 марта	9 марта	10 апреля	27 апреля	6 мая	11 мая	21 мая			
2020	21 феврал	17 февраля	26 марта	4 мая	6 мая	19 мая	22 мая			
Среднее	15 марта	14март	6 апреля	28 апреля	7 мая	16 мая	14 мая			

Таблица 4

Летние фенологические явления и даты их наступления

Год	Фенофаза		
	Начало лета	Начало цветения шиповника	Начало цветения липы
2001	5 июня	30 мая	27 июня
2002	2 июня	30 мая	2 июля
2003	21 июня	30 мая	8 июля
2004	6 июня	4 июня	4 июля
2005	18 мая	27 мая	28 июня
2006	31 мая	3 июня	29 июня
2007	16 мая	24 мая	27 июня
2008	11 июня	20 мая	29 июня
2009	28 мая	30 мая	24 июня
2010	3 мая	16 мая	21 июня
2011	29 мая	1 июня	29 июня
2012	6 мая	21 мая	19 июня
2013	25 мая	27 мая	19 июня
2014	11 мая	21 мая	18 июня
2015	23 мая	30 мая	23 июня
2016	26 мая	24 мая	24 июня
2017	24 июня	11 июня	9 июля
2018	16 июня	30 мая	28 июня
2019	27 мая	27 мая	18 июня
2020	4 июня	3 июня	2 июля
Средн.	2 июня	31 мая	29 июня

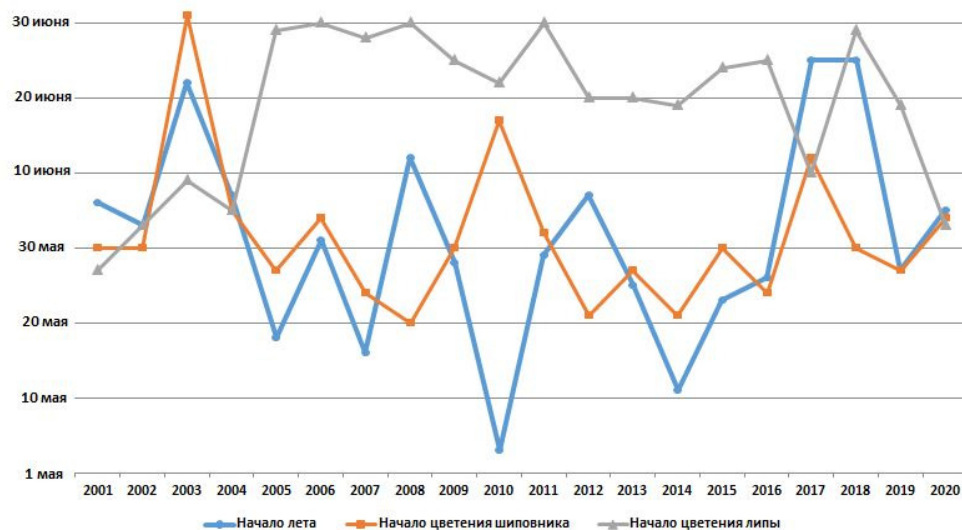


Рис. 3. Летние фенологические явления и даты их наступления в период с 2001 по 2020 г.

Учитывая тот факт, что поверхность океана стала несколько теплее, морские воздушные массы, доходя до территории Нижегородского Правобережья, не успевают трансформироваться, в данном случае остыть.

Таблица 5
Осенние фенологические явления и даты их наступления для г. Арзамаса

Год	Начало осени	Первый заморозок на почве	Первый снег	Первый снежный покров	Конец листопада	Начало зимы
2001	25 августа	27 сентября	13 октября	13 октября	23 октября	27 ноября
2002	12 сентября	13 сентября	3 октября	8 октября	24 октября	23 ноября
2003	3 сентября	22 сентября	22 октября	22 октября	24 октября	1 декабря
2004	5 сентября	13 октября	11 октября	31 октября	25 октября	26 ноября
2005	31 августа	21 сентября	19 октября	26 октября	23 октября	2 декабря
2006	6 сентября	27 сентября	16 октября	30 октября	23 октября	19 декабря
2007	30 августа	12 октября	15 октября	5 ноября	27 октября	10 ноября
2008	31 августа	17 сентября	27 сентября	19 ноября	18 октября	23 декабря
2009	17 сентября	1 октября	30 октября	30 октября	23 октября	9 декабря
2010	5 сентября	5 сентября	13 октября	30 октября	29 октября	28 ноября
2011	4 сентября	22 сентября	16 октября	8 ноября	30 октября	9 ноября
2012	21 августа	8 октября	24 октября	25 октября	21 октября	4 декабря
2013	3 сентября	27 сентября	1 октября	1 октября	25 октября	28 ноября
2014	26 августа	17 сентября	2 октября	20 октября	23 октября	29 ноября
2015	16 августа	4 октября	7 октября	8 октября	29 октября	27 декабря
2016	1 сентября	12 сентября	22 октября	30 октября	28 октября	28 ноября
2017	28 августа	23 сентября	21 октября	28 октября	25 октября	26 ноября
2018	17 сентября	18 сентября	28 октября	28 октября	26 октября	23 ноября
2019	25 августа	31 августа	22 сентября	30 октября	20 октября	30 декабря
2020	9 сентября	17 сентября	20 октября	10 ноября	23 октября	23 ноября
Среднее	3 сентября	22 сентября	18 октября	28 октября	24 октября	2 декабря

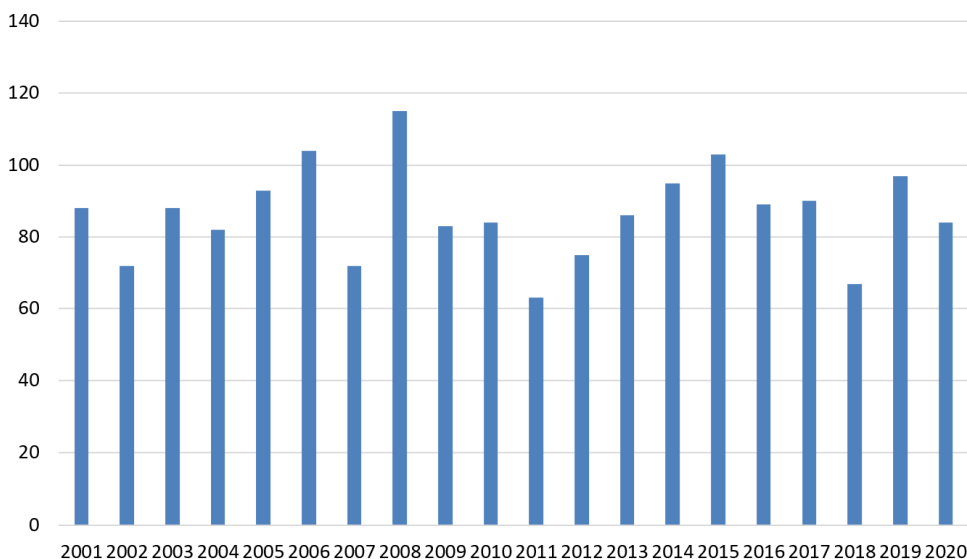


Рис. 4. График продолжительности осени (в днях) в г. Арзамасе за 2001–2020 гг.

Температура таких воздушных масс зимой остается положительной и осадки, естественно, выпадают в жидкой фазе. По той же причине в холодный сезон увеличилась повторяемость ледяных дождей, дождей и мороси.

Заключение

Таким образом, очевидным становится факт смещения сроков наступления фенологических процессов в регионе. В целом сократился примерно на две недели зимний сезон. Весенние процессы в XXI столетии начинаются с опережением средних многолетних сроков по сравнению с прошлым веком в среднем на 3–5 суток: начало активного снеготаяния, сход снежного покрова, начало цветения большинства растений, ускорились и летние фенологические процессы. Раньше обычного (на 3–6 суток) происходит созревание ягодных, овощных и плодовых культур. Особенно существенной оказалась динамика осенне-зимних фенологических процессов. С заметным опозданием отмечается первый снег, первый снежный покров, образование устойчивого снежного покрова (начало зимы) и т.п.

Такой сдвиг фенологических процессов, весной в сторону более раннего их наступления, а осенью в сторону запаздывания, обусловлено меняющимися климатическими условиями. Глобальное потепление как бы «переносит» нас на 200–300 км южнее, при этом делая наши зимы по-европейски мягкими.

Проведенный нами анализ погодно-климатических условий Арзамасского региона на рубеже XX–XXI вв., позволяет предположить, что тенденция потепления местного климата в ближайшие годы скорее всего сохранится, что, безусловно, не может не отражаться на сезонной ритмике живых организмов и в целом на динамике фенологических процессов в регионе. Анализ весенних наблюдений показывает, что данный фенологический процесс стал происходить в среднем на неделю раньше по сравнению с XX в. (см. табл. 3). Сроки наступления лета по сравнению с XX в. почти не измени-

лись и совпадают практически с календарем (2 июня). Сроки наступления осени и наступления первых заморозков мало изменились по сравнению с прошлым веком.

Список литературы

1. Переведенцев Ю. П., Верещагин М. А., Наумов Э. П. [и др.]. Современные изменения климата Северного полушария Земли // Ученые записки Казанского государственного университета. Сер.: Естественные науки. 2005. Т. 147, № 1. С. 90–106.
2. Byshev V. I., Neiman V. G., Romanov Yu. On the essential differences between the large-scale variations of the surface temperature over the oceans and continents // *Oceanology*. 2006. Vol. 46. P. 147–158.
3. *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* / R. K. Pachauri and L. A. Meyer (eds.). IPCC. Geneva, 2014. 151 p.
4. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации : техническое резюме. М. : Росгидромет, 2014. 93 с.
5. Кузнецова В. П. Фенологические процессы в условиях изменения климата северных территорий (на примере таежной зоны Ханты-Мансийского автономного округа – Югры) : дис. ... к.г.н. Нижневартовск, 2016. 225 с.
6. Биненко В. И., Донченко В. К., Малинин В. Н. [и др.]. Киотский протокол и некоторые аспекты современного изменения климата (по результатам научных чтений, посвященных 95-летию академика РАН К. Я. Кондратьева) // *Региональная экология*. 2015. № 2. С. 3–15.
7. Храпов П. В., Канибер В. В. Сравнительный анализ климатических изменений в Антарктике и Арктике // *International Journal of Open Information Technologies*. 2019. Т. 7, № 8. С. 32–43.
8. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2019 год. М. : Росгидромет, 2020. 97 с.
9. Соколов Л. В. Климат в жизни растений и животных. СПб., 2010. 344 с.
10. Минин А. А. Некоторые аспекты взаимосвязей наземных экосистем с изменяющимся климатом // *Успехи современной биологии*. 2011. Т. 131, № 4. С. 407–415.
11. Richardson A. D., Keenana T. F., Migliavacca M. [et al.]. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013. Vol. 169. P. 156–173.
12. Menzel A., Yuan Y., Matiu M. [et al.]. Climate change fingerprints in recent European plant phenology // *Global Change Biology*. 2020. Vol. 26. P. 2599–2612.
13. Estrella N., Sparks T., Menzel A. Effects of temperature, phase type and timing, location, and human density on plant phenological responses in Europe // *Climate Research*. 2009. Vol. 39, № 3. P. 235–248.
14. Ault T., Macalady A., Schwartz M. [et al.]. Climatic drivers and constraints of phenological change // *Conference Themes and Plenary Speakers Phenology 2012. Future Climate and the Living Earth (September 10–13)*. 2012. URL: <https://www4.uwm.edu/letsai/conferences/phenology2012/presentations/ault.pdf>
15. Kozlov M. B., Berlina H. G. Decline in length of the summer season on the Kola peninsula, Russia // *Climatic Change*. 2002. Vol. 54. P. 387–398.
16. Терентьев А. А., Колкутин В. И. Климат конца XX века в средней полосе Нижегородской области. Н. Новгород, 2004. 372 с.
17. Терентьев А. А., Колкутин В. И., Панютин А. А. Климат Нижнего Новгорода в XX веке и начале XXI века. Н. Новгород, 2011. 280 с.
18. Любов М. С. Природно-климатические условия Арзамасского региона : монография. Н. Новгород : Арзамасский филиал ННГУ, 2019. 106 с.

19. Климат Нижнего Новгорода / под ред. Ц. А. Швер, С. В. Рязановой. Л. : Гидрометеиздат, 1991. 167 с.
20. Ибрагимов А. К., Ануфриев Г. А., Терентьев А. А. О феномене трансэкстремальности // Вестник ННГУ им. Н. И. Лобачевского. Сер.: Биология. 2007. Вып. 2. С. 141–145.

References

1. Perevedentsev Yu.P., Vereshchagin M.A., Naumov E.P. et al. Modern climate changes in the Northern hemisphere of the Earth. *Uchenye zapiski Kazanskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki = Proceedings of Kazan State University. Series: Natural sciences*. 2005;147(1):90–106. (In Russ.)
2. Byshev V.I., Neiman V.G., Romanov Yu. On the essential differences between the large-scale variations of the surface temperature over the oceans and continents. *Oceanology*. 2006;46:147–158.
3. Pachauri R.K., Meyer L.A. (eds.). *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Geneva, 2014:151.
4. *Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii: tekhnicheskoe rezyume = The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation: technical summary*. Moscow: Rosgidromet, 2014:93. (In Russ.)
5. Kuznetsova V.P. *Phenological processes in the conditions of climate change in the northern zone of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug - Yugra*. PhD dissertation. Nizhnevartovsk, 2016:225. (In Russ.)
6. Binenko V.I., Donchenko V.K., Malinin V.N. et al. The Kyoto Protocol and some aspects of modern climate change (according to the results of scientific readings, dedicated to the 95th anniversary of K. Ya. Kondratiev academician of the Russian Academy of Sciences). *Regional'naya ekologiya = Regional ecology*. 2015;(2):3–15. (In Russ.)
7. Khrapov P.V., Kaniber V.V. Comparative analysis of climate change in the Antarctic and the Arctic. *International Journal of Open Information Technologies*. 2019;7(8):32–43. (In Russ.)
8. *Doklad ob osobennostyakh klimata na territorii Rossiyskoy Federatsii za 2019 god = Report on the peculiarities of the climate in the territory of the Russian Federation for 2019*. Moscow: Rosgidromet, 2020:97. (In Russ.)
9. Sokolov L.V. *Klimat v zhizni rasteniy i zhivotnykh = Climate in the life of plants and animals*. Saint Petersburg, 2010:344. (In Russ.)
10. Minin A.A. Some aspects of the relationship of terrestrial ecosystems with a changing climate. *Uspekhi sovremennoy biologii = Advances in modern biology*. 2011;131(4):407–415. (In Russ.)
11. Richardson A.D., Keenana T.F., Migliavacca M. et al. Climate change, phenology, and phenological control of vegetation feedbacks to the climate system. *Agricultural and Forest Meteorology*. 2013;169:156–173.
12. Menzel A., Yuan Y., Matiu M. et al. Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Global Change Biology*. 2020;26:2599–2612.
13. Estrella N., Sparks T., Menzel A. Effects of temperature, phase type and timing, location, and human density on plant phenological responses in Europe. *Climate Research*. 2009;39(3):235–248.
14. Ault T., Macalady A., Schwartz M. et al. Climatic drivers and constraints of phenological change. *Conference Themes and Plenary Speakers Phenology 2012. Future Climate and the Living Earth (September 10–13)*. 2012. Available at: <https://www4.uwm.edu/lets/ci/conferences/phenology2012/presentations/ault.pdf>
15. Kozlov M.B., Berlina H.G. Decline in length of the summer season on the Kola peninsula, Russia. *Climatic Change*. 2002;54:387–398.

16. Terent'ev A.A., Kolkutin V.I. *Klimat kontsa XX veka v sredney polose Nizhegorodskoy oblasti = The climate of the late 20th century in the middle zone of Nizhny Novgorod region*. Nizhny Novgorod, 2004:372. (In Russ.)
17. Terent'ev A.A., Kolkutin V.I., Panyutin A.A. *Klimat Nizhnego Novgoroda v XX veke i nachale XXI veka = The climate of Nizhny Novgorod in the 20th century and the beginning of the 21st century*. Nizhny Novgorod, 2011:280. (In Russ.)
18. Lyubov M.S. *Prirodno-klimaticheskie usloviya Arzamasskogo regiona: monografiya = Natural and climatic conditions of Arzamas region: monograph*. Nizhny Novgorod: Arzamasskiy filial NNGU, 2019:106. (In Russ.)
19. Shver Ts.A., Ryazanova S.V. (eds.). *Klimat Nizhnego Novgoroda = Climate of Nizhny Novgorod*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1991:167. (In Russ.)
20. Ibragimov A.K., Anufriev G.A., Terent'ev A.A. On the phenomenon of trans-extrazonal. *Vestnik NNGU im. N.I. Lobachevskogo. Ser.: Biologiya = Bulletin of Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod. Series: Biology*. 2007;(2):141–145. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Сергеевич Любов

кандидат педагогических наук, доцент,
доцент кафедры биологии, географии
и химии, Арзамасский филиал
Национального исследовательского
Нижегородского государственного
университета имени Н. И. Лобачевского,
(Россия, Нижегородская область,
г. Арзамас, ул. К. Маркса, 36)

E-mail: lubov.arz@mail.ru

Mikhail S. Lyubov

Candidate of pedagogical sciences,
associate professor, associate professor
of the sub-department of biology,
geography and chemistry, Arzamas
branch of Lobachevsky State
University of Nizhny Novgorod
(36 Karla Marksa street, Arzamas,
Nizhny Novgorod region, Russia)

Ольга Ивановна Недосеко

доктор биологических наук, доцент,
заведующий кафедры биологии,
географии и химии, Арзамасский филиал
Национального исследовательского
Нижегородского государственного
университета имени Н. И. Лобачевского,
(Россия, Нижегородская область,
г. Арзамас, ул. К. Маркса, 36)

E-mail: nedoseko@bk.ru

Ol'ga I. Nedoseko

Doctor of biological sciences, associate
professor, head of the sub-department
of biology, geography and chemistry,
Arzamas branch of Lobachevsky State
University of Nizhny Novgorod
(36 Karla Marksa street, Arzamas,
Nizhny Novgorod region, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 27.10.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 13.12.2022

Принята к публикации / Accepted 16.12.2022

УДК 591.5

doi:10.21685/2307-9150-2022-4-9

Гнездовая биология орланов-белохвостов (*Haliaeetus albicilla*) на этапе строительства гнезда в национальном парке «Сенгилеевские горы»

М. В. Корепов¹, Д. А. Николаева², С. А. Стрюков³,
П. О. Павлов⁴, И. П. Арюлина⁵, М. Н. Голубева⁶

^{1,4}Национальный парк «Сенгилеевские горы», Ульяновск, Россия

^{1,2,4,6}Ульяновский государственный педагогический университет
имени И. Н. Ульянова, Ульяновск, Россия

^{3,4}Ульяновский областной краеведческий музей
имени И. А. Гончарова, Ульяновск, Россия

⁵Ульяновский центр по гидрометеорологии и мониторингу
окружающей среды – филиал Приволжского управления по гидрометеорологии
и мониторингу окружающей среды, Ульяновск, Россия

¹korepov@list.ru, ²nikolaewadaria@gmail.com, ³stanislav_str@mail.ru,
⁴pavelmml@mail.ru, ⁵arulin55@gmail.com, ⁶golybevamaha2021@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*) является редким и уязвимым пернатым хищником региона. Представлены оригинальные материалы по гнездовой биологии вида в зимне-весенний период в условиях отсутствия размножения, собранные на территории национального парка «Сенгилеевские горы». *Материалы и методы.* Для сбора материала использовалась автономная система видеонаблюдения, установленная над многолетним гнездом орланов-белохвостов. Наблюдения продолжались с 13 декабря 2020 г. до 24 апреля 2021 г. *Результаты.* Демонстративная активность на гнезде орланов-белохвостов началась в третьей декаде января. Активное гнездостроительство началось в первой декаде марта. Во второй декаде марта орланы начали имитировать насиживание кладки. Наиболее активным в период строительства гнезда был самец. В кормовом рационе орланов в зимне-весенний период выявлено пять видов позвоночных животных, среди которых преобладает рыба. *Выводы.* Ключевую роль в инициации размножения играет самец. Демонстративное абонирование гнезда начинается еще в разгар зимы, активное гнездостроительство – в начале весны. Имитация насиживания кладки, вероятно, является формой охраны гнездового участка в условиях внутривидовой конкуренции.

Ключевые слова: орлан-белохвост, *Haliaeetus albicilla*, гнездовая биология, национальный парк «Сенгилеевские горы»

Финансирование: исследования проведены при поддержке компании МТС в рамках экологического проекта «Место силы».

Благодарности: авторы выражают благодарность студентам и выпускникам естественно-географического факультета Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова за помощь в организации трансляции: Гужову А. С., Афанасьевой О. И. и Бирюковой Ю. А.

© Корепов М. В., Николаева Д. А., Стрюков С. А., Павлов П. О., Арюлина И. П., Голубева М. Н., 2022. Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License / This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Для цитирования: Корепов М. В., Николаева Д. А., Стрюков С. А., Павлов П. О., Арюлина И. П., Голубева М. Н. Гнездовая биология орланов-белохвостов (*Haliaeetus albicilla*) на этапе строительства гнезда в национальном парке «Сенгилеевские горы» // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки. 2022. № 4. С. 95–106. doi:10.21685/2307-9150-2022-4-9

Nesting biology of white-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the nest building stage in “Sengileevskiye gory” national park

**M.V. Korepov¹, D.A. Nikolaeva², S.A. Stryukov³,
P.O. Pavlov⁴, I.P. Aryulina⁵, M.N. Golubeva⁶**

^{1,4}National Park "Sengileevskiye Gory", Ulyanovsk, Russia

^{1,2,4,6}Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov, Ulyanovsk, Russia

^{3,4}Ulyanovsk Regional Museum of Local Lore named
after I.A. Goncharov, Ulyanovsk, Russia

⁵Ulyanovsk Center for Hydrometeorology and Environmental
Monitoring—branch of Volga Department for Hydrometeorology
and Environmental Monitoring, Ulyanovsk, Russia

¹korepov@list.ru, ²nikolaewadaria@gmail.com, ³stanislav_str@mail.ru,
⁴pavelmml@mail.ru, ⁵arulin55@gmail.com, ⁶golybevamaha2021@yandex.ru

Abstract. *Background.* The white-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*) is a rare and vulnerable predator of Ulyanovsk region. The article presents original materials on the nesting biology of the species in the winter-spring period in the conditions of the breeding site, collected on the territory of “Sengileevskiye gory” national park. *Materials and methods.* To collect the material, an autonomous video surveillance system was used, installed over a perennial nest of white-tailed eagles. The observations continued from December 13, 2020 to April 24, 2021. *Results.* Demonstrative activity at the nest of white-tailed eagles began in the third decade of January. Active nest building began in the first decade of March. During the second decade of March, the birds began to imitate brooding. The male was the most active during the nest building period. The forage diet in the winter-spring period consists of 5 species of vertebrates, among which fish predominates. *Conclusions.* The male plays the key role in initiating reproduction. Demonstrative nesting begins at the height of winter, active nest building in early spring. Imitation of incubation of clutches is most likely a manifestation of the protection of the nesting site under conditions of intraspecific competition.

Keywords: white-tailed eagle, *Haliaeetus albicilla*, breeding biology, Sengileevskie gory National Park

Acknowledgements: the research was supported by MTS within the environmental project “Mesto Sily”. The authors extends gratitude to students and university graduates of the faculty of natural geography of Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov for organizing the broadcast: A.S. Guzhov, O.I. Afanasieva and Yu.A. Biryukova

For citation: Korepov M.V., Nikolaeva D.A., Stryukov S.A., Pavlov P.O., Aryulina I.P., Golubeva M.N. Nesting biology of white-tailed eagles (*Haliaeetus albicilla*) at the nest building stage in “Sengileevskiye gory” national park. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Estestvennye nauki = University proceedings. Volga region. Natural sciences.* 2022;(4):95–106. (In Russ.). doi:10.21685/2307-9150-2022-4-9

Введение

Орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*) занесен в Красную книгу России [1] и Ульяновской области [2]. Данный вид является самым крупным гнездя-

щимся пернатым хищником региона и отличается высокой осторожностью, поэтому любые сведения, касающиеся его биологии, имеют большую ценность и могут быть использованы для оптимизации охраны вида. Если распространение, численность и биотопическая приуроченность орлана-белохвоста в регионе, в том числе в национальном парке «Сенгилеевские горы», изучены достаточно полно [2–6], то сведений о гнездовой биологии вида в Ульяновской области явно недостаточно [7, 8]. Современные методы дистанционного наблюдения позволили получить оригинальные данные по гнездовой биологии пары орланов-белохвостов в период строительства гнезда в национальном парке «Сенгилеевские горы».

Материалы и методы

Исследования проводили на территории национального парка «Сенгилеевские горы» в окрестностях с. Шиловка Сенгилеевского района Ульяновской области. Наблюдаемое гнездо орланов-белохвостов расположено в овраге на прибрежном облесенном склоне правого берега Куйбышевского водохранилища р. Волга в 260 м от побережья. Гнездовая постройка локализована на старовозрастной березе в развилке ствола на высоте 14 м (рис. 1).



Рис. 1. Гнездо орланов-белохвостов в национальном парке «Сенгилеевские горы» (Ульяновская область), на котором установлена система видеонаблюдения

Для наблюдений использовали замаскированную камеру наружного наблюдения, установленную над гнездом орланов-белохвостов (рис. 2). Автономное электропитание системы видеонаблюдения (камера, роутер, модем) осуществлялось с помощью солнечной батареи, аккумулятора и контроллера заряда. Трансляция осуществлялась по средствам мобильной сети Интернет на скорости 4G. Все записи с камеры поступали в облачное хранилище сер-

виса Ivideon, после чего их просматривали и анализировали, необходимые эпизоды сохраняли на персональный компьютер для дальнейшей обработки.



Рис. 2. Элементы системы видеонаблюдения на гнезде орланов-белохвостов: видеокамера и LTE модуль

Система видеонаблюдения была установлена на многолетнем гнезде орланов (13.12.2020) до начала сезона размножения птиц. Наблюдения продолжались до 24.04.2021 с некоторыми перерывами (до 10 дней), связанными со сбоями в трансляции.

В ходе наблюдений фиксировали прилеты орланов на гнездо, принесенные строительные и кормовые объекты, время, проведенное птицами на гнезде, и взаимоотношения орланов между собой.

Результаты

Фенология и поведение

Взрослый самец впервые появился на гнезде 26 января с пучком сухой травы, вероятно, демонстрирующим намерение использовать гнездо для размножения в текущем сезоне (рис. 3). Взрослая самка была замечена на гнезде в первый раз 1 февраля (рис. 4). В дальнейшем, до середины февраля, активность на гнезде была незначительная.

Спустя две недели, 14 февраля на гнезде появилась другая, более молодая самка (рис. 5). Она прилетала на гнездо два дня подряд, после чего ее прогнала с гнезда взрослая самка (рис. 6). После 16 февраля молодая самка на гнезде больше не появлялась, в то время как взрослая самка несколько дней подряд активно проявляла демонстрационное поведение (клекот, перекалывание веток на гнезде) (рис. 7).



Рис. 3. Самец орлана с пучком сухой травы



Рис. 4. Пара взрослых орланов, самец – на переднем плане и самка – на заднем плане



Рис. 5. Молодая самка орлана



Рис. 6. Момент совместного нахождения на гнезде взрослой (на переднем плане) и молодой (на заднем плане) самок орлана



Рис. 7. Демонстративное поведение взрослой самки

С 6 марта самец приступил к подновлению гнезда, используя для этого крупные сучья хвойных и лиственных пород деревьев, с 7 марта начал активное строительство (рис. 8). 7 марта самка принесла свою первую и единственную ветку, которую передала с присады самцу, находящемуся в это время на гнезде (рис. 9). В дальнейшем, в апреле, самка также принимала участие в перекладывании веток на гнезде, иногда совместно с самцом, но сама ветки на гнездо уже не приносила.

С 9 марта самец начал формирование лотка. Процесс сводился к расталкиванию грудью сучьев из центральной части гнезда к периферии и приминанию выстилки (рис. 10). С 12 марта самец начал имитировать насиживание кладки, обогревая пустой лоток (рис. 11).

13 марта самец дважды вступил в схватку с другим самцом, атаковавшим его прямо на гнезде.



Рис. 8. Самец орлана с гнездостроительным материалом

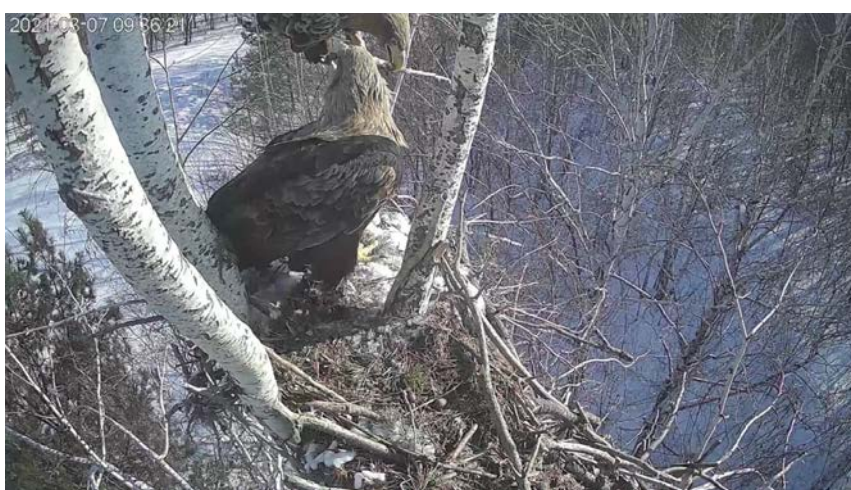


Рис. 9. Момент передачи ветки самкой самцу орлана



Рис. 10. Самец орлана формирует лоток



Рис. 11. Самец орлана насиживает пустой лоток

26 марта самец впервые принес в гнездо корм, 16 апреля самка также впервые принесла в гнездо корм (рис. 12). Практически всю принесенную в гнездо добычу съедала самка, при этом эпизодически проявляя агрессию по отношению к самцу в процессе отнимания пищи.



Рис. 12. Самец орлана с добычей

20 апреля самка приступила к насиживанию пустого лотка (рис. 13), однако большую часть времени этим продолжал заниматься самец, в то время как самка находилась рядом на гнезде.

Интерес, проявляемый орланами к электропроводке системы видеонаблюдения, привел к тому, что к 24 апреля самка повредила один из проводов, после чего наблюдения были прекращены.

Последующие проверки гнезда показали, что орланы в этом сезоне так и не приступили к размножению.



Рис. 13. Самка орлана насиживает пустой лоток

Бюджет времени и активность

За весь период наблюдений орланы провели на гнезде 130,5 ч. Больше всего времени на гнезде проводил самец (83,1 %), значительно меньше – взрослая самка (16,8 %), незначительное время на гнезде провела молодая самка (0,1 %). Пик активности на гнезде пришелся на апрель – 86 ч (66 %). В этот период также активнее был самец (75,5 %), активность самки возросла незначительно (24,5 %).

Период наибольшей активности гнездостроительства наблюдался в марте и апреле. Наиболее активное участие в гнездостроительстве принимал самец. За весь период наблюдения в гнездо было принесено 569 веток, из них 568 веток (99,9 %) принесены самцом, самка принесла всего 1 ветку (0,1 %). Больше всего веток было принесено в марте (42,2 %) и апреле (56,9 %), меньше всего – в январе (0,5 %) и феврале (0,4 %). Большая часть веток была принесена орланами в лапах (85 %), меньшая – в клюве (15 %).

Кормовой рацион

В ходе наблюдения за питанием орланов было выявлено 24 кормовых объекта, из которых 21 удалось определить до вида, еще 2 – до класса. Всего выявлено пять видов жертв, относящихся к трем классам (Рыбы, Птицы, Млекопитающие): судак (*Sander lucioperca*), лещ (*Abramis brama*), лысуха (*Fulica atra*), серая крыса (*Rattus norvegicus*) и степной сурок (*Marmota bobak*). Большую часть кормового рациона орланов в зимний и ранневесенний период составляла рыба (66 %). Видовой состав рыбного рациона был в равной степени представлен лещом и судаком. Меньшую долю составили птицы (16 %) и млекопитающие (8 %). Большую часть пищи (91,7 %) на гнездо приносил самец, самка принесла добычу только дважды (8,3 %).

Обсуждение

Проведенные наблюдения позволяют констатировать, что у орланов-белохвостов ключевую роль в инициации размножения в текущем сезоне иг-

рает самец, на которого приходится основной объем гнездостроительных работ, защита гнездового участка и кормление самки. Демонстрационное абонирование гнезда начинается еще в разгар зимы (третья декада января), активное гнездостроительство – в начале весны (первая декада марта). Даже при отсутствии размножения орланы имитируют насиживание кладки, обогревая пустой лоток, что, вероятно, позволяет им сохранить многолетний гнездовой участок в условиях конкуренции за ограниченное количество гнездопригодных для вида территорий.

Список литературы

1. Пчелинцев В. Г. Орлан-белохвост // Красная книга Российской Федерации. Животные. 2-е изд. М. : ФГБУ «ВНИИ Экология», 2021. С. 638–640.
2. Корепов М. В. Орлан-белохвост // Красная книга Ульяновской области / под науч. ред. Е. А. Артемьевой, А. В. Масленникова, М. В. Корепова ; Правительство Ульяновской области. М. : Изд-во «Буки Веди», 2015. С. 448–449.
3. Корепов М. В., Стрюков С. А., Миронов П. В. [и др.]. Орлан-белохвост (*Haliaeetus albicilla*) (Accipitridae, Aves) в Ундоровских и Сенгилеевских горах // Поволжский экологический журнал. 2015. № 4. С. 456–460.
4. Адамов С. Г., Бородин О. В., Корольков М. А. [и др.]. Зимние скопления орлана-белохвоста *Haliaeetus albicilla* на территории Среднего Поволжья // Бутурлинский сборник : материалы V Междунар. Бутурлинских чтений. Ульяновск : Изд-во «Корпорация технологий продвижения», 2016. С. 90–102.
5. Корепов М. В. Роль национального парка «Сенгилеевские горы» в охране редких видов птиц // Актуальные проблемы охраны птиц : материалы Всерос. науч.-практ. конф., посвящ. 25-летию Союза охраны птиц России (г. Москва, 10–11 февраля 2018 г.). М. ; Махачкала : АЛЕФ (ИП Овчинников), 2018. С. 136–139.
6. Корепов М. В., Арюлина И. П., Корепова Д. А. [и др.]. Мониторинг гнездовых группировок крупных пернатых хищников национального парка «Сенгилеевские горы» в 2020 г. // Природа Симбирского Поволжья : сб. науч. тр. Ульяновск : Изд-во «Корпорация технологий продвижения», 2020. Вып. 21. С. 107–110.
7. Шашкин М. М., Пчелинцев В. Г. Материалы по питанию орлана-белохвоста, полученные с помощью фотоловушек // XIV Междунар. орнитологическая конф. Северной Евразии. I. Тезисы. Алматы, 2015. С. 535–536.
8. Шашкин М. М. Гнездование орлана-белохвоста (*Haliaeetus albicilla*) в нетипичных условиях в Ульяновской области // Бутурлинский сборник : материалы VI Междунар. Бутурлинских чтений. Ижевск : ООО «Принт», 2019. С. 246–252.

References

1. Pchelintsev V.G. White-tailed eagle. *Krasnaya kniga Rossiyskoy Federatsii. Zhivotnye. 2-e izd.* = *The Red Book of the Russian Federation. Animals. The 2nd edition.* Moscow: FGBU «VNIi Ekologiya», 2021:638–640. (In Russ.)
2. Korepov M.V. White-tailed eagle. *Krasnaya kniga Ul'yanovskoy oblasti = The Red Book of Ulyanovsk region.* Moscow: Izd-vo «Buki Vedi», 2015:448–449. (In Russ.)
3. Korepov M.V., Stryukov S.A., Mironov P.V. et al. White-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*) (Accipitridae, Aves) in the Undorovsky and Sengileevsky mountains. *Povolzhskiy ekologicheskiy zhurnal = Volga ecological journal.* 2015;(4):456–460. (In Russ.)
4. Adamov S.G., Borodin O.V., Korol'kov M.A. et al. Winter accumulations of the white-tailed eagle *Haliaeetus albicilla* in the Middle Volga region. *Buturlinskiy sbornik: materialy V Mezhdunar. Buturlinskikh chteniy = Buturlinsky collection: proceedings of the 5th International Buturlinsky readings.* Ul'yanovsk: Izd-vo «Korporatsiya tekhnologiy prodvizheniya», 2016:90–102. (In Russ.)

5. Korepov M.V. The role of the “Sengileevskiye gory” national park in the protection of rare bird species. *Aktual'nye problemy okhrany ptits: materialy Vseros. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 25-letiyu Soyuza okhrany ptits Rossii (g. Moskva, 10–11 fevralya 2018 g.)* = Actual problems of bird protection: proceedings of the All-Russian scientific and practical conference, dedicated to the 25th anniversary of Russian Bird Conservation Union (Moscow, February 10-11, 2018). Moscow; Makhachkala: ALEF (IP Ovchinnikov), 2018:136–139. (In Russ.)
6. Korepov M.V., Aryulina I.P., Korepova D.A. et al. Monitoring the nesting groups of large raptors in the Sengileevskiye Gory National Park in 2020. *Priroda Simbirskogo Povolzh'ya: sb. nauch. tr.* = The nature of the Simbirsk Volga region: collected papers. Ulyanovsk: Izd-vo «Korporatsiya tekhnologiy prodvizheniya», 2020;(21):107–110. (In Russ.)
7. Shashkin M.M., Pchelintsev V.G. Materials on the nutrition of the white-tailed eagle obtained with the help of camera traps. *XIV Mezhdunar. ornitologicheskaya konf. Severnoy Evrazii. I. Tezisy.* Almaty, 2015:535–356. (In Russ.)
8. Shashkin M.M. Nesting of the white-tailed eagle (*Haliaeetus albicilla*) in atypical conditions in the Ulyanovsk region. *Buturlinskiy sbornik: materialy VI Mezhdunar. Buturlinskiykh chteniy* = Buturlinsky collection: proceedings of the 6th International Buturlinsky readings. Izhevsk: OOO «Print», 2019:246–252. (In Russ.)

Информация об авторах / Information about the authors

Михаил Владимирович Корепов

кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии и химии, Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова (Россия, г. Ульяновск, пл. Ленина, 4/5); заведующий отделом науки, Национальный парк «Сенгилеевские горы» (Россия, Ульяновская область, г. Сенгилей, ул. Садовая, 1а)

E-mail: korepov@list.ru

Mikhail V. Korepov

Candidate of biological sciences, associate professor of the sub-department of biology and chemistry, Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov (4/5 Lenina square, Ulyanovsk, Russia); head of the department of science, “Sengileevskiye Gory” National park (1a Sadovaya street, Sengiley, Ulyanovsk region, Russia)

Дарья Алексеевна Николаева

магистрант, Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова (Россия, г. Ульяновск, пл. Ленина, 4/5)

E-mail: nikolaewadaria@gmail.com

Dar'ya A. Nikolaeva

Master's degree student, Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov (4/5 Lenina square, Ulyanovsk, Russia)

Станислав Андреевич Стрюков

кандидат биологических наук, заведующий сектором палеонтологии, Ульяновский областной краеведческий музей имени И. А. Гончарова (Россия, г. Ульяновск, б-р Новый Венец, 3/4)

E-mail: stanislav_str@mail.ru

Stanislav A. Stryukov

Candidate of biological sciences, head of the sector of paleontology, Ulyanovsk Regional Museum of Local Lore named after I.A. Goncharov (3/4 Noviy Venets boulevard, Ulyanovsk, Russia)

Павел Олегович Павлов

аспирант, Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова (Россия, г. Ульяновск, пл. Ленина, 4/5); научный сотрудник отдела науки, Национальный парк «Сенгилеевские горы» (Россия, Ульяновская область, г. Сенгилей, ул. Садовая, 1а); младший научный сотрудник отдела природы, Ульяновский областной краеведческий музей имени И. А. Гончарова (Россия, г. Ульяновск, б-р Новый Венец, 3/4)

E-mail: pavelmml@mail.ru

Ирина Павловна Арюлина

синоптик, Ульяновский центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды – филиал Приволжского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Россия, г. Ульяновск, ул. Гончарова, 32)

E-mail: arulin55@gmail.com

Мария Николаевна Голубева

аспирант, Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова (Россия, г. Ульяновск, пл. Ленина, 4/5)

E-mail: golybevamaha2021@yandex.ru

Pavel O. Pavlov

Postgraduate student, Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov (4/5 Lenina square, Ulyanovsk, Russia); researcher of the department of science, “Sengileevskiye Gory” National park (1a Sadovaya street, Sengiley, Ulyanovsk region, Russia); junior researcher of the department of nature, Ulyanovsk Regional Museum of Local Lore named after I.A. Goncharov (3/4 Noviy Venets boulevard, Ulyanovsk, Russia)

Irina P. Aryulina

Weather forecaster, Ulyanovsk Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring – branch of Volga Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (32 Goncharova street, Ulyanovsk, Russia)

Mariya N. Golubeva

Postgraduate student, Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov (4/5 Lenina square, Ulyanovsk, Russia)

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

Поступила в редакцию / Received 05.09.2022

Поступила после рецензирования и доработки / Revised 23.09.2022

Принята к публикации / Accepted 05.10.2022

Вниманию авторов!

Редакция журнала «Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Естественные науки» приглашает специалистов опубликовать на его страницах оригинальные статьи, содержащие новые научные результаты в области биологии, а также обзорные статьи по тематике журнала.

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редколлегией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows (тип файла – RTF, DOC).

Необходимо представить статью в электронном виде (VolgaVuz@mail.ru) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах. Оптимальный объем рукописи 10–14 страниц формата А4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt через полуторный интервал. Статья **обязательно** должна содержать индекс УДК, ключевые слова и развернутую аннотацию объемом от 100 до 250 слов, имеющую четкую структуру **на русском** (Актуальность и цели. Материалы и методы. Результаты. Выводы) **и английском** (Background. Materials and methods. Results. Conclusions) **языках**.

Обращаем внимание авторов на то, что в соответствии с этическим кодексом журнала для обеспечения единообразия перевод фамилии, имени, отчества каждого автора на английский язык (в сведениях об авторах и списке литературы) осуществляется автоматически с использованием программы транслитерации в кодировке BGN (сайт translit.ru).

Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, BMP с разрешением 300 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисовочными подписями.

Формулы в тексте статьи **обязательно** должны быть набраны в редакторе формул Microsoft Word Equation (версия 3.0) или MathType. Символы греческого и русского алфавитов должны быть набраны прямо, нежирно; латинского – курсивом, нежирно; обозначения векторов и матриц – прямо, жирно; цифры – прямо, нежирно. Наименования химических элементов набираются прямо, нежирно. Эти же требования **необходимо** соблюдать и в рисунках. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

В списке литературы **нумерация источников** должна соответствовать **очередности ссылок** на них в тексте ([1], [2], ...). Номер источника указывается в квадратных скобках. **Требования к оформлению списка литературы** на русские и иностранные источники: **для книг** – фамилия и инициалы автора, название, город, издательство, год издания, том, количество страниц; **для журнальных статей, сборников трудов** – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название журнала или сборника, серия, год, том, номер, страницы; **для материалов конференций** – фамилия и инициалы автора, название статьи, название конференции, город, издательство, год, страницы.

К материалам статьи **должна** прилагаться следующая информация: фамилия, имя, отчество, ученая степень, звание и должность, место и юридический адрес работы (на русском и английском языках), e-mail, контактные телефоны (желательно совые).

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается. Рукопись, полученная редакцией, не возвращается. Редакция оставляет за собой право проводить редакционную и допечатную правку текстов статей, не изменяющую их основного смысла, без согласования с автором.

Статьи, оформленные без соблюдения приведенных выше требований, к рассмотрению не принимаются.

Уважаемые читатели!

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

Журнал выходит 4 раза в год. Научные направления (отрасли науки и группы специальностей):

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

Стоимость одного номера журнала – 500 руб. 00 коп.

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

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

ЗАЯВКА

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

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

Наименование организации (полное) _____

ИНН _____ КПП _____

Почтовый индекс _____

Республика, край, область _____

Город (населенный пункт) _____

Улица _____ Дом _____

Корпус _____ Офис _____

ФИО ответственного _____

Должность _____

Тел. _____ Факс _____ E-mail _____

Руководитель предприятия _____

(подпись)

(ФИО)

Дата «__» _____ 20__ г.