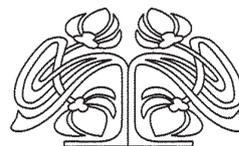




Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

ИЗВЕСТИЯ

САРАТОВСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА
Новая серия



Научный журнал
2017 Том 17

ISSN 1814-753X
ISSN 1816-9775

Издается с 2001 года

Серия Химия. Биология. Экология, выпуск 1

Продолжение «Известий Императорского Николаевского Университета» 1910–1918 и «Ученых записок СГУ» 1923–1962

СОДЕРЖАНИЕ

Научный отдел

Химия

- Иванова А. Л., Чесноков Д. В., Мажукина О. А., Федотова О. В.**
3,4-дигидронафталин-1(2H)-он в многокомпонентных превращениях с N-нуклеофилами 5
- Зубарева И. С., Колонтаева О. А., Чернозубова Е. В., Бурмистрова Н. А.**
Сенсорные микроплашеты для определения пероксидазы хрена на основе 10
реакции окисления трифениламин-4-сульфокислоты пероксидом водорода
- Кулапина Е. Г., Тютликова М. С.** Твердоконтактные и планарные сенсоры 14
для определения цефотаксима в водных и биологических средах
- Джарлагасова Д. Н., Захарова Т. В., Пожаров М. В.**
Квантово-химическое изучение возможных структур в системе 19
альгиновая кислота – хлорид европия (III)
- Кузьмина Р. И., Заикин М. А., Манин С. Д., Мендагалиева Д. Р.**
Повышение активности промышленного катализатора изомеризации 24
парафиновых углеводородов

Биология

- Тимофеева С. Н., Юдакова О. И., Эльконин Л. А.**
Преодоление физического покоя семян бобовника анагировидного *in vivo* 30
и в культуре *in vitro*
- Эйдельштейн М. В., Журавлев В. С., Шек Е. А.**
Распространенность карбапенемаз среди нозокомиальных штаммов 36
Enterobacteriaceae в России
- Аникин В. В., Никельшпарг М. И., Никельшпарг Э. И., Конохов И. В.**
Фотосинтетическая активность у повилики *Cuscuta campestris* (Convolvulaceae) 42
при заселении растения галлообразователем-долгоносиком
Smicronyx smreczynskii (Coleoptera, Curculionidae)
- Каргатова А. М., Степанов С. А., Ермолаева Т. Я., Нуждина Н. Н.**
Биологические особенности продуктивности различных 48
селекционно-генетических форм озимой ржи
- Угольников Е. В., Кашин А. С., Кондратьева А. О.**
Частота апомиксиса в популяциях видов *Chondrilla* L. юга европейской части России 53
- Зайцева Н. В., Уланова Т. С., Карнажицкая Т. Д., Заверненкова Е. О.**
Изучение зависимости показателя роста детей от концентрации 62
монофталатов в моче
- Васюков В. М., Новикова Л. А.** Типовые образцы *Alchemilla* L., 67
Corispermum L., *Koeleria* Pers., *Onosma* L., хранящиеся в Гербарии
имени И. И. Спрыгина Пензенского государственного университета (РКМ)
- Коробко В. В., Пчелинцева Н. В., Лунёва М. А., Самсонова Е. А.**
Особенности роста и развития проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) 72
при действии 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридина и 2,6-дифенил-3-хлорпиридина
- Егорова Д. О., Фарофонова В. В., Андреев Д. Н., Бузмаков С. А.,**
Демаков В. А. Сообщества аэробных бактерий-деструкторов ДДТ 79
как результат естественной и искусственной селекции
- Васюков В. М., Чкалов А. В.** К изучению рода *Alchemilla* L. (Rosaceae) 87
в Пензенской области

Экология

- Савонин А. А., Шляхтин Г. В.** Типология местообитаний американской норки 93
(*Neovison vison* Schreber, 1777) на примере севера Нижнего Поволжья
- Дронин Г. В.** Инвазионные виды растений в бассейне реки Сызранки 98
- Кашин А. С., Петрова Н. А., Шилова И. В.** Структура морфологической изменчивости 103
и виталитета в популяциях *Tulipa gesneriana* L. Нижнего Поволжья и прилегающих территорий
- Май В., Аникин В. В., Сусарев С. В.** Новые данные по фауне ручейников 111
(Insecta: Trichoptera) Мордовии

Сведения об авторах

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук

Зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № 77-7185 от 30 января 2001 года. Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-56123 от 15 ноября 2013 года

Индекс издания в объединенном каталоге «Пресса России» 36013, раздел 30 «Научно-технические издания. Известия РАН. Известия вузов». Журнал выходит 4 раза в год

Заведующий редакцией

Бучко Ирина Юрьевна

Редактор

Митенёва Елена Анатольевна

Художник

Соколов Дмитрий Валерьевич

Редактор-стилист

Степанова Наталья Ивановна

Верстка

Ковалева Наталья Владимировна

Технический редактор

Ковалева Наталья Владимировна

Корректор

Крылова Елена Борисовна

Адрес учредителя, издателя и редакции:

410012, Саратов, ул. Астраханская, 83
Тел.: (845-2) 51-45-49, 52-26-89
E-mail: izvestiya@sgu.ru

Подписано в печать 26.02.2017.

Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 13,26 (14,75).

Тираж 500 экз. Заказ 24-Т.

Отпечатано в типографии
Саратовского университета.

Адрес типографии:

410012, Саратов, Б. Казачья, 112А

© Саратовский университет, 2017



ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал публикует научные статьи по всем основным разделам химии, биологии и экологии (антропология, биофизика, биохимия, биотехнология, ботаника, вирусология, генетика, гидробиология, гистология, зоология, иммунология, микология, микробиология, молекулярная биология, физиология, паразитология, почвоведение, цитология, эмбриология, факториальная экология, популяционная экология, экология сообществ, системная экология, прикладная экология, экология человека, аналитическая химия, биоорганическая химия, неорганическая химия, катализ, органическая химия, физическая химия, химия высокомолекулярных соединений и др.).

Объем публикуемой статьи не должен превышать 16 страниц в формате MS Word для Windows.

Статья должна быть аккуратно оформлена и тщательно отредактирована.

Последовательность предоставления материала:

– на русском языке: индекс УДК, название работы, инициалы и фамилии авторов, сведения об авторах (ученая степень, должность и место работы, e-mail), аннотация, ключевые слова, текст статьи, благодарности и ссылки на гранты, библиографический список;

– на английском языке: название работы, инициалы и фамилии авторов, сведения об авторах (ученая степень, должность и место работы, e-mail), аннотация, ключевые слова.

Требования к аннотации и библиографическому списку:

– аннотация не должна содержать сложных формул, ссылок на список литературы, по содержанию повторять название статьи, быть насыщена общими словами, не излагающими сути исследования; оптимальный объем 500–600 знаков;

– в списке литературы должны быть указаны только процитированные в статье работы; ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Образцы оформления различных источников приведены в правилах для авторов по адресу: <http://www.ichbe.sgu.ru/ru/dlya-avtorov>.

Датой поступления статьи считается дата поступления ее окончательного варианта. Возвращенная на доработку статья должна быть прислана в редакцию не позднее чем через 3 месяца. Возвращение статьи на доработку не означает, что статья будет опубликована, после переработки она вновь будет рецензироваться. Материалы, отклоненные редколлегией, не возвращаются.

Адреса для переписки с редколлегией серии: ichbe-sgu@yandex.ru; 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, биологический факультет, ответственному секретарю журнала «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия Химия. Биология. Экология».

CONTENTS

Scientific Part

Chemistry

- Ivanova A. L., Chesnokov D. V., Mazhukina O. A., Fedotova O. V.**
Multicomponent Reaction 3,4-dihydronaphthalene-1(2H)-one with N-Nucleophiles 5
- Zubareva I. S., Kolontaeva O. A., Chernozubova E. V., Burmistrova N. A.**
Sensor Plate in Horseradish Peroxidase Determination Based on Oxidation of Triphenylamine-4-sulphonic Acid by Hydrogene Peroxide 10
- Kulapina E. G., Tyutlikova M. S.** The Solid-state and Planar Sensors for the Determination of Cefotaxime in Aqueous and Biological Fluids 14
- Dzharlagasova D. N., Zacharova T. V., Pozharov M. V.**
Quantum Chemical Studies of Potential Associates in Europium (III) Alginate Solutions 19
- Kuzmina R. I., Zaikin M. A., Manin S. D., Mendagalieva D. R.**
Increase of Activity Industrial Catalys for Isomerisation Normal Hydrocarbons 24

Biology

- Timofeeva S. N., Yudakova O. I., Elkonin L. A.**
Breaking Physical Dormancy of the *Laburnum Anagyroides* Seeds by in vivo and in vitro Conditions 30
- Edelstein M. V., Zhuravlev V. S., Shek E. A.**
Prevalence of Nosocomial Strains Enterobacteriaceae Have Carbapenemases in Russia 36
- Anikin V. V., Nikelshparg M. I., Nikelshparg E. I., Konyukhov I. V.**
Photosynthetic Activity of the Dodder *Cuscuta campestris* (Convolvulaceae) in Case of Plant Inhabitation by the Gallformed Weevil *Smicronyx smreczynskii* (Coleoptera, Curculionidae) 42
- Kargatova A. M., Stepanov S. A., Ermolaeva T. Y., Nuzhdina N. N.**
Biological Characteristics of Productivity of Various Breeding and Genetic Forms Winter Rye 48
- Ugolnikova E. V., Kashin A. S., Kondrateva A. O.**
The Frequency of Apomixis in Populations of *Chondrilla* Species in the South of European Part of Russia 53
- Zaitseva N. V., Ulanova T. S., Karnazhitskaya T. D., Zaverenkov E. O.**
Study of Correlation between Growth Rate of Children and Monophthalate Concentrations in Urine 62
- Vasjukov V. M., Novikova L. A.** Type Specimens of *Alchemilla* L., *Corispermum* L., *Koeleria* Pers., *Onosma* L. Kept in the Sprygin Herbarium of Penza State University (PKM) 67
- Korobko V. V., Pchelintseva N. V., Lunyova M. A., Samsonova E. A.**
Features of Growth and Development of Wheat Seedlings (*Triticum aestivum* L.) under the Action of 2,4,6-triphenyl-3,5-dichloropyridine and 2,6-diphenyl-3-chloropyridine 72
- Egorova D. O., Farofonova V. V., Andreev D. N., Buzmakov S. A., Demakov V. A.** Community of the Aerobic Bacteria-destroyers of DDT as a Result of Natural and Artificial Selection 79
- Vasjukov V. M., Chkalov A. V.** On the Study of the Genus *Alchemilla* L. (Rosaceae) in the Penza Region 87

Ecology

- Savonin A. A., Shlyakhtin G. V.** Habitat Types of American Mink (*Neovison vison* Schreber, 1777) on for Example of Northern Lower Volga 93
- Dronin G. V.** Invasive Species of Plants in the Syzranka River Basin 98
- Kashin A. S., Petrova N. A., Shilova I. V.** The Structure of Morphological Variability and Vitality in the Populations of *Tulipa gesneriana* L. in the Lower Volga Region and Adjacent Territories 103
- Mey W., Anikin V. V., Susarev S. V.** New Data on the Caddisfly Fauna of Mordovia (Insecta: Trichoptera) 111

Information about the Authors

114



**РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ ЖУРНАЛОВ
«ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ»**

Главный редактор

Чумаченко Алексей Николаевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

Заместитель главного редактора

Короновский Алексей Александрович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Ответственный секретарь

Халова Виктория Анатольевна, кандидат физ.-мат. наук, доцент (Саратов, Россия)

Члены редакционного совета:

Балаш Ольга Сергеевна, кандидат экон. наук, доцент (Саратов, Россия)

Бучко Ирина Юрьевна, директор Издательства Саратовского университета (Саратов, Россия)

Данилов Виктор Николаевич, доктор ист. наук, профессор (Саратов, Россия)

Ивченков Сергей Григорьевич, доктор социол. наук, профессор (Саратов, Россия)

Коссович Леонид Юрьевич, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Макаров Владимир Зиновьевич, доктор геогр. наук, профессор (Саратов, Россия)

Прозоров Валерий Владимирович, доктор филол. наук, профессор (Саратов, Россия)

Усанов Дмитрий Александрович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Устьянцев Владимир Борисович, доктор филос. наук, профессор (Саратов, Россия)

Шамионов Раиль Мунирович, доктор психол. наук, профессор (Саратов, Россия)

Шляхтин Геннадий Викторович, доктор биол. наук, профессор (Саратов, Россия)

**EDITORIAL COUNCIL OF THE JOURNALS
«IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY. NEW SERIES»**

Editor-in-Chief – Chumachenko A. N. (Saratov, Russia)

Deputy Editor-in-Chief – Koronovskii A. A. (Saratov, Russia)

Executive Secretary – Khalova V. A. (Saratov, Russia)

Members of the Editorial Council:

Balash O. S. (Saratov, Russia)

Buchko I. Yu. (Saratov, Russia)

Danilov V. N. (Saratov, Russia)

Ivchenkov S. G. (Saratov, Russia)

Kossovich L. Yu. (Saratov, Russia)

Makarov V. Z. (Saratov, Russia)

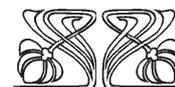
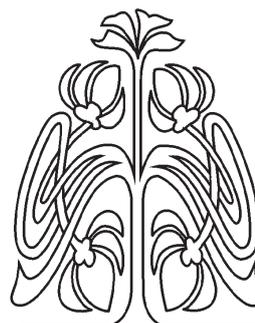
Prozorov V. V. (Saratov, Russia)

Usanov D. A. (Saratov, Russia)

Ustiantsev V. B. (Saratov, Russia)

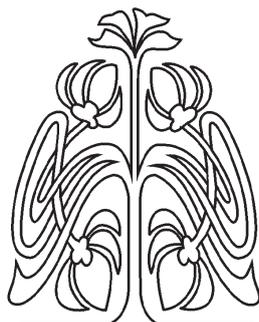
Shamionov R. M. (Saratov, Russia)

Shlyakhtin G. V. (Saratov, Russia)



**РЕДАКЦИОННЫЙ
СОВЕТ**





**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА
«ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ.
СЕРИЯ: ХИМИЯ. БИОЛОГИЯ. ЭКОЛОГИЯ»**

Главный редактор

Шляхтин Геннадий Викторович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

Заместитель главного редактора

Федотова Ольга Васильевна, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия)

Ответственный секретарь

Глинская Елена Владимировна, кандидат биологических наук, доцент (Саратов, Россия)



Члены редакционной коллегии:

Аникин Василий Викторович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия).

Болдырев Владимир Александрович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

Грибов Лев Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, чл.-кор. РАН (Москва, Россия)

Кашин Александр Степанович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

Коннова Светлана Анатольевна, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)

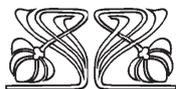
Кузьмина Раиса Ивановна, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия)

Муштакова Светлана Петровна, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия)

Розенберг Геннадий Самуилович, доктор биологических наук, профессор, чл.-кор. РАН (Тольятти, Россия)

Чернова Римма Кузьминична, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия)

Шиповская Анна Борисовна, доктор химических наук, доцент (Саратов, Россия)



**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**

**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL
«IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY. NEW SERIES.
SERIES: CHEMISTRY. BIOLOGY. ECOLOGY»**

Editor-in-Chief – Shlyakhtin G. V. (Saratov, Russia)

Deputy Editor-in-Chief – Fedotova O. V. (Saratov, Russia)

Executive Secretary – Glinskay E. V. (Saratov, Russia)

Members of the Editorial Board:

Anikin V. V. (Saratov, Russia)

Boldyrev V. A. (Saratov, Russia)

Gribov L. A. (Moscow, Russia)

Kashin A. S. (Saratov, Russia)

Konnova S. A. (Saratov, Russia)

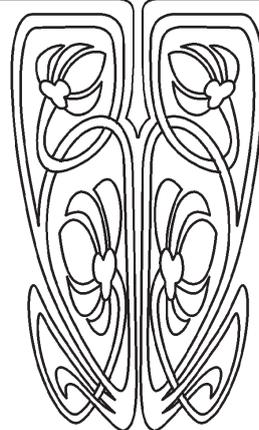
Kuzmina R. I. (Saratov, Russia)

Mushtakova S. P. (Saratov, Russia)

Rozenberg G. S. (Toliatty, Russia)

Chernova R. K. (Saratov, Russia)

Shipovskay A. B. (Saratov, Russia)





ХИМИЯ

УДК 547.856.1

3,4-ДИГИДРОНАФТАЛИН-1(2H)-ОН В МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПРЕВРАЩЕНИЯХ С N-НУКЛЕОФИЛАМИ

А. Л. Иванова, Д. В. Чесноков, О. А. Мажукина, О. В. Федотова

Саратовский национальный исследовательский государственный университет
имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: aleksandrleonodovna@gmail.com

Изучены «one-pot» превращения 3,4-дигидронафталин-1(2H)-она с ароматическими альдегидами и (тио)карбамидами в условиях модифицированной реакции Биджинелли при термическом и микроволновом воздействии. Установлено сокращение времени взаимодействия и увеличение выхода целевых продуктов бензохиназолинового ряда при микроволновой активации реакционной смеси.

Ключевые слова: 3,4-дигидронафталин-1(2H)-он, бензохиназолины, «one-pot» превращения, реакция Биджинелли.

Multicomponent Reaction 3,4-dihydronaphthalene-1(2H)-one with N-Nucleophiles

A. L. Ivanova, D. V. Chesnokov, O. A. Mazhukina, O. V. Fedotova

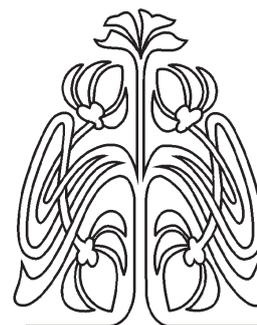
Studied «one-pot» reaction of 3,4-dihydronaphthalene-1(2H)-one with aromatic aldehydes and (thio)urea in conditions of modified Biginelli reaction under thermal and microwave exposure. Showed a reduction reaction time and increasing the yield of the desired products benzohinazolins derivatives with microwave activation starting compounds.

Key words: 3,4-dihydronaphthalene-1(2H)-one, benzohinazolony, «one-pot», Bidinelli reaction.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-5-9

Производные пиримидинонов и их бензаннелированные аналоги проявляют широкий спектр биологической активности [1–6], чем и обусловлено внимание к изучению их синтеза и свойств. В последнее время многокомпонентные «one-pot» превращения привлекают все больше внимания исследователей, так как позволяют провести реакцию в одной колбе, без разделения стадий, в том числе с образованием хиназолинов.

Известны реакции Биджинелли с использованием 3,4-дигидронафталин-1(2H)-она. При этом, согласно экспериментальным данным и классическому механизму, в качестве продуктов выделены 3,4,5,6-тетрагидро-4-(4-R-фенил)бензо[h]хиназолин-2(1H)-(ти)оны с использованием ионной жидкости хлорид сульфопиридиния [7] и 1-метил-3-(4-сульфобутил)имидазол-4-метилбензолсульфоната [8]. При термическом режиме проведения превращения с нитробензальдегидом и мочевиной в качестве катализаторов использовались: HCl, CuCl, CuCl₂, I₂ [9]. И на одном примере в условиях микроволновой активации реагентов с участием тиомочевины и катализатора HCl удается также получить 3,4,5,6-тетрагидро-4-(4-R-фенил)бензо[h]хиназолин-2(1H)-тионы [10].



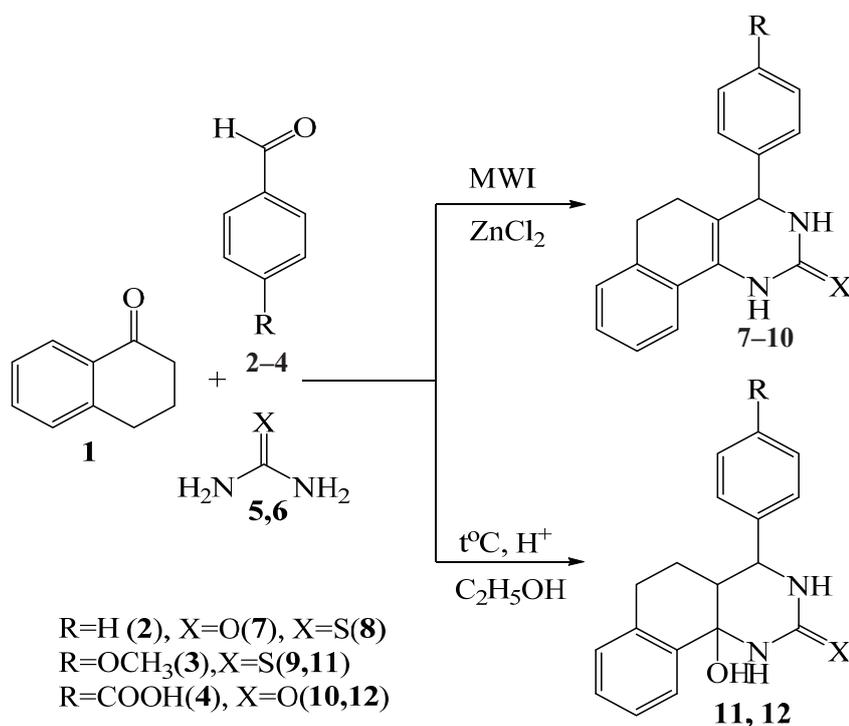
НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





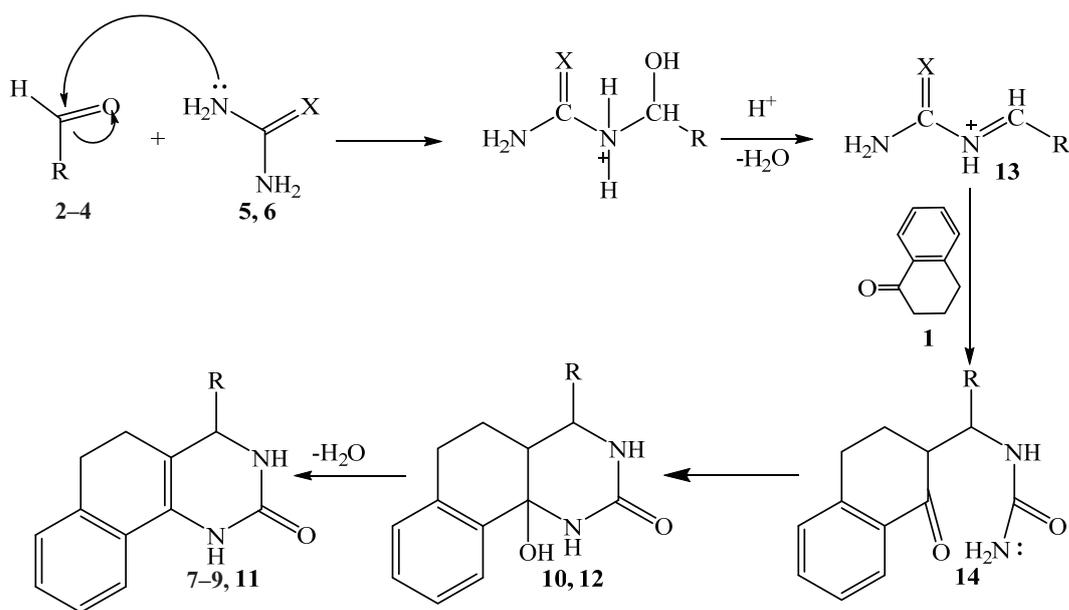
Нами проведено изучение сравнительного поведения 3,4-дигидронафталин-1(2H)-она в условиях классической реакции Биджинелли при нагревании с использованием в качестве катализатора соляной кислоты с арилальдегидами (Ar = H, OCH₃, COOH) и мочевиной, либо тиомочевинной как нуклеофильными реагентами и при микроволновой активации реакционной

массы в условиях ее «one-pot» проведения. В зависимости от условий проведения синтеза и характера заместителя в альдегиде, кроме ожидаемых 3,4,5,6-тетрагидробензо[h]хиназолин-2(1H)-(ти)онов (**7–10**), впервые получены интермедиаты их образования 1,4,4a,5,6,10b-гексагидро-10b-гидроксibenзо[h]хиназолин-2(3H)-(ти)оны (**11, 12**).



Учитывая строение продуктов **11, 12**, предложена схема образования замещенных хиназо-

линонов, опирающаяся на классические представления о механизме реакции.





На первом этапе происходит нуклеофильная атака аминогруппы мочевины по карбонильному атому углерода альдегида с образованием иминиевого интермедиата (**13**) – так называемого основания Шиффа. Далее полученный полупродукт вступает в конденсацию с 3,4-дигидронафталин-1(2H)-оном. Последующая N-циклизация (**14**) и дегидратация (**11, 12**) ведут к образованию целевых бензохиназолинонов (**7–10**).

В ЯМР¹H продуктов (**7–10**) присутствуют: синглет метинового протона в области 4.90–5.70 м.д., мультиплет метиленовых протонов в области 2.10–2.80 м.д., сигналы протонов амидных групп при 7.82–9.73 м.д.

В ЯМР¹H спектрах полукеталей (**11, 12**) сигналы метиленовых и метиновых протонов проявляются в виде мультиплетов в области 2.57–2.64 м.д. и 6.10–6.26 м.д. соответственно; сигнал полукетального гидроксила отмечается при 4.50 м.д.

Также во всех соединениях присутствуют сигналы ароматических протонов в области 6.82–7.72 м.д.

Для соединений (**9, 11**) синглеты протонов метоксильной группы фиксируются при 3.76–3.85 м.д. Синглеты протонов карбоксильных групп соединений (**11, 12**) наблюдаются при 13.05 м.д.

Согласно данным двумерного спектра HSQC 4-(2-Оксо-1,2,3,4,5,6-гексагидробензо[h]хиназолин-4-ил)бензойной кислоты (**10**) отмечены корреляции метинового (5.00 м.д./60.0 м.д.) и метиленовых (2.50 м.д./40.0 м.д.) протонов с соответствующими углеродными атомами, отсутствие же корреляции в области 8.50–13.00 м.д. позволяет предположить, что протоны, имеющие химический сдвиг в этой области, находятся у гетероатомов, что подтверждают предложенные структуры.

Анализ экспериментальных данных показал, что выход и время протекания реакции зависят от условий проведения реакции и характера альдегидов, результаты изучения влияния режима проведения реакции и характера радикала бензальдегидов представлены в таблице.

Зависимость выходов замещенных хиназолинонов от условий протекания реакции и характера реагентов

№ соединения	R	X	Условия реакций	Время, ч	Выход, %
7	-H	O	MW	2	35
8	-H	S	MW	45	55
9	-OCH ₃	S	MW	3	59
10	-COOH	O	MW	1	85
11	-OCH ₃	S	t ^o	28	51
12	-COOH	O	t ^o	96	62

При проведении реакции в условиях микроволнового излучения время образования продуктов сокращается в десятки раз, что обусловлено быстрым и значительным разогревом реакционной смеси и способностью МВ-излучения активировать молекулы реагентов.

Наибольший выход наблюдается для продуктов конденсации 3,4-дигидронафталин-1(2H)-она с 4-формилбензойной кислотой, имеющей электроноакцепторную группу в ароматическом кольце. Это приводит к увеличению частично положительного заряда на атоме углерода карбонильной группы, что облегчает вступление альдегида в реакцию конденсации.

Экспериментальная часть

Контроль за ходом реакций, определение индивидуальности и идентификация полученных соединений осуществлялись методами ТСХ, ИК и ЯМР¹H, HSQC спектроскопии.

ТСХ анализ проводился на пластинках Silufol UV-254; элюент: гексан – эфир – хлороформ (3:1:1), проявитель – пары йода, УФ-излучение.

Элементный анализ проводился на программно-аппаратном анализаторе Vario Micro Cube.

ИК-спектры записывались на ИК-Фурье-спектрометре ФСМ 1201 в таблетках KBr.

ЯМР¹H спектры получены на спектрометре Varian 400 при температуре 20–25°C (400 МГц, CDCl₃, DMSO). Внутренний стандарт – тетраметилсилан.

Воздействие микроволнового излучения обеспечивалось микроволновым реактором Anton Paar Monowave 300 (методика постоянного температурного режима). Контроль температуры осуществлялся с помощью оптоволоконного температурного сенсора. Мощность 850 Вт.



2.3. 4-Фенил-3,4,5,6-тетрагидробензо[h]хиназолин-2(1H)-он (7)

В фарфоровый тигель помещают 0.76 (0.0075 моль) мл бензальдегида (2), 0.45 г (0.0075 моль) мочевины (5) и добавляют 1 мл (0.0075 моль) 3,4-дигидронафталин-1(2H)-она (1). В качестве катализатора используют 10%-ный спиртовой раствор хлористого цинка, нагревают в течение двух часов при воздействии микроволнового излучения. Полученную смесь охлаждают, измельчают, обрабатывают водой, хлороформом, затем фильтруют. Фильтрат выпаривают на воздухе, а затем промывают гексаном. Получают 0.7 г (выход 35%) бледно-жёлтых кристаллов соединения 7. Т. пл. 223–225°C. ИК-спектр в таблетках KBr, см⁻¹: 1690 (C=O «Амид I»), 1650 (NH, C-N «Амид II»), 1610–1450 (Ar). Данные элементного анализа, %: найдено C:74.35; H: 6.16; N:10.87; вычислено C:74.88; H: 6.65; N:10.52.

2.4. 4-Фенил-3,4,5,6-тетрагидробензо[h]хиназолин-2(1H)-тион (8)

В фарфоровый тигель помещают 0.57 г (0.0075 моль) тиомочевины (6), 0,76 мл (0.005 моль) бензальдегида (2) и 1мл (0.0075 моль) 3,4-дигидронафталин-1(2H)-она (1). Добавляют несколько капель 10% спиртового раствора ZnCl₂ и подвергают микроволновому воздействию. Выделенное вещество промывают водой, затем этанолом. Получают 1,2 г (выход 55%) бледно-жёлтых кристаллов соединения 8. Т. пл. 190–192°C. ИК-спектр в таблетках KBr, см⁻¹: 1280 (N-CS-N), 1130 (>C=S), 1630–1440 (Ar). Данные элементного анализа, %: найдено C:73.97; H: 5.48; N:9.59; вычислено C:73.69; H: 5.28; N:9.27.

4-(4-Метоксифенил)-3,4,5,6-тетрагидробензо[h]хиназолин-2(1H)-тион (9)

В фарфоровую чашку помещают 1 мл (0.0075 моль) 3,4-дигидронафталин-1(2H)-она (1), 0.57 г (0.0075 моль) тиомочевины (6), 0.9 мл (0.0075 моль) *n*-метоксибензальдегида (3) и каталитическое количество 10%-ного спиртового раствора ZnCl₂. Затем смесь подвергают воздействию микроволнового излучения в течение 3 часов. Полученное вещество промывают водой, фильтруют. Фильтрат упаривают на воздухе и обрабатывают гексаном. Получают 1,48 г (выход 59%) жёлтых кристаллов соединения 9. Т. пл. 69–71°C. ИК-спектр в таблетках KBr, см⁻¹: 2900 (Ar-OCH₃), 1300 (N-CS-N), 1050 (>C=S), 1500–1600 (Ar). Данные элементного анализа, %: найдено C:70.78; H: 5.63; N:10.04; вычислено C:70.20; H: 5.83; N:10.53.

4-(2-Оксо-1,2,3,4,5,6-гексагидробензо[h]хиназолин-4-ил) бензойная кислота (10)

В фарфоровый тигель помещают 1 мл (0.0075 моль) тетрагидронафталин-1-она (1), 0.45 г (0.0075 моль) мочевины (5), 1.13 г (7.5 ммоль) *n*-формилбензойной кислоты (4) и каталитическое количество 10% спиртового раствора ZnCl₂. Затем смесь подвергают воздействию микроволнового излучения в течение 1 часа. Полученное вещество обрабатывают ацетоном, фильтруют. Фильтрат упаривают на воздухе, кристаллы с фильтрата промывают водой, хлороформом. Получают 2.15 г (выход 85%) бледно-жёлтых кристаллов соединения 10. Т. пл. 302–303°C. ИК-спектр в таблетках KBr, см⁻¹: 1691 (C=O алиф.), 1700 (COOH), 3243 (NH, C-N «Амид II»), 3099–3061 (C-H, Ar), 1609–1453 (Ar). Данные элементного анализа, %: найдено C:71.44; H: 5.36; N:8.28; вычислено C:71.77; H: 5.07; N:8.28.

10b-Гидрокси-4-(4-метоксифенил)-1,4,4a,5,6,10b-гексагидробензо[h]хиназолин-2(3H)-тион (11)

В круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником, помещают 1 мл (0.0075 моль) 3,4-дигидронафталин-1(2H)-она (1), 0.57 г (0.0075 моль) тиомочевины (6), 0.9 мл (0.0075 моль) *n*-метоксибензальдегида (3) и 15 мл этанола, добавляют каталитическое количество HCl. Реакционную смесь нагревают 20 часов при температуре кипения. По окончании смесь упаривают на воздухе и промывают гексаном. Получают 1,32 г (выход 51%) жёлтых кристаллов соединения 11. Т.пл. 163–165°C (с разложением). ИК-спектр в таблетках KBr, см⁻¹: 2880 (Ar-OCH₃), 3550 (OH-своб.), 3300 (NH), 1280 (N-CS-N), 1130 (>C=S). Данные элементного анализа, %: найдено: C:65.39; H: 5.12; N:7.93; вычислено C:65.91; H: 5.22; N:8.50.

4-(10b-Гидрокси-2-оксо-1,2,3,4,4a,5,6,10b-октагидробензо[h]хиназолин-4-ил)бензойная кислота (12)

В круглодонную колбу, снабженную обратным холодильником, помещают 1 мл (0.0075 моль) тетрагидронафталин-1-она (1), 0.45 г (0.0075 моль) мочевины (5), 1.13 г (0.0075 моль) *n*-формилбензойной кислоты (4) и 15 мл этанола, добавляют каталитическое количество HCl. Реакционную смесь нагревают 96 часов при температуре кипения. По окончании смесь упаривают на воздухе и промывают этилацетатом. Получают 1,55 г (выход 62%) бежевых кристаллов соединения 12. Т.пл. 256–259°C (с разложением). ИК-спектр в таблетках KBr, см⁻¹:



1500–1600 (Ar), 1720 (Ar-COO-), 1690 (C=O), 3300 (NH), 2700(OH-связ.). Данные элементного анализа, %: найдено С:67.44; Н: 4.79; N:8.33; вычислено С:66.90; Н: 4.82; N:8.20.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-03-00730).

Список литературы

1. Jantova S., Stankovský Š., Špirková K. In vitro antibacterial activity of ten series of substituted quinazolines // *Biologia*. 2004. Т. 59, № 6. P. 741–752.
2. Ellsworth E. L., Tran P. T., Showalter H. D. 3-aminoquinazolinones as a new class of antibacterial agents demonstrating excellent antibacterial activity against wild-type and multidrug resistant organisms // *J. of Med. Chem.* 2006. Т. 49, № 22. P. 6435–6438.
3. German N., Malik M., Rosen D. J., Drlica K., Kerns J. R. Use of gyrase resistance mutants to guide selection of 8-methoxy-quinazoline-2,4-diones // *Antimicrob. Agents And Chemotherapy*. 2008. Т. 52, № 11. P. 3915–3921.
4. Dandia A., Singh R., Sarawgi P. Green chemical multi-component one-pot synthesis of fluorinated 2,3-disubstituted quinazolin-4 (3H)-ones under solvent-free conditions and their anti-fungal activity // *J. of Fluorine Chem.* 2004. Т. 125, № 12. P. 1835–1840.
5. Chen C. H., Davis R. A., Maley F. Thermodynamic stabilization of nucleotide binding to thymidylate synthase by a potent benzoquinazoline folate analogue inhibitor // *Biochemistry*. 1996. Т. 35, № 26. P. 8786–8793.
6. Pendergast W., Johnson J. V., Dickerson S. H., Dev I. K., Duch D. S., Ferone R., Hall W. R., Humphreys J., Kelly J. M., Wilson D. C. Benzoquinazoline inhibitors of thymidylate synthase: enzyme inhibitory activity and cytotoxicity of some 3-amino- and 3-methylbenzo [f] quinazolin-1 (2H)-ones // *J. of Med. Chem.* 1993. Т. 36, № 16. P. 2279–2291.
7. Velpula R., Banothu J., Gali R., Deshineni R., Bavantula R. 1-Sulfopyridinium chloride: Green and expeditious ionic liquid for the one-pot synthesis of fused 3,4-dihydropyrimidin-2(1H)-ones and thiones under solvent-free conditions // *Chinese Chem. Lett.* 2015. Т. 26. P. 309–312.
8. Rahman M., Sarkar A., Ghosh M., Majee A., Hajra A. Catalytic application of task specific ionic liquid on the synthesis of benzoquinazolinone derivatives by a multicomponent reaction // *Tetrahedron Lett.* 2014. Т. 55, № 1. P. 235–239.
9. Mirza-Aghayan M., Moradi A., Bolourtchian M. A. Novel and Efficient One-Pot Method to Biginelli-Like Scaffolds // *J. Iran. Chem. Soc.* March 2010. Vol. 7, № 1. P. 269–274.
10. Kaur B., Kaur R. // Synthesis of fused quinazolinethiones and their S-alkyl/aryl derivatives // *Arkivoc*. 2007. Vol. XV. P. 315–323.

Образец для цитирования:

Иванова А. Л., Чесноков Д. В., Мажукина О. А., Федотова О. В. 3,4-Дигидронафталин-1(2H)-он в многокомпонентных превращениях с N-нуклеофилами // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 5–9. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-5-9.

Cite this article as:

Ivanova A. L., Chesnokov D. V., Mazhukina O. A., Fedotova O. V. Multicomponent Reaction 3,4-Dihydronaphthalene-1(2H)-one with N-Nucleophiles. *Izv. Saratov Univ. (N.S.), Ser: Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 5–9 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-5-9.



УДК 543.067.5

СЕНСОРНЫЕ МИКРОПЛАНШЕТЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕРОКСИДАЗЫ ХРЕНА НА ОСНОВЕ РЕАКЦИИ ОКИСЛЕНИЯ ТРИФЕНИЛАМИН-4-СУЛЬФОКИСЛОТЫ ПЕРОКСИДОМ ВОДОРОДА



И. С. Зубарева, О. А. Колонтаева,
Е. В. Чернозубова, Н. А. Бурмистрова

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: naburmistrova@mail.ru

Спектрофотометрическим методом изучена реакция окисления трифениламин-4-сульфоукислоты (ТФАСК) пероксидом водорода в присутствии пероксидазы хрена (ПХ) в слабoкислых растворах и при включении ТФАСК в полимерную матрицу гидрогеля полиуретана (тип D4). Исследована устойчивость продукта ферментативного окисления ТФАСК при варьировании условий проведения реакции (концентрации исходных веществ, кислотности среды). Выбраны оптимальные условия и показана возможность определения ПХ в микропланшетах с сенсорными пленками с пределом обнаружения $0.3 \cdot 10^{-4}$ ус. ед./мл.

Ключевые слова: ароматические амины, ферментативное окисление, трифениламин-4-сульфоукислота, пероксидаза хрена, сенсорный микропланшет.

Sensor Plate in Horseradish Peroxidase Determination Based on Oxidation of Triphenylamine-4-sulphonic Acid by Hydrogene Peroxide

I. S. Zubareva, O. A. Kolontaeva,
E. V. Chernozubova, N. A. Burmistrova

The oxidation of triphenylamine-4-sulphonic acid (TPASA) by hydrogen peroxide in presence of horseradish peroxidase (HRP) in weak acid medium and after incorporation of TPASA in polymeric hydrogel matrix of polyurethane (type D4) was investigated by spectrophotometry. The stability of TPASA product enzymatic oxidation under variation of reaction condition (reagents concentration, acidity) was studied. The optimum condition was selected and the possibility of HRP detection in sensor plate was shown with limit of detection $0.3 \cdot 10^{-4}$ U/mL.

Key words: arylamines, enzymatic oxidation, triphenylamine-4-sulphonic acid, horseradish peroxidase, sensor plate.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-10-13

Реакции окисления ароматических аминов в присутствии пероксидазы хрена (ПХ) традиционно широко применяются в различных форматах иммуноферментного анализа. В то же время круг применяемых для этих целей субстратов ограничен, а их основным недостатком является неспецифическое окисление в присутствии различных окислителей.

Наличие общих закономерностей в механизмах окисления ароматических аминов позволило предположить возможность окисления

трифениламина (ТФА) пероксидом водорода в присутствии ПХ в слабoкислых средах. При этом особенности электронного и пространственного строения молекул ТФА являются причиной высокой специфичности реакций окисления и устойчивости продуктов окисления данного реагента [1] и, как следствие, открывают возможность улучшения аналитических характеристик методик иммуноферментного анализа.

Целью данной работы явилось изучение реакции окисления трифениламин-4-сульфоукислоты (ТФАСК) пероксидом водорода в присутствии ПХ в слабoкислых растворах и при включении органического реагента в полимерную пленку полиуретана (типа D4). Использование сульфопроизводного ТФА позволяет проводить реакцию окисления реагента в водных слабoкислых растворах.

Экспериментальная часть

В работе использовали ТФАСК, синтезированный по разработанной методике [2], пероксид водорода (ч.д.а.), ПХ (Sigma, ~150 ус. ед./мг). Рабочие растворы ТФАСК ($1 \cdot 10^{-3}$ М), H_2O_2 ($1 \cdot 10^{-3}$ М), ПХ ($1 \cdot 10^{-3}$ ус.ед./мл) готовили разведением в бидистиллированной воде.

Оптически прозрачные и устойчивые в водных растворах пленки полиуретана (HydroMed D4), содержащие ТФАСК, получали растворением навески реагента (из расчета $3 \cdot 10^{-3}$ М) в гидрогеле полиуретана D4 (5 мас.%, C_2H_5OH). Для получения сенсорных пленок коктейль (15 мкл) помещали в лунки микропланшета (96 лунок) и сушили в течение 2 часов при $40^\circ C$.

Спектры поглощения растворов регистрировали на спектрофотометре UV-1800 UV-VIS Spectrophotometer (SHIMADZU, Япония), сенсорных пленок – на микропланшетном ридере «Sunrise» (TECAN, Австрия).

Результаты и их обсуждение

Реакция окисления ТФАСК пероксидом водорода в присутствии пероксидазы хрена в слабoкислых растворах

ТФАСК не окисляется пероксидом водорода в широком диапазоне кислотности среды. В то



же время присутствие ПХ в слабокислых средах ($1.0 \cdot 10^{-3} - 5.0 \cdot 10^{-5}$ М по H_2SO_4) приводит к появлению окрашенного продукта, свидетельствующего об окислении реагента в присутствии фермента. Спектр поглощения окисленной формы ТФАСК характеризуется высокоинтенсивной полосой

при 680 нм, интенсивность которой изменяется во времени (рис. 1). Увеличение концентрации пероксида водорода приводит к быстрой деградации окраски продукта окисления ТФАСК, а также появлению новой низкоинтенсивной полосы поглощения при 480 нм.

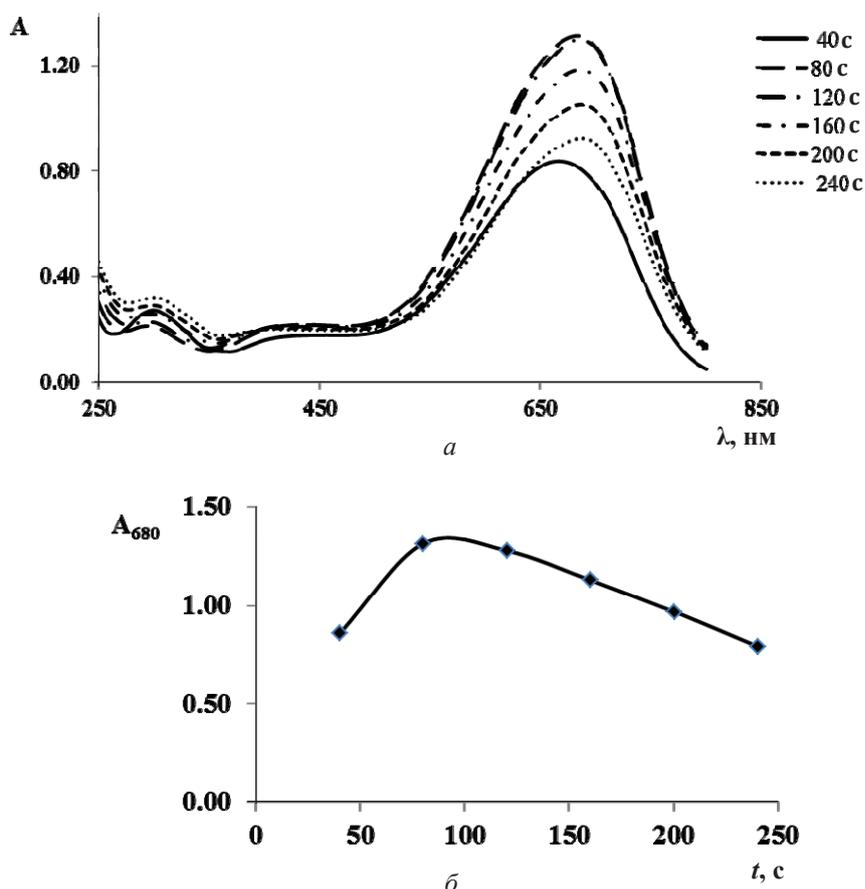


Рис. 1. Трансформация во времени спектра поглощения ТФАСК, окисленного пероксидом водорода, в присутствии ПХ (а) и изменение во времени оптической плотности при 680 нм (б): $C_{H_2O_2} = 2.0 \cdot 10^{-3}$ М, $C_{H_2SO_4} = 1.0 \cdot 10^{-4}$ М, $C_{ТФАСК} = 6.0 \cdot 10^{-5}$ М, $C_{ПХ} = 0.4 \cdot 10^{-3}$ ус.ед./мл

Изменение интенсивности оптической плотности во времени при длинах волн, соответствующих максимумам поглощения окисленных форм ТФАСК [3], позволяет предположить совместное присутствие в растворе катион-радикала ТФАСК^{•+} ($\lambda=647$ нм) и окисленного продукта его димеризации – дикатиона тетрафенилбензидина ТФБСК²⁺ ($\lambda=680$ нм) в начальный момент времени. Уменьшение концентрации катион-радикалов ТФА^{•+}, обусловленное его участием в процессах димеризации, приводит к смещению равновесия в сторону образования бесцветного катион-радикала тетрафенилбензидина ТФБСК^{•+} ($\lambda=480$ нм).

Нестабильность сигнала процесса ферментативного окисления ТФАСК во времени снижает ценность использования системы для ее практи-

ческого применения. В связи с этим нами изучена возможность стабилизации аналитического сигнала при введении в систему переходных металлов. Установлено (рис. 2), что интенсивность окраски продукта ферментативного окисления ТФАСК увеличивается (~41%) и стабилизируется в присутствии каталитически активных форм Ir(IV) и Rh(III), полученных термообработкой соответствующих хлорокомплексов с хлорной кислотой согласно методике [4].

Стабильность продукта ферментативного окисления ТФАСК пероксидом водорода в присутствии каталитически активных форм иридия (IV) и родия (III) и наличие области линейной зависимости аналитического сигнала от концентрации ПХ предполагают возможность использования данных систем для аналитических целей.

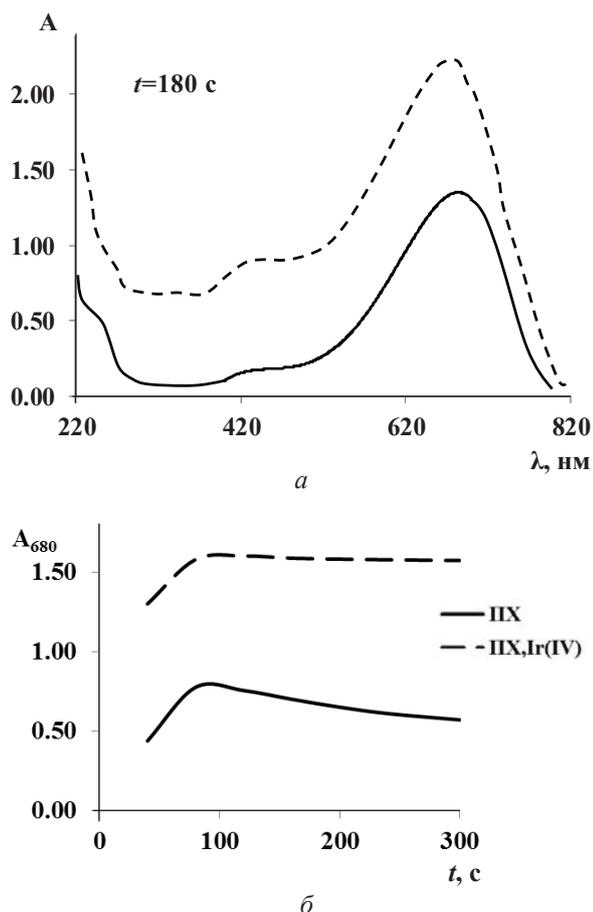


Рис. 2. Спектры поглощения (а) и кинетические кривые (б) образования окисленной формы ТФАСК в присутствии ПХ и каталитически активной формы Ir(IV): $C_{\text{ТФАСК}} = 6.0 \cdot 10^{-5}$ М, $C_{\text{H}_2\text{SO}_4} = 2.0 \cdot 10^{-5}$ М, $C_{\text{H}_2\text{O}_2} = 2.5 \cdot 10^{-4}$ М, $C_{\text{ПХ}} = 0.3 \cdot 10^{-4}$ ус.ед./мл, $C_{\text{Ir}} = 1.0 \cdot 10^{-4}$ мкг/мл

Реакция окисления ТФАСК пероксидом водорода в присутствии пероксидазы хрена при включении реагента в полимерные пленки полиуретана

Иммобилизация ТФАСК в полимерные пленки и проведение реакции его окисления в формате твердофазного анализа открывают возможность разработки высокопроизводительного скрининга пероксида водорода и ПХ одновременно в большом числе образцов. Для формирования оптически прозрачных и устойчивых в водных растворах пленок нами использован гидрогель полиуретана (D4). Присутствие в структуре полиуретана бензолных колец предполагает стекинговое взаимодействие с молекулами ТФАСК и, как следствие, увеличивает однородность и устойчивость сенсорных пленок к вымыванию красителя.

Установлено, что характеристики спектра поглощения окисленной формы ТФАСК в сенсорных пленках совпадают с характеристиками в растворе, что свидетельствует об однотипности механизма окисления ТФАСК в растворе и на поверхности полимера.

Изучено влияние различных факторов на интенсивность поглощения сенсорной мембраны после взаимодействия ТФАСК с пероксидом водорода. Установлено, что наиболее устойчивые мембраны были получены при использовании сенсорного коктейля с концентрацией ТФАСК 1 мг/мл. При этом включение ПХ в состав сенсорной мембраны приводит к ухудшению ее гомогенности и устойчивости. Изменение концентрации H_2O_2 в диапазоне $2.5 \cdot 10^{-3} - 2.5 \cdot 10^{-4}$ М практически не влияет на аналитический сигнал и чувствительность определения ПХ. Кислотность среды существенно влияет на стабильность окраски окисленной формы ТФАСК. Максимальный аналитический сигнал достигается в растворах $2.0 \cdot 10^{-5}$ М серной кислоты, что предполагает возможность использования данной сенсорной системы для анализа биосистем.

В качестве оптимальных условий для определения ПХ выбраны концентрации ТФАСК – 1 мг/мл коктейля, $\text{H}_2\text{O}_2 - 2.5 \cdot 10^{-4}$ М, $\text{H}_2\text{SO}_4 - 2.0 \cdot 10^{-5}$ М, время отклика сенсорной системы – 3 мин.

Вид градуировочных зависимостей для определения ПХ в оптимальных условиях описывается уравнениями прямой в диапазоне до 8.5 ус. ед./мл ПХ. Во всех случаях коэффициент корреляции составлял величину более 0.99. Низкий предел обнаружения (ПО $0.3 \cdot 10^{-4}$ ус.ед./мл) позволяет использовать предлагаемую методику для определения ПХ в биологических системах.

Список литературы

1. Никонов П. Г., Бурмистрова Н. А., Муштакова С. П. Трифениламин-4-сульфокислота в каталитическом определении платиновых металлов // Журн. аналит. хим. 2008. Т. 63, № 4. С. 432–437.
2. Никонов П. Г., Муштакова С. П., Бурмистрова Н. А., Кожина Л. Ф. Каталитическое определение родия на основе реакции окисления трифениламин-4-сульфокислоты периодатом натрия // Журн. аналит. хим. 2004. Т. 59, № 2. С. 161–165.
3. Oyama M., Higuchi T., Okazaki S. Spectroscopic detection and kinetic analysis of short-lived aromatic



amine cation radicals using an electron transfer stopped-flow method // *J. Chem. Soc. Perkin Trans. Part 2*. 2001. № 8. P. 1287–1293.

4. Капустина Е. В., Бурмистрова Н. А., Муштако-

ва С. П. Новые каталитические системы для определения иридия (IV) и родия (III) при их совместном присутствии в растворе // *Цветные металлы*. 2009. № 11. С. 42–45.

Образец для цитирования:

Зубарева И. С., Колонтаева О. А., Чернозубова Е. В., Бурмистрова Н. А. Сенсорные микропланшеты для определения пероксидазы хрена на основе реакции окисления трифениламин-4-сульфокислоты пероксидом водорода // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 10–13. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-10-13.

Cite this article as:

Zubareva I. S., Kolontaeva O. A., Chernozubova E. V., Burmistrova N. A. Sensor Plate in Horseradish Peroxidase Determination Based on Oxidation of Triphenylamine-4-sulphonic Acid by Hydrogene Peroxide. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 10–13 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-10-13.



УДК 543.554.6:615.33

ТВЕРДОКОНТАКТНЫЕ И ПЛАНАРНЫЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕФОТАКСИМА В ВОДНЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

Е. Г. Кулапина, М. С. Тютликова

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: kulapinaeg@mail.ru

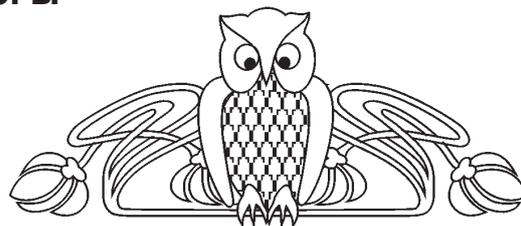
Цефотаксим – цефалоспориновый антибиотик, обладающий высокой эффективностью при лечении тяжелых бактериальных инфекций. Для определения цефалоспориновых антибиотиков в различных объектах применяются спектроскопические, хроматографические, электрохимические, иммуноферментные и др. методы, которые требуют дорогостоящей аппаратуры и органических растворителей. Потенциометрические сенсоры позволяют экспрессно детектировать цефалоспориновые антибиотики в малых пробах, без предварительной подготовки. Целью работы является создание твердоконтактных и планарных потенциометрических сенсоров для определения цефотаксима в водных и биологических средах. Задачи исследования: определение оптимального состава мембран и углеродсодержащих чернил сенсоров; оценка их электроаналитических характеристик в водных и биологических средах. В качестве активных компонентов мембран использовали соединение тетрадециламмония (TDA) с комплексом серебро (I) – цефотаксим ($\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$). Определены основные электроаналитические и операционные характеристики исследуемых сенсоров в водных растворах цефотаксима и на фоне жидкости ротовой полости: интервал линейности электродной функции, угловые коэффициенты, время отклика, дрейф потенциала, предел обнаружения и срок службы. Проведена сравнительная оценка электроаналитических свойств твердоконтактных и планарных сенсоров и показана возможность их применения для определения цефотаксима в водных и биологических средах, в микрообъемах проб, что важно при исследовании фармакокинетики антибиотиков, определения максимальной терапевтической дозы, корректировки процесса лечения.

Ключевые слова: твердоконтактные потенциометрические сенсоры, цефотаксим, водные и биологические среды.

The Solid-state and Planar Sensors for the Determination of Cefotaxime in Aqueous and Biological Fluids

E. G. Kulapina, M. S. Tyutlikova

Cefotaxime is a cephalosporin antibiotic possessing a high efficiency at curing severe bacterial infections. For the determination of cephalosporin antibiotics in different objects, spectroscopic, chromatographic, electrochemical methods, immunoassay, etc. are used, which demand for expensive devices and organic solvents. Potentiometric sensors let one expressively detect cephalosporin antibiotics in small samples without previous sample preparation. The work was aimed at the creation of solid-state and planar potentiometric sensors for the determination of cefotaxime in aqueous and biological media. The tasks of investigation: determination of optimal composition of membranes and carbon-containing ink of the sensors; evaluation of their electroanalytical characteristics in aqueous and biological media.



As the membranes active component, the compound of tetradecylammonium (TDA) with the silver (I) – cefotaxime complex were applied. The main electroanalytical and operational characteristics (linearity interval of electrode function, angular coefficient, response time, drift potential detection limit and lifetime) of the sensors under study in cefotaxime aqueous solutions and mixed saliva have been determined. A comparative evaluation of the electroanalytical properties of solid-state and planar sensors has been carried out, and the possibility of their application for the determination of cefotaxime in aqueous and biological media, in microvolumes of samples has been shown, which is of importance at the investigation of antibiotics pharmacokinetics, determination of the maximal therapeutic dose, and correction of the therapy process.

Key words: solid-state potentiometric sensors, cefotaxime, aqueous and biological fluids.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-14-18

Введение

Цефалоспориновые антибиотики – обширная группа антибиотиков, относящаяся к классу β -лактамов. Цефалоспорины состоят из соединенных β -лактамного и дигидротиазинового циклов и имеют две боковые цепи радикалов, которые могут иметь различную химическую природу. От их структуры в значительной степени зависят антимикробная активность, химическая устойчивость, растворимость и кислотно-основные свойства антибиотиков. Входящий в группу цефалоспоринов цефотаксим эффективен по отношению ко многим грамположительным и грамотрицательным бактериям. По химической природе он близок к цефалоспорином первого и второго поколения, однако особенности его структуры обеспечивают устойчивость к действию продуцируемых ими β -лактамаз [1]. Цефотаксим – антибиотик III поколения, имеющий в своей структуре карбоксильную и аминотиазольную группы [2, 3]. Его применяют при лечении тяжелых бактериальных инфекций, вызванных чувствительными микроорганизмами: инфекции дыхательных путей и лор-органов (за исключением энтерококковых), кожи и мягких тканей (включая инфицированные раны и ожоги), костей и суставов, мочевыводящих путей, бактериемия,



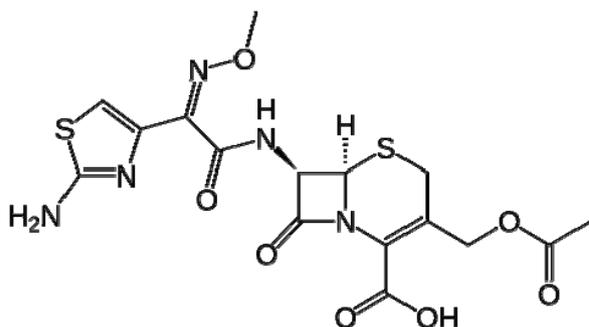
септицемия, перитонит, интраабдоминальные инфекции, бактериальный менингит (за исключением листериозного), эндокардит, болезнь Лайма и др. [1, 4, 5].

Для определения цефалоспориновых антибиотиков в различных объектах применяются спектроскопические, хроматографические, электрохимические, иммуноферментные и др. методы. Потенциометрические сенсоры позволяют экспрессно детектировать различные антибиотики [6].

В настоящей работе предложены твердоконтактные и планарные сенсоры на основе комплексных соединений серебра (I) с цефотаксимом и катионом тетрадециламмония ($\text{Ag}(\text{Ceftx})_2\text{TDA}$). Проведена сравнительная характеристика электроаналитических свойств твердоконтактных и планарных сенсоров в растворах цефотаксима, показана возможность их применения для определения антибиотика в биологических средах (ротовой жидкости).

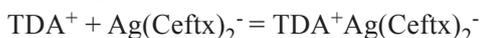
Экспериментальная часть

Цефотаксим ([6R - [бальфа,7бета(Z)]] - 3 - [(Ацетилокси)метил] - 7 - [[(2-амино - 4-тиазолил) (метоксиимино) ацетил] амино] - 8 - оксо - 5 - тиа - 1 - азабицикло [4.2.0] окт - 2 - ен - 2 - карбоновая кислота) представляет собой порошок белого со слегка желтоватым оттенком цвета. Физико-химические характеристики: $t_{\text{пл}} = 175$ °С; молекулярная масса 477.4 г/моль; растворимость образцов в воде при температуре 298 К – 95 г на 100 мл растворителя [7].



Исходные $1 \cdot 10^{-1}$ М водные растворы готовили растворением точной навески цефотаксима ($m = 1,3394$ г) в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью 25 мл. Рабочие растворы концентрацией $1 \cdot 10^{-2}$ – $1 \cdot 10^{-5}$ М получали последовательным разбавлением исходных.

Синтез электродноактивных соединений осуществляли по реакции обмена, представленной на следующей схеме:



Синтез ЭАК осуществляли в два этапа:

- 5 мл водного раствора цефотаксима ($C = 2 \cdot 10^{-2}$ М) помещали в химический стакан, добавляли к нему 5 мл раствора нитрата серебра ($C = 1 \cdot 10^{-2}$ М) и несколько капель раствора NaOH для создания щелочной среды $\text{pH} \approx 8$. Смесь тщательно перемешивали.

- В делительную воронку помещали 5 мл водного раствора комплексного соединения серебра (I) – цефотаксим и 5 мл раствора TDA ($C = 1 \cdot 10^{-2}$ М) в хлороформе. Полученную смесь интенсивно встряхивали в течение двух часов. Затем хлороформный слой отделяли от водной фазы в предварительно взвешенный бюкс и оставляли под тягой до полного испарения хлороформа.

Приготовление пластифицированных мембран. Для приготовления пластифицированных мембран в бюкс помещали навески электродноактивного компонента, растворителя-пластификатора дибутилфталата (ДБФ). Затем при перемешивании на магнитной мешалке добавляли 3 мл растворителя (циклогексанона) и постепенно навеску поливинилхлорида (соотношение ПВХ:ДБФ по массе равно 1:3). Перемешивание продолжали до образования гомогенной системы. Полученную мембранную композицию выливали в чашку Петри и оставляли под тягой до полного испарения растворителя. Высушивание проводили на строго горизонтальной поверхности для получения мембраны одинаковой толщины. Приготовленная мембрана имеет вид эластичной и прозрачной пленки толщиной около 0,5 мм. К тщательно отшлифованному графитовому стержню твердоконтактного сенсора приклеивали ионоселективные мембранные диски диаметром 5–7 мм. Перед работой сенсоры кондиционировали в течение суток в 10^{-3} М растворе цефотаксима.

Для изготовления углеродсодержащих чернил планарных сенсоров в стеклянный бюкс помещали 0,3627 г пластификатора – дибутилфталата, 0,6166 г порошка углерода, 0,0399 г электродноактивного соединения. Бюкс помещали на магнитную мешалку и при небольшом нагревании добавляли 2 мл растворителя (смесь ацетона и циклогексанона в соотношении 1:1) и постепенно 1,0156 г ПВХ. Смесь перемешивали до состояния однородной гомогенизации. Оптимальное соотношение компонентов углеродсодержащих чернил: 30–32% порошка углерода, 16–18% ПВХ, 48–50% пластификатора, 2–5% ЭАС [8]. Перед началом работы рабочую поверхность подложки смазывали изолятором, в качестве которого выступал клей, изготовленный из ПВХ, дибутилфталата и циклогексанона. После



высыхания с помощью трафарета на подложку кисточкой наносили слой углеродсодержащих чернил, на котором закрепляли металлический токоотвод и изолировали его тремя слоями чернил. Вся поверхность полимерной подложки, кроме рабочей поверхности, диаметром 5 мм, изолировалась полимерным составом на основе ПВХ.

Измерения ЭДС проводили с использованием элемента с переносом типа: $Ag/AgCl, KCl_{насыщ.}/$ исследуемый раствор/мембрана/графит.

Контакт между полуэлементами был осуществлен через солевой мостик, заполненный насыщенным раствором хлористого калия.

ЭДС цепи измеряли с помощью иономера И-160 МП при температуре $20 \pm 3^\circ C$ (погрешность измерения ЭДС ± 1 мВ). В качестве электрода сравнения использовали стандартный хлоридсеребряный электрод ЭВЛ-1М. Измерения ЭДС в анализируемых растворах проводили от меньшей концентрации к большей. Для ускорения достижения постоянного потенциала внешний раствор перемешивали на магнитной мешалке.

Время установления стационарного потенциала сенсоров определяли при скачкообразном изменении концентраций антибиотиков на порядок. Измерения проводили в растворах с концентрацией $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-1}$ М.

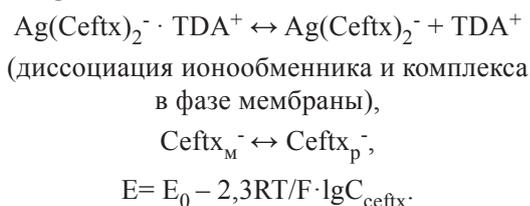
Контроль pH растворов проведен на pH метре рХ 150 мП с использованием стеклянного (ЭСЛ-63-07) и хлоридсеребряных ЭВМ-1МЗ электродов.

Для отделения белковых компонентов из смешанной слюны использовали центрифугу ТУ5.375-4262-76, ОПн-8УХЛ4.2.

Результаты и их обсуждение

Изучены электроаналитические свойства новых потенциометрических сенсоров, чувствительных к цефотаксиму. Для построения электродных функций использовали свежеприготовленные растворы цефотаксима ($C = 1 \cdot 10^{-1} - 1 \cdot 10^{-5}$ М) (рис. 1, 2).

Потенциалоопределяющей является реакция ионного обмена на границе раздела мембрана/раствор:



Как видно из рис. 1, 2, линейность электродных функций наблюдается в пределах концентра-

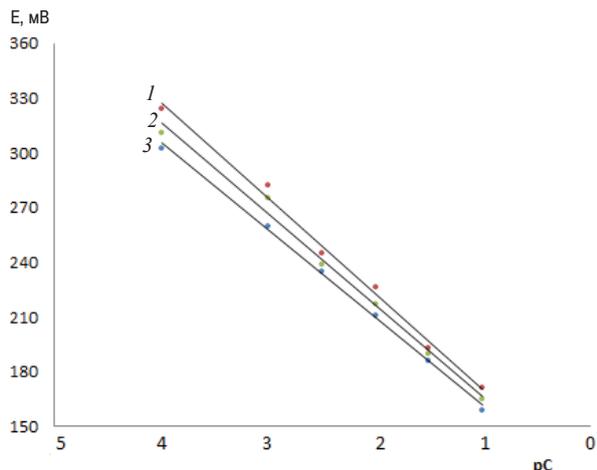


Рис. 1. Электродные функции твердоконтактного сенсора в растворах цефотаксима во времени, сут: 1 – 1; 2 – 3; 3 – 5

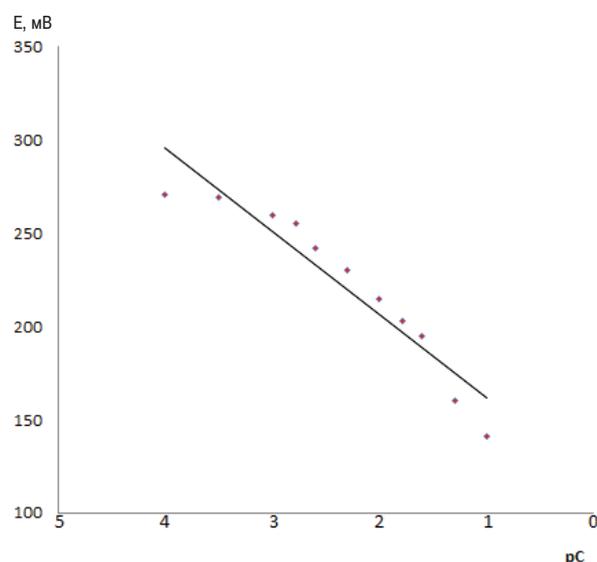


Рис. 2. Электродная функция планарного сенсора ($C_{ЭАК} = 2\%$)

ций $5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-1}$. Отклонение от линейности в более разбавленных растворах может быть связано с растворением ионообменника в фазе мембраны. Угловые коэффициенты электродных функций находятся в пределах 49–56 мВ/рС и соответствуют значениям нернстовской величины для однозарядных ионов. В табл. 1 приведена сравнительная характеристика электроаналитических свойств твердоконтактных и планарных сенсоров.

По электроаналитическим характеристикам твердоконтактный сенсор превосходит планарный. Основное преимущество планарного сенсора заключается в возможности проведения исследования в малых объемах проб. По истечении 2 месяцев твердоконтактные сенсоры не проявляют чувствительности к цефотаксиму:



Таблица 1

Электроаналитические свойства сенсоров на основе $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2\text{TDA}$

Электроаналитические характеристики	Сенсор	
	твердоконтактный	планарный
$E=f(C)$, М	$5 \cdot 10^{-5} - 1 \cdot 10^{-1}$	$1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-1}$
S , мВ/рС	55 ± 5	45 ± 4
$C_{p, \min}$, М	$5 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$
$t_{\text{стаб.}}$, с (10^{-2} М)	130	50
V_{\min} , мл	0,02	0,02

угловой коэффициент электродной функции уменьшается с 56 до 32 мВ/рС. Срок службы планарных сенсоров около 1 месяца.

Поведение сенсоров на фоне жидкости ротовой полости

Объектом исследования была выбрана жидкость ротовой полости. Жидкость ротовой полости (ЖРП), или смешанная слюна, – биологическая жидкость человека, легкодоступная для определения самых разнообразных соединений. Она представляет собой огромный интерес для изучения фармакокинетики антибиотиков в связи с простотой и неинвазивностью отбора проб.

Жидкость ротовой полости содержит 98–99% воды, около 0,5 % неорганических солей (Mn^{2+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , F^- , Cl^- ,

HCO_3^- , SO_4^{2-} и др.) и до 1 % органических веществ (белки, мочевины, аммиак, креатин, остатки пищи и др.) [9].

Сбор ЖРП проводили через полчаса после еды. Перед сбором смешанной слюны ротовую полость ополаскивали водой. В чистые полиэтиленовые пробирки собирали слюну, центрифугировали ее в течение 10 мин при 3500 об/мин для осаждения белков и твердых остатков пищи. Аликвотную часть надосадочной жидкости отбирали в ячейку, вносили добавку цефотаксима, погружали электрод и измеряли ЭДС при постоянном перемешивании. Предварительно электроды кондиционировали в ЖРП без антибиотика в течение 20 мин.

На рис. 3 представлены электродные функции твердоконтактного и планарного сенсоров в растворах цефотаксима на фоне ЖРП.

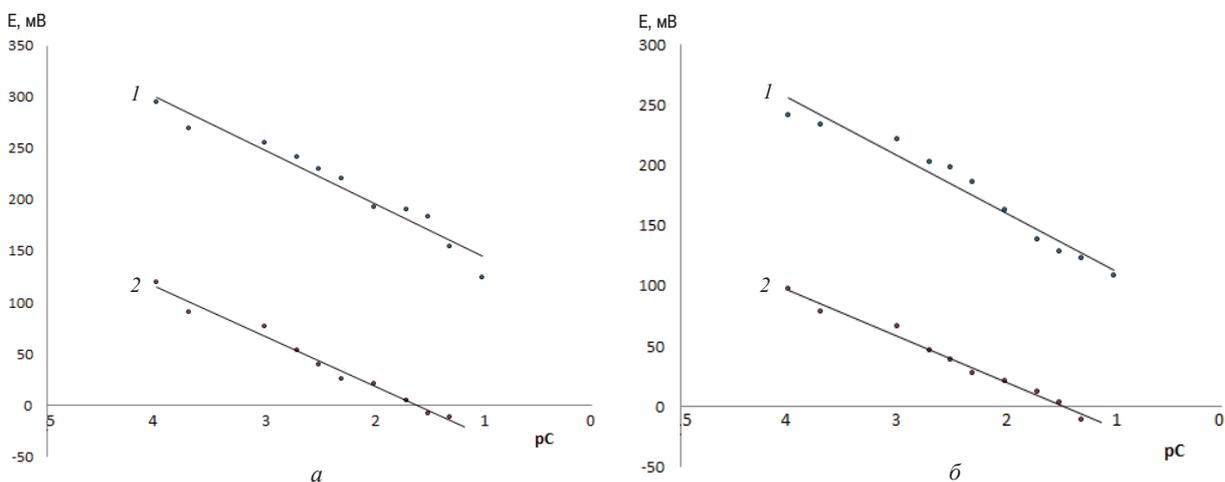


Рис. 3. Электродные функции сенсора в водном растворе (1) и на фоне ЖРП (2): а – твердоконтактного; б – планарного

Как видно по рис. 3, сенсоры проявляют чувствительность к цефотаксиму на фоне ЖРП. Наблюдается отклонение значений электродных потенциалов в сторону отрицательных значений. Это может быть связано с сильным фоновым влиянием неорганических и органических ионов, входящих в состав ЖРП. Сенсоры имеют достаточно большую область

линейности, поэтому возможно их применение при определении цефотаксима в биологических жидкостях.

Нами проведено определение цефотаксима в модельных водных растворах и на фоне ЖРП с внесенными добавками цефотаксима. При этом относительная погрешность определения составляет 2–14% (табл. 2).



Таблица 2

Результаты определения цефотаксима в модельных растворах ($n = 3, p = 0,95$)

Сенсоры	Водный раствор, мг/25мл			ЖРП, мг/10мл		
	Введено	Найдено	D, %	Введено	Найдено	D, %
Твердоконтактные	2,3	$1,9 \pm 0,4$	13	1,0	$1,3 \pm 0,3$	13
	5,7	$5,9 \pm 1,0$	13	2,3	$2,5 \pm 0,4$	10
	22	26 ± 5	13	10	$9,6 \pm 1,7$	7,2
	57	64 ± 7	12	22	23 ± 6	2,3
Планарные	2,3	$2,0 \pm 0,4$	12	1,0	$0,8 \pm 0,3$	14
	5,7	$5,9 \pm 1,0$	3,5	2,3	$2,2 \pm 0,5$	3,6
	22	24 ± 5	4,9	10	10 ± 2	3,7
	57	58 ± 7	3,1	22	22 ± 2	2,8

Данные значения являются приемлемыми, поскольку в методе прямой потенциометрии в связи с существованием логарифмической зависимости потенциала от определяемой концентрации погрешность измерения может достигать 20% [10].

Таким образом, впервые были созданы твердоконтактные и планарные потенциометрические сенсоры на основе соединения тетрадециламмония с комплексом серебро (I) – цефотаксим, определены их основные электрохимические и операционные характеристики: интервал линейности, угол наклона электродных функций, дрейф потенциала, время установления стационарного потенциала, срок службы. Проведена сравнительная оценка электроаналитических свойств твердоконтактных и планарных сенсоров и показана возможность их применения для определения цефотаксима в водных и биологических средах, в микрообъемах проб, что важно при исследовании фармакокинетики антибиотиков, определении максимальной терапевтической дозы, корректировки процесса лечения.

Список литературы

1. *Машковский М. Д.* Лекарственные средства. М.: Нов. волна, 2012. 1216 с.
2. *Кулапина О. И., Кулапина Е. Г.* Антибактериальная терапия. Современные методы определения антибиотиков в биологических и лекарственных средах. Саратов: Саратовский источник, 2015. 91 с.
3. *Алексеев В. Г.* Кислотно-основные свойства пенициллинов и цефалоспоринов // Хим.-фарм. журн. 2010. Т. 44, № 1. С. 16–26.
4. *Жукова О. В., Коньшикина Т. М.* Метод фишберна – метод оценки клинической эффективности лекарственных препаратов (на примере антибиотиков, применяемых в лечении острого и рецидивирующего обструктивного бронхита у детей) // Фармация и фармакология. 2015. Т. 12, № 5. С. 42–46.
5. *Мокия-Сербина С. А., Литвинова Т. В., Гордеева А. А.* Современные аспекты антибиотикотерапии внебольничной пневмонии у детей раннего и дошкольного возраста (обзор литературы) // Здоровье ребенка. 2016. Т. 71, № 3. С. 136–142.
6. *Кулапина Е. Г., Баринаева О. В., Кулапина О. И., Утц И. А., Снесарев С. В.* Современные методы определения антибиотиков в биологических и лекарственных средах // Антибиотики и химиотерапия. 2009. Т. 54, № 9–10. С. 53–60.
7. *Крысанова Т. А., Котова Д. Л., Васильева С. Ю., Слащева Е. А., Рязских Ю. Ю., Ерина О. В.* Спектрофотометрическое определение натриевой соли цефотаксима в водном растворе // Вестн. ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2015. № 2. С. 13–16.
8. *Макарова Н. М., Кулапина Е. Г.* Планарные потенциометрические сенсоры на основе углеродных материалов для определения додецилсульфата натрия // Электрохимия. 2015. Т. 51, № 7. С. 757–764.
9. *Леус П. А., Троцкая О. С., Лобко С. С., Палий Л. И.* Смешанная слюна (состав, свойства, функции): учеб.-метод. пособие. Минск: БГМУ, 2004. 42 с.
10. *Кулапина Е. Г.* Электрохимические методы анализа: учеб. пособие для студ. хим. фак. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2007. 108 с.

Образец для цитирования:

Кулапина Е. Г., Тютликова М. С. Твердоконтактные и планарные сенсоры для определения цефотаксима в водных и биологических средах // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 14–18. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-14-18.

Cite this article as:

Kulapina E. G., Tyutlikova M. S. The Solid-state and Planar Sensors for the Determination of Cefotaxime in Aqueous and Biological Fluids. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 14–18 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-14-18.



УДК 544.169

КВАНТОВО-ХИМИЧЕСКОЕ ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНЫХ СТРУКТУР В СИСТЕМЕ АЛЬГИНОВАЯ КИСЛОТА – ХЛОРИД ЕВРОПИЯ (III)

Д. Н. Джарлагасова, Т. В. Захарова, М. В. Пожаров

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: PozharovMV@info.sgu.ru



Представлены результаты расчета геометрии возможных комплексных соединений европия с анионами альгиновой кислоты (HAlg^- и Alg^{2-}) методом PM7/Sparkle с учетом сольватационной модели COSMO. Показано, что с увеличением числа лигандов в координационной сфере стабильность соединений существенно уменьшается, при этом возрастают их электронно-акцепторные свойства. Сопоставление рассчитанных спектров возбуждения с экспериментальными данными показало, что в растворе, содержащем анионы европия и альгиновой кислоты наиболее вероятно наличие соединений состава $\text{Eu}(\text{HAlg})(\text{Alg})$ и $[\text{Eu}(\text{Alg})_3]^{3-}$.

Ключевые слова: комплексы лантаноидов, полуэмпирические методы расчета, оценка спектральных свойств.

Quantum Chemical Studies of Potential Associates in Europium (III) Alginate Solutions

D. N. Dzharlagasova, T. V. Zacharova, M. V. Pozharov

Metal-alginate complexes (especially, lanthanide gels) are particularly interesting for medical and biological analysis due to their luminescent properties upon UV light excitation. Unfortunately, synthesis and further physical and chemical studies of such complexes is inhibited by their high cost. However, this problem can be solved by using quantum chemical methods to predict potential properties of lanthanide alginates based on the results of their geometry optimization and electronic structure calculation. This study presents the results of quantum chemical analysis of possible structures and UV-vis spectra of europium (III) alginates and comparison of these spectra with existing experimental data. Geometry optimization was performed by PM7/SPARKLE method (software – MOPAC 2012) combined with COSMO solvation model. UV-vis spectra were calculated using ZINDO/S method (Orca software). We have studied 6 possible structures with various metal-to-ligand ratios (1:1, 1:2 and 1:3) and different ligand composition (using both monoprotonated (HAlg^-) and deprotonated alginate ions (Alg^{2-}). The greater amount of ligands participating in coordination lead to significant decrease in complex stability (due to increased number of Ln-O bonds and decrease of their energy) and increase of electron acceptor properties. Comparison between calculated and experimental UV-vis spectra of studied complexes showed that Eu alginate solution contains several types of complex ions, most likely – $\text{Eu}(\text{HAlg})(\text{Alg})$ and $[\text{Eu}(\text{Alg})_3]^{3-}$. This shows that chosen computation method allows to predict UV-vis absorption spectra of lanthanide complexes with polymeric acids which can be used for medical and biological analysis.

Key words: lanthanide complexes, semi-empirical calculations, spectral properties assessment.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-19-23

Введение

Альгинатные комплексы широко применяются в медицине (в качестве антацидов и коагулянтов), пищевой промышленности (добавки, загустители) и косметологии (альгиновые маски) [1]. На сегодняшний день особый интерес представляют разработки в области производства альгинатных гелей для медицинского и биологического анализов [2–4]. В частности, их комплексы с редкоземельными элементами характеризуются способностью к люминесценции, что позволяет использовать их для визуализации средств доставки лекарственных препаратов к месту заражения при облучении УФ-светом [2]. Кроме того, исследования люминесценции комплексов лантаноидов актуальны как с фундаментальной (механизмы перехода возбуждения от лигандов к металлу), так и с прикладной точки зрения (разработка органических светоизлучающих устройств [2, 5, 6]).

В то же время получение и физико-химическое изучение подобных комплексов осложняется достаточно высокой стоимостью исходных веществ. Решением данной проблемы является применение квантово-химических методов расчета для прогнозирования возможных свойств соединений лантаноидов на основании данных расчета их геометрии и электронной структуры.

Таким образом, в данной статье приводятся результаты исследования структур и электронных характеристик некоторых рассчитанных комплексов лантаноидов с альгиновой кислотой, анализ их спектров возбуждения на основе сопоставления с расчетными данными.

Экспериментальная часть

Расчет был осуществлен методом PM7/SPARKLE, являющимся первым полуэмпирическим методом, который успешно проходит проверку моделирования кристаллических структур и теплоты образования комплексов [7]. Для учета влияния растворителя использована модель COSMO [8], реализованная в программном комплексе MOPAC2012 [9]. Модель COSMO заключается в том, что комплексные частицы окружают молекулы растворителя.



Исследуемый лиганд – альгинат-ион – представляет собой анион двухосновной кислоты, поэтому наиболее вероятным местом координации его к атому европия являются атомы кислорода карбоксильных групп мануронного и гулуринового фрагментов. Известно, что лантаноиды, в

том числе европий, характеризуются большими координационными числами (от 9 до 12), т.е. один атом европия может координировать 2 и более альгинат-ионов. В связи с этим для расчетов были выбраны следующие структуры, графические формулы которых приведены на рис. 1.

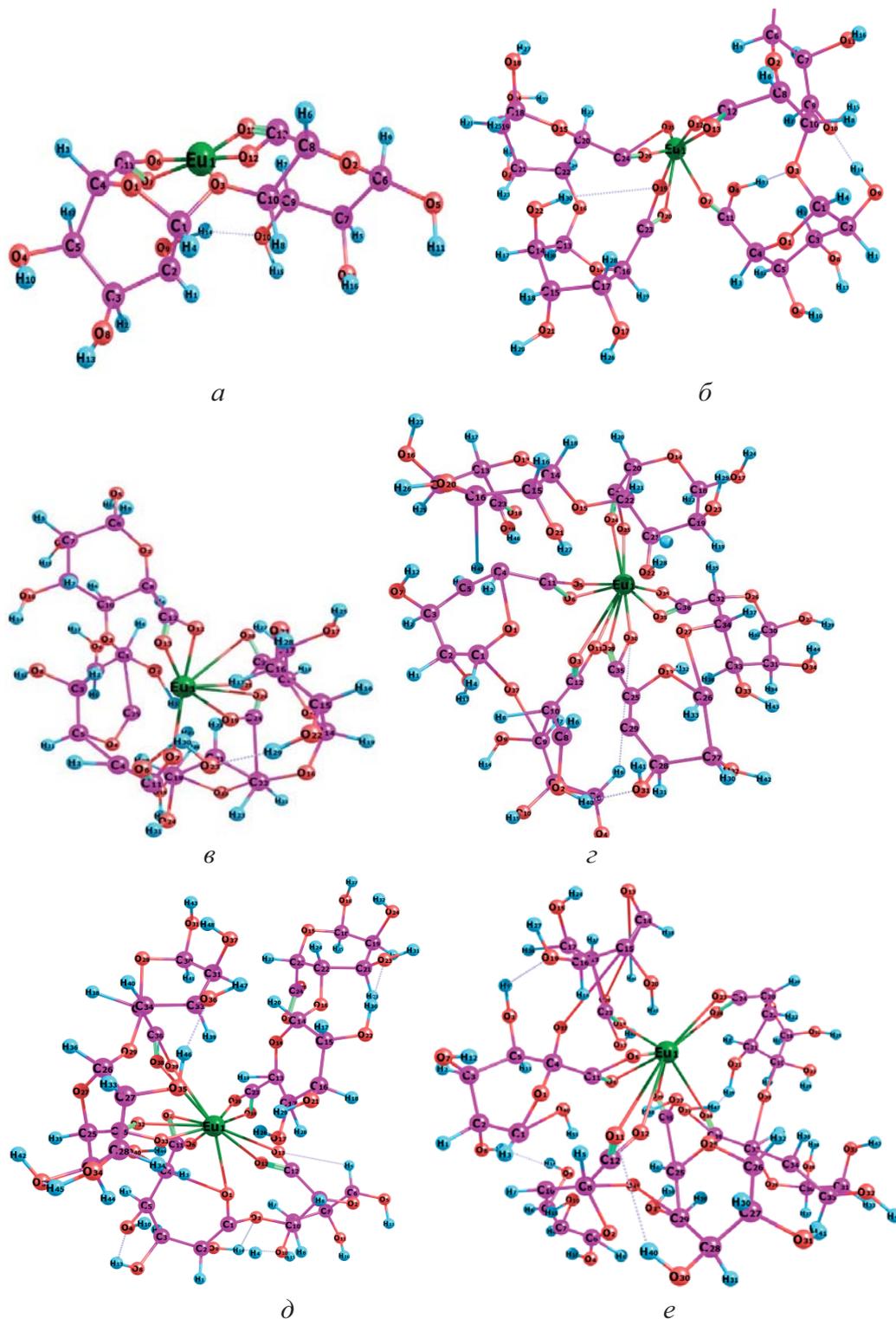


Рис. 1. Геометрия изученных комплексов европия с мономерами альгиновой кислоты состава: а – 1:1; б, в – 1:2; г, д, е – 1:3



Результаты и их обсуждение

Для оценки и сравнения рассчитанных комплексов были выбраны следующие рассчитанные параметры: энтальпия реакции образования веществ (ΔH_r), энергия высшей заполненной ($E_{\text{ВЗМО}}$) и низшей вакантной молекулярных

орбиталей ($E_{\text{НВМО}}$) и вертикальный потенциал ионизации (ΔE).

В табл. 1 приведены результаты расчета некоторых параметров геометрии и энергетических параметров наиболее термодинамически устойчивых комплексов европия с альгиновой кислотой.

Таблица 1

Некоторые рассчитанные характеристики комплексов лантаноидов

Комплекс	$l_{\text{ср}}$, (Eu-O), Å	$\Delta H_r \cdot 10^3$, кДж/моль	$E_{\text{св}} \cdot 10^3$, кДж/моль	$E_{\text{(ВЗМО)}}$, эВ	$E_{\text{(НВМО)}}$, эВ	ΔE , эВ
[Eu(Alg)] ⁺ (1a)	1,74	-13,6	3,40	-15,4	-9,11	6,36
[Eu(AlgHAlg)] ⁰ (1б)	2,20	-9,88	1,41	-13,1	-7,92	5,24
[Eu(Alg) ₂] ⁻ (1в)	2,95	-1,82	0,26	-9,50	-2,24	7,26
[Eu(Alg) ₂ (Halg)] ²⁻ (1г)	2,40	-6,65	0,67	-13,8	-7,87	5,98
[Eu(Alg) ₃] ³⁻ (1д)	2,80	-4,90	0,50	-13,5	-10,2	3,30
[Eu(Halg) ₃] ⁰ (1е)	2,40	-4,71	0,52	-16,2	-12,2	4,00

Исходя из табл. 1 можно сделать вывод, что образование всех рассчитанных структур в растворе возможно, при этом наиболее вероятно образование комплекса **1a** (см. рис. 1, а) ($\Delta H_r = -13600$ кДж/моль). Данный комплекс является наиболее прочным из исследованных соединений ($l_{\text{св}}$ (Eu-O) = 1,74 Å; $E_{\text{св}}$ (Eu-O) = 3400 кДж/моль). При уменьшении pH раствора также возможно образование электронейтральной структуры **1б** (см. рис. 1, б) ($\Delta H_r = -9880$ кДж/моль) и аниона [Eu(Alg)₂(Halg)]²⁻ ($\Delta H_r = -6650$ кДж/моль). Наименее устойчивым из исследованных структур является комплекс **1в** (см. рис. 1, в) ($l_{\text{св}}$ (Eu-O) = 2,95 Å; $E_{\text{св}}$ (Eu-O) = 260 кДж/моль), для которого наблюдается образование наименьшего числа ВМС. В целом по мере увеличения количества лигандов должно наблюдаться существенное уменьшение устойчивости комплексов, что связано с увеличением количества связей Eu-O (и соответственно уменьшением величины $E_{\text{св}}$ (Eu-O)). При этом смешанно-лигандные комплексы более устойчивы по сравнению с гомолигандными (1410 кДж/моль для Eu(Alg)(HAlg) против 260 кДж/моль для [Eu(Alg)₂]⁻), что, вероятно, объясняется образованием водородной связи между протонированной карбоксильной группой и атомом кислорода мостика, приводящих к дополнительному увеличению прочности комплекса (см. рис. 1, б).

Исследованные комплексные соединения проявляют сильные электроноакцепторные свойства, в особенности комплексы состава 1:3 (например, $E_{\text{(НВМО)}}$ для структуры Eu(HAlg)₃

составляет -12,2 эВ). При этом хорошо видно, что увеличение химической активности в целом соответствует ослаблению прочности связей Eu-O. Так, наиболее активной является структура **1д** (см. рис. 1, д) ($\Delta E = 3,30$ эВ), для которой величина $E_{\text{св}}$ (Eu-O) составляет 500 кДж/моль. В то же время наименьшую активность ($\Delta E = 7,26$ эВ) проявляет структура **1в** (см. рис. 1, в), являющаяся наименее устойчивой. Данное расхождение можно объяснить малой вероятностью образования подобной структуры, в связи с чем ее участие в реакциях по донорно-акцепторному механизму в растворе также невозможно.

Для исследованных соединений был проведен расчет спектров поглощения с использованием полуэмпирического метода ZINDO/S [10, 11], реализованного в программном комплексе Orca v.2.4.1 [12]. В данном методе, так же как и в методе Sparkle, атом лантаноида замещается на точечный заряд +3, после чего осуществляется многоконфигурационный анализ электронных переходов при возбуждении основного состояния (в качестве которого использовалась ранее оптимизированная геометрия комплексов Eu). Полученные значения максимумов спектров представлены в табл. 2.

Рассчитанные нами спектры были сопоставлены с ранее полученным спектром возбуждения системы, содержащей ион Eu³⁺ (10⁻⁴ М раствор EuCl₃) и раствор альгината натрия (2 масс. %) при pH = 7 (рис. 2). Спектр возбуждения был получен для основной полосы люминесценции иона Eu³⁺ – 612 нм.



Таблица 2
Максимумы полос поглощения
в рассчитанных спектрах

Соединение	$\lambda_{\text{макс}}$ (рассчит.), нм	I
[Eu(Alg)] ⁺	152	1,00
	261	0,82
	350	0,05
[Eu(AlgHAlg)] ⁰	347	1,00
	613	0,10
[Eu(Alg) ₂] ⁻	414	1,00
	1369	0,02
[Eu(Alg) ₂ (Halg)] ²⁻	698	1,00
	1760	0,08
	2080	0,04
[Eu(Alg) ₃] ³⁻	2710	0,16
	334	0,33
	441	0,33
	890	1,00
[Eu(Halg) ₃] ⁰	1240	0,31
	163	1,00
	187	0,82
	220	0,46

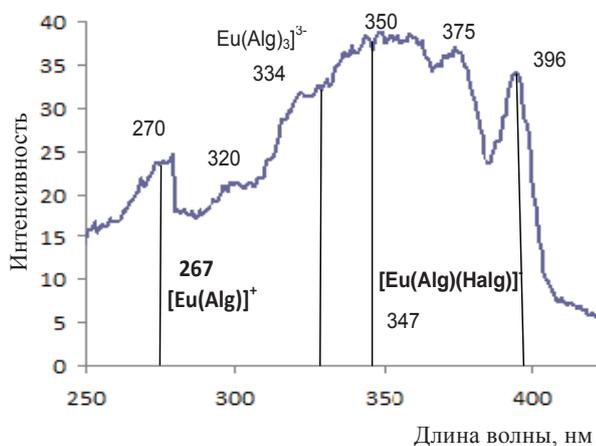


Рис. 2. Спектр возбуждения 10⁻⁴ М раствора EuCl₃ с альгинатом натрия

Как видно из рис. 2, спектр возбуждения имеет размытую структуру, связанную с образованием полимерных капсул комплекса Eu-Alg. При этом можно выделить несколько основных полос возбуждения – 270, 320, 350, 375 и 396 нм, а также менее интенсивные полосы при 440 и 470 нм (соответствуют меньшим по интенсивности переходам электронов в ионе Eu³⁺). Полоса при 396 нм соответствует возбуждению

EuCl₃ (литературные данные), остальные 4 полосы – возбуждению альгинат-иона. Если сопоставить представленный спектр с результатами расчета, то можно предположить, что основной вклад в спектр возбуждения оказывают комплексы состава [Eu(Alg)(HAlg)] ($\lambda_{\text{макс}}$ – 347 нм) и частично [Eu(Alg)₃]³⁻ ($\lambda_{\text{макс}}$ – 334 нм).

Таким образом, выбранная расчетная модель позволяет прогнозировать спектры поглощения (а соответственно и возбуждения) комплексов европия с полимерными кислотами, что, несомненно, представляет большую ценность для их использования в медицинском и биохимическом анализах.

Благодарности

Работа выполнена в рамках Государственного задания Минобрнауки России в сфере научной деятельности (базовая часть) по заданию № 2014/203 «Методология создания и анализ новых проектируемых ценных многокомпонентных систем и материалов» (код проекта 1255).

Список литературы

1. Whistler R. L., BeMiller J. N. Industrial Gums, Polysaccharides and Their Derivatives. N.Y. : Academic Press, 1993. P. 219.
2. Weissman S. I. Intramolecular energy transfer. The fluorescence of complexes of europium // J. Chem. Phys. 1942. Vol. 10. P. 214–217
3. Topuz F., Henke A., Richtering W., Groll J. Magnesium ions and alginate do form hydrogels : A rheological study // J. Soft Matter. 2012. Vol. 8 (18). P. 4877–4881.
4. Raghavachari R. Near-Infrared Applications in Biotechnology // CRC Press. 2001. P. 392.
5. Balashova T. V., Pushkarev A. P., Ilichev V. A., Lopatin M. A., Katkova M. A., Baranov E. V., Fukin G. K., Bochkarev M. N. Lanthanide phenolates with heterocyclic substituents. Synthesis, structure and luminescent properties // Polyhedron. 2013. Vol. 50. P. 112–120.
6. Desurvire E. Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Principles and Applications. N.Y. : Wiley-Interscience, 1994. P. 800.
7. Dutra J. D. L., Filho M. A., Rocha G. B., Freire R. O., Simas A. M., Stewart J.J.P. Sparkle/PM7 Lanthanide Parameters for the Modeling of Complexes and Materials // J. Chem. Theory Comput. 2013. Aug. 13. Vol. 9 (8). P. 3333–3334.
8. Klamt A., Schüürmann G. COSMO : a new approach to dielectric screening in solvents with explicit expressions for the screening energy and its gradient // J. Chem. Soc. Perkin Transactions 2. 1993. Iss. 5. P. 799–805.
9. Stewart J. J. P. Stewart Computational Chemistry



- МОРАС2012 version 12.301M. URL: <http://OpenMORAS.net> (дата обращения: 14.10.15).
10. *Dolg M., Stoll H., Preuss H.* A Combination of Quasi-relativistic Pseudopotential and Ligand Field Calculations for Lanthanoid Compounds // *Theor. Chim. Acta.* 1993. Vol. 85. P. 411–450.
11. *Dolg M., Stoll H., Savin A., Preuss H.* Energy-adjusted Pseudopotentials for the Rare Earth Elements // *Theor. Chim. Acta.* 1989. Vol. 75. P. 173–194.
12. *Niese F.* The ORCA program system // *Wiley International Reviews : Computational Molecular Science.* 2012. Vol. 2, iss. 5. P. 75–78.

Образец для цитирования:

Джарлагасова Д. Н., Захарова Т. В., Пожаров М. В. Квантово-химическое изучение возможных структур в системе альгиновая кислота – хлорид европия (III) // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2017. Т. 17, вып. 1. С. 19–23. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-19-23.

Cite this article as:

Dzharlagasova D. N., Zacharova T. V., Pozharov M. V. Quantum Chemical Studies of Potential Associates in Europium (III) Alginate Solutions. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 19–23 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-19-23.

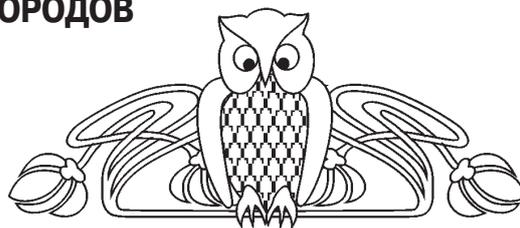


УДК 621.43:66.074.3

ПОВЫШЕНИЕ АКТИВНОСТИ ПРОМЫШЛЕННОГО КАТАЛИЗАТОРА ИЗОМЕРИЗАЦИИ ПАРАФИНОВЫХ УГЛЕВОДОРОДОВ

Р. И. Кузьмина, М. А. Заикин, С. Д. Манин, Д. Р. Мендагалиева

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: Mixail-zaikin@yandex.ru



Проведено исследование активности цеолитсодержащего катализатора $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$ и промышленного катализатора СИ-2, а также их совместного влияния на превращение *n*-гексана при их послойной загрузке в реактор. Показано, что в ходе превращения *n*-гексана на катализаторе $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$ преобладает реакция крекинга и разрыв молекулы *n*-гексана на две симметричные молекулы пропана (51,4% масс.). Сочетательная послойная загрузка висмутхромового цеолитного катализатора и платиноциркониевого катализатора СИ-2 изомеризации пентан-гексановой фракции нефти позволяет при высокой конверсии *n*-гексана достичь значительного содержания углеводородов изо-строения (57%) в продуктах превращения при температуре 200 °С.

Ключевые слова: цеолитсодержащие катализаторы, крекинг, СИ-2, $\text{Cr}+\text{Bi}/\text{ZSM-5}$, послойная загрузка, *n*-гексан.

Increase of Activity Industrial Catalysts for Isomerisation Normal Hydrocarbons

R. I. Kuzmina, M. A. Zaikin,
S. D. Manin, D. R. Mendagalieva

Was done the studie of activity zeolite-containing catalyst $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$ and technical catalyst SI-2, also they combined action in process of conversion of *n*-hexane at lay-by-layers download. In the process of conversion *n*-hexane on $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$ catalyst prevails reaction of cracking and destroy of *n*-hexane to two symmetric molecule of propane (51,4%). Lay-by-layers download of $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$ and SI-2 catalysts with high conversion *n*-hexane to achieve a lot of contents iso-hydrocarbons in products of conversion with 200 °С.

Key words: zeolitecontaining catalyst, cracking, СИ-2, $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$, layered download, *n*-hexane.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-24-29

Постоянно увеличивающийся спрос на моторные топлива требует дальнейшего углубления переработки нефти, усовершенствования технологических процессов по переработке тяжелых вакуумных дистиллятов и остаточных фракции, а также процессов облагораживания легкокипящих компонентов топлив [1]. Исследования, направленные на создание эффективных многокомпонентных каталитических систем и выявление физико-химических особенностей гетерогенных реакций углеводородов, протекающих на их

поверхности, с образованием изо-парафинов, ароматических углеводородов и алкилциклопарафинов с высоким октановым числом являются очень актуальными на сегодняшний день [2]. При этом получение разветвленных углеводородов из *n*-алканов становится в настоящее время одним из ведущих процессов для производства высокооктановых бензинов [3].

В данной работе проведено исследование превращения *n*-гексана на модифицированном соединениями висмута и хрома цеолитном катализаторе $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$, промышленном катализаторе изомеризации СИ-2 и их сочетание при послойной загрузке в реактор.

Полный экспериментальный цикл проводился в несколько стадий: активация катализатора, процесс превращения *n*-гексана, анализ продуктов конверсии и регенерация катализатора после ведения процесса.

В работе исследованы висмутхромовый катализатор на цеолите типа ZSM-5 с силикатным модулем 80, модифицированный оксидами 1% Cr_2O_3 и 2% Bi_2O_3 с помощью соединений бихромата аммония и нитрата висмута, и промышленный катализатор СИ-2 среднетемпературной изомеризации пентан-гексановой фракции нефти, представляющий собой пластину, равномерно распределенную по поверхности сульфидированного цирконийсодержащего носителя, модифицированного добавкой оксида алюминия [4].

Исследования проводились на лабораторной установке проточного типа [4] при атмосферном давлении, в интервале температур 150–500 °С. Основной частью установки проточного типа является металлический реактор (2), который располагается в вертикальной трубчатой печи (1). Внутри реактора впаивается металлическая сетка, на которую размещается исследуемый катализатор с зернением 2–3 мм (3), в количестве, соответствующем объему реакционной зоны (10 см³). При послойной загрузке катализаторов в реакционный объем использовались равные доли, по 5 см³ каждая. Выше катализатора засыпан кварц для предотвращения возникновения «ки-



пящего слоя». Подача н-гексана осуществляется в верхнюю часть реактора (6, 11, 12). Нижняя часть реактора соединена с системой приема продуктов реакции (7, 10) и контроля за параметрами процесса (13–16).

Устройство для подачи жидкого н-гексана состоит из стеклянного шприца (6), емкостью 15 мл, с утяжеленным штоком, и двигателя (16) с редуктором, опускающим поршень шприца с постоянной заданной скоростью 8–10 мл/час. Температуру в реакторе контролировали по показаниям градуированного милливольтметра (14), температуру печи – по потенциометру (13), с помощью термодатчика (5, 4).

Подача газообразных веществ в реактор осуществляется через отвод с краном (17). Для проверки герметичности установки закрываются все краны, сообщенные с атмосферой и внешними устройствами; для создания внутри реактора избыточного давления в 40–60 мм водяного столба его выходная часть соединяется с манометром (9).

Цеолитная система подвергается активации в реакторе в токе воздуха в течение 3 часов при 500 °С. Процесс превращения н-гексана осуществлялся в инертной среде водорода.

Анализ жидких и газообразных продуктов проводился на газожидкостных хроматографах «Кристалл 5000» и «Кристалл 2000». Объем отобранных газообразных продуктов реакции приводится к нормальным условиям по формуле:

$$V_0 = \frac{PVT_0}{(T_0 + t)P_0},$$

где V – объем выделившегося газа; P – атмосферное давление, мм рт.ст.; t – температура воздуха, при которой производится опыт; P_0 – 760 мм рт.ст.; T_0 – 273 К; V_0 – объем выделившегося газа в нормальных условиях.

Расчет показателей процесса проводится следующим образом:

1) расчет материального баланса:

$$A = A_1 + A_2 + A_3,$$

где A – количество исходного углеводорода или смеси углеводородов, г; A_1 – количество жидких продуктов превращения, г; A_2 – количество газообразных продуктов превращения, г; A_3 – суммарные потери, которые складываются из потерь за счет закоксовывания катализатора и технических потерь, г;

2) расчет степени превращения исходного сырья:

$$\alpha = \frac{A - A_{\text{кон}}}{A} \cdot 100\%,$$

где $A_{\text{кон}}$ – количество не превращенного сырья, г;

3) селективность процесса по различным направлениям:

$$S_i = \frac{A_i}{\sum A_i} \cdot 100\%.$$

Каждый опыт проводился не менее трех раз. Результаты обрабатывались с помощью метода математической статистики для малого количества измерений.

Проведено исследование активности цеолит-содержащего катализатора $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Bi}_2\text{O}_3 / \text{ZSM-5}$ в интервале температур 300–500 °С, промышленного катализатора среднетемпературной изомеризации СИ-2 в интервале 150–400 °С в токе водорода, и при их послойной загрузке в интервале 200–500 °С, как в токе воздуха, так и в токе водорода, на степень и направления превращения н-гексана. Выбор катализатора $\text{Cr}_2\text{O}_3 + \text{Bi}_2\text{O}_3 / \text{ZSM-5}$ для проведения лабораторных испытаний обусловлен тем, что цеолит типа ZSM-5 M-80, являющийся носителем в данном случае, обладает пористой структурой и кислотными свойствами, необходимыми для протекания каталитических реакций [1]. Хром может проявлять высокую активность в каталитических реакциях благодаря своему уникальному электронному строению и незаполненной d -орбитали, выступая в роли металлического центра поверхности. Кроме того, для него характерен «проскок» электрона – перемещение электрона с одного энергетического уровня на другой [5]. Известна работа [6] по сравнению эффективности соединений висмута, сурьмы и олова и их применению в качестве реактиваторов отравленного цеолитного катализатора. В последние годы за рубежом получил широкое распространение процесс пассивации тяжелых металлов на катализаторах крекинга. Чаще всего в качестве пассиваторов предлагаются различные соединения сурьмы, висмута и олова. В отличие от демедаллизации пассивация не требует создания специальных дорогостоящих установок. Молекулы висмута, олова и сурьмы имеют схожее молекулярное строение. Поэтому в данной работе был исследован оксид висмута, нанесенный на цеолит с помощью соединения нитрата висмута.

Промышленный катализатор среднетемпературной изомеризации СИ-2 является одним из наиболее эффективных современных катализаторов [7]. В качестве сырья используют гидроочищенные или прямогонные н-бутан, н-пентан или легкие бензиновые фракции, представляющие собой смесь парафиновых углеводородов C_4 – C_6 . Сырье смешивают с водородом или водород-содержащим газом, нагревают до температуры



170–270 °С и при давлении 0,8–3,5 МПа, мольном отношении H_2 : углеводороды (0,2–7):1 и объемной скорости 0,2–5,0 час⁻¹ подают в реактор, заполненный катализатором. Преимущества СИ-2 в устойчивости к проскокам азота, воды и серы, т.е. не требуется предварительная очистка сырья, низкая рабочая температура (от 120–140 °С), термодинамически благоприятная для высокой глубины изомеризации парафиновых углеводородов C_5 - C_6 , высокая производительность. Однако эффективность данного катализатора доказана только при проведении процесса в токе водорода [8].

Исследована активность цеолитсодержащего катализатора модифицированного $Cr_2O_3+Bi_2O_3$ и показано, что превращения *n*-гексана на данном катализаторе также направлены в сторону образования продуктов крекинга, изомеризации и ароматизации.

Степень конверсии *n*-гексана на данном катализаторе достигает 99%, при селективности процесса изомеризации 26%. Основное направление превращения *n*-гексана на данном катализаторе – крекинг исходного сырья. Количество пропана в продуктах реакции достигает 60% мас. при T 450 °С, что говорит о протекании реакции разрыва углеродной связи *n*-гексана-С-С- на две симметричные молекулы. Селективность реакции ароматизации наименьшая среди рассматриваемых и составляет 20,7%. Однако наличие бензола и его гомологов (73,9% мас. ароматических соединений) повышает октановое число смеси продуктов реакций, что является главным условием для моторных топлив. Зависимость конверсии *n*-гексана и селективность процесса крекинга от температуры процесса на данном катализаторе представлена на рис. 1.

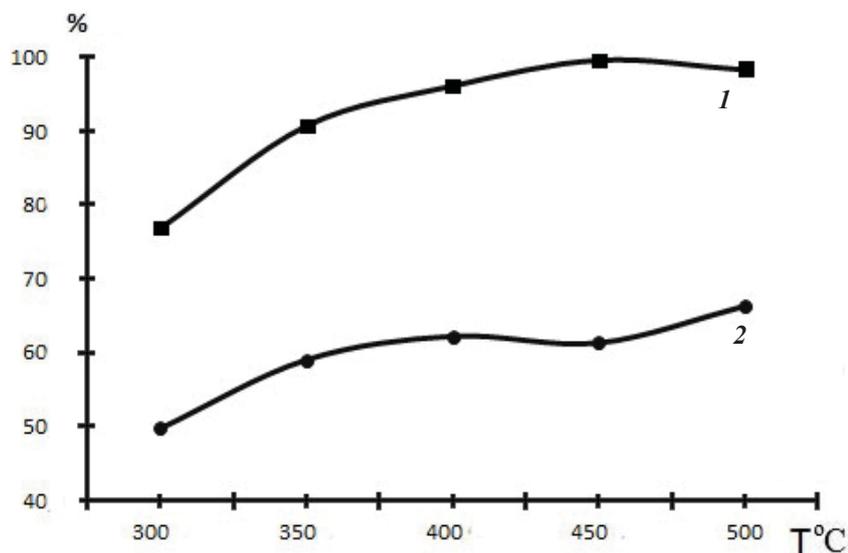


Рис. 1. Влияние температуры на конверсию (1) *n*-гексана и селективность реакции крекинга (2) на катализаторе $Cr_2O_3+Bi_2O_3$

Исследования промышленного катализатора среднетемпературной изомеризации СИ-2 проводились в интервале температур 150–400 °С в токе водорода. Максимальная степень превращения *n*-гексана достигается 81,3% при температуре 200 °С. Установлено, что при повышении температуры выше 300 °С происходит резкое снижение степени конверсии до 18,3% (400 °С). Водород является необходимым условием протекания реакции изомеризации на данном катализаторе, так как наличие водорода подавляет реакции образования олефинов и дегидроциклизации *n*-парафинов. Повышение давления водорода при

прочих идентичных условиях снижает глубину конверсии, но повышает селективность по реакции изомеризации *n*-парафинов. Зависимость конверсии *n*-гексана и селективность по реакции изомеризации от температуры проведения процесса представлена на рис. 2.

Однако при температуре ниже 300 °С наблюдалась высокая селективность реакции изомеризации исходного углеводорода, достигающая 55%. При этом с повышением температуры происходил рост селективностей реакций крекинга и ароматизации, достигающих 61 и 6% соответственно.

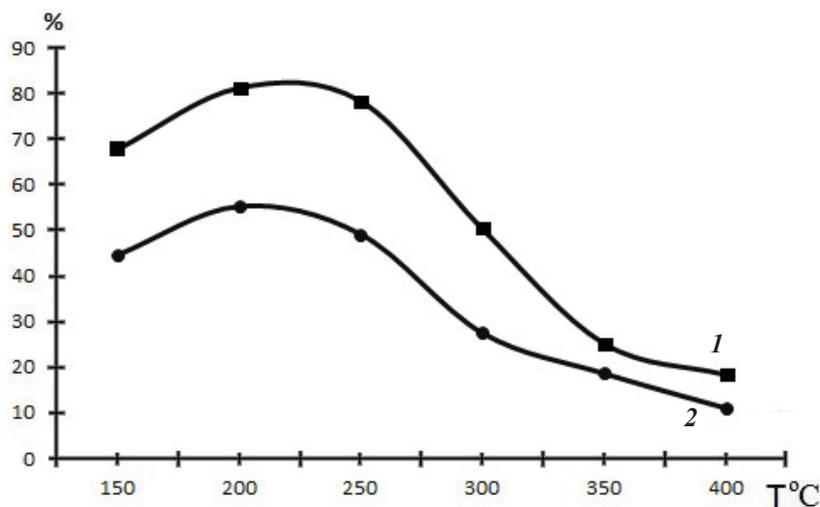


Рис. 2. Зависимость конверсии н-гексана от температуры проведения процесса на катализаторе СИ-2

Таблица 1

Селективность превращения н-гексана на катализаторах $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3$ и СИ-2

Катализатор	Т, °С	Конверсия, %	Селективность, %		
			Изомеризация	Крекинг	Ароматизация
$\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$	300	76,8	26,0	49,7	10,2
	350	90,7	21,6	59,0	12,6
	400	96,1	20,8	62,2	11,8
	450	99,6	12,4	61,3	20,7
	500	98,3	11,5	66,3	15,6
СИ-2	150	67,8	44,6	13,4	5,6
	200	81,3	55,3	16,0	5,2
	250	78,4	49,2	34,5	3,6
	300	50,4	27,5	56,3	5,4
	350	25,2	18,6	59,0	6,5
	400	18,3	11,0	61,0	6,0

Известна [9] работа по созданию каталитических композиций с применением оксидов Ni и Cr по превращению оксидов азота и углерода, с использованием послойной загрузки катализаторов и изучение эффекта синергизма.

Проводились работы [10] по использованию эффектов синергизма и размерных эффектов как одних из наиболее эффективных подходов к созданию высокоактивных и селективных каталитических систем для промышленных технологически важных реакций на основе наноразмерных частиц металлов для реакций, сопровождающихся разрывом и образованием связей C-H.

Также известны способ [11] послойной загрузки каталитических систем ряда алюмо-никель- и алюмокобальт-молибденовых катализаторов и способ получения каталитической системы гидрооблагораживания углеводородного сырья путем послойной загрузки оксидных и предсульфидированных катализаторов, получаемых путем смешения гранул катализатора, содержащего носитель и один, или более, каталитически активных металлов в оксидной форме.

Поэтому в данной работе исследован один из перспективных способов создания эффективных каталитических систем процесса превращения



н-гексана – применение каталитических систем с использованием послойной загрузки катализатора в реактор. При использовании каталитических композиций возможна реализация принципа разделения сложного процесса на стадии, каждая из которых ускоряется необходимым катализатором. Наиболее простой способ получения таких систем – это механическое смешение двух или более катализаторов.

Использована послойная загрузка катализаторов, разделенных слоем кварцевых кристаллов, фракции 2–3 мм, и обеспечивающих полное разделение катализаторов друг от друга. Катализатор $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$ расположен над промышленным катализатором СИ-2.

В верхней части реактора первым по ходу подачи сырья размещался катализатор $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$, обеспечивающий более полное превращение исходного н-гексана. Ниже слоя кварца располагался катализатор СИ-2, обеспечивающий превращение непрореагировавшего

н-гексана и изомеризацию углеводородов его первичного превращения.

В случае проведения эксперимента в токе воздуха достигается низкая степень конверсии н-гексана (85%) и преобладает крекинг углеводорода. Селективность реакций изомеризации и ароматизации достигает 28% и 12,5% соответственно. В случае проведения эксперимента в токе водорода степень конверсии составляет 95%, что выше, чем на катализаторе СИ-2, и на 4% ниже конверсии на катализаторе $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$. Селективность реакции изомеризации составляет 57%, что сопоставимо с катализатором СИ-2 (55%), однако в случае послойной загрузки возрастают селективности реакций крекинга и ароматизации за счет увеличения конверсии исходного сырья и подавления побочных реакций образования олефиновых и нафтеновых углеводородов. Значения селективностей на послойно загруженных катализаторах $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$ и СИ-2 представлены ниже (табл. 2).

Таблица 2

Селективности продуктов превращения н-гексана на послойно загруженных катализаторах $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$ и СИ-2 в токе водорода

Т, °С	Конверсия н-гексана, %	Селективность, %		
		Изомеризация	Крекинг	Ароматизация
200	89,8	57,2	28,2	2,3
250	91,5	45,2	26,2	3,3
300	92,3	41,9	36,2	5,5
350	91,3	40,1	50,8	7,3
400	92,7	35,0	55,8	7,5
450	95,4	22,6	65,8	10,1
500	93,3	21,0	65,4	9,9

В результате превращения н-гексана в токе водорода на послойно загруженных катализаторах

увеличивается октановое число продуктовой смеси (табл. 3).

Таблица 3

Количественный состав жидких продуктов превращения н-гексана на послойно загруженных катализаторах $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Bi}_2\text{O}_3/\text{ZSM-5}$ и СИ-2

Температура, °С	Парафины, % масс	Изопарафины, % мас.	Ароматика, % мас.
200	29,8	54,1	1,5
250	41	43,6	2,8
300	44,1	39,9	4,9
350	44,3	38,7	6,3
400	51,5	33,2	7,0
450	62,3	21,2	9,7
500	61,6	19,4	9,4



Изучение превращения н-гексана на исследуемых катализаторах показало, что на катализаторе $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{V}_2\text{O}_5/\text{ZSM-5}$ преобладает реакция крекинга и разрыв молекулы н-гексана на две симметричные молекулы пропана (51,4% мас.). Катализатор СИ-2 приводит к изомеризации углеводородов с образованием изо-парафинов – 2,2-диметилбутана, 2,3-диметилбутана, изо-пентана и изобутана. Однако он обладает меньшей активностью в превращении н-гексана, по сравнению с катализатором $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{V}_2\text{O}_5/\text{ZSM-5}$ (81 и 99% соответственно). Послойная загрузка данных катализаторов приводит к высокому уровню конверсии н-гексана и преобладанию реакции изомеризации, при увеличении селективностей реакций крекинга и ароматизации по сравнению с использованием только катализатора $\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{V}_2\text{O}_5/\text{ZSM-5}$. Показано, что сочетательная послойная загрузка висмутхромового цеолитного катализатора и платиноциркониевого катализатора СИ-2 изомеризации пентан-гексановой фракции нефти позволяет при высокой конверсии н-гексана достичь значительного содержания углеводородов изо-строения (57%) при температуре 200 °С.

Список литературы

1. Кузьмина Р. И., Игнатъев С. Н., Пилипенко А. В. Превращение углеводородов на цеолитсодержащих катализаторах // Приоритетные направления развития науки и технологии. Тула, 2014. С. 51–54.
2. Кузьмина Р. И., Игнатъев С. В. Превращение н-гексана и стабильного гидрогенизата на поверхности высокомодульных цеолитных систем // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2014. Т. 14, вып. 1. С. 23–28.
3. Канашиевич Д. А., Величкина Л. М., Восмерикова Л. Н., Восмеригов А. В. Влияние структурного типа цеолита на его изомеризующую способность в процессе конверсии н-октана // Современные технологии подготовки освоения и переработки минерального и углеводородного сырья. Томск, 2011. С. 13–15.
4. Кузьмина Р. И., Степанов М. Ю., Михель А. А., Заикин М. А. Превращение н-гексана и н-гексадекана на цеолитсодержащем висмутхромовом катализаторе // Бутлеровские сообщения. Казань, 2012. С. 70–78.
5. Потехин В. М., Потехин В. В. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки : учебник для вузов. СПб., 2007. С. 132–149.
6. Караханов Э. Х., Ковалева Н. Ф., Лысенко С. В. Сравнительная эффективность соединений сурьмы, олова и висмута в пассивации никеля на катализаторах крекинга // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 2, Химия. 1998. Т. 39, № 6. С. 418–420.
7. Пат. 2176233 RU. Способ изомеризации легких парафиновых углеводородов $\text{C}_4\text{-C}_6$ / Шакун А. Н., Федорова М. Л.; опубл. 27.11.2001.
8. Кузьмина Р. И., Фролов М. П. Изомеризация – процесс получения экологически чистых бензинов : учеб. пособие. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. С. 15–16.
9. Бурдейная Т. Н., Третьяков В. Ф. Использование эффекта синергизма для увеличения активности катализаторов // Химия в интересах устойчивого развития. 2005. № 13. С. 744–746.
10. Смирнов В. В., Лунин В. В., Локтева Е. С. Эффекта синергизма в промышленных процессах гидрирования и гидрохлорирования. М., 2005. С. 13–15.
11. Пат. 2003107413/042003107413/04 RU. Способ получения каталитической системы гидрооблагораживания нефтяного сырья / Смирнов В. К., Ирисова К. Н., Талисман Е. Л.; опубл. 18.03.2003.

Образец для цитирования:

Кузьмина Р. И., Заикин М. А., Манин С. Д., Мендагалиева Д. Р. Повышение активности промышленного катализатора изомеризации парафиновых углеводородов // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 24–29. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-24-29.

Cite this article as:

Kuzmina R. I., Zaikin M. A., Manin S. D., Mendagalieva D. R. Increase of Activity Industrial Catalys for Isomerisation Normal Hydrocarbons. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 24–29 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-24-29.



БИОЛОГИЯ

УДК 581.6:601

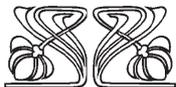
ПРЕОДОЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОГО ПОКОЯ СЕМЯН БОБОВНИКА АНАГИРОВИДНОГО *IN VIVO* И В КУЛЬТУРЕ *IN VITRO*

С. Н. Тимофеева¹, О. И. Юдакова², Л. А. Эльконин³

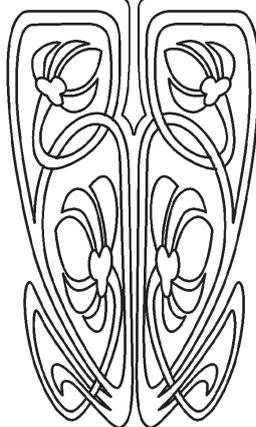
¹УНЦ «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского

²Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

³Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока, Саратов
E-mail: yudakovaio@info.sgu.ru



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Laburnum anagyroides Medik. – популярное в странах Средиземноморья декоративное древесное растение, семена которого характеризуются физическим покоем, осложняющим семенное размножение. С целью преодоления физического покоя семян были протестированы следующие варианты стратификации: холодовая и тепловая обработка, переменный температурный режим. Преодообработанные семена проращивали в почвенном субстрате и на различных питательных средах в условиях *in vitro*. Наиболее эффективной оказалась предобработка семян кипящей водой в течение 20 минут с последующим культивированием их на среде MS, дополненной 0.5 мг/л БАП. Частота прорастания семян в данном варианте составляла в среднем 77.7%.

Ключевые слова: физический покой семян, стратификация, культивирование *in vitro*, бобовник анагировидный.

Breaking Physical Dormancy of the *Laburnum anagyroides* Seeds by *in vivo* and *in vitro* Conditions

S. N. Timofeeva, O. I. Yudakova, L. A. Elkonin

Laburnum anagyroides Medik. is a popular ornamental tree native to the Mediterranean region. Its seeds are characterized of a physical dormancy, complicating seed reproduction. The present study was conducted to identify the seed dormancy breaking treatments to improve seed germination. The various stratification techniques (cold and warm treatments, alternate temperature regime) were tested. Simultaneously, the seeds were germinated in soil and on different nutrient media *in vitro*. The hot water treatment for 20 minutes and followed cultivating on the MS medium, supplemented with 0.5 mg/l BAP, was a most effective (77.7–83.8% of germinate seeds).

Key words: physical seed dormancy, stratification, cultivation *in vitro*, *Laburnum anagyroides*.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-30-35

Явление физического покоя семян, или твердосемянности, обусловленное полной водо- и газонепроницаемостью семенной кожуры, широко распространено в растительном мире. Оно встречается у 25% известных на сегодня видов из 18 семейств покрытосеменных растений [1]. Среди них немало ценных сельскохозяйственных, декоративных и экономически важных культур. Видовые особенности физического покоя семян во многом зависят от жизненной формы растения и его адаптации к условиям прорастания [2–4].



Твердосемянность достаточно хорошо изучена у бобовых в силу наибольшей выраженности этого явления и практической значимости семейства. Семенная кожура бобовых состоит из четырех отдельных слоев: кутикулы, палисадной эпидермы, слоя остеосклерейд и паренхимы [5]. Герметичность кожуры обеспечивают первые два внешних слоя: воскодержащая кутикула с водоотталкивающими свойствами и сильно развитая палисадная эпидерма, состоящая из длинных, узких, плотно примыкающих друг к другу вертикальных клеток. Как правило, состояние твердосемянности развивается постепенно, по мере высыхания семян на завершающих стадиях созревания или во время хранения после отделения их от материнского растения [6].

В отличие от других типов покоя семян при твердосемянности происходит не частичное, а полное прекращение поступления воды и остановка ростовых процессов [6–8]. Физический покой семян препятствует их прорастанию в неблагоприятных условиях и способствует распространению посредством эндозоохории [9]. Покой прерывается либо биотическими факторами после прохождения семян через желудочно-кишечный тракт животных, либо абиотическими, такими как высокие летние температуры почвы, зимние циклы замораживания и оттаивания. Твердосемянность, которая в природе играет положительную адаптивную роль, осложняет технологии возделывания культурных растений необходимостью искусственного выведения семян из состояния физического покоя. Поскольку особенности твердосемянности видоспецифичны, для каждого конкретного вида требуется эмпирический подбор эффективных методов ее преодоления. Такие методы, по-видимому, имитируют естественные процессы. Обычно используется скарификация, промораживание, обработка семян горячей водой или концентрированной H_2SO_4 [5, 6]. У ряда культур стимуляция прорастания покоящихся семян была успешно осуществлена при проращивании обработанных семян на питательных средах в условиях *in vitro* [10–14].

Как и для большинства бобовых, состояние физического покоя семян характерно для бобовника анагировидного (*Laburnum anagyroides* Medik., сем. Leguminosae). Это кустарник или невысокое деревце, которое за особую привлекательность в период цветения, получило своё второе название «Золотой дождь». Как декоративная культура он широко культивируется в парках и садах Средиземноморья [15], однако

в России представлен лишь единичными экземплярами в коллекциях ботанических садов. Его интродукция осложняется малой эффективностью вегетативного и семенного размножения. В нетипичных для этого вида условиях семена, как правило, не выходят из состояния физического покоя. Вопросы искусственной стимуляции прорастания семян у *L. anagyroides* недостаточно изучены: рекомендуют использовать только скарификацию концентрированной H_2SO_4 в течение 0.5–2 ч [6, 16]. Однако этот метод небезопасен для исполнителя, кроме того, в вышеуказанных работах не указывается его эффективность.

Целью проведенного нами исследования явился поиск высокоэффективных и безопасных способов преодоления физического покоя семян *L. anagyroides* с привлечением методов биотехнологии.

Материалы и методы

Донором растительного материала послужило 12-летнее деревце в генеративной фазе развития, выращиваемое в полевых условиях УНЦ «Ботанический сад» Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. Стручки были собраны в конце сентября – начале октября, отшелушены; все дефектные, щуплые и темноокрашенные семена отбракованы. В экспериментах использовали свежесобраные выполненные семена. Исследования проводились в 2012–2014 гг.

Для стимуляции прорастания семян были протестированы следующие варианты их предобработки:

Тепловая стратификация

1-й вариант (+100°C, субстрат). Семена заливали кипящей водой, выдерживали 20 минут и высаживали в условиях теплицы в почвенный субстрат (торф : песок, 1:1).

2-й вариант (+100°C). Семена заливали кипящей водой, выдерживали 20 минут, стерилизовали и затем культивировали на питательных средах различного состава в ростовой комнате.

3-й вариант (+28°C). Простерилизованные семена помещали на поверхность питательной среды, выдерживали 2 недели в термостате при +28°C, после чего культивировали в ростовой комнате.

Холодовая стратификация

4-й вариант (+4°C). Простерилизованные семена помещали на поверхность питательных сред различного состава, выдерживали 4 недели при +4°C, затем переносили в условия ростовой комнаты.



5-й вариант (-18°C). Сухие семена выдерживали 4 недели при -18°C в условиях бытовой морозильной камеры, стерилизовали и культивировали на питательных средах различного состава в ростовой комнате.

Переменный температурный режим

6-й вариант (+100°/+4°C). Семена заливали кипящей водой, выдерживали 20 минут, стерилизовали, помещали на питательные среды и выдерживали 4 недели при +4°C, после чего культивировали в ростовой комнате.

7-й вариант (-18°C/+100°C). Сухие семена выдерживали 4 недели в условиях бытовой морозильной камеры при -18°C, затем заливали кипящей водой, выдерживали 20 минут, стерилизовали и культивировали на питательных средах различного состава в ростовой комнате.

До введения в стерильную культуру семена поверхностно стерилизовали 15 минут в 0.1%-ном растворе сулемы, затем трижды промывали стерильной дистиллированной водой и помещали на поверхность питательных сред.

В экспериментах использовали 3 варианта питательных сред: 1) MS [17] без добавления фитогормонов; 2) MS, дополненную 6-бензиламинопурином, БАП (Sigma, Germany) в концентрации 0.5 мг/л; 3) WPM, Woody Plant Medium [18], дополненную 0.5 мг/л БАП. Среда содержала 20 г/л сахарозы, смесь витаминов по прописи соответствующей среды, 7 г/л агара (Panreac). рН сред был скорректирован до 5.8–6.0 до автоклавирования. Среда автоклавировали 20 минут при 120°C, охлаждали до +40°C и разливали в

чашки Петри по 25 мл. Культуры выращивали в ростовой комнате при температуре 26±2°C при 14-часовом фотопериоде, используя OsramFluora лампы (3 klux).

Контролем служили необработанные семена, которые проращивали в условиях *in vivo* в почвенном субстрате (торф : песок, 1:1), либо после стерилизации культивировали в вышеописанных условиях *in vitro*.

Каждый вариант экспериментов включал 4 повторности по 15–20 семян. Количество проросших семян учитывали через 4 недели культивирования.

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ AGROS.

Результаты и их обсуждение

В контрольном варианте частота прорастания интактных семян в почвенном субстрате (*in vivo*), как и следовало ожидать, оказалась крайне низкой (2,1%). Увеличение количества проросших в почве семян наблюдалось после их обработки кипящей водой в течение 20 минут, а также при культивировании необработанных семян на среде MS (18,9 и 13,5% соответственно). В связи с этим нами были протестированы другие способы проращивания семян, в которых различная температурная предобработка сочеталась с последующим культивированием на питательных средах разного состава. Количество развившихся проростков в протестированных вариантах значительно варьировало от 16.1 до 88.9% (таблица).

Влияние предобработки сухих семян и состава питательной среды на прорастание семян *L. anagyroides* в условиях *in vitro*

Питательная среда (фактор А)	Температурная предобработка сухих семян (фактор В), число проросших семян, %							Среднее значение по фактору А
	без (контроль)	тепловая		холодовая		переменная		
		+100°C	+28°C	+4°C	-18°C	+100°C/+4°C	-18°C/+100°C	
MS	13.5 ab	70.0 cdefhij	27.8 b	18.2 ab	26.0 ab	77.8 defhijk	80.7 fgijk	44.8 a
MS + 0.5 мг/л БАП	12.5 ab	82.3 hijk	19.9 ab	16.1 ab	19.6 ab	84.9 jk	79.7 efghijk	44.9 a
WPM + 0.5 мг/л БАП	11.2 a	80.8 ghijk	16.9 ab	17.3 ab	27.2 b	88.9 k	84.0 ijk	46.6 a
Среднее значение по фактору В	12.4 a	77.7 cde	21.5 b	17.2 ab	24.0 b	83.8 e	81.5 de	—
$F_{(A)}$ 0.33 ns $F_{(B)}$ 155.4 ** $F_{(A \times B)}$ 0.04 ns								

Примечание. Изучено 3 повторности по 10–15 штук; ns – нет достоверной разницы; ** $p \leq 0.01$; варианты, сопровождаемые одинаковыми латинскими буквами, различаются незначимо по критерию Дункана.



Для выявления степени влияния на частоту проростков температурной обработки и состава питательных сред был проведен двухфакторный дисперсионный анализ полученных данных.

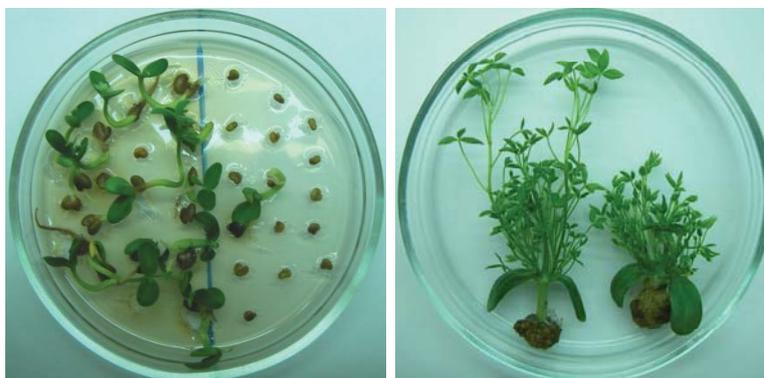
Культивирование *in vitro* в целом способствовало выходу семян из состояния физического покоя, однако, как показала статистическая обработка данных, состав питательной среды не влиял на частоту прорастания семян. На всех изученных средах среднее количество проросших семян было практически одинаковым (44.8–46.6 %) (см. таблицу). В то же время «качество» проростков на разных средах различалось. На среде MS с добавлением 0.5 мг/л БАП проростки развивались нормально, были «крепкими», с укороченным гипокотилем и небольшим корешком. На среде WPM с добавлением 0.5 мг/л БАП и на безгормональной MS формировались слабые, вытянутые в длину проростки с признаками витрификации тканей.

Температурная предобработка семян не только оказывала влияние на качество проростков, но и достоверно изменяла частоту их появления ($p \leq 0.01$). Неэффективным оказалось культивирование семян в течение 4 недель при температуре +4°C, мало эффективным – культивирование при температуре +28°C, а также промораживание сухих семян при –18°C с последу-

ющим их культивированием при +26°C. Частота проросших семян в этих вариантах составила в среднем 17.2, 21.5 и 24.0% соответственно.

Массовый выход семян из состояния физического покоя наблюдали в тех случаях, когда в ходе предобработки использовали кипящую воду. Однократная обработка кипятком стимулировала прорастание в среднем 77,7% семян, переменное температурное воздействие кипятком–холод (+4°C или –18°C) увеличивало количество проросших семян в среднем до 83.8 и 81.5% соответственно (см. таблицу). Несмотря на то что в результате сочетания тепловой и холодной обработки было получено максимальное количество проростков, данные варианты не могут быть рекомендованы для практического использования. При переменном температурном режиме в среднем около 10% проростков имели скрученный гипокотиль, недоразвитые или, напротив, гипертрофированные семядольные листья.

Таким образом, наиболее эффективным способом вывода семян *L. anagyroides* из состояния физического покоя является выдерживание их в кипящей воде в течение 20 минут с последующим культивированием на искусственной питательной среде MS, дополненной 0.5 мг/л БАП (рисунок, а).



а

б

Проростки *L. anagyroides*: а – развившиеся через 3 недели первичного культивирования на среде MS, дополненной 0.5 мг/л БАП (слева – после предобработки семян кипящей водой, справа – без предобработки); б – полученные при клональном микроразмножении *in vitro* через 8 недель вторичного культивирования

Эффективность высокотемпературной тепловой предобработки семян, возможно, связана с тем, что она имитирует условия внешней среды, запускающие процессы прорастания семян *L. anagyroides* в естественных условиях. Как отмечалось выше, его родиной является

Средиземноморский регион, где весенне-летний период характеризуется высокими температурами почв и выраженной флуктуацией положительных дневных и ночных температур почвенного покрова. Существует предположение, что именно высокая температура почв



является в этом регионе тем экзогенным триггером, который выводит семена из состояния физического покоя [19].

Тепловая предобработка может запускать химические процессы, приводящие к изменению состава и концентрации физиологически активных веществ. Так, Т. Horimoto et al. [20] показали, что в семенах *Styrax japonicus* после высокотемпературного воздействия увеличивается общее количество (GA_1 , GA_{19} , GA_{53}) и концентрации эндогенных гибберелловых кислот, стимулирующих ростовые процессы, и снижается концентрация абсцизовой кислоты, которая ингибирует рост и развитие.

Однако следует отметить, что в наших экспериментах высокотемпературное воздействие на семена *L. anagyroides* было эффективным лишь в условиях *in vitro*, тогда как в почвенном субстрате проросло всего 18.9% обработанных кипящей водой семян. Также мало эффективным было культивирование на питательных средах интактных семян (11.2–13.5%). Только после объединения двух факторов, температурного воздействия и условий *in vitro*, наблюдался ярко выраженный синергизм их действия, в результате которого частота прорастания семян резко увеличивалась. Питательная среда обеспечивает проростки необходимыми для роста веществами в легко усваиваемой форме. Видимо, в силу этого культивирование на питательной среде может интенсифицировать процессы прорастания семян.

Проращивания семян в условиях *in vitro* не только способствует преодолению физического покоя семян, но и позволяет получать стерильный ювенильный материал, который обладает высоким морфогенетическим потенциалом и может использоваться в биотехнологических исследованиях, в том числе для клонального микроразмножения (см. рисунок, б) и селекции.

Список литературы

1. Baskin C. C., Baskin J. M. Seeds : Ecology, biogeography, and evolution of dormancy and germination (2nd ed.). San Diego : Academic Press, 2014. 1600 p.
2. Grime J. P., Mason G., Curtis A. V., Rodman J., Band S. R., Mowforth M.A.G., Neal A. M., Shaw S. A comparative study of germination characteristics in a local flora // J. of Ecology. 1981. Vol. 69. P. 1017–1059.
3. Hu X. W., Wu Y. P., Wang Y. R. Different requirements for physical dormancy release in two populations of *Sophora alopecuroides* relation to burial depth // Ecol. Res. 2009. Vol. 24. P.1051–1056.
4. Renzi J. P., Chantre G. R., Cantamutto M. A. Effect of water availability and seed source on physical dormancy break of *Vicia villosa* ssp. *villosa* // Seed Sci. Res. 2016. Vol. 26, № 3. P. 254–263.
5. Schmidt L. H. Tropical Forest Seed. Berlin : Springer-Verlag, 2007. 408 p.
6. Николаева М. Г., Разумова М. В., Гладкова В. Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. 245 с.
7. Baskin J. M., Baskin C. C., Li X. Taxonomy, anatomy and evolution of physical dormancy in seeds // Plant Species Biology. 2000. Vol. 15. P. 139–152.
8. Baskin J. M., Baskin C. C. Classification, biogeography, and phylogenetic relationships of seed dormancy // Seed conservation : turning science into practice. Kew, UK: The Royal Botanic Gardens Press, 2004. P. 517–544.
9. Jaganathana K. G., Yuleb K., Liu B. On the evolutionary and ecological value of breaking physical dormancy by endozoochory // Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics. 2016. Vol. 22. P. 11–22.
10. Ray A., Bhattacharya S. An improved micropropagation of *Eclipta alba* by *in vitro* priming with chlorocholine chloride // Plant Cell Tissue Organ Cult. 2008. Vol. 92. P. 315–319.
11. Parveen S., Shahzad A., Saema S. *In vitro* plant regeneration system for *Cassia siamea* Lam., a leguminous tree of economic importance // Agrofor Syst. 2010. Vol. 80. P. 109–116.
12. Barekat T., Otrushy M., Samsam-Zadeh B., Sadrarhami A., Mokhtari A. A novel approach for breaking seed dormancy and germination in *Viola odorata* (A medicinal plant) // J. of Novel Appl. Scien. Available. 2013. Vol. 2, № 10. P. 513–516.
13. Dahanayake N. Application of Seed treatments to increase germinability of cardamom (*Elettaria cardamomum*) seeds under *in vitro* conditions // Sabaragamuwa Univ. J. 2014. Vol. 13, № 2. P. 23–29.
14. Rego M. M., Rego E. R., Nattrodt L. P. U., Barroso P. A., Finger F. L., Otoni W. C. Evaluation of different methods to overcome *in vitro* seed dormancy from yellow passion fruit // Afric. J. of Biotechnol. 2014. Vol. 13, № 36. P. 3657–3665.
15. Hewood V. H. Flowering plants of the world. Batsford : BT Londres, 1993. 336 p.
16. Hartmann H. T., Kester D. E., Davies F. T., Geneve R. Plant propagation : principles and practices. Berlin ; Heidelberg : Springer-Verlag, 2010. 864 p.
17. Murashige T., Skoog F. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures // Physiol. Plant. 1962. Vol. 15. P. 473–497.
18. Lloyd G., McCown B. Commercially-feasible micropropagation of mountain laurel, *Kalmia latifolia*, by use of shoot tip culture // Int'l. Plant Prop. Soc. Comb. Proc. 1980. Vol. 30. P. 421–427.



19. Moreno-Casasola P., Grime J. P., Martinez L. A comparative study of the effects of fluctuations in temperature and moisture supply on hard coat dormancy in seeds of coastal tropical legumes in Mexico // *J. of Tropic. Ecology*. 1994. Vol. 10. P. 67–86.
20. Horimoto T., Koshioka M., Kubota S., Mander L. N., Hirai N., Ishida N., Suh J. K., Lee A. K., Roh M. S. Effect of warm and cold stratification on ¹H-NMR profiles, endogenous gibberellins and abscisic acid in *Styrax japonicus* seeds // *Hort. Environ. Biotechnol.* 2011. Vol. 52, № 3. P. 233–239.

Образец для цитирования:

Тимофеева С. Н., Юдакова О. И., Эльконин Л. А. Преодоление физического покоя семян бобовника анагировидного *in vivo* и в культуре *in vitro* // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 30–35. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-30-35.

Cite this article as:

Timofeeva S. N., Yudakova O. I., Elkonin L. A. Breaking Physical Dormancy of the Laburnum Anagyroides Seeds by *in Vivo* And *in Vitro* Conditions. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 30–35 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-30-35.



УДК 579.61

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ КАРБАПЕНЕМАЗ СРЕДИ НОЗОКОМИАЛЬНЫХ ШТАММОВ ENTEROBACTERIACEAE В РОССИИ

М. В. Эйдельштейн¹, В. С. Журавлев², Е. А. Шек^{1,2}

¹Научно-исследовательский институт антимикробной химиотерапии СГМУ, Смоленск

²Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: eugeneshack@gmail.com

Рассмотрена проблема антибиотикорезистентности в России среди нозокомиальных штаммов Enterobacteriaceae, обусловленная продукцией карбапенемаз. В ходе проведенного исследования в 2014 году выявлено 4 типа ферментов у 6 видов энтеробактерий. Установлено, что основным возбудителем нозокомиальных инфекций и носителем генов приобретенных карбапенемаз является *Klebsiella pneumoniae*. Зафиксированы случаи продукции карбапенемаз среди внебольничной флоры у госпитализированных пациентов. Рост антибиотикорезистентности подтверждается анализом динамики выявления продуцентов карбапенемаз у нозокомиальных энтеробактерий в период с 2006 по 2014 годы.

Ключевые слова: карбапенемазы, антибиотикорезистентность, Enterobacteriaceae.

Prevalence of Nosocomial Strains Enterobacteriaceae Have Carbapenemases in Russia

M. V. Edelstein, V. S. Zhuravlev, E. A. Shek

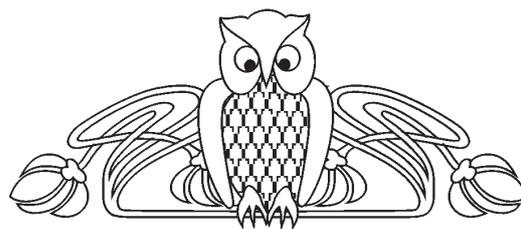
In this article we have looked into the matter of antibiotic resistance among the group of nosocomial strains Enterobacteriaceae which has been determined by the production of carbapenemases. In 2014 there were revealed four types of enzymes and six types of enterobacterias. The main causative agent of nosocomial infections and the major host of the acquired carbapenemases gene is *Klebsiella pneumoniae*. There were cases of carbapenemases' production about extramural flora of hospitalized patients. The hypothesis of increasing of antibiotic resistance is supported by the analysis of carbapenemases' detection dynamics on the material of nosocomial enterobacterias regarded during the period from 2006 to 2014.

Key words: carbapenemases, antibiotic resistance, Enterobacteriaceae.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-36-41

Введение

Проблема формирования и распространения антибиотикорезистентности стала очевидна уже к середине 40-х гг. прошлого века. Причиной тому явилось выявление штамма золотистого стафилококка, обладающего устойчивостью к действию пенициллина, буквально спустя несколько лет после начала его первого и широко-масштабного применения. В настоящее время



большую клиническую значимость имеют антибиотики группы карбапенемов, формирование устойчивости к которым можно рассматривать как одну из наиболее серьезных угроз системе современного здравоохранения [1].

Карбапенемы являются антибиотиками класса β -лактамов. В клиническую практику вошли в середине 1980-х гг. как препараты «резерва» вследствие широкого распространения полирезистентности среди грамотрицательных бактерий, обусловленной продукцией β -лактамаз расширенного спектра (БЛРС) [1]. В настоящее время клиническую значимость имеют четыре препарата: имипенем (1986), меропенем (1996), эртапенем и дорипенем (2010) [1–4]. Как и все β -лактамы, карбапенемы являются бактерицидными ингибиторами синтеза пептидогликана клеточной стенки бактерий. Важным отличительным свойством карбапенемов среди остальных β -лактамов является наиболее широкий спектр антимикробной активности. Так, спектр активности имипенема, меропенема и дорипенема включает большинство грамотрицательных и грамположительных аэробных и анаэробных микроорганизмов, среди которых исключением являются *Stenotrophomonas maltophilia*, метициллин-резистентные стафилококки (MRSA) и *Enterococcus faecium*. Отличием эртапенема является отсутствие активности в отношении грамотрицательных неферментирующих бактерий. Карбапенемы применяются в основном для лечения тяжелых и жизнеугрожающих инфекций, вызванных множественно резистентными бактериальными возбудителями (нозокомиальная пневмония, менингит, интраабдоминальные инфекции и др.) [3, 4].

Устойчивость микроорганизмов к различным антибактериальным препаратам может определять целый ряд механизмов. Однако в формировании устойчивости к карбапенемам наибольшее значение имеет ферментативная инактивация препарата через продукцию микроорганизмом ферментов β -лактамаз, названных карбапенемазами [1,5]. На сегодняшний день карбапенемазы представляют собой обширную группу фермен-



тов, неоднородную как по структуре, так и по субстратной специфичности и происхождению. Согласно классификации β -лактамаз К. Bush и G. A. Jacoby эти ферменты относятся к трем молекулярным классам – А, В и D [6]. Ферменты классов А и D содержат серин в активном центре, что определяет их принадлежность к сериновым β -лактамазам. В противоположность им ферменты класса В являются металлосодержащими β -лактамазами и несут один или два атома цинка в своем активном центре. Карбапенемазной активностью обладают отдельные представители всех трех молекулярных классов: А, D и В, которые принадлежат к функциональным группам: 2f, 2df и 3 соответственно [1, 6]. Наличие карбапенемаз у микроорганизма определяет его устойчивость практически ко всем β -лактамам. Многочисленные исследования показали, что для Европы характерен различный уровень распространенности карбапенемазопродуцирующих штаммов, однако даже для наиболее благоприятных в эпидемиологическом плане стран ЕС (Норвегия, Швеция, Финляндия) свойствен широкий спектр наличия карбапенемаз [1, 7, 8].

Во всем мире крайне серьезную проблему представляет формирование карбапенемоустойчивых штаммов микроорганизмов в лечебно-профилактических учреждениях и стационарах. Именно в них в результате селективного прессинга происходит адаптация и дальнейшее распространение наиболее устойчивых представителей. Нахождение больного в подобной среде сопровождается риском развития у последнего внутрибольничной, или нозокомиальной, инфекции (НИ) [9, 10]. ВОЗ определяет НИ как инфекцию, развившуюся у пациента через 48 и более часов после госпитализации, при условии, если при поступлении пациента в стационар инфекция отсутствовала и не находилась в инкубационном периоде. Также под определение НИ попадают те случаи, при которых инфекция является следствием предшествующей госпитализации. Для пациента развитие НИ грозит осложнением течения болезни и ухудшением прогноза на выздоровление, что, как правило, приводит к повышению риска летального исхода. Одними из распространенных возбудителей госпитальной инфекции являются представители семейства Enterobacteriaceae [11].

В связи с этим целью данной работы стало определение с использованием молекулярно-генетических методов наличия и разнообразия основных типов карбапенемаз (металло- β -лактамаз VIM, IMP, NDM типов; сериновых карбапенемаз групп KPC, OXA-48 и GES 2/5) у клинических штаммов энтеробактерий, выделенных в 2014 г.

Материалы и методы

Объектами исследования явились 1524 неповторяющихся (по одному от каждого пациента) клинических изолятов энтеробактерий, полученных в рамках многоцентрового проспективного эпидемиологического исследования антибиотикорезистентности МАРА-ФОН-2014 в период с 1.01.2014 по 31.12.2014 г. из 30 стационаров 19 городов РФ. В исследование включались изоляты-возбудители инфекций как нозокомиальной, так и внебольничной природы, полученные от госпитализированных пациентов. Из 1524 полученных микроорганизмов 1112 были определены как нозокомиальные и 412 как внебольничные возбудители. Работа проводилась на базе НИИАХ ГБОУ ВПО СГМУ Минздрава России (г. Смоленск).

Выявление генов наиболее распространенных карбапенемаз

Для выявления продукции карбапенемаз было отобрано 466 изолятов энтеробактерий, проявляющих в соответствии с критериями EUCAST пониженную чувствительность хотя бы к одному из карбапенемов: МПК имипенема ≥ 1 мг/л, МПК меропенема или эртапенема $\geq 0,125$ мг/л [11–13].

Наличие генов металло- β -лактамаз (bla_{VIM} , bla_{IMP} и bla_{NDM}) и сериновых карбапенемаз (bla_{KPC} и bla_{OXA-48}) определяли методом ПЦР в режиме реального времени с использованием коммерческих наборов «АмплиСенс MDR MBL-FL» и «АмплиСенс KPC/OXA-48-FL» соответственно (Интерлабсервис, Россия). Амплификацию с гибридационно-флуоресцентной детекцией в режиме реального времени проводили с применением детектирующего амплификатора DTprime 5 X1 (ДНК-Технология, Россия) согласно протоколу.

Для выявления генов GES β -лактамаз использовали метод ПЦР в режиме реального времени с последующим анализом кривых плавления флуоресцентно-меченого зонда, ранее разработанный в НИИАХ. Состав ПЦР-смеси представлен в табл. 1. Наличие внутренних фрагментов генов, кодирующих GES β -лактамазы «дикого типа» (GES-1-подобные ферменты) и мутантные производные, обладающие карбапенемазной активностью (GES-2- и GES-5-подобные ферменты), определяли в соответствии с температурой плавления зонда, регистрируемой по изменению флуоресценции на канале FAM: $62,8 \pm 0,2^\circ\text{C}$ – для GES-1, $56,9 \pm 0,2^\circ\text{C}$ – для GES-5, $51,6 \pm 0,2^\circ\text{C}$ – для GES-2.



Таблица 1

Состав ПЦР-смеси для дифференциальной детекции генов GES β -лактамаз

Компоненты	Конечная концентрация
Праймер GES-Fpm (5'-cgcaagagcc(g-LNA)gagatg-3')*	0,2 мкМ
Праймер GES-Rpm-BHQ (5'-tgtatctctgagg(t-BHQ)cgccagg-3')*	0,8 мкМ
Зонд GES-PbC-FAM (5'-gccaggtgtgtgtgcc-3'-FAM)*	0,2 мкМ
Смесь dNTP	0,2 мкМ
Буфер SNP Detect с Mg ²⁺ (Евроген, Россия)	1X
Полимераза SNP Detect (Евроген, Россия)	5 ед.
Образец ДНК	3,8 мкл
Общий объем реакции	10 мкл

Примечание. * Олигонуклеотиды синтезированы ЗАО Синтол (Россия).

Результаты и их обсуждение

В результате проведенного тестирования карбапенемазы различных типов обнаружены у 96 нозокомиальных энтеробактерий, что составляет 8,6% всех случаев внутрибольничной инфекции. Всего выявлено 4 типа ферментов из 7 исследованных, относящихся к трем молекулярным классам. Среди металло- β -лактамаз обнаружен фермент группы NDM ($n=17$). Сериновые карбапенемазы почти полностью представлены OXA-48-подобными ферментами, они найдены у 72 микроорганизмов (6,5% случаев). У одного изолята *Klebsiella pneumoniae*, обнаруженного в стационаре Санкт-Петербурга,

выявлен фермент группы KPC. Следует отметить эндемичность распространения данного фермента – в России все случаи зарегистрированы в Санкт-Петербурге. Отдельную группу составили микроорганизмы, несущие комбинацию генов OXA-48 и NDM, всего было выявлено 6 подобных случаев, что составляет 0,5% от всех нозокомиальных микроорганизмов. Все изоляты, у которых имеет место копродукция двух карбапенемаз, принадлежат виду *K. pneumoniae* и выделены в Санкт-Петербурге. Гены, кодирующие ферменты карбапенемаз групп VIM, IMP, а также карбапенемазы и β -лактамазы расширенного спектра группы GES, обнаружены не были (табл. 2).

Таблица 2

Распространенность карбапенемаз среди нозокомиальных и внебольничных изолятов

Тип карбапенемаз	Среди нозокомиальных изолятов ($n=1112$)		Среди внебольничных изолятов ($n=412$)		Среди всех изученных изолятов ($n=1524$)	
	количество изолятов	доля изолятов, %	количество изолятов	доля изолятов, %	количество изолятов	доля изолятов, %
OXA-48	72	6,5	4	0,97	76	5
NDM	17	1,5	1	0,24	18	1,2
OXA-48+NDM	6	0,5	–	–	6	0,4
KPC	1	0,09	–	–	1	0,07
Всего	96	8,6	5	1,21	101	6,63

Кроме того, большой интерес может представлять обнаружение продуцентов карбапенемаз среди возбудителей внебольничной инфекции. Всего зафиксировано 5 подобных случаев в 4 городах – Краснодаре, Смоленске, Тюмени и Набережных Челнах. У четырех из пяти изолятов выявлены OXA-48 подобные ферменты и у одного NDM – карбапенемаза. В четырех

случаях возбудителем являлась *K. pneumoniae* и в одном *E. coli*.

Большую часть всех энтеробактерий–продуцентов карбапенемаз составили представители вида *K. pneumoniae* – 88% ($n=89$). Остальные виды, включая *E. coli*, *Proteus mirabilis* и *Serratia marcescens*, в совокупности составили десятую часть всех изолятов (табл. 3).



Таблица 3

Видовой состав продуцентов карбапенемаз

Вид микроорганизма-продуцента карбапенемаз	Тип карбапенемаз				Всего	Доля среди всех продуцентов (n=101), %
	OXA-48	NDM	OXA-48+NDM	KPC		
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	70	12	6	1	89	88
<i>Escherichia coli</i>	1	3	–	–	4	3,96
<i>Proteus mirabilis</i>	–	3	–	–	3	2,97
<i>Serratia marcescens</i>	3	–	–	–	3	2,97
<i>Enterobacter cloacae</i>	1	–	–	–	1	0,99
<i>Citrobacter freundii</i>	1	–	–	–	1	0,99
Итого	76	18	6	1	101	100

Карбапенемазопродуцирующие энтеробактерии обнаружены в 15 стационарах 10 городов России. Наиболее распространенным в географическом плане стал фермент OXA-48, который выявлен в 9 городах России. Металлофермент группы NDM занял второе место как по частоте выявления, так и по распространению – обнаружен в 4 городах. В целом основными очагами распространения карбапенемазопродуцирующих штаммов энтеробактерий можно считать

крупные центры, такие как Москва, Санкт-Петербург и Краснодар, однако единичные случаи отмечаются и в относительно небольших городах (Смоленск, Ижевск, Набережные Челны), что может служить одним из признаков роста тенденции к повсеместному распространению устойчивости к карбапенемам. Санкт-Петербург оценивается как наиболее неблагоприятный по эпидемиологической обстановке город – в нем выявлены ферменты всех 4 групп (табл. 4).

Таблица 4

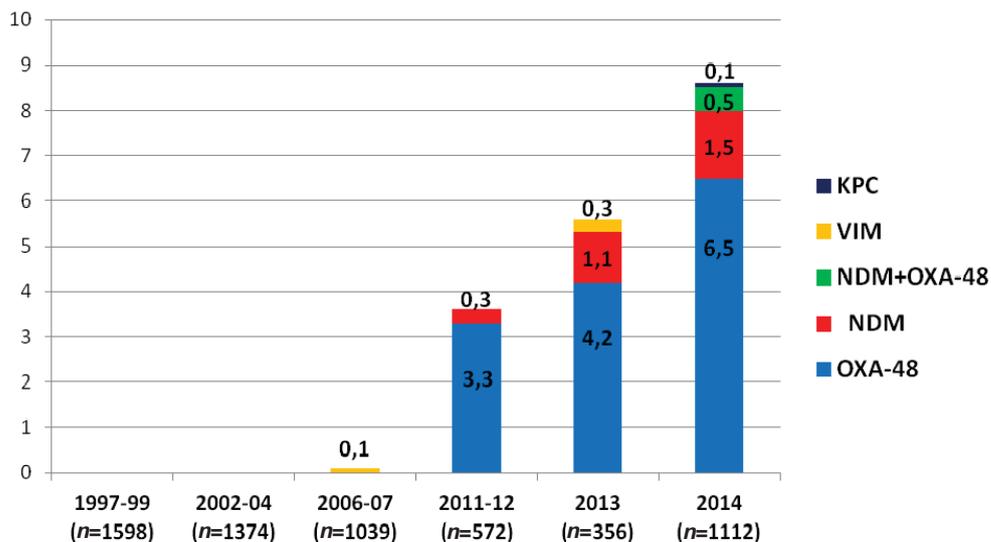
Географическая распространенность продуцентов карбапенемаз

Город	Тип карбапенемаз				Всего	Доля среди всех продуцентов (n=101), %
	OXA-48	NDM	OXA-48+NDM	KPC		
Москва	35	4	–	–	39	38,6
Краснодар	15	3	–	–	18	17,8
Санкт-Петербург	3	7	6	1	17	16,8
Ижевск	9	–	–	–	9	8,9
Набережные Челны	7	–	–	–	9	6,9
Томск	4	–	–	–	4	3,96
Омск	1	3	–	–	4	3,96
Ростов-на-Дону	1	–	–	–	1	0,99
Тюмень	1	–	–	–	1	0,99
Смоленск	–	1	–	–	1	0,99
Итого	76	18	6	1	101	100

Динамика выявления карбапенемаз представлена на рисунке. Оценивая динамику выявления карбапенемаз среди энтеробактерий с 2006 г., можно судить об отчетливом росте числа подобных случаев среди внутрибольничной флоры, а также об увеличении разнообразия выявляемых групп ферментов [11].

Заключение

В ходе проведенного исследования определено наличие и разнообразие генов основных карбапенемаз среди клинических изолятов семейства Enterobacteriaceae, выделенных в 2014 году. Энтеробактерии, способные гидролизовать карбапенемы, обнаружены в



Динамика выявления карбапенемазопродуцирующих штаммов энтеробактерий в России

15 стационарах 10 городов России. Основным возбудителем нозокомиальной инфекции различной этиологии и локализации, а также продуцентом карбапенемаз является вид *K. pneumoniae* – типичный представитель больничной микрофлоры. В 2014 г. выявлено 96 случаев продукции карбапенемаз среди нозокомиальных энтеробактерий, а также 5 случаев – среди внебольничных возбудителей. Основной детерминантой устойчивости к карбапенемам среди энтеробактерий является β -лактамаза класса D – фермент OXA-48. В меньшей степени резистентность обуславливает наличие NDM металло- β -лактамазы. Анализ динамики выявления штаммов семейства Enterobacteriaceae, продуцирующих карбапенемазы, свидетельствует как о росте числа обнаружения подобных микроорганизмов, так и об увеличении разнообразия выявляемых групп ферментов. В 2014 г. зафиксирован наиболее высокий уровень продукции карбапенемаз – 8,6% всех нозокомиальных изолятов.

Таким образом, можно сделать вывод об увеличении числа случаев продукции карбапенемаз различного типа у представителей семейства Enterobacteriaceae в стационарах России. Подобная ситуация ведет к потенциальному увеличению числа случаев неэффективного применения карбапенемов при антимикробной терапии и росту резистентности. Одними из наиболее доступных методов сдерживания дальнейшего роста резистентности являются постоянный мониторинг устойчивости к карбапенемам и другим антибиотикам и ограничение их нерационального применения путем проведения информацион-

но-просветительской работы среди пациентов и медицинских работников, а также усиление контроля за проведением санитарно-гигиенических мероприятий в медицинских учреждениях.

Благодарности

Авторы выражают признательность директору и коллективу НИИ АХГБОУ ВПО СГМУ Р. С. Козлову, М. В. Сухоруковой, Н. В. Иванчик за предоставленные данные, советы и помощь в выполнении практической части работы.

Список литературы

1. Агеевец В. А., Лазарева И. В., Сидоренко С. В. Проблема устойчивости к карбапенемным антибиотикам : распространение карбапенемаз в мире и России, эпидемиология, диагностика, возможности лечения // Фарматека. 2015. №14. С. 9–16.
2. Страчунский Л. С., Белоусов Ю. Б., Козлов Н. С. Практическое руководство по антимикробной химиотерапии. Смоленск : Изд-во Межрегион. ассоциации по клинической микробиологии и антимикробной химиотерапии, 2007. 534 с.
3. Белобородов В. Б., Грувер К.П. Карбапенемы в современной клинической практике // Рус. мед. журн. 2012. Т. 18, № 17. С. 1037–1042.
4. Галкин Д. В. Карбапенемы через 20 лет после открытия : современные микробиологические и клинические аспекты // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2007. Т. 9, № 2. С. 133–152.
5. Страчунский Л. С. β -лактамазы расширенного спектра – растущая и плохо осознаваемая угроза // Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2005. Т. 7, № 1. С. 92–96.



6. *Bush K., Jacoby G.A.* Update functional classification of β -lactamases // *Antimicrob Agents Chemother.* 2010. Vol. 54 (3). P. 969–976.
7. *Агеевец В. А., Партина И. В., Лисицина Е. С., Батыршин И. М., Попенко Л. Н., Шляпников С. А., Ильина Е. Н., Сидоренко С. В.* Первое обнаружение металло- β -лактамазы NDM-типа в многопрофильном стационаре // *Мед. академ. журн.* 2012. Т. 12, № 4. С. 43–45.
8. *Эйдельштейн М. В., Склеенова Е. Ю., Шевченко О. В., Тапальский Д. В., Азизов И. С., Дсоуза Дж. В., Тимохова А. В., Сухорукова М. В., Козырева В. К., Сафронова Е. В., Астахова М. В., Карпов И. А., Шамаева С. Х., Абрамова Н. В., Гординская Н. А.* Распространенность и молекулярная эпидемиология грамотрицательных бактерий, продуцирующих металло- β -лактамазы, в России, Беларуси и Казахстане // *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия.* 2012. Т. 14, №2. С. 132–152.
9. *Штейнберг Л. Л.* Клинико-экономическая оценка применения различных карбапенемов в лечении нозокомиальной пневмонии : автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2014. 24 с.
10. *Белоусов Ю. Б., Ушкалова Е. А.* Нозокомиальные инфекции и принципы их лечения // *Фарматека.* 2001. №. 12. С. 32–36.
11. *Сухорукова М. В., Эйдельштейн М. В., Склеенова Е. Ю., Иванчик Н. В., Тимохова А. В., Дехнич А. В., Козлов Р. С.* Антибиотикорезистентность нозокомиальных штаммов Enterobacteriaceae в стационарах России : результаты многоцентрового эпидемиологического исследования МАРАФОН в 2011–2012 гг. // *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия.* 2014. Т.16, № 4. С. 254–265.
12. *EUCAST guidelines for detection of resistance mechanisms and specific resistances of clinical and/or epidemiological importance* // *European Committee on Antimicrobial Susceptibility Testing (valid from 11.12.2013, version 1.0).* URL: http://www.eucast.org/fileadmin/src/media/PDFs/EUCAST_files/Resistance_mechanisms/EUCAST_detection_of_resistance_mechanisms_v1.0_20131211.pdf (дата обращения: 5.03.2016).
13. *МУК 4.2.1890-04.* Определение чувствительности микроорганизмов к антибактериальным препаратам. М., 2004. 91 с.

Образец для цитирования:

Эйдельштейн М. В., Журавлев В. С., Шек Е. А. Распространенность карбапенемаз среди нозокомиальных штаммов enterobacteriaceae в России // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2017. Т. 17, вып. 1. С. 36–41. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-36-41.

Cite this article as:

Edelstein M. V., Zhuravlev V. S., Shek E. A. Prevalence of Nosocomial Strains Enterobacteriaceae Have Carbapenemases in Russia. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology,* 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 36–41 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-36-41.



УДК 595.768.23:576.88:58.073:58.085

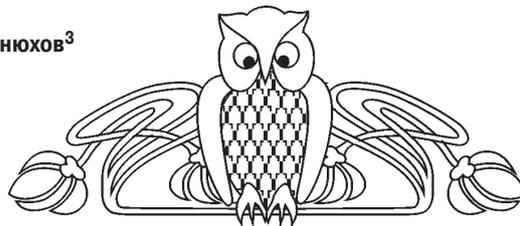
ФОТОСИНТЕТИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ У ПОВИЛИКИ *Cuscuta campestris* (CONVOLVULACEAE) ПРИ ЗАСЕЛЕНИИ РАСТЕНИЯ ГАЛЛООБРАЗОВАТЕЛЕМ-ДОЛГОНОСИКОМ *Smicronyx smreczynskii* (COLEOPTERA, CURCULIONIDAE)

В. В. Аникин¹, М. И. Никельшпарг², Э. И. Никельшпарг³, И. В. Конюхов³

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

²Гимназия № 3, Саратов. E-mail: matveynikel@yandex.ru

³Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова
E-mail: evelinanick@gmail.com



В статье впервые определены характеристики фотосинтетического аппарата, зависимость эффективности и скорости фотосинтеза от уровня освещенности цветкового растения-паразита повилки полевой *Cuscuta campestris* в случае заселения растения насекомым-галлообразователем из семейства долгоносиков – *Smicronyx smreczynskii*. Сделано предположение, что галлогенез *Smicronyx smreczynskii* приводит к увеличению эффективности фотосинтеза за счет увеличения количества реакционных центров (РЦ) фотосистемы II (ФСII) у повилки полевой *Cuscuta campestris*.

Ключевые слова: галлогенез, фотосинтез, фотосинтетическая активность, повилка, *Cuscuta campestris*, галлообразователь, жук-долгоносик, *Smicronyx smreczynskii*, биологический контроль.

Photosynthetic Activity of the Dodder *Cuscuta campestris* (Convolvulaceae) in Case of Plant Inhabitation by the Gallformed Weevil *Smicronyx smreczynskii* (Coleoptera, Curculionidae)

V. V. Anikin, M. I. Nikelshparg, E. I. Nikelshparg, I. V. Konyukhov

In the article parameters of photosynthetic apparatus and dependence of the efficiency and rate of photosynthesis on irradiance in flowering plant – parasitic dodder *Cuscuta campestris* colonized by gall-inducing insect from the family of weevils *Smicronyx smreczynskii* were determined for the first time. Gall formation by *Smicronyx smreczynskii* is supposed to lead to the increase in the photosynthesis efficiency by the increase in the number of reaction centers of photosystem II of the dodder *Cuscuta campestris*.

Key words: gall formation, photosynthesis, photosynthetic activity, dodder, *Cuscuta campestris*, gall-inducing insect, weevil, *Smicronyx smreczynskii*, biological control.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-42-47

Введение

Прошло пятнадцать лет с момента публикации первой большой работы по составу насекомых-галлообразователей [1], развивающихся на древесных и травянистых растениях в

районе исследований. За истекшее время авторам удалось расширить спектр представителей группы и углубиться в особенности экологии и биологии этих насекомых, проследить особенности взаимодействия насекомого и растения. В частности, проследить действие галлогенеза при развитии личинок жука-долгоносика *Smicronyx smreczynskii* на фотосинтетическую активность повилки полевой *Cuscuta campestris*.

Само растение относится к облигатным паразитам цветковых растений и имеет желто-оранжевую окраску из-за редукции фотосинтетического аппарата. Однако из известных 170 видов некоторые виды способны частично обеспечивать себя энергией с помощью фотосинтеза [2, 3]. Так, у *Cuscuta campestris* [4] и *Cuscuta europaea* [5] установлено, что количество хлорофилла меняется со временем, как в молодых побегах до прикрепления к растению-хозяину, так и в соцветиях. Можно предположить, что при цветении у вида включается механизм фотосинтеза в качестве дополнительного источника энергии для образования семян. Такой же эффект прослеживается и в случае заселения растения его естественным врагом жуком-долгоносиком. Галл на повилке имеет зеленый цвет и отличается по цвету от стебля, что можно было бы объяснить появлением фотосинтетической активности в тканях галла.

Исследования различными авторами структуры галлов жуков из рода *Smicronyx*, содержания в них хлорофилла, каротиноидов, ультраструктуры хлоропластов и способности выделенных из галла хлоропластов к выделению кислорода и фиксации CO₂ [2, 4, 6, 7] продемонстрировали противоречивые данные, но с одинаковым выводом: у хлоропластов галлов более высокая фотосинтетическая активность по сравнению со стеблями. В то же время параметры фотосинтетического аппарата в галле и стеблях одного и того



же растения у повилики полевой никогда ранее не были изучены *in vivo*. Два этих положения и послужили основой для выбора целей проведенного исследования.

Целью данной работы являлось исследование воздействия долгоносика *Smicronyx smreczynskii* на кормовое растение – повилку полевую *Cuscuta campestris*: на состояние фотосинтетического аппарата тканей растения, цветение, плодоношение и распространение. В ходе работы впервые была получена кривая индукции флуоресценции галла долгоносика на повилке полевой, определены характеристики фотосинтетического аппарата тканей галла и сопоставлены с характеристиками стеблей того же растения. Показано влияние долгоносика на цветение и плодоношение повилики, представлены новые данные о биологии долгоносика, в том числе о новом естественном паразите *Bracon murgabensis*. Полученные нами данные позволяют говорить о возможном пересмотре концепции взаимоотношений долгоносика *Smicronyx smreczynskii* и повилики *Cuscuta campestris*, от концепции прямого паразитирования галлообразователя на растении к концепции обоюдывыгодного взаимодействия видов.

Материалы и методы

Наблюдения за развитием повилики полевой и ее галлообразователем проводились в поселке Юбилейный г. Саратова с июня по октябрь в 2015–2016 гг. Очаг сплошного заражения *C. campestris* составлял площадь не менее 2000 м², где она произрастала (паразитировала) на следующих сорных растениях: дурнишнике (*Xanthium sp.*), лебеде (*Atriplex sp.*), спорыше обыкновенном (*Polygonum aviculare*), тысячелистнике обыкновенном (*Achillea millefolium*), льнянке обыкновенной (*Linaria vulgaris*), вьюнке полевом (*Convolvulus arvensis* L.), полыни (*Artemisia*) и на бордюрных декоративных растениях: календуле (*Calendula sp.*), астре (*Aster sp.*). На всей площади произрастания паразита все растения были с галлами жука долгоносика *Smicronyx smreczynskii*.

Для наблюдения за личинками жука-долгоносика его галлы собирались в чашки Петри (выход имаго составлял >100 экз. каждый год). Развитие личинки протекает 10–14 дней, потом происходит окукливание. Внутри галла куколка очень подвижная, совершает резкие движения, через 6–7 дней выходит имаго. Если личинка жука долгоносика не заражена паразитами или подвергалась нападению «хищников», то выход имаго составлял 100% независимо от того, где находилась личинка (куколка) – на ярком солнеч-

ном свету, в темноте, в земле или на дне чашки в лабораторных условиях.

Для установления фотосинтетической активности измерялись *параметры флуоресценции хлорофилла фотосистемы II* в галлах и на приборе «МЕГА-25», разработанном на кафедре биофизики биофака МГУ им. М. В. Ломоносова [8]. Флуориметр имеет мощный светоизлучающий диод (455 нм, 7500 мкмоль·м⁻²·с⁻¹), формирователь импульсов тока светодиода, фотодиод с граничным светофильтром ($\lambda > 670$ нм), усилитель сигнала и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Угол падения пучка возбуждающего света – 60°, угол измерения флуоресценции – 30° относительно поверхности галла (стебля).

В конце июля 2016 г. участок, на котором произрастал спорыш обыкновенный (*Polygonum aviculare*), зараженный повилкой, выкапывали и инкубировали в темноте при комнатной температуре не менее 4 часов. Непосредственно перед измерением целые неповрежденные галлы веретенообразной формы длиной 1–1,5 см отрезали от стеблей и помещали в флуориметр, где регистрировали параметры флуоресценции с поверхности галла. В каждом исследованном галле личинка долгоносика была живой, что отмечалось по двигательной активности при вскрытии галла после измерения. Все исследованные галлы были однокамерные.

Непосредственно перед измерением стебли повилики отрезали и помещали в прибор для измерения параметров флуоресценции. Для каждого измерения использовали по 5 участков стеблей. Всего было проведено по 4 измерения параметров флуоресценции галла и стеблей.

В ходе эксперимента регистрировали кривую индукции флуоресценции – зависимость интенсивности флуоресценции хлорофилла от времени под действием интенсивного светового облучения. Данная кривая имеет вид нарастающей функции и отражает кинетику процесса перехода реакционных центров (РЦ) фотосистем II (ФСII) из открытого в закрытое состояние, т.е. из состояния, при котором хинонные акцепторы окислены и способны принять электрон от ФСII, в состояние с восстановленными хинонными акцепторами [9]. По кривой индукции флуоресценции рассчитывали следующие параметры [10]: F_0 – интенсивность флуоресценции хлорофилла a в образцах после темновой адаптации, когда РЦ ФСII открыты; F_m – интенсивность флуоресценции хлорофилла a при закрытых РЦ ФСII; F_v – переменная флуоресценция, представляющая собой разность F_m и F_0 ; F_v / F_m – относительная переменная флуоресценция, или



фотохимический квантовый выход ФСII в образцах, адаптированных к темноте, который дает информацию о максимально возможной активности первичных процессов фотосинтеза; F_v/F_m – квантовый выход ФСII при продолжительном облучении (3 мин) светом разной интенсивности (в диапазоне $0.5\text{--}500 \text{ мкмоль}\cdot\text{м}^{-2}\cdot\text{с}^{-1}$); $ETR = I \cdot F_v/F_m$ – относительная скорость фотосинтеза (т.н. линейного электронного транспорта, связанного стехиометрически с процессом выделения кислорода); NPQ – параметр, рассчитанный по формуле $F_m/F_m' - 1$, который служит для оценки интенсивности нефотохимического тушения возбужденных состояний хлорофилла – защитного механизма регуляции фотосинтеза от избыточного облучения.

С помощью теста Стьюдента в программе *Graph Pad Software* было получено р-значение.

Результаты и их обсуждение

Строение галла *Smicronyx smreczynskii*

Галл долгоносика данного вида на повилыке полевой имеет веретенообразный вид. Галлы, в которых находятся личинки старшего возраста, имеют размер 7–45 мм. Размер галла зависит от количества личинок в нем. Большинство галлов однокамерные, но нам встречались и многокамерные галлы (до 3 личинок), где личинки располагаются с небольшой стенкой (до 5 мм) друг от друга и не взаимодействуют друг с другом. Внутри галла со здоровой личинкой долгоносика отмечались сочные зеленые ткани. После выхода здоровой личинки из галла галл сморщивается и окрашивается в желто-коричневый цвет. Галл с личинкой имеет зеленый цвет и снаружи, и внутри (рис. 1).



Рис. 1. Вскрытый галл жука-долгоносика (фото М. Никельшпарга)

Авторами впервые было сделано наблюдение, что при заражении личинки паразитом из наездников браконид – *Bracon murgabensis* происходит парализация личинки долгоносика. Находясь внутри галла, личинка долгоносика перестает питаться и испражняться. Ткани галла при этом тускнеют, наружная поверхность галла становится желтой или оранжевой. Внутренняя поверхность уплотняется, цвет теряет яркость, а зеленый цвет становится более темным, что свидетельствует о прекращении фотосинтетической активности в тканях галла и нарушении «взаимодействий» между паразитом и растением.

Фотосинтетическая активность галлов и стеблей *S. campestris*

Известно, что в галлах на повилыке, индуцированных долгоносиком *Smicronyx sp.*, как правило, содержится большее количество хлорофилла, чем в стеблях [6, 11]. Однако количество хлорофилла не является показателем эффективности функционирования фотосинтетического аппарата. Для исследования фотосинтетической активности мы регистрировали индукционные кривые флуоресценции хлорофилла для стебля и галла (рис. 2).

Кривые были нормированы по уровню F_m . Такая нормировка необходима, поскольку амплитуда сигнала флуоресценции хлорофилла сильно варьирует от образца к образцу из-за разной площади поверхности побегов. По кривой индукции флуоресценции были измерены показатели F_0 , F_m и рассчитано соотношение F_v/F_m – максимальный квантовый выход ФСII, характеризующие эффективность использования энергии света, для стеблей и галлов повилыки (таблица).

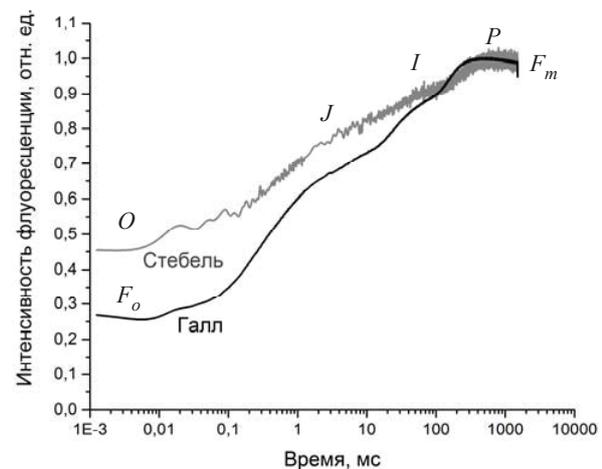


Рис. 2. Кривая индукции флуоресценции галла (показана черным цветом) и стебля (показана серым цветом). Показано общепринятое обозначение характерных фаз кривой (O-J-I-P), начальный уровень флуоресценции (F_0) и уровень максимальной флуоресценции (F_m)



Параметры флуоресценции хлорофилла в тканях стеблей повилыки *C. campestris* и в галлах долгоносика *S. smreczynskii*

Параметры флуоресценции	Стебель	Галл
F_0	19,9±2,3	74,6±7,3**
F_m	43,6±5,7	257,9±36,7**
F_v / F_m	0,54±0,02	0,71±0,01*

Примечание. * $p < 0,01$, ** $p < 0,005$.

Из полученных результатов хорошо видно, что и стебли, и галлы повилыки *C. campestris* обладают фотосинтетической активностью. Значение F_v / F_m в стеблях составляет 0,54±0,02, что хорошо коррелирует с данными других авторов [2, 12]. Значение F_v / F_m в галлах измерено впервые и составляет 0,71±0,01, что достоверно превышает значение в стеблях. Более высокое значение F_v / F_m в галлах согласуется с более низким начальным уровнем флуоресценции (см. F_0 , плато *O* на рис. 2). Характерные времена переноса электрона внутри ФСII, которые были определены по участкам *J-I* и *I-P* индукционных кривых, достоверно не отличались в галлах и стеблях.

В ходе обработки полученных данных были рассчитаны световые кривые для параметра F_v / F_m , представляющего собой «коэффициент полезного действия» фотосинтеза, который показан на рис. 3.

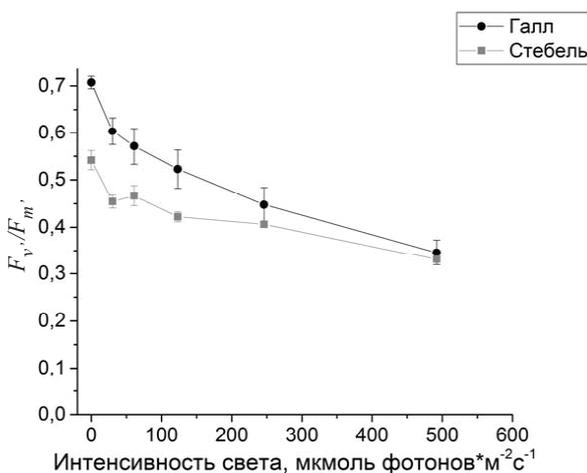


Рис. 3. Зависимость относительной переменной флуоресценции F_v / F_m от интенсивности предварительного облучения

В области низкой интенсивности света (0,5–60 мкмоль·м⁻²·с⁻¹) фотосинтез в галлах протекает с достоверно большей эффективностью, чем в стебле. При большой интенсивности света

(120–500 мкмоль·м⁻²·с⁻¹, см. рис. 3) эти различия пропадают. То же самое можно сказать и о световых кривых скорости фотосинтеза, которые четко выделяются на рис. 4.

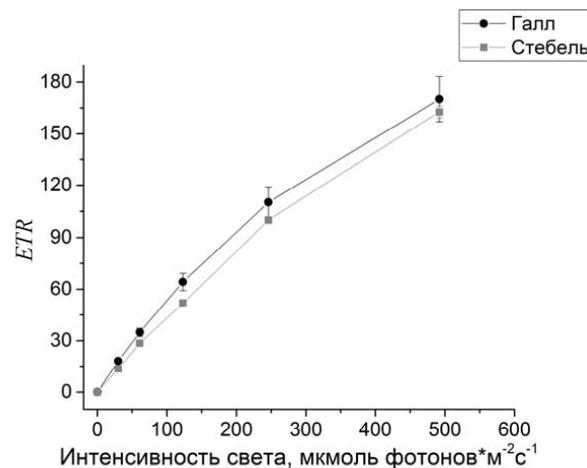


Рис. 4. Зависимость скорости линейного электронного транспорта в цепи переноса электрона в хлоропластах (ETR) от интенсивности предварительного облучения

Достоверных отличий по функционированию защитного механизма нефотохимического тушения (*NPQ*, рис. 5) обнаружено не было.

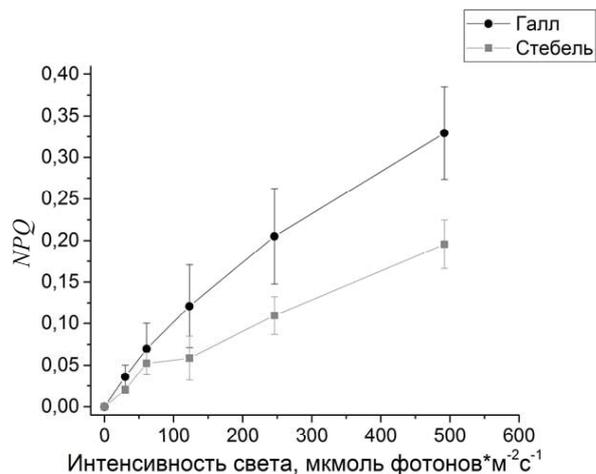


Рис. 5. Зависимость нефотохимического тушения (*NPQ*) от интенсивности предварительного облучения

Цветение и плодоношение C. campestris

В литературе неоднократно указывалось на возможность применения жуков-долгоносиков рода *Smicronyx* в качестве потенциальных агентов для биологического контроля повилыки полевой [13–17]. Исследователи считали, что жуки-галлообразователи не допускают цветения и плодоношения повилыки, а также способствуют ослаблению развития побегов растения. Однако



вышеуказанные выводы основывались лишь на факте образования галлов на стеблях повилыки. В ходе наших наблюдений не было обнаружено ослабления цветения или плодоношения *C. campestris*, даже в месте образования галлов (рис. 6).



Рис. 6. Соцветия *C. campestris* на галле (фото М. Никельшпарга)

Увеличение интенсивности освещения закономерно приводит к уменьшению величины F_v/F_m и увеличению NPQ для обоих типов тканей, что характерно для автотрофных высших растений и для повилыки *Cuscuta reflexa*, которая способна к фотосинтезу [18]. Увеличение количества хлорофилла в галлах и рост F_v/F_m может свидетельствовать о том, что в тканях галла образуется больше активных РЦ ФСII. При этом обеспечивается более интенсивное фотохимическое тушение хлорофилла – процесс, полезный для растения, из-за которого наблюдается более низкий уровень «темновой» флуоресценции F_o , нормированный на F_m (см. рис. 2). Полученные данные коррелируют с анализом морфологии хлоропластов повилыки [6, 7] и их активностью [4]. Однако механизм взаимодействия и формирования галлов долгоносика рода *Smicronyx* на повилыке до сих пор не изучен. Например, в одной из работ [19] среди гипотетических механизмов указаны продукты метаболизма личинки долгоносика, физиологически активные вещества, продуцируемые растением, или внешние факторы, такие как вирусы и микроорганизмы, которые могут быть занесены при заражении.

Проведенные исследования показали, что ткани галла долгоносика *Smicronyx smreczynskii* на повилыке *Cuscuta campestris* обладают более высоким уровнем фотосинтетической активности, тогда как заражение личинки долгоносика паразитом *Bracon murgabensis*, приводящее к

прекращению жизнедеятельности личинки, приводит к пожелтению галла, что может свидетельствовать о разрушении хлорофилла и снижении фотосинтетической активности. В свою очередь, это означает, что необходимым условием для формирования и поддержания структуры галла является жизнедеятельность самой личинки долгоносика.

Заключение

Таким образом, анализ полученных результатов позволяет говорить о новом взгляде на взаимоотношения долгоносика *Smicronyx smreczynskii* и повилыки *Cuscuta campestris*. Концепция прямого паразитирования галлообразователя на растении меняется на концепцию обоюдывыгодного взаимодействия видов. Теперь становится понятным, почему попытки использовать долгоносиков этого рода, ранее считавшихся естественными врагами повилыки, в качестве агентов для биологического контроля над численностью растения-паразита не увенчались успехом. Эти виды по отношению друг к другу являются «не врагами, а союзниками» с очень сложными на биохимическом уровне симбиотическими связями, и мы постараемся продолжить исследования в данном направлении.

Благодарности

Авторы выражают глубокую признательность коллегам энтомологам и ботаникам за помощь при проверке определения материала К. Г. Самарцеву (Зоологический институт РАН, г. С.-Петербург), И. А. Забалуеву (Саратовский аграрный университет), М. В. Лаврентьеву (Саратовский государственный университет).

Список литературы

1. Аникин В. В., Степанов С. А. Насекомые-галлообразователи Нижнего Поволжья и галлогенез растений // Самарская Лука. 2001. № 11. С. 262–271.
2. Kooij T. A. W. van der, Krause K., Dorr I., Krupinska K. Molecular, functional and ultrastructural characterisation of plastids from six species of the parasitic flowering plant genus *Cuscuta* // Planta. 2000. Vol. 210, № 5. P. 701–707.
3. Mishra J. S. Biology and Management of *Cuscuta* species // Indian J. Weed Sci. 2009. Vol. 41, № 1–2. P. 1–11.
4. Dinelli G., Bonetti A., Tibiletti E. Photosynthetic and Accessory Pigments in *Cuscuta-Campestris*-Yuncker and Some Host Species // Weed Res. 1993. Vol. 33. P. 253–260.
5. Švubová R., Ovečka M., Pavlovič A., Slovákova L., Blehová A. *Cuscuta europaea* plastid apparatus in vari-



- ous developmental stages // *Plant Signal. Behav.* 2013. Vol. 8, № 5. P. e24037.
6. *Laudi G.* Ultrastructural Researches on the Plastids of Parasitic Plants. IV. Galls of *Cuscuta australis* // *G. Bot. Ital.* 1968. Vol. 102, № 1. P. 1–19.
 7. *Gailhofer M., Thaler I.* Piastidenstrukturen einer *Smicronyx*-Galle auf *Cuscuta campestris* // *Python (Austria)*. 1974. Vol. 16. P. 57–64.
 8. *Погосян С. И., Гальчук С. В., Казимирко Ю. В., Конюхов И. В., Рубин А. Б.* Применение флуориметра «МЕГА-25» для определения количества фитопланктона и оценки состояния его фотосинтетического аппарата // *Вода : химия и экология*. 2009. № 6. С. 34–40.
 9. *Strasser R. J., Govindjee.* The Fo and the O-J-I-P Fluorescence Rise in Higher Plants and Algae // *Regul. Chloroplast Biog.* Boston, MA : Springer US, 1992. P. 423–426.
 10. *Roháček K., Barták M.* Technique of the Modulated Chlorophyll Fluorescence: Basic Concepts, Useful Parameters, and Some Applications // *Photosynthetica*. 1999. Vol. 37, № 3. P. 339–363.
 11. *Tănase M., Sand C.* Aspects regarding the physiology of cuscuta (*Cuscuta* L., Convolvulaceae) // *J. of Horticulture, Forestry and Biotechnology*. 2012. Vol. 16, № 1. P. 212–215.
 12. *Revell M. J. W., Stanley S., Hibberd J. M.* Plastid genome structure and loss of photosynthetic ability in the parasitic genus *Cuscuta* // *J. Exp. Bot.* 2005. Vol. 56, № 419. P. 2477–2486.
 13. *Baloch G. M.* Possibilities for Biological Control of some Species of *Cuscuta* (Convolvulaceae) // *Intern. J. Pest Manag. Part C*. 1968. Vol. 14, № 1. P. 27–33.
 14. *Zhekova E., Petkova D., Ivanova I.* *Smicronyx smreczynskii* F. Solari, 1952 (Insecta : Curculionidae) : Possibilities for biological control of two *Cuscuta* species (Cuscutaceae) in district of Ruse // *Acta Zool. Bulg.* 2014. Vol. 66, № 3. P. 431–432.
 15. *Aly R., Dubey N. K.* Weed Management for Parasitic Weeds // *Recent Adv. Weed Manag. N.Y.* : Springer New York, 2014. P. 315–345.
 16. *Торбаев С. С.* Использование повиликового галлового долгоносика в биологической борьбе с повиликой полевой // *Вестн. с.-х. науки Казахстана*. 1977. № 3. С. 116–117.
 17. *Shimi P., Bayat A. H., Rezapana M. R., Koliaii R.* A study of *Smicronyx robustus* Faust (Curculionidae) as a biological control agent of eastern dodder (*Cuscuta monogyna* Vahl.) in Iran // *J. Agric. Sci. Islam. Azad Univ.* 1995. Vol. 1, № 2. P. 43–52.
 18. *Hibberd J. M., Bungard R. A., Press M. C., Jeschke W. D., Scholes J. D., Quick W. P.* Localization of photosynthetic metabolism in the parasitic angiosperm *Cuscuta reflexa* // *Planta*. 1998. Vol. 205, № 4. P. 506–513.
 19. *Бондур О. А., Сливак В. А.* Влияние микроорганизмов, выделенных из галл *Cuscuta campestris* Yunck. и личинок рода *Smicronyx* Schonh., на растительные тест-объекты // *Бюл. Бот. сада Сарат. гос. ун-та*. 2012. № 10. С. 208–213.

Образец для цитирования:

Аникин В. В., Никельшпарг М. И., Никельшпарг Э. И., Конюхов И. В. Фотосинтетическая активность у повилики *Cuscuta campestris* (Convolvulaceae) при заселении растения галлообразователем-долгоносиком *Smicronyx smreczynskii* (Coleoptera, Curculionidae) // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 42–47. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-42-47.

Cite this article as:

Anikin V. V., Nikelshparg M. I., Nikelshparg E. I., Konyukhov I. V. Photosynthetic Activity of the Dodder *Cuscuta Campestris* (Convolvulaceae) in Case of Plant Inhabitation by the Gallformed Weevil *Smicronyx Smreczynskii* (Coleoptera, Curculionidae). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 42–47 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-42-47.



УДК 633.14: 581.

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОДУКТИВНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКИХ ФОРМ ОЗИМОЙ РЖИ

А. М. Каргатова¹, С. А. Степанов¹,
Т. Я. Ермолаева², Н. Н. Нуждина²

¹Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

E-mail: hanin-hariton@yandex.ru

²Научно-исследовательский институт сельского хозяйства

Юго-Востока, Саратов

E-mail: yaresko.tanya@mail.ru

В работе приведены результаты исследования биологических особенностей продуктивности различных селекционно-генетических форм озимой ржи, представленной сортами саратовской и инорайонной селекции. Отмечены существенные сортовые различия в развитии отдельных морфологических параметров побега. Число листьев главного побега на одно растение в агропопуляциях озимой ржи разных сортов варьирует от 6 до 9 шт., длина стебля – от 1249 до 1660 мм, длина колоса – от 75 до 139 мм, число колосков колоса – от 27,7 до 40,2 шт., число зерновок колоса – от 36,0 до 64,8 шт. Среднее число боковых побегов на одно растение составляет от 1,63 до 4,07 шт., в том числе продуктивных – от 0,27 до 2,5. Расчётная величина морфогенетического индекса продуктивности по её составляющим элементам достигала: по числу колосков – от 2,6 до 5,5; числу зерновок колоса – 2,4 – 4,73; массе зерновок – от 1,8 до 3,83.

Ключевые слова: рожь, морфология, стебель, колос, зерновка, морфогенетический индекс продуктивности.

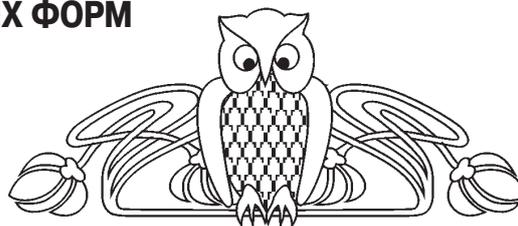
Biological Characteristics of Productivity of Various Breeding and Genetic Forms Winter Rye

А. М. Kargatova, S. A. Stepanov,
Т. Я. Ermolaeva, N. N. Nuzhdina

The paper presents the results of a study of the biological characteristics of productivity of various breeding and genetic forms of winter rye, presented by grades and district of the Saratov breeding. Significant varietal differences in development of individual morphological parameters of the shoot. The number of leaves of the main shoot per plant in winter rye agropopulations different varieties ranges from 6 to 9 units, stem length from 1249 to 1660 mm, length of ear, from 75 to 139 mm, number of spikelets of spike – from of 27.7 to 40.2; the number of grains ear – to 64.8 36.0 units. Average number of lateral shoots per plant ranges from of 1.63 to 4.07 units, including productive from 0,27 to 2.5. Estimated value of morphogenetic index of productivity in its constituent elements was achieved: the number of spikelets – from 2.6 to 5.5; number of grains spike – 2.4 – 4.73; the mass of grains is from 1.8 to 3.83.

Key words: rye, morphology, stalk, ear, caryopsis, morphogenetic index of productivity.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-48-52



Введение

Рожь как строго перекрестно-опыляемая культура является сложным объектом для селекции. Новые сорта ржи по урожайности и другим признакам нередко незначительно отличаются от старых, что является следствием несовершенства схем и методов, на основе которых они созданы [1]. Многие отечественные сорта ржи, как правило, представляют собой популяции растений со значительными морфологическими различиями [2]. Однако на фоне продолжающегося снижения производства ржи в России считается, что её продовольственный потенциал необходимо существенно увеличивать [1]. Исследования по выявлению морфогенетических характеристик сортов привели к представлениям, что каждый сорт является целостной ростовой, морфогенетической и биоритмической системой, со своими особенностями темпов роста и формирования метамерных органов у растений, ритмами формирования продуктивности на каждом из этапов возрастного развития, особенностями внутрисортного разнообразия [3, 4]. По некоторым модельным оценкам, основной прирост урожайности будет достигаться главным образом в результате оптимизации морфологической структуры растений [5], что и явилось основанием для проведения наших исследований.

Материалы и методы

В качестве объектов исследования использовались зрелые растения озимой ржи, взятые из питомника контрольного сортоиспытания НИИСХ Юго-Востока: инорайонные сорта – Таловская 41, Радонь, Снежана, Безенчукская 87, Памяти Кунакбаева, Чулпан 7, Роксана; саратовские (НИИСХ Юго-Востока) – Елисеевская, Волжанка, Саратовская 7, Марусенька, Памяти Бамбышева, Солнышко. Сорта различались по длине стебля, расположению листьев, форме куста, продолжительности вегетации



онного периода, устойчивости к патогенам, зимостойкости и засухоустойчивости, качеству зерна, потенциалу продуктивности. Брали по 30 растений из каждой из трёх повторностей, которые затем объединяли в группу и методом случайной выборки отбирали из неё для анализа 30 растений. Определяли длину междоузлий стебля и колоса, количество колосков и зерновок колоса, боковых побегов (в том числе продуктивных). Число листьев выявлялось по числу узлов стебля главного побега растений. Морфогенетический индекс продуктивности (МИП) для каждого из её элементов рассчитывали по формуле: $МИП = (n_1 \times k_1 + n_2 \times k_2 + \dots + n_6 \times k_6) / n_1 + n_2 + \dots + n_6$, где n – число растений соответствующего класса вариационного ряда, k – класс вариационного ряда [6]. Статистическую обработку результатов исследований проводили с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2007.

Результаты и их обсуждение

При кущении озимой ржи образуется различное число боковых побегов. Из узла кущения главного побега развиваются боковые побеги до 5-го порядка, но самые продуктивные – главный побег и побеги 2-го порядка [7]. Среди исследуемых нами сортов ржи среднее число боковых побегов составляло от 1,63 (Елисеевская) до 4,07 (Роксана) шт. Некоторые растения имели до 8–10 шт. боковых побегов. У большинства сортов инорайонной селекции отмечено большее число боковых побегов. Среди сортов саратовской селекции таким свойством отличался только стародавний сорт Волжанка (3,47 шт.). Однако число продуктивных боковых побегов было, как правило, меньше, достигая в среднем на одно растение от 0,27 (Памяти Бамбышева) до 2,5 (Волжанка) шт. Больше число продуктивных боковых побегов наблюдалось у инорайонных сортов, особенно Роксана и Таловская 41 – 2,07 шт. (рис. 1).

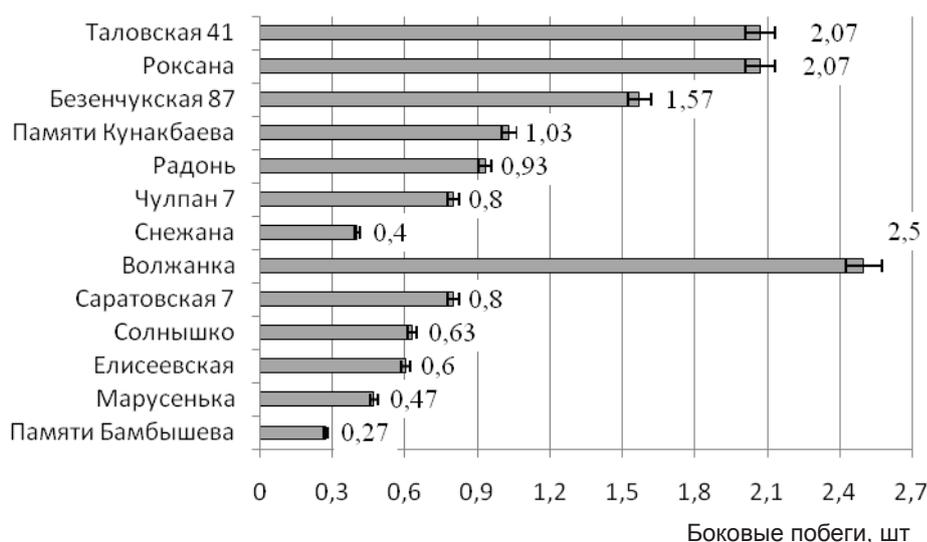


Рис. 1. Развитие боковых продуктивных побегов озимой ржи разных сортов

Развитие листьев является основным показателем, характеризующим состояние посевов с точки зрения их фотосинтетической деятельности и получения высокого урожая [7]. Как показали наши исследования, число листьев на одном растении в агропопуляциях озимой ржи разных сортов варьирует от 6 до 9 шт. Некоторым сортам свойственна большая доля растений с 7 листьями: Марусенька, Саратовская 7, Волжанка, Солнышко, Радонь. Среди сортов инорайонной селекции выявлена значительная доля растений с 8 листьями – Чулпан 7, Таловская 41, Памяти Кунакбаева или примерно равное число

растений с 7 и 8 листьями – Безенчукская 87, Снежана, Роксана (табл. 1).

Длина стебля среди исследуемых сортов достигала от 1249 (Солнышко) до 1660 (Елисеевская) мм. Меньшей длиной стебля отличались среди саратовских сортов также Марусенька (1310 мм) и Саратовская 7 (1369 мм), среди инорайонных сортов – Снежана (1304 мм), Таловская 41 (1331 мм) и Роксана (1345 мм). По результатам исследования выявлено, что сортам саратовской селекции, за исключением Солнышко, свойственна большая длина 2 верхних междоузлий – от 795 (Саратовская 7) до 983 (Волжанка) мм.



Таблица 1

Доля растений с разным числом листьев главного побега в агропопуляциях сортов озимой ржи, %

Сорт	Количество листьев побега			
	6	7	8	9
Марусенька	3,3	86,7	10,0	0,0
Памяти Бамбышева	3,3	53,3	33,4	10,0
Солнышко	10,0	53,3	36,7	0,0
Елисеевская	3,3	53,3	43,4	0,0
Саратовская 7	3,3	70,0	26,7	0,0
Волжанка	3,3	60,0	33,4	3,3
Радонь	6,7	53,3	33,3	6,7
Безенчукская 87	6,7	50,0	43,3	0,0
Памяти Кунакбаева	3,3	36,7	50,0	10,0
Снежана	0,0	53,3	40,0	6,7
Таловская 41	6,7	36,7	53,3	3,3
Роксана	0,0	50,0	43,3	6,7
Чулпан 7	6,7	16,7	66,6	10,0

Длина других, расположенных ниже от колоса междоузлий, у инорайонных сортов была больше по сравнению с сортами саратовской селекции.

Единственным исключением из выявленной тенденции являлся стародавний сорт Волжанка 9 (рис. 2, 3).

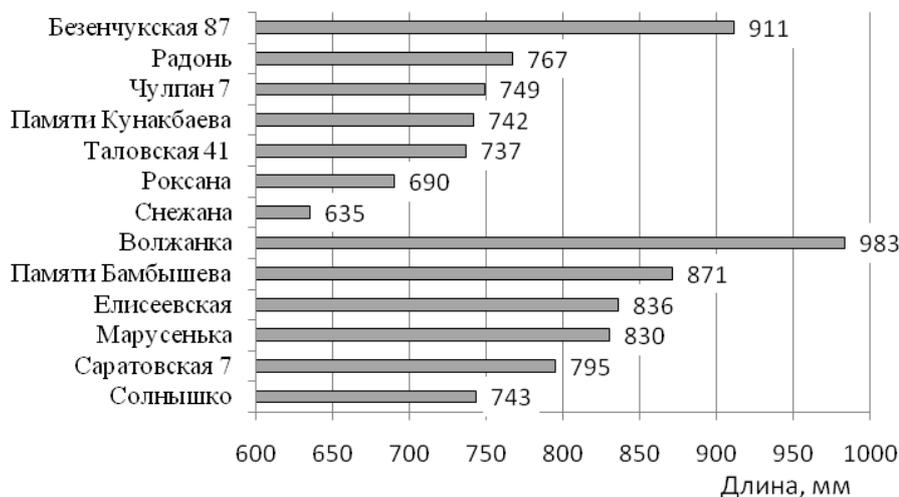


Рис. 2. Длина 2 верхних междоузлий стебля озимой ржи

Длина колоса среди исследуемых сортов составляла от 75 (Марусенька) до 139 (Волжанка) мм. Количество колосков колоса достигало от 27,7 (Марусенька) до 40,2 (Волжанка) шт. Всем сортам инорайонной селекции свойственны большие значения длины колоса и числа колосков колоса по сравнению с сортами саратовской селекции, за исключением сорта Волжанка. Установлена значительная сортоспецифичность

по числу незерненных колосков колоса: сортов саратовской селекции – от 7,6 (Волжанка) до 21,7 (Елисеевская)%; среди инорайонных сортов – от 12,7 (Таловская 41) до 23,1 (Снежана)%.

Существенные сортовые различия отмечены также по числу зерновок колоса – от 36,0 (Памяти Бамбышева) до 64,8 (Волжанка) шт. У большинства сортов саратовской селекции, за исключением сорта Волжанка, выявлено меньшее

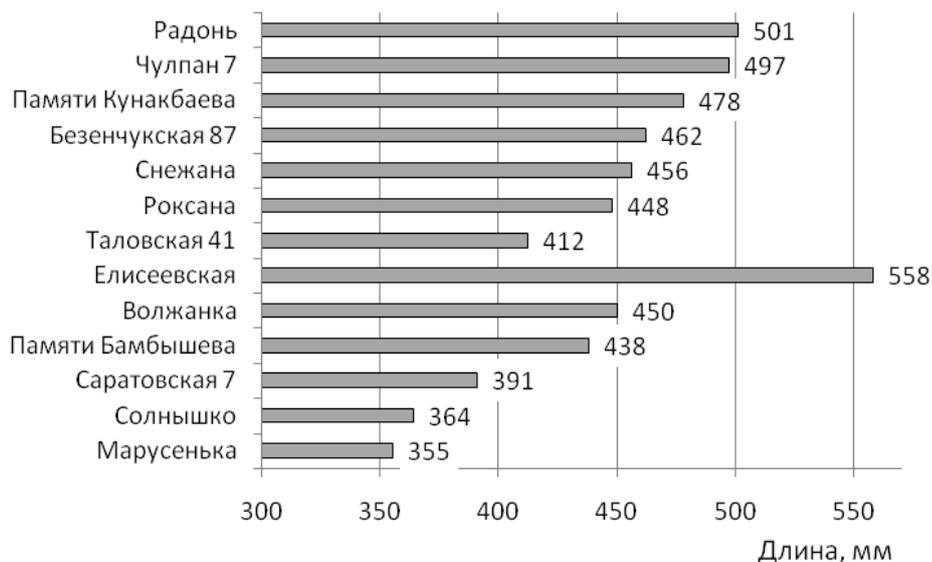


Рис. 3. Длина 3-го и 4-го сверху междоузлий стебля озимой ржи

число зерновок колоса (от 36,0 до 41,9 шт.) по сравнению с сортами инорайонной селекции – от 44,2 (Снежана) до 53,9 (Таловская 41) шт.

Морфогенетический индекс продуктивности (МИП) по элементам колоса среди исследуемых сортов составлял: по числу колосков колоса – от 2,6 (Марусенька) до 5,5 (Волжанка); числу зерновок колоса – 2,4 (Памяти Бамбышева) – 4,73 (Волжанка); по массе зерновки – от 1,8 (Снежана) до 4,73 (Волжанка). Как следует из расчётных

значений МИП, сорта саратовской селекции в целом отличаются большими величинами МИП по массе зерновки, за исключением стародавнего сорта Елисеевская. По другим элементам колоса (числу колосков и зерновок), наоборот, большие значения МИП свойственны сортам инорайонной селекции. МИП по всем 3 элементам колоса составлял от 2,51 (Елисеевская) до 4,53 (Волжанка). Для большинства инорайонных сортов отмечены более высокие значения МИП (табл. 2).

Таблица 2

Морфогенетический индекс продуктивности озимой ржи сортов саратовской и инорайонной селекции

Сорт	Морфогенетический индекс продуктивности по элементам колоса			МИП (среднее)
	Число колосков колоса	Число зерновок колоса	Масса зерновок	
Марусенька	2,6	2,77	3,73	3,03
Памяти Бамбышева	2,7	2,4	3,67	2,92
Солнышко	2,77	2,8	3,83	3,13
Елисеевская	3,07	2,5	1,97	2,51
Саратовская 7	3,07	2,93	3,7	3,23
Волжанка	5,5	4,73	3,37	4,53
Радонь	3,9	3,1	2,63	3,21
Безенчукская 87	4,03	3,17	2,87	3,36
Памяти Кунакбаева	4,4	3,33	3,17	3,63
Снежана	4,43	3,03	1,8	3,09
Таловская 41	4,63	3,87	2,57	3,69
Роксана	4,77	3,73	2,33	3,61
Чулпан 7	4,83	3,8	3,4	4,01



Таким образом, проведенные исследования позволили установить существенные различия сортов озимой ржи саратовской и инорайонной селекций по развитию отдельных морфологических признаков побега, а также морфогенетического индекса продуктивности. Выявленные различия по МИП отдельных элементов колоса позволяют рассматривать перспективность изучения следующих особенностей развития сортов озимой ржи: 1) морфология зародыша зерновки; 2) органогенез побегов кушения; 3) рост и развитие листьев и стебля побега; 4) формирование зерновки на материнском растении.

Список литературы

1. Гончаренко А. А. Производство и селекция озимой ржи в России (обзор) // *Зерновое хозяйство России*. 2010. № 4 (10). С. 26–33.
2. Бражников П. Н. Технология возделывания озимой ржи в северной таёжной зоне : метод. рекомендации. Томск : СибНИИСХиТ, 2007. 13 с.
3. Морозова З. А. Методология использования закономерностей морфогенеза колосовых злаков в селекции : науч.-метод. пособие. М. : МАКС Пресс, 2013. 366 с.
4. Степанов С. А. Метамерный принцип системы регуляции продуктивности пшеницы // *Бюл. Бот. сада Саратов. гос. ун-та*. 2015. Вып. 13. С. 213–222.
5. Кумаков В. А. Физиологическое обоснование моделей сортов пшеницы. М. : Агропромиздат, 1985. 270 с.
6. Степанов С. А., Сигнаевский В. Д., Касаткин М. Ю., Ивлева М. В. Формирование элементов продуктивности колоса яровой мягкой пшеницы // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2013. Т. 13, вып. 1. С. 65–70.
7. Зиганшин А. А., Шарифуллин Л. Р. Озимая рожь. М. : Россельхозиздат, 1981. 205 с.

Образец для цитирования:

Каргатова А. М., Степанов С. А., Ермолаева Т. Я., Нуждина Н. Н. Биологические особенности продуктивности различных селекционно-генетических форм озимой ржи // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 48–52. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-48-52.

Cite this article as:

Kargatova A. M., Stepanov S. A., Ermolaeva T. Y., Nuzhdina N. N. Biological Characteristics of Productivity of Various Breeding and Genetic Forms Winter Rye. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 48–52 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-48-52.

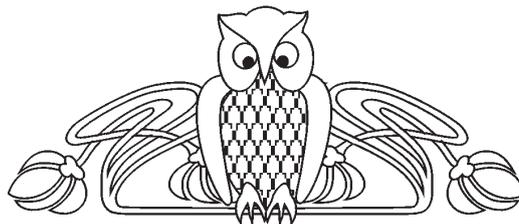


УДК 581.16 + 582.998

ЧАСТОТА АПОМИКСИСА В ПОПУЛЯЦИЯХ ВИДОВ *CHONDRILLA* L. ЮГА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

Е. В. Угольникова, А. С. Кашин, А. О. Кондратьева

УНЦ «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: cat.ugolnikova@yandex.ru, kashinas2@yandex.ru



Проведён мониторинг частоты апомиксиса в популяциях 7 видов *Chondrilla* юга европейской части России. Показано, что растения шести исследованных видов (*C. juncea*, *C. graminea*, *C. canescens*, *C. brevirostris*, *C. latifolia* и *C. acantholepis*) характеризуются способностью к семенному воспроизводству путем апомиксиса. Этот факт подтвержден результатами исследования семенной продуктивности видов рода *Chondrilla* при беспыльцевом режиме цветения и цитоэмбриологического анализа мегагаметофитов тех же растений. Обнаружено, что частота гаметофитного апомиксиса существенно варьирует по годам и на межпопуляционном уровне. Установлено, что *C. ambigua* является половым видом, так как характеризуется отсутствием мегагаметофитов с маркерными признаками апомиксиса и отсутствием семян при беспыльцевом режиме цветения.

Ключевые слова: гаметофитный апомиксис, *Chondrilla*, цитоэмбриология, семенная продуктивность, режимы цветения.

The Frequency of Apomixis in Populations of *Chondrilla* Species in the South of European Part of Russia

E. V. Ugolnikova, A. S. Kashin, A. O. Kondrateva

The monitoring of the frequency of apomixis was making in populations of 7 species of *Chondrilla* in the south of European part of Russia. It is shown that the plants of 6 examined species (*C. juncea*, *C. graminea*, *C. canescens*, *C. brevirostris*, *C. latifolia* и *C. acantholepis*) are characterized by their ability to seed reproduction by apomixis. This fact is confirmed by results of a study of seed productivity of the species of the genus *Chondrilla* at the regime of blossoming without pollen and cytoembryological analysis megagametophytes of the same plants. Found that the frequency of gametophytic apomixis differs considerable intrapopulation and interpopulation variability. *C. ambigua* is a sexual species because it lack megagametophytes with features of apomixis and the lack of seeds of blossoming without pollen regime.

Key words: gametophyte apomixis, *Chondrilla*, cytoembryology, seed productivity, regime of flowering.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-53-61

Введение

Известно, что гаметофитный апомиксис широко распространен у представителей рода *Chondrilla* (Asteraceae) [1–4], но сведения об этом явлении до настоящего времени остаются весьма неполными и фрагментарными [5]. Чаще всего

считают, что диплоидные виды рода являются половыми, а три- и тетраплоидные – апомиктичными [1–3], хотя некоторые исследователи полагают, что все без исключения виды рода являются апомиктичными [6–8]. В последние годы наметился некоторый прогресс в этом направлении исследований. По результатам сравнительного изучения цитоэмбриологических признаков апомиксиса и степени дефектности пыльцы как косвенного признака, указывающего на высокую вероятность апомиксиса у той или иной таксономической формы [9, 10], а также семенной продуктивности при различных режимах цветения, нами было показано, что среди видов рода *Chondrilla*, произрастающих в европейской части России, *C. ambigua* относится к числу половых, а остальные – к факультативно апомиктичным [11–16]. Это однозначно указывает на то, что в пределах рода есть как факультативно апомиктичные, так и амфимиктичные виды.

Эмбриологическое исследование в совокупности с изучением характера семенной продуктивности при различных режимах цветения видов рода *Chondrilla* может дать дополнительные сведения о степени таксономического родства форм данного рода, а также обозначить причины противоречивости представлений о его таксономической структуре. Поэтому исследования системы семенного размножения видов рода *Chondrilla* представляются весьма актуальными.

В данной статье приводятся обобщённые результаты мониторинга частоты апомиксиса в популяциях 7 видов рода, произрастающих на юге европейской части России.

Материалы и методика

Цитоэмбриологический анализ структуры семязачатков растений видов рода *Chondrilla* проводили в 1999, 2003–2006, 2013–2015 гг., а исследование семенной продуктивности популяций видов данного рода – в 1999–2007 и 2015 гг. Изучены популяции растений *C. juncea*, *C. graminea*, *C. juncea* / *graminea*, *C. canescens*,



C. ambigua, *C. brevirostris*, *C. latifolia*, *C. acantholepis*, произрастающих в Саратовской (Аткарский, Базарно-Карабулакский, Балаковский, Калининский, Красноармейский, Краснокутский, Марковский, Озинский, Саратовский и Хвалынский районы), Астраханской (Ахтубинский, Красноярский и Харабалинский районы), Волгоградской (Калачевский и Камышинский районы), Ростовской (Тацинский район) областях, Республике Калмыкии (Яшкульский район), Республике Крым (Судакский район, окр-ти г. Феодосии), Краснодарском крае (Ейский район).

Соцветия для цитозембриологического анализа за 1–3 суток до раскрытия бутона краевых цветков фиксировали в фиксаторе Кларка (96%-ный этиловый спирт – 3 части; ледяная уксусная кислота – 1 часть) и сохраняли до периода изучения. Препараты зародышевых мешков готовили по ускоренной методике П. Г. Куприянова с использованием мацерующего агента (цитазы) и микропрепаровальных игл [10]. Материал предварительно окрашивали 2%-ным ацетокармином. Приготовление препаратов осуществляли под стереомикроскопом Stemi-2000 (Karl Zeiss). Структуру зародышевых мешков изучали под микроскопом AxioLab (Karl Zeiss).

Частоту гаметофитного апомиксиса определяли по частоте встречаемости зародышевых мешков с признаками развития зародыша и (или) эндосперма без оплодотворения. В среднем по каждой популяции исследовано по 150 зародышевых мешков.

Семенную продуктивность в популяциях видов рода *Chondrilla* определяли при двух режимах цветения: свободном опылении и беспыльцевом режиме цветения. Кастрацию (удаление пыльников) цветков осуществляли до начала цветения путём срезания верхней части соцветия на уровне перехода завязи в венчик цветка. Изоляцию цветков осуществляли посредством помещения соцветия перед цветением под пергаментные изоляторы, где они находились до полного созревания семян (3–4 недели). При подсчете семена разделяли на два морфологических класса по степени выполненности (выполненные и щуплые). Процент завязываемости семян в соцветии определяли относительно общего числа цветков в нем. При определении каждого из параметров в популяции в среднем исследовали 30 растений, отобранных случайным образом. При этом семенную продуктивность при двух режимах цветения определяли у одних и тех же особей.

В табл. 1, 2 приводятся условные номера популяций по полевому журналу.

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 приведены результаты исследования семенной продуктивности видов рода *Chondrilla* при свободном опылении и беспыльцевом режиме цветения.

В популяциях *C. juncea* семенная продуктивность в условиях свободного цветения варьировала в диапазоне 0–89%, чаще всего имея значение более 50%. Популяции вида характеризовались сильно выраженной факультативностью апомиксиса, относительно неустойчивой системой семенного размножения до полного подавления проявления воспроизводства семян путём апомиксиса в отдельные годы. Частота завязываемости семян при беспыльцевом режиме цветения при этом в различные годы в этих популяциях существенно варьировала в диапазоне от 0 до 52% (см. табл. 1). При этом обращает на себя внимание тот факт, что независимо от условий обитания и довольно значительного пространственного удаления популяций *C. juncea* в один год наблюдения частота апомиксиса была довольно близкой, хотя по разным годам наблюдения существенно различалась.

Семенная продуктивность при цветении в условиях свободного опыления в популяции *C. graminea* варьировала в диапазоне 4–70%. Частота завязываемости семян при беспыльцевом режиме цветения составила 0–31%.

Во всех исследованных местообитаниях растения *C. juncea* и *C. graminea* произрастали в симпатрических популяциях. При этом по таксономически значимым морфологическим признакам они образовывали непрерывный спектр переходов от одной крайней формы к другой, так что выделять «чистые» морфы растений того или другого вида с неперекрывающимися признаками было весьма проблематичным. По этой причине по целому ряду лет наблюдений исследовали случайную выборку растений из таких симпатрических популяций, не подразделяя их по видовым признакам (см. табл. 1, *C. juncea* / *C. graminea*). Речь идёт о популяциях: из Краснокутского района по 2004, 2005, 2014 и 2015 гг. наблюдения, из Аткарского района по 2014 и 2015 гг. наблюдения, из Базарно-Карабулакского района по 2004, 2005, 2013 и 2014 гг. наблюдения, из Хвалынского района по 2014 г. наблюдения, из Озинского района по 2005 и 2006 гг. наблюдения, а также из Калининского, Красноармейского, Саратовского, Марковского и Балаковского районов по 2015 г. наблюдения.

Мониторинг семенной продуктивности растений симпатрических популяций *C. juncea*



Таблица 1

Семенная продуктивность растений в популяциях видов *Chondrilla*

Вид, № популяции и место обитания	Год исследования	Семенная продуктивность при цветении, %	
		свободном	беспыльцевом режиме
1	2	3	4
<i>juncea</i> 67 (КрК)	1999	85.3± 4.1	0.00
	2000	39.7±0.8	52.3±1.3
	2001	64.3 ± 6.3	30.7±1.5
	2002	34.4±4.0	0.00
	2003	64.5±7.7	38.7±1.9
	2004	87.5±12.5	0.00
	2005	62.7±10.3	0.00
<i>juncea</i> 85 (Сар)	1999	88.2±1.9	0.00
	2003	13.3±0.5	0.00
<i>juncea</i> 94 (БКар)	1999	89.1±2.1	–
	2000	57.1±7.6	42.5±1.0
	2001	58.2±9.9	27.7±7.0
	2002	77.4±6.1	18.4±0.7
	2003	55.7±7.3	14.2±0.6
	2004	84.0±4.6	0.00
	2005	54.0±8.4	0.00
	2006	66.2±2.0	7.5±0.8
<i>juncea</i> 115 (ХвЛ)	2005	53.1±4.1	32.4±0.6
	2006	42.9±7.7	16.8±0.8
<i>juncea</i> 1044 (БКар)	2015	70.85±6.37	5.66±2.27
<i>juncea</i> 1041 (ХвЛ)	2015	0.00	6.76±3.59
<i>juncea</i> 1026 (КМш)	2015	29.73±7.54	3.80±2.64
<i>juncea/graminea</i> 402 (БЛх)	2006	92.6±3.1	0.00
<i>juncea/graminea</i> 1038 (МР)	2015	64.90±7.71	8.48±3.36
<i>juncea/graminea</i> 1034 (Атк)	2015	78.11±5.23	10.61±3.00
<i>juncea/graminea</i> 1037 (Сар)	2015	78.99±6.00	1.80±1.02
<i>juncea/graminea</i> 1035 (Клн)	2015	67.58±6.32	8.76±2.91
<i>juncea/graminea</i> 1027 (КрК)	2015	29.84±7.46	3.30±2.51
<i>graminea</i> 85 ^a (Сар)	1999	29.4±7.1	0.00
	2003	27.9±0.7	0.00
<i>graminea</i> 113 (ХвЛ)	2005	70.1±8.5	17.3±0.7
	2006	49.6±7.4	11.4±0.9
<i>graminea</i> 1045 (БКар)	2015	49.15±7.45	14.42±4.84
<i>graminea</i> 1042 (ХвЛ)	2015	3.73±2.87	6.21±3.66
<i>graminea</i> 67 ^a (КрК)	2006	57.8±12.5	30.7±1.51
<i>canescens</i> 293 (ХвЛ)	2005	25.9±6.2	27.6±0.9
	2006	65.6±8.3	10.6±0.7
	2015	17.48±5.67	4.95±2.80
<i>brevirostris</i> 298 (БЛх)	2005	81.6±6.3	5.0±0.4
	2006	87.3±6.3	59.5±5.8
	2015	52.83±6.46	11.87±3.60



Окончание табл. 1

1	2	3	4
<i>latifolia</i> 300 (ВЛГ)	2005	84.6±5.7	19.5±0.8
	2006	97.2±1.9	76.2±4.3
<i>latifolia</i> 1033 (КМш)	2015	57.91±6.66	4.71±2.46
<i>ambigua</i> 306 (ДСН)	2006	40.1±11	0.00
<i>ambigua</i> 1030 (ДСН)	2015	25.33±5.75	0.00
<i>ambigua</i> 403 (БЛх)	2006	29.1±0.6	0.00
<i>ambigua</i> 1031 (ХЛГ)	2015	33.33±6.17	0.00

Примечание. По незаполненным ячейкам данных нет.

Таблица 2

Состояние мегagamетофита у растений видов *Chondrilla* на момент исследования

Вид, условный № популяции и место обитания	Год исследования	Зародышевые мешки, %				
		дегенерирующие	из них с развитием			
			всего	в том числе		
				проэбрио	эндосперм	обе структуры.
1	2	3	4	5	6	7
<i>juncea</i> 85 (Сар)	1999	23.88±6.15	19.52±0.53	17.78	0.00	1.74
	2003	32.53±0.75	23.71±0.41	15.47	5.57	2.67
	2004	24.44±0.87	51.78±1.20	31.11	11.33	9.30
	2005	4.63±0.26	8.22±0.26	8.22	0.00	0.00
	2006	2.43±0.14	31.26±0.71	7.85	0.00	23.41
<i>juncea</i> 67 (КрК)	1999	44.52±7.81	19.81±0.52	14.65	0.00	0.00
	2006	35.13±0.79	5.82±0.24	4.37	0.00	1.45
<i>juncea</i> 113 (ХвЛ)	2005	9.55±0.37	1.74±0.12	1.74	0.00	0.00
	2006	6.46±0.29	6.88±0.20	3.32	3.56	0.00
	2013	0.00	3.75±0.25	0.00	2.50	1.25
<i>juncea</i> 1041 (ХвЛ)	2015	0.66±0.01	37.33±0.12	1.33	26.00	10.00
<i>juncea</i> 1044 (БКар)	2015	6.67±1.77	23.33±0.21	12.67	9.33	1.33
<i>juncea</i> 1022 (ФД)	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>juncea</i> 1026 (ВЛГ)	2015	0.00	58.66±1.13	5.33	7.33	46.00
<i>juncea</i> 1019 (Ейск)	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>graminea</i> 67 ^a (КрК)	1999	77.21±7.57	0.00	0.00	0.00	0.00
	2006	17.70±0.58	16.81±0.49	7.10	1.01	8.70
<i>graminea</i> 85 ^a (Сар)	2003	38.31±8.34	12.40±0.67	10.32	2.08	0.00
	2004	85.97±4.05	1.39±0.14	1.39	0.00	0.00
	2005	20.00±1.33	21.67±1.01	10.00	11.67	0.00
	2006	12.40±0.44	19.26±0.40	14.07	0.00	5.19
<i>graminea</i> 115 (ХвЛ)	2005	9.16±3.60	26.19±4.84	4.76	7.14	14.29
	2006	2.72±0.16	5.07±0.36	1.45	3.62	0.00
	2013	0.00	7.91±0.42	4.49	3.42	0.00
<i>graminea</i> 1042 (ХвЛ)	2015	0.00	22.66±0.11	3.33	17.33	2.00
<i>graminea</i> 1045 (БКар)	2015	0.00	41.66±2.45	0.00	23.33	18.33



Продолжение табл. 2

1	2	3	4	5	6	7
<i>juncea / graminea</i> 67 (КрК)	2004	17.42±0.79	27.08±0.80	24.44	1.32	1.32
	2005	14.00±0.34	26.66±0.45	10.52	1.25	14.89
	2014	0.00	36.13±0.81	10.00	3.33	22.80
	2015	10.00±1.42	5.33±0.90	0.00	0.00	5.33
<i>juncea / graminea</i> (АтК)	2014	3.21±0.14	12.85±0.37	5.35	0.37	3.92
	2015	0.00	11.25±0.05	10.00	0.00	1.25
<i>juncea / graminea</i> 94 (БКар)	2004	24.83±0.63	14.90±0.30	5.01	5.60	4.29
	2005	13.24±0.81	0.00	0.00	0.00	0.00
	2013	0.00	29.01±3.90	4.55	14.55	10.0
	2014	0.00	22.69±0.66	8.46	0.00	14.23
<i>juncea / graminea</i> (Хвл)	2014	13.52±3.52	5.28±0.80	0.00	1.17	4.11
<i>juncea / graminea</i> 270 (Оз.)	2005	17.05±0.65	19.80±0.50	12.98	0.00	6.82
	2006	0.00	12.82±0.59	12.82	0.00	0.00
<i>juncea / graminea</i> 1035 (Клн)	2015	0.00	4.00±0.38	2.00	2.00	0.00
<i>juncea / graminea</i> 1036 (КрА)	2015	10.00±2.47	15.33±0.93	3.33	1.33	10.67
<i>juncea / graminea</i> 1037 (Срт)	2015	0.00	1.00±0.02	1.00	0.00	0.00
<i>juncea / graminea</i> 1038 (МР)	2015	0.00	16.00±0.85	2.67	0.00	13.33
<i>juncea / graminea</i> 1039 (БЛк)	2015	14.07±2.79	46.66±1.63	9.63	4.44	32.59
<i>canescens</i> 293 (Хвл)	2005	0	44.45±6.19	27.40	0.00	17.05
	2006	3.01±0.14	54.04±6.24	33.15	0.00	20.89
	2013	0.00	7.50±0.50	0.50	4.00	3.00
	2015	1.66±1.66	60.83±2.50	8.33	0.00	52.5
<i>canescens</i> 1028 (КрК)	2015	0.00	21.76±1.07	16.50	5.26	0.00
<i>ambigua</i> 305 (ХРБ)	2005	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>ambigua</i> 306 (ХРБ)	2005	11.00±0.51	0.00	0.00	0.00	0.00
	2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>ambigua</i> 403 (БЛх)	2006	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>ambigua</i> 306 (ДСН)	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>ambigua</i> 1031 (ХЛТ)	2015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>brevirostris</i> 298 (БЛх)	2005	29.54±0.81	1.07±0.07	1.07	0.00	0.00
	2006	24.59±0.62	30.81±0.58	23.45	0.00	7.36
	2013	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2014	0.00	24.70±4.10	7.24	7.24	10.22
<i>brevirostris</i> 1046 (ХРБ)	2015	3.33±1.05	57.34±2.00	16.67	6.67	34.00
<i>latifolia</i> 300 (КМш)	2005	5.19±0.38	17.26±0.48	17.26	0.00	0.00
	2006	11.59±0.65	19.54±0.38	6.96	4.97	7.61
	2013	0.00	30.00±5.09	6.00	24.00	0.00
	2014	1.60±0.94	47.60±7.32	4.40	13.20	30.00
	2015	0.00	34.00±2.15	0.00	24.00	10.00



1	2	3	4	5	6	7
<i>latifolia</i> 1032 (КнД)	2015	1.18±0.07	61.77±2.01	9.41	28.24	24.12
<i>latifolia</i> 1024 (РСТ)	2015	2.67±1.02	51.67±3.02	12.33	10.67	28.67
<i>acantolepis</i> 1020 (Ейск)	2015	5.00±2.01	11.35±1.02	6.53	2.04	2.78
<i>acantolepis</i> 1021 (СДк)	2015	12.30±2.80	23.62±2.50	13.02	0.00	10.60
<i>acantolepis</i> 1023 (ФД)	2015	0.00	3.33±0.25	3.33	0.00	0.00
<i>acantolepis</i> 1025 (КнД)	2015	0.00	53.34±1.29	0.00	7.78	45.56

Примечание. Сар – Саратовская обл., Саратовский р-н; Оз – Саратовская обл., Озинский р-н, окр. п. Озинки; ХРБ – Астраханская обл., Харабалинский р-н, Кордон «Харабалинский»; СДк – Республика Крым, Судакский р-н, окр. с. Веселое; ФД – Республика Крым, окр. г. Феодосия, пляж на выезде со стороны г. Керчь; КрК – Саратовская обл., Краснокутский р-н, окр. с. Дьяковка; Атк – Саратовская обл., Аткарский р-н, окр. с. Приречное; БКар – Саратовская обл., Б.-Карабулакский р-н, окр. с. Алексеевка; КМш – Волгоградская обл., окр. г. Камышин; КнД – Волгоградская обл., окр. с. Калач-на-Дону; БЛх – Астраханская обл., Ахтубинский р-н, окр. с. Болхуны; ДСН – Астраханская обл., Красноярский р-н, окр. с. Досанг; ХвЛ – Саратовская обл., окр. г. Хвалынский; Кли – Саратовская обл., Калининский р-н, окр. г. Калининск; КрА – Саратовская обл., Красноармейский р-н, окр. с. Садовое; Срт – Саратовская обл., Саратовский р-н, окр. с. Поповка; МР – Саратовская обл., Марковский р-н, окр. с. Волково; БЛк – Саратовская обл., Балаковский р-н, окр. с. Кормежки; Ейск – Краснодарский край, Ейский р-н, окр. с. Должанское; ХЛг – Респ. Калмыкия, Яшкульский р-н, окр. с. Хултута; РСТ – Ростовская обл., Тагинский р-н, окр. х. Верхнекольцов

и *C. graminea* выявил, что частота завязываемости семян при беспыльцевом режиме цветения существенно ниже, чем в «чистых» популяциях данных видов, и не превышает 11%, тогда как при свободном цветении отмечалась достаточно высокая семенная продуктивность, в основном более 65%.

Семенная продуктивность при цветении в условиях свободного опыления в популяции *C. canescens* варьировала в диапазоне 17.5–66%, а частота завязываемости семян при беспыльцевом режиме цветения – в диапазоне 5–28%. Данное обстоятельство также указывает на факультативность апомиктического способа воспроизводства у исследованного вида.

Семенная продуктивность при цветении в условиях свободного опыления в популяциях *C. latifolia* и *C. breviostris* отмечена стабильно высокой (58–97.2 и 53–87.3% соответственно). При этом частота завязываемости семян при беспыльцевом режиме цветения у обоих видов варьировала в широком диапазоне (5–76% и 5–60% соответственно) на внутри- и межпопуляционном уровнях. Таким образом, *C. breviostris* и *C. latifolia* также являются факультативно апомиктическими видами.

Популяции *C. ambigua* характеризовались относительно низкой семенной продуктивностью при цветении в условиях свободного опыления (25–40%). При этом при беспыльцевом режиме цветения растения в популяциях данного вида семена не завязывались. Этот факт позволяет

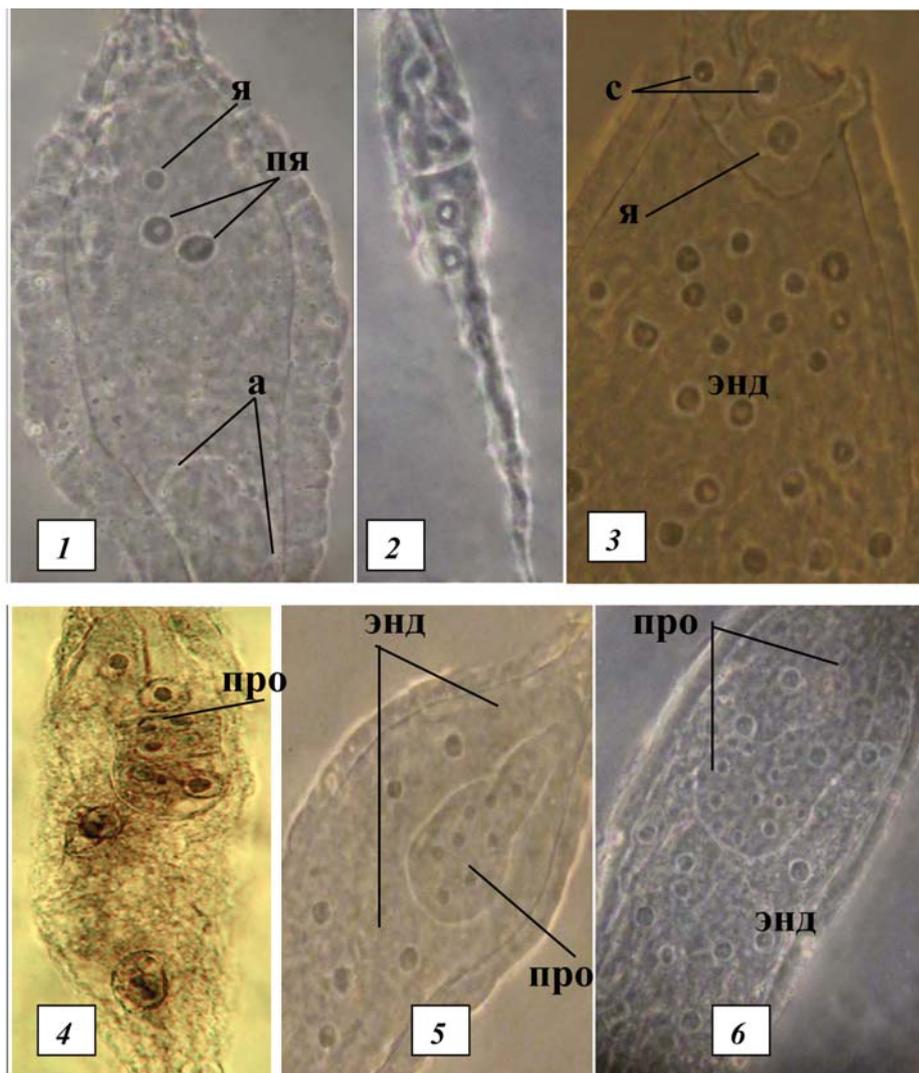
предположить, что данный вид является облигатно амфимиктичным.

Итоги мониторинга семенной продуктивности популяций *Chondrilla* подкрепляются данными, полученными в ходе цитозембриологического анализа тех же растений (см. табл. 2).

Были выделены следующие типы структуры зародышевых мешков: нормальный зародышевый мешок Polygonum-типа (рисунок, 1); зародышевый мешок с партеногенетическим развитием яйцеклетки (см. рисунок, 4); зародышевый мешок с автономным развитием эндосперма (см. рисунок, 3); зародышевый мешок с одновременным развитием яйцеклетки и эндосперма без оплодотворения (см. рисунок 5, б); дегенерирующий зародышевый мешок (см. рисунок, 2). К маркерным признакам гаметофитного апомиксиса были отнесены следующие: зародышевый мешок с партеногенетическим развитием яйцеклетки; зародышевый мешок с автономным развитием эндосперма; зародышевый мешок с одновременным развитием яйцеклетки и эндосперма без оплодотворения.

В целом частота встречаемости цитозембриологических признаков апомиксиса в популяциях видов рода *Chondrilla* была достаточно высокой и варьировала в диапазоне 0–62%.

В исследованных «чистых» популяциях *C. juncea* и *C. gramineae*, как и в симпатрической популяции этих видов, принципиальных отличий в частоте обнаружения признаков гаметофитного апомиксиса не наблюдалось, хотя популяции



Состояние мегагаметофитов *Chondrilla* на момент исследования: 1 – дифференцированный нормального строения у *C. acantholepis*; 2 – дегенерирующий у *C. acantholepis*; 3 – с клеточным эндоспермом у *C. graminea*; 4 – с преждевременной эмбрионией у *C. latifolia*; 5 – с проэмбрио и ядерным эндоспермом у *C. juncea*; 6 – с преждевременной эмбрионией и клеточным эндоспермом у *C. latifolia*. С – синергиды; Я – яйцеклетка; ПЯ – полярные ядра; А – антиподы; ПРО – проэмбрио; ЭНД – эндосперм

C. graminea имели гораздо более узкий диапазон варьирования параметра (0–42%), чем популяции *C. juncea* (0–59%) (см. табл. 2). При этом в большинстве популяций на момент исследования чаще всего наблюдалась преждевременная эмбриония без индукции к развитию центральной клетки зародышевого мешка. Доля зародышевых мешков с развитием центральной клетки или зародышевых мешков с развитием обоих элементов (яйцеклетки и центральной клетки) одновременно (см. рисунок, 3, 5) была чаще всего значительно ниже. Таким образом, результаты цитоэмбриологического контроля популяций видов *C. juncea* и *C. graminea* подтверждают вывод о способности растений обоих видов к

факультативному апомиксису, полученный при исследовании семенной продуктивности.

Итоги цитоэмбриологического анализа *C. canescens* также подтверждают данные семенной продуктивности о факультативности апомиктического способа воспроизводства семян у данного вида. В популяции *C. canescens* частота встречаемости зародышевых мешков с признаками апомиктического развития варьировала в диапазоне 7.5–61%. При этом по трем из четырех лет наблюдения в ней превалировала преждевременная эмбриония, а также одновременное развитие яйцеклетки и эндосперма без оплодотворения.

В популяции *C. latifolia* частота обнаружения признаков гаметофитного апомиксиса была



относительно высокой и по годам наблюдения варьировала в диапазоне 17–48%. При этом по трём из пяти лет наблюдения в популяции на момент исследования преобладали мегагаметофиты с развитием эндосперма без оплодотворения или проэмбрио и эндосперма одновременно. В популяциях из Ростовской и Волгоградской областей, исследованных в 2015 г., отмечен высокий процент встречаемости признаков апомиксиса (51.7 и 61.8% соответственно), среди которых наблюдали как преждевременную эмбрионию, эндоспермогенез, так и одновременное развитие обеих структур (см. рисунок, 4, 5). Итоги цитоэмбриологического контроля популяций *C. latifolia* подтверждают выводы, сделанные при изучении семенной продуктивности, о способности растений данного вида к факультативному апомиксису.

В популяции *C. brevirostris*, исследованной в Астраханской области в 2005–2006, 2013–2014 гг., доля зародышевых мешков с признаками гаметофитного апомиксиса варьировала в диапазоне 0–31%. В популяции, изученной в 2015 г., частота встречаемости признаков апомиксиса была почти в два раза выше (57.3%) и более половины из них приходилось на одновременное развитие яйцеклетки и эндосперма без оплодотворения.

В 2015 г. были исследованы растения четырех популяций *C. acantholepis*, произрастающие в Краснодарском крае, Республике Крым и Волгоградской области. В этих популяциях отмечена существенная межпопуляционная изменчивость частоты встречаемости признаков гаметофитного апомиксиса (3–53%), среди которых в основном превалировала преждевременная эмбриония, а также одновременное развитие яйцеклетки и центральной клетки без оплодотворения.

Для двух последних видов также справедлив вывод о факультативности апомиксиса способа репродукции, сформированный при изучении семенной продуктивности этих видов.

Во всех исследованных популяциях *C. ambigua* все мегагаметофиты имели нормальное строение без признаков апомиксиса, т.е. при контроле по цитоэмбриологическим признакам апомиксиса популяция вела себя как половая. Это подтверждает результаты, полученные при исследовании семенной продуктивности данного вида, о том, что данный вид размножается только амфимиксическим путем.

При анализе структуры большого числа семязачатков ни в одной из популяций исследованных видов *Chondrilla* у растений не обнару-

жено признаков формирования апоспорических инициальных клеток или их производных. Это указывает на то, что видам рода свойственна дипло-, а не апоспория, что соответствует и литературным данным [3, 4].

Заключение

У растений из популяций *C. juncea*, *C. graminea*, *C. canescens*, *C. brevirostris*, *C. latifolia* и *C. acantholepis* при изучении структуры мегагаметофитов обнаружены цитоэмбриологические маркерные признаки гаметофитного апомиксиса: чаще всего – преждевременная эмбриония, реже – автономный эндоспермогенез или развитие яйцеклетки и центральной клетки в одном мегагаметофите без оплодотворения. Способность растений этих видов к воспроизводству семян путём апомиксиса подтверждена результатами исследования семенной продуктивности данных видов при беспыльцевом режиме цветения.

Во всех исследованных популяциях *C. ambigua* все мегагаметофиты имели нормальное строение без признаков апомиксиса. При этом семена у растений данного вида при беспыльцевом режиме цветения не завязывались. По итогам нашей работы мы сделали вывод, что *C. ambigua* является облигатным амфимиксом.

Частота обнаружения цитоэмбриологических признаков апомиксиса и завязываемости семян путём апомиксиса у видов рода *Chondrilla* отличается существенной внутри- и межпопуляционной изменчивостью.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 15-04-04087).

Список литературы

1. Bergman B. *Chondrilla chondrilloides*, a new sexual *Chondrilla* species // Hereditas. 1952. Vol. 38, № 3. P. 367–369.
2. Поддубная-Арнольди В. А. Цитоэмбриология покрытосеменных растений. М. : Наука, 1976. 508 с.
3. Dijk van P. J. Ecological and evolutionary opportunities of apomixis: insights from *Taraxacum* and *Chondrilla* // Phil. R. Soc. Lond. B. 2003. Vol. 358. P. 1113–1121.
4. Noyes R. D. Apomixis in the Asteraceae : Diamonds in the Rough // Functional Plant Science and Biotechnology. 2007. Vol. 1(2). P. 207–222.
5. Сравнительная эмбриология цветковых растений. Davidiaceae – Asteraceae. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. 392 с.



6. Ильин М. М. *Chondrilla* L. // Бюл. отдела каучуконосных. 1930. № 3. С. 1–61.
7. Леонова Т. Г. Род. Хондрилла – *Chondrilla* L. // Флора СССР. М. ; Л. : Наука, 1964. С. 560–586.
8. Леонова Т. Г. Хондрилла – *Chondrilla* L. // Флора Европейской части СССР. Т. 8. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. С. 57–61.
9. Хохлов С. С., Зайцева М. И., Куприянов П. Г. Выявление апомиктичных растений во флоре цветковых растений СССР. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1978. 224 с.
10. Куприянов П. Г. Диагностика систем семенного размножения в популяциях цветковых растений. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1989. 160 с.
11. Кашин А. С., Добрыничева Н. В., Кочанова И. С., Демочко Ю. А. Особенности семенного размножения в популяциях *Chondrilla juncea* и *Chondrilla graminea* (Asteraceae) // Бот. журн. 2006. Т. 91, № 95. С. 729–744.
12. Кашин А. С., Попова А. О., Кочанова И. С., Угольникова Е. В., Полякова Ю. А. Некоторые параметры системы семенного размножения в популяциях видов *Chondrilla* (Asteraceae) Нижнего Поволжья // Бот. журн. 2015. Т. 100, № 8. С. 828–840.
13. Добрыничева Н. В., Кочанова И. С., Кашин А. С. Сравнительное изучение некоторых параметров системы семенного размножения в популяциях рода *Chondrilla* L. // Бюл. Бот. сада Саратов. гос. ун-та. 2006. Вып. 5. С. 307–312.
14. Полякова Ю. А., Угольникова Е. В., Кашин А. С., Попова А. О. Качество пыльцы и цитозембриологические признаки гаметофитного апомиксиса в популяциях видов *Chondrilla* L. Нижнего Поволжья // Бюл. Бот. сада Саратов. гос. ун-та. 2015. Вып. 13. С. 161–170.
15. Угольникова Е. В., Кашин А. С., Попова А. О. Цитозембриологическое исследование частоты апомиксиса у видов рода *Chondrilla* европейской части России // Бюл. Бот. сада Саратов. гос. ун-та. 2016. Т. 14, вып. 2. С. 96–104.
16. Кашин А. С. Геномная изменчивость, гибридогенез и возможности хромосомного видообразования при гаметофитном апомиксе // Успехи современной биологии. 2000. Т. 120, № 1. С. 502–512.

Образец для цитирования:

Угольникова Е. В., Кашин А. С., Кондратьева А. О. Частота апомиксиса в популяциях видов *Chondrilla* L. юга европейской части России // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 53–61. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-53-61.

Cite this article as:

Ugolnikova E. V., Kashin A. S., Kondrateva A. O. The Frequency of Apomixis in Populations of *Chondrilla* Species in the South of European Part of Russia. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 53–61 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-53-61.



УДК 504.75

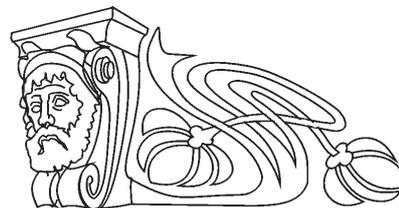
ИЗУЧЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАТЕЛЯ РОСТА ДЕТЕЙ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ МОНОФТАЛАТОВ В МОЧЕ

Н. В. Зайцева^{1,3}, Т. С. Уланова^{1,2},
Т. Д. Карнажицкая¹, Е. О. Заверненкова¹

¹Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения, Пермь
E-mail: tdkarn@fcrisk.ru

²Пермский национальный исследовательский политехнический университет

³Пермский государственный национальный исследовательский университет



Представлены результаты исследований по определению метаболитов фталатов в моче детей дошкольного и младшего школьного возрастов методом ВЭЖХ/МС, изучена зависимость показателя роста детей от концентрации метаболитов фталатов в моче. Обнаружено присутствие метаболитов фталатов (монометилфталата, монобутилфталата, моноэтилгексилфталата) в моче детей в диапазоне концентраций 0,0004–0,012 мг/дм³. Анализ зависимостей «концентрация метаболитов фталатов в моче – показатель роста» выявил статистически значимую обратно пропорциональную зависимость показателя роста мальчиков 7 лет от концентрации монометилфталата в моче ($R^2=0,38$; $p<0,05$).

Ключевые слова: фталаты, монофталаты, высокоэффективная жидкостная хроматография/масс-спектрометрия, показатель роста.

Study of Correlation between Growth Rate of Children and Monophtalate Concentrations in Urine

N. V. Zaitseva, T. S. Ulanova,
T. D. Karnazhitskaya, E. O. Zavernenkova

The study presents the results of determining of phthalate metabolites in urine of pre-school and primary school children by HPLC/MS. The correlation between growth rate of children and the concentration of phthalate metabolites in their urine was examined. The detected range of phthalate metabolite concentrations (*mono-methyl phthalate, mono-butyl phthalate, mono-ethylhexyl phthalate*) in urine of children was 0.0004–0.012 mg/dm³. The analysis of dependencies «urinary concentrations of phthalate metabolites and children growth rate» has revealed statistically significant inversely proportional dependence of the growth rate of the 7 years old boys on the urinary concentration of mono-methyl phthalate ($R^2=0.38$; $p<0.05$).

Key words: phthalates, mono-phthalates, HPLC/MS, growth rate.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-62-66

Введение

Фталаты – сложные эфиры ортофталевой кислоты, применяются в качестве пластификаторов при производстве полимерных материалов промышленного, бытового, пищевого и медицинского назначения. Кроме пластификации полимеров фталаты используются в строительной индустрии, в изготовлении деталей для ав-

томобилей, упаковочных материалов, предметов повседневного использования, детских игрушек, в качестве репеллентов, в косметике, парфюмерии и т.д. [1]. Воздействие фталатов на человека в бытовых условиях происходит при вдыхании паров и аэрозоля, присутствующих в воздухе, с приемом пищи и питьевой воды, в меньшей степени через кожу [2, 3].

Первые данные о содержании метаболитов фталатов – монофталатов в биологических средах человека представлены в исследованиях, проведенных в США и Германии в 2000–2003 годах. Показано, что население в целом подвержено воздействию фталатов. В последние годы во многих странах мира проводится интенсивное изучение содержания монофталатов в организме человека и их влияния на биологические показатели [4–9].

При поступлении в организм фталаты распределяются по органам и тканям с преимущественным накоплением в печени. На первом этапе фталаты гидролизуются до соответствующих моноэфиров, которые циркулируют в организме более продолжительное время. Главный путь элиминации фталатов из организма – выделение с мочой в форме метаболитов. Выведение из организма происходит в короткие сроки, вместе с тем, отмечается слабо выраженный эффект накопления [10].

В условиях длительного поступления микроколичеств фталатов в организм они способны накапливаться и вызывать хронические заболевания [1]. В условиях хронического действия фталаты негативно влияют на печень, почки, проявляют репродуктивную токсичность [11, 12]. У отдельных фталатов выявлены мутагенный и эмбриотоксический эффекты [13, 14]. Фталаты относятся к эндокринным дизрапторам, нарушающим гормональный метаболизм у человека. Установлены достоверные зависимости между содержанием моноэфиров фталатов в грудном молоке, основном источнике питания для младенцев, и уровнями репродуктивных гормонов



у мальчиков в возрасте до 3 месяцев [15, 16]. Фталаты обладают антиандрогенным свойством. При изучении показателей роста в период полового созревания у мальчиков в зависимости от концентрации метаболитов фталатов в биологических средах обнаружен повышенный уровень содержания монофталатов в моче детей с низким ростом и задержкой полового развития [17].

Цель настоящих исследований – изучение потенциальной зависимости физического развития (показателя роста) детей дошкольного и младшего школьного возрастов от концентрации метаболитов фталатов в моче.

Материалы и методы исследования

Всего обследовано 87 детей, в том числе 49 мальчиков в возрасте 5–10 лет и 38 девочек в возрасте 5–11 лет, посещающих дошкольные и школьные образовательные учреждения. Обследуемые дети распределены по возрастным группам от 5 до 11 лет.

Биомедицинские исследования выполняли в соответствии с обязательным соблюдением этических принципов медико-биологических исследований, изложенных в Хельсинской декларации 1975 г. с дополнениями 1983 г. и национальным стандартом РФ ГОСТ-Р 52379-2005. От каждого законного представителя ребенка, включенного в выборку, получено письменное информированное согласие на добровольное участие в биомедицинском исследовании, выполненном специалистами ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения».

Скрининговые исследования содержания монофталатов в биологических средах детей (моча) – монометилфталата (ММФ), монобутилфталата (МБФ), моноэтилгексилфталата (МЭГФ) и монобензилфталата (МБзФ) выпол-

няли на жидкостном хроматографе Agilent 1200 (США) в сочетании с квадрупольным масс-спектрометрическим детектором LC/MS (QQQ) 6460 Agilent Technologies (США) с использованием электроспрея для ионизации. В ходе анализа свежееотобранные образцы центрифугировали, проводили реакцию деглюкуронизации для перевода монофталатов в свободное состояние, извлекали анализируемые соединения из мочи методом твердофазной экстракции и анализировали в оптимальных условиях работы жидкостного хроматографа. Степень экстракции с применением картриджей Oasis HLB составляла для ММФ 100%, МБФ – 96, МЭГФ – 100, МБзФ – 82%. Диапазон измеряемых концентраций монофталатов в моче 0,0003–0,15 мг/дм³, точность определения отдельных фталатов 25–28%.

Оценку физического развития детей по показателю роста осуществляли на основании центильных таблиц с учетом возраста и пола детей [18].

Зависимость между содержанием монофталатов в моче и ростом детей исследовали методом линейного регрессионного анализа. Качество полученных моделей оценивали с использованием коэффициента детерминации (R^2). Значимость связей оценивали по критерию Стьюдента t при $p \leq 0,05$ [19].

Результаты и их обсуждение

В табл. 1 представлены среднегрупповые значения концентраций монофталатов в моче детей ($M \pm m$). Анализ четырех метаболитов фталатов в моче детей показал присутствие трех из них. Монометилфталат в моче девочек обнаружен у 38% в диапазоне концентраций 0,0012–0,012 мг/дм³, монобутилфталат – у 15% обследованных в диапазоне концентраций 0,0013–0,0075 мг/дм³, моноэтилгексилфталат в моче обнаружен в единичном случае с концентрацией 0,00092 мг/дм³.

Таблица 1

Среднегрупповые концентрации монофталатов в моче детей, мг/дм³
(анализ методом ВЭЖХ/МС, 2015 г.)

Определяемое соединение	Концентрация монофталатов в моче, мг/дм ³	
	Девочки ($n=38$)	Мальчики ($n=49$)
	$M \pm m$	
Монометилфталат	0,0015±0,0009	0,0014±0,0007
Монобутилфталат	0,00074±0,0003	0,00106±0,0006
Монобензилфталат	0,0	0,0
Моноэтилгексилфталат	0,00002±0,00001	0,00006±0,00003
Сумма монофталатов	0,00206±0,00038	0,00252±0,00032



Сумма фталатов в моче девочек определена в 56% проб от общего количества обследованных девочек в пределах 0,0009–0,012 мг/дм³. У мальчиков монометилфталат обнаружен в 39% проб в диапазоне концентраций 0,0004–0,008 мг/дм³, монобутилфталат – у 32% обследованных в диапазоне концентраций 0,0007–0,0104 мг/дм³, моноэтилгексилфталат в моче обнаружен у 9% с концентрациями в пределах 0,0007–0,00088 мг/дм³. Сумма фталатов в моче мальчиков определена в 65% проб в пределах 0,0004–0,0109 мг/дм³. В целом в количественном и процентном отношении более высокая нагрузка установлена в биологических средах (моча) мальчиков.

В табл. 2 представлены среднегрупповые значения измерения роста детей ($M \pm m$) и

нормативные показатели роста по возрастным группам. Рост девочек в группе 6 лет составил 107–127 см, 7 лет – 117–132 см, 9 лет – 131–141 см. Во всех группах девочек отмечается превышение верхней границы физиологической нормы роста. У мальчиков рост в группе 5 лет соответствовал диапазону 103–115 см, 6 лет – 113–133 см, 7 лет – 120–136 см, 8 лет – 124–137 см, 9 лет – 128–148 см, 10 лет – 133–149 см. Во всех группах мальчиков отмечаются более высокие показатели роста по сравнению с нижней и верхней границами нормативных данных. Среднегрупповые значения показателя роста мальчиков и девочек во всех обследованных группах находятся в пределах возрастной нормы.

Таблица 2

Данные физического развития детей (показатель роста, см) ($n=87$), 2015 г.

Возрастная группа, лет	Рост, см			
	Девочки ($n=38$)		Мальчики ($n=49$)	
	Норма	$M \pm m$	Норма	$M \pm m$
5	–	–	101,7–114,5	111,0 \pm 5,75
6	108,0–120,8	118,4 \pm 5,49	108–121,4	124,0 \pm 7,71
7	113,6–123,7	122,75 \pm 4,95	113,8–127,9	127,7 \pm 3,14
8	–	–	118,8–134,3	132,7 \pm 3,26
9	124,4–140,6	136,33 \pm 2,54	124,6–140,3	137,25 \pm 5,32
10	–	–	129,2–146,2	140,4 \pm 4,88

Исследование зависимости показателя роста от содержания монофталатов в моче позволило получить статистически значимую модель зависи-

мости «концентрация монофталата в моче – рост ребенка» для мальчиков группы 7 лет при доверительной вероятности 0,95 (табл. 3, рисунок).

Таблица 3

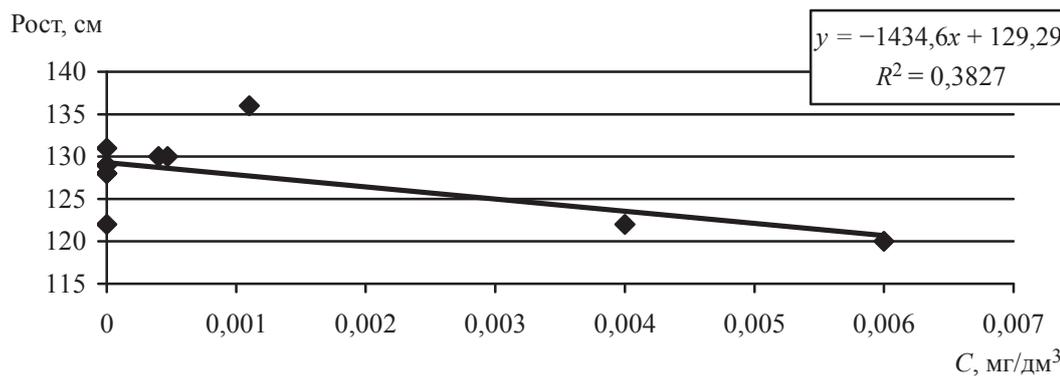
Уравнения зависимости роста детей от концентрации монофталатов в моче, 2015 г.

Зависимость	Возрастная группа, лет	$y = ax + b$	R^2	P
Мальчики				
ММФ / рост	7	$y = -1434,6x + 129,29$	0,3827	<0,05
ММФ / рост	9	$y = -2333,6x + 138,85$	0,4126	>0,05
МБФ / рост	8	$y = -1353,2x + 134,63$	0,3834	>0,05
Девочки				
ММФ / рост	7	$y = -859,81x + 124,81$	0,3583	>0,05

Зависимость отображает снижение показателя роста с повышением концентрации монометилфталата в моче мальчиков одной возрастной группы. Полученные данные для мальчиков 7 лет подтверждают проведенные ранее исследования о связи между содержанием

монофталатов в моче и конституциональной задержкой роста у мальчиков [17].

Таким образом, анализ 4 метаболитов фталатов в биопробах детей (моча) показал присутствие монометилфталата, монобутилфталата и моноэтилгексилфталата в диапазоне



Аппроксимация зависимости «концентрация монометилфталата в моче (C, мг/дм³) – показатель роста (см)» (мальчики, 7 лет)

концентраций 0,0004–0,012 мг/дм³. Измеренные параметры роста детей по среднегрупповым значениям роста мальчиков и девочек во всех обследованных группах находятся в пределах возрастной нормы. Вместе с тем исследование зависимости развития детей (показателя роста) от концентрации метаболитов фталатов в моче выявило тенденцию снижения роста детей дошкольного и младшего школьного возрастов с повышением уровня содержания монофталатов в моче.

Выводы

1. В результате скрининговых исследований монофталатов в моче детей, посещающих дошкольные и школьные образовательные учреждения, установлено присутствие монометилфталата в 38–39% проб, монобутилфталата в 15–32% проб, моноэтилгексилфталата в 4–9% проб в диапазоне концентраций 0,0004–0,012 мг/дм³, 0,0007–0,0104 мг/дм³ и 0,0007–0,0009 мг/дм³ соответственно. В сумме монофталаты в моче определены у 56% девочек и 65% мальчиков.

2. Установлена зависимость снижения роста мальчиков 7 лет с увеличением концентрации монометилфталата в моче ($R^2 = 0,38$; $p < 0,05$).

3. Полученная статистически значимая зависимость «концентрация метаболита фталата в моче – физическое развитие ребенка (показатель роста)», демонстрирующая снижение роста детей с повышением уровней содержания монофталатов в моче, может быть использована в качестве доказательства отрицательного воздействия отдельных фталатов на здоровье детского населения.

Список литературы

1. Майстренко В. Н., Клюев Н. А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М., 2004. 323 с.
2. Toxicological Profile for Di(2-ethylhexyl) Phthalate : U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. N.Y., 1993. P. 291.
3. Toxicological Profile for DiethylPhthalate : U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. N.Y., 1993. P. 125.
4. Уланова Т. С., Карнажицкая Т. Д., Заверненкова Е. О. Оценка аэрогенного воздействия фталатов на легочную функцию детей дошкольного и младшего школьного возраста // Анализ риска здоровью. 2016. Вып. 1 (13). С. 50–56.
5. Blount B. C., Silva M. J., Caudill S. P., Needham L. L., Pirkle J. L., Sampson E. J., Lucier G. W., Jackson R. J., Brock J. W. Levels of seven urinary phthalate metabolites in a human reference population // Environ. Health Persp. 2000. Vol. 108. P. 979–982.
6. Centers for Disease Control and Prevention, Department of Health And Human Services, USA. Second National Report on Human Exposure to Environmental Chemicals. National Center for Environmental Health, NCEH Pub. 2003. № 02-0716. URL: <http://www.cdc.gov/exposurereport/2nd/pdf/secondner.pdf>
7. Frederiksen H., Aksglaede L., Sorensen K., Skakkebaek N., Juul A., Andersson A. Urinary excretion of phthalate metabolites in 129 healthy Danish children and adolescents: Estimation of daily phthalate intake // J. Environ. Res. 2011. Vol. 111. P. 656–663.
8. Guo Y., Wu Q., Kannan K. Phthalate metabolites in urine from China and implications for human exposures // J. Environ. Intern. 2011. P. 893–898.
9. Koch H., Rossbach B., Dexler H., Angerer J. Internal exposure of the general population to DEHP and other phthalates – determination of secondary and primary



- phthalate monoester metabolites in urine // *Environ. Res.* 2003. Vol. 93. P. 117–185.
10. *Kluwe W.* Overview of Phthalate Ester Pharmacokinetics in Mammalian Species // *Environ. Health Persp.* 1982. Vol. 45. P. 3–10.
 11. Deutsche Forschungsgemeinschaft. Di(2-ethylhexyl) phthalat (DEHP) // H. Greim (Hrsg.): *Gesundheitsschadliche Arbeitsstoffe – Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründungen von MAK-Werten.* Ergänzungslieferung, Wiley-VCH, 2002. Vol. 35.
 12. *Tickner J., Schettler T., Guidotti T., McCally M., Rossi M.* Health risks posed by use of di-2-ethylhexyl phthalate (DEHP) in PVC medical devices: A critical review // *Amer. J. Ind. Med.* 2001. Vol. 39. P. 100–111.
 13. *Loweckamp-Swan T., Davis B.* Mechanisms of Phthalate ester toxicity in the female reproductive system // *Environ. Res.* 2003. Vol. 111. P. 139–145.
 14. *Siddiqui A., Srivastava S.* Effect of di(2-ethylhexyl) phthalate administration on rat sperm count and sperm metabolic enzymes // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 1992. Vol. 48. P. 115–119.
 15. *Main K., Mortensen G., Kaleva M., Boisen K., Damgaard I., Chellakooty M., Schmidt I., Suomi A., Virtanen H., Petersen D., Andersson A., Toppari J., Skakkebaek N.* Human breast milk contamination with phthalates and alterations of endogenous reproductive hormones in infants three months of age // *Environ. Health Perspect.* 2006. Vol. 114. P. 270–276.
 16. *Miodovnik S., Canfield R.* Prenatal phthalate exposure is associated with childhood behavior and executive functioning // *Environ. Health Persp.* 2010. Vol. 118. P. 565–571.
 17. *Changming Xie, Yan Zhao, Lianlian Gao, Jiao Chen, Depei Cai, Yunhui Zhang.* Elevated phthalates exposure in children with constitutional delay of growth and puberty // *Molecular and Cellular Endocrinology.* 2015. Vol. 407. P. 67–73.
 18. *Егорова А. И., Гачегов М. А., Аверьянова Н. И., Щербакова Л. И., Грузинцева О. Е.* Оценка физического развития детей в практике участкового педиатра : учеб. пособие для студ. педиатр. фак., субординаторов и интернов, Пермь. 1994. 35 с.
 19. *Гланц С.* Медико-биологическая статистика: М. : Практика, 1999. 459 с.

Образец для цитирования:

Зайцева Н. В., Уланова Т. С., Карнажицкая Т. Д., Заверненкова Е. О. Изучение зависимости показателя роста детей от концентрации монофталатов в моче // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2017. Т. 17, вып. 1. С. 62–66. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-62-66.

Cite this article as:

Zaitseva N. V., Ulanova T. S., Karnazhitskaya T. D., Zaverneknova E. O. Study of Correlation Between Growth Rate of Children and Monophthalate Concentrations in Urine. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology,* 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 62–66 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-62-66.



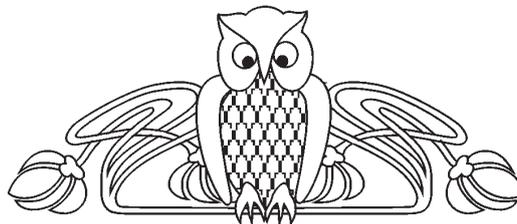
УДК 581.9

ТИПОВЫЕ ОБРАЗЦЫ *ALCHEMILLA* L., *CORISPERMUM* L., *KOELERIA* PERS., *ONOSMA* L., ХРАНЯЩИЕСЯ В ГЕРБАРИИ ИМЕНИ И. И. СПРЫГИНА ПЕНЗЕНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА (РКМ)

В. М. Васюков¹, Л. А. Новикова²

¹Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти
E-mail: vvasjukov@yandex.ru

²Пензенский государственный университет
E-mail: la_novikova@mail.ru



Гербарий имени И. И. Спрыгина Пензенского государственного университета – крупнейшая научная ботаническая коллекция с международным акронимом РКМ, основанная в 1894 г. по инициативе крупнейшего естествоиспытателя Ивана Ивановича Спрыгина. В фондах Пензенского гербария хранится около 170 000 гербарных листов сосудистых растений, моховидных, водорослей, лишайников и грибов, из них свыше 30 аутентичных образцов. С 2009 г. в Гербарии проводится электронная каталогизация коллекции. Ниже представлены результаты ревизии типовых образцов родов *Alchemilla* L. (Rosaceae), *Corispermum* L. (Chenopodiaceae), *Koeleria* Pers. (Poaceae), *Onosma* L. (Boraginaceae).

Ключевые слова: *Alchemilla*, *Corispermum*, *Euphorbia*, *Koeleria*, *Onosma*, типовые образцы, Гербарий имени И. И. Спрыгина Пензенского государственного университета (РКМ).

Type Specimens of *Alchemilla* L., *Corispermum* L., *Koeleria* Pers., *Onosma* L. Kept in the Sprygin Herbarium of Penza State University (PKM)

V. M. Vasjukov, L. A. Novikova

Sprygin Herbarium of Penza State University – the largest scientific Botanical collection with the international acronym of the PKM, founded in 1894 on the initiative of the largest naturalist Ivan Sprygin. In the collections of the Penza Herbarium contains about 170 000 herbarium sheets of vascular plants, mossy plants, algae, lichens and fungi, of which over 30 authentic samples. Since 2009, the Herbarium is the electronic cataloguing of the collection. Results of revision on the type of genus *Alchemilla* L. (Rosaceae), *Corispermum* L. (Chenopodiaceae), *Koeleria* Pers. (Poaceae), *Onosma* L. (Boraginaceae) in the Sprygin Herbarium of Penza State University (PKM) are presented.

Key words: *Alchemilla*, *Corispermum*, *Euphorbia*, *Koeleria*, *Onosma*, type specimens, Sprygin Herbarium of Penza State University (PKM).

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-67-71

Гербарий им. И. И. Спрыгина Пензенского государственного университета – крупнейшая научная коллекция с международным акронимом РКМ. Гербарий основан в 1894 г. крупнейшим естествоиспытателем, доктором биологических наук, профессором Иваном Ивановичем Спрыги-

ным. В фондах Пензенского гербария хранится около 170 000 листов сосудистых растений, моховидных, водорослей, лишайников и грибов, из них свыше 30 аутентичных образцов.

В результате ревизии типового фонда Гербария имени И. И. Спрыгина Пензенского государственного университета (РКМ) [1–3] выделены аутентичные образцы эндемичных сосудистых растений Европейской России из родов *Alchemilla* L. (Rosaceae), *Corispermum* L. (Chenopodiaceae), *Koeleria* (Poaceae), *Onosma* L. (Boraginaceae) и образцы, близкие к типовому материалу из родов *Asperula* (Rubiaceae), *Euphorbia* (Euphorbiaceae), *Festuca* (Poaceae), *Gnaphalium* (Asteraceae), *Koeleria* (Poaceae).

Типовые образцы

Alchemilla tzvelevii Czakalov, 2015, Phytotaxa, 227, 3: 284.

Описан из Среднего Поволжья. По протоколу: «**Типус:** Russia. Czuvaschia: distr. Kanasch, 2 km ad meridionali-orientem a pag. Malyje Bikschichi, pratula in declivi devexo expositione septentrionali-orientali depressionis, 55°28'19.9" N, 047°28'57.6" E, 13 June 2011, A. Czakalov & M. Makarov (holotypus: LE, isotypi: LE, MW, NNSU). **Paratypi:** Russia. Czuvaschia: distr. Kanasch, 2.5 km ad meridiem a pag. Malyje Bikschichi, pratulum (herbetum mesohygrophilum) in tilieto, 55°27'35.0" N, 047°29'54.2" E, 13 June 2011, A. Czakalov & M. Makarov (LE); ibidem: distr. Schemurscha, in vicinitas pag. Kuczeki, pratulum, 24 June 2010, M.M. Gafurova (PVB). Prov. Penza: distr. Kuznetsk, Aug 2001, M. S. Kulikovskij 037002; ibidem: 3 km ad orientem ab opp. Penza, prato humido, 06 May 1977, N. Jessina & M. Solovjova 037091 (PKM). Prov. Riazan': distr. Spassk, 0.5 km ad meridiem a pag. Suschki, pratum secundum rivulum, 05 June 1994, M. V. Kazakova (MW)».

1) Paratypus: «Кузнецкий р-н, VIII 2001, leg. М. С. Куликовский, det. А. Czakalov» (PKM, № 037002).



2) *Paratypus*: «Пенза, окр. в 3 км к западу, близ сельхозтехникума, влажный луг, 6.V.1977, Н. Есина, М. Соловьева, det. A. Czkalov» (РКМ, № 037091).

Corispermum volgicum Клоков, 1960, Бот. мат. (Ленинград), 20: 100.

Описан из Среднего Поволжья. По протологу: «Тип. Горьковская обл., близ с. Черного, по прибрежным пескам р. Оки, 11 X 1916, И. Швецов (ГРФ, 3524с). Хранится в Гербарии Бот. инст. АН СССР (Ленинград). Исследованные экземпляры. РСФСР. Калининградская обл.: близ г. Твери, на дюнах у дер. Константиновки, 22 IX 1918, № 2972, М. Назаров. Ярославская обл.: окр. г. Ярославля, за Волгой, по старой восточной дороге, 1925, Э. Гаркави; там же, остров против Норского, 15 IX 1925, он же; Боровская волость, берег Волги близ с. Петропавловского, 7 VIII 1924, № 252, Б. Федченко, Е. Бобров и А. Ярмоленко; на песчаном берегу Жукова острова (близ г. Ярославля), А. Петровский; с. Шумарово, пески на Волге, 4 VII 1899, Д. Третьяков; Рыбинский у., берег Волги между с. Ивашково и с. Черная Гряда, бичовник, 16 VIII 1925, Е. Василькова и Б. Смирнова. Костромская обл.: г. Кострома, правый берег Волги, по песчаному склону, 2 VIII 1912, № 770, К. Косинский; г. Кострома, у пристани за Волгой, берег, полоса незадернованного песка, 5 VII 1909, Н. Скалозубов; Макарьевский у., 1907, Б. Федченко. Московская обл.: с. Перерва, на песчаной отмели р. Москвы, 11 IX 1909, А. и Г. Петунниковы (ГРФ, 3524в); там же, по прибрежным пескам, 31 VII 1897, А. Г.; берег р. Москвы, близ дер. Колонец, Бронницкого у., 1/2 VIII 1902, Б. Кулымов; Московский у., по берегу р. Москвы под Угрешским монастырем, 2 VIII 1894, В. Арнольди. Владимирская обл.: с. Ляхи Меленковского у., по песчаному берегу р. Оки, 11 VII 1903, № 438а, М. Назаров; с. Воютино, на береговых песках р. Оки и оз. Витерево, 15 VIII 1911, № 875, он же; о. Средний на р. Оке против дер. Муратово, на береговых песках, 22 VI 1903, № 4114, он же; против с. Дмитриевы Горы, по песчаному берегу р. Старицы (большой рукав Оки), 22 VII 1915, № 6827, он же. Калужская обл.: Калужский у., по берегу р. Оки против с. Дучна, 2 VIII 1899, Б. Федченко; окр. г. Калуги, пески по берегу р. Оки близ устья р. Киевки, 17 VIII 1894, Д. Литвинов; берега р. Оки около г. Калуги, 20 VIII 1894, он же. Рязанская обл.: г. Касимов, на песчаном берегу р. Оки, 2 IX 1915, № 6983, М. Назаров. Горьковская обл.: г. Нижний Новгород, 16 IX 1910, Ф. Ненюков; песчаная отмель Оки против

Нижнего Новгорода, 14 IX 1913, он же; намывные пески Волги у Печор (Нижний Новгород), 16 IX 1910, он же; близ с. Черного, по прибрежным пескам р. Оки, 11 IX 1916, И. Швецов; р. Ока у пристани Дуденево, пески в долине реки, VII 1903, А. Флеров. Чувашская АССР: г. Чебоксары, на луговом берегу Волги, на песке против города, 27 VII 1882, А. Останков. Татарская АССР: Елабужский кантон, па влажной песчаной почве в полосе бичовника, на правом берегу р. Камы у пристани Красный Бор, обычно, 25 VIII 1926, 217, А. Фокин; г. Казань, С. Коржинский; напротив Чистополя, заливные луга на р. Каме, 4 VIII 1884, он же; Чистопольский кантон, Змиево, луг в пойме р. Камы, 5 VIII 1926, В. Петрова; с. Спасский затон, заливные луга, П. Крылов; между с. Петьям и с. Жутьял, 24 VIII 1881, он же. Кировская обл.: г. Вятка, оз. Спенчинское, па пологом песчаном берегу озера, 20 VII 1913, А. Кардаков; Малмыжский у., на песке по берегу р. Вятки, у перевоза против дер. Н. Шуни, обильно и часто, 16 IX 1925, М 347, А. Фокин; Уркумский у., левый берег р. Вятки против с. Шурмы, на песчаной отмели близ русла реки, нередко, 21 УП 1927, М 1073, он же. Удмуртская АССР: острова на р. Каме, против г. Сарапула, прибрежные пески, 19 VIII 1920, В. Некрасова. Липецкая обл.: окр. г. Липецка, пески за р. Воронежем, 16 VIII 1924, Ю. Клеопов (единственное известное местонахождение из бассейна р. Дона). Пензенская обл.: Городищенский у., уроч. Кичкилейка, пойма р. Суры в даче Успенской, 15 VIII 1913, И. Спрыгин. Ульяновская обл.: Ульяновский у., Карамзинская психиатрическая колония, пойма Волги, Тихомиров остров, песчаные незаросшие наносы, 6 VIII 1918, А. Шенников; там же, 24 VII 1918 и 24 VII 1918, он же; Сенгилейский у., у с. Поповки, на песках, 1 VII 1985, С. Коржинский; г. Симбирск, время сбора и коллектор не указаны. Арзамасская обл.: с. Курмыш, берег р. Суры, 20 VII 1894, С. Григорьев; там же, 12 VIII 1894, он же. Куйбышевская обл.: берег Волги близ г. Сызрани, 11 IX 1896, Д. Литвинов. Саратовская обл.: г. Саратов, острова на Волге, 7 IX 1914, Д. Янишевский; на острове у г. Саратова, 8 IX 1904, Т. Сюев; окр. г. Хвалынска, берег Волги, песчаные дюны, лбище, 8 IX 1926, Н. Гросс; там же, береговые дюны близ Воропьев-острова на Волге, 1 IX 1927, К. Гросс; пойма Волги у займища, 23 VIII 1882, П. Крылов; с. Ровное Новоузенского у., 14 IX 1894, В. Богдан; песчаные холмы по р. Еруслану, г. Валуйки, 14 VII 1895, он же. Башкирская АССР: г. Уфа, около дач на р. Уфа, 28 VII 1908, очень часто, А. Носков; Стерлитамакский р-н, окр. дер. Мурзышево,



пойма р. Сухойля, 25 VI 1943, Д. Афанасьев; окр. дер. Аючино, приречная пойма р. Ашкадар, 22 VI 1943, он же. Сталинградская обл.: г. Сарепта, 1888, А. Бекер; там же, 1829, Вундерлих».

1) Paratypus: «Гербарий Пензенской губернии, Городищенский уезд, урочище Кичкилейка, пойма р. Суры в даче Успенской, 15 VIII 1913, И. Спрыгин» (РКМ, № 014495).

Koeleria spryginii Tzvelev, 2011, Новости сист. высш. раст. 42: 75.

Описан из Среднего Поволжья. По протологу: «Тип: Пензенская губ., Саранский у., сел. Уда, меловой склон в Поповом овраге, 12 VI 1912, М. Попов, И. Спрыгин (LE)».

1) Isotypus: «Гербарий Пензенской губернии, Саранский уезд, с. Уда, меловой склон в Поповом овраге, пробн. уч. № 18, 12 VI 1912, leg. М. Г. Попов, И. И. Спрыгин» (РКМ).

Onosma volgensis Dobrosz. 1977, Новости сист. высш. низш. раст.: 114. [1976 publ. 1977].

Описан из Среднего Поволжья. По протологу: «Тип: Саратовская губ., окр. Хвалынска, меловые холмы, VIII, Д. Янишевский. Исследованные экземпляры (specimina examinata). Ульяновская (Симбирская) губ., Усолские горы, берег р. Усы, 23. VII 1900, С. Лебедев; там же, 18.VI 1929, Е. Городкова, Е. Штукенберг; Сызранский уезд, с. Самойкино, VI 1904, И. Палибин; с. Лава, 17.V 1917, А. Шенников; с. Ширяево, каменисто-степной склон, 9.VIII 1915, он же; Ульяновский уезд, с. Криуши, на мелу, Приволжская гора, 29. VII 1914. А. Шенников; Саратовская губ., окр. Хвалынска, меловые холмы, VIII 1914, Д. Янишевский; Хвалынск, мел, 22.VIII 1894, Д. Литвинов; Хвалынск, на меловых склонах, 28.VI 1929. К. Гросс; с. Сокур, меловые обнажения, 1.VI 1895 (!); Вольск, меловые обнажения, 7.VIII 1916. М. Попов, Куйбышевская обл., Жигули, госзаповедник, Бахилова Поляна, гора М. Бахилова, 29.VI 1951, С. Юзепчук, В. Голубкова; Самарская губ., Бузулукский уезд, степь, 7.VI 1911, Г. Ширяев; Бузулукский уезд, близ Васильевского дома, 13.VI 1915, А. Гурский; Бугурусланский окр., Пономаревский зерносовхоз, левый приток р. Кули, 30.VI [VII] 1929, Е. Городкова, Е. Штукенберг; Погремкое, 27.VI 1929, он же; Усманский зерносовхоз, по западному склону оврага Безымянки 18.VI 1919, он же; Волгоградская обл., Урупинский р-н, хут. Бесплемяновский, на меловых склонах, 24.VI 1932, А. Алюшии; Оренбургская губ., окр. Троицка, 18.V 1913, М. Короткий, Л. Лебедева; между Оренбургом и Орском, с. Поперечная, V 1870, О. Федченко; Илекский р-н, разнотравная

степь, по склону, на мелу, 1.IX 1928, Б. Федченко, А. Борисова; Башкирия, Стерлитамакский уезд гора Тара-Тай, 26.V 1915, В. Петров; Уфа, Белебей, 1.VI 1919. Г. Ширяев; к юго-западу от Уфы, 1867, М. Лоссиевский; там же, 20.V 1919, И. Вереитинов; там же, 1867, Е. Траутфеттер».

1) Paratypus: «Бугурусланский округ, Пономаревский зерносовхоз, 1 участок, Тулубаевская эконом., бл. юго-восточной границы, над долиной левого притока р. Кулы, крутой западный склон, 30 VII 1929, № 1428, Е. А. Городкова, Е. К. Штукенбург» (РКМ, № 059010);

2) Paratypus: «Бугурусланский округ, Пономаревский зерносовхоз, 1 участок, Тулубаевская эконом., бл. юго-восточной границы, над долиной левого притока р. Кулы, крутой южный склон, 30 VII 1929, № 1459, Е. К. Штукенбург, Е. А. Городкова» (РКМ, № 058981);

3) Paratypus: «Бугурусланский округ, Пономаревский зерносовхоз, 1 участок, Тулубаевская эконом., бл. юго-восточной границы, над долиной левого прит. р. Кулы, крутой южный склон, 30 VII 1929, № 1434, Е. А. Городкова, Е. К. Штукенбург» (РКМ, № 059011);

4) Paratypus: «Бугурусланский округ, Пономаревский зерносовхоз, 1 участок, Тулубаевская эконом., бл. юго-восточной границы, над долиной левого прит. р. Кулы, крутой южный склон, 30 VII 1929, № 1455, Е. А. iГородкова, Е. К. Штукенбург» (РКМ, № 059012);

5) Paratypus: «Самарский округ, Усманский зерносовхоз, по западному склону оврага Безымянки 18.VI 1929, № 138, Е. Д. Куцевол, Е. А. Городкова, Е. К. Штукенбург» (РКМ, № 059079).

Образцы, близкие к типовому материалу

Ещё несколько образцов, хранящихся в Гербарии им. И. И. Спрыгина, близки к типовому материалу. У этих образцов этикетки почти совпадают с этикетками типовых образцов, несоответствия относятся главным образом к датам, то есть их, возможно, использовали при описании новых видов, но не указали в протологе, либо они происходят из того же местонахождения, что и типовые образцы, но собраны до описания нового таксона.

Asperula exasperata V. I. Krecz. ex Klokov, 1958, Фл. СССР, 23: 695.

Описан из Среднего Поволжья. По протологу: «Typus. Viciniaе opp. Chvalynsk prov. Saratoviensis, steppa petrosa in monte Bogdanicha, 12 VII 1927, leg. V. Smirnov (LE)».

1) «Вольский уезд, г. Хвалынск, каменистая степь на склоне к ЮВ под вторым березняком



на горе между г. Богданихой и Фокиной шишкой, уч. № 5, 12 VII 1927, Б. П. Сацердотов, В. И. Смирнов» (РКМ, № 055255);

2) «Вольский уезд, г. Хвалынский, южный склон горы между Богданихой и Фокиной шишкой, каменистая степь, уч. № 7, 12 VII 1927, Б. П. Сацердотов, В. И. Смирнов» (РКМ, № 055257);

3) «Вольский уезд, г. Хвалынский, западный склон горы между Богданихой и Фокиной шишкой, каменистая степь, уч. № 8, 12 VII 1927, Б. П. Сацердотов, В. И. Смирнов» (РКМ, № 055258);

Euphorbia volgensis Krysht. 1929, Изв. Главн. бот. сада, 28: 375. ≡ *Galarhoeus volgensis* (Krysht.) Prokh. 1941, Тр. Куйбышев. бот. сада, 1: 3.

Описан из Нижнего Поволжья. По протологу: «Лесостепь. I. А. Сызранский у.: Юрлово (Литвинов), Жигули у Моркваша (Талиев), Сосновая Маза, Бахтевка (Талиев), Кулатка; Хвалынский у.: Сперановка, г. Хвалынский (Смирнов! Спрыгин!), Верх. Маза, Ореховка, Новь (Вас. Смирнов); Вольский у.: г. Вольска (Палибин! В. Смирнов), Рыбное (Смирнов), Нов. Жуковка (Талиев), Улыбовка, между Терсой и Вольском. Б. Распространение мало выяснено, как равно и признаки обитающих тут форм; Бугурусланский у.: между Бугурусланом и Сергиевском (Исполатов, как *E. petrophila* С. А. М.), одр. Бугуруслана (Талиев и Войновский, как *E. niceensis*); Белебеевский у.: Талиев, В.-Троицкое озеро Асли-куль (Федченко), центральная часть Уфимского у. (Завьялов, как *E. glareosa*). Степь. II. А. Аткарский у.: Копены и др. места (Келлер), Б. Саратовский у.: окр. Саратова (Литвинов! Палибин! Келлер и др.). Шиллинг, Сосновка (Беккер!), Сокур (Талиев), Беленькие хутора (Чернов, Петров), Тепловка, Пудовкино (Келлер), Хмелевка (Петров); Камышинский у. (Герб. Траутфеттера!). В. Сталинградский у.: южнее с. Ольховки бл. Успенки и Каменного. Брода (Тугаринов), к югу от Чухонастовки (Ильин!), Омеговка, с. Курган, хут. Полунина (Тугаринов). Белая Глинка (Бунге!). В. Ергени (Выгоцкий как *E. glareosa*). Г. Уюрих (Гуммель, sub *E. petrophila*), Пугачев (Терехов!). Полупустыня. Респ. немцев, Каменский кантон, Даниловская гора». Лектотип: «Саратовская губ., Камышинский у., меловой холм, версты полторы к югу от с. Чухонастовки, 27 VI 1926, № 1040, Ю. Григорьев» (LE).

1) Specimina authentica: «Саратовская губерния, Вольский уезд, г. Хвалынский, каменная степь по хребту между долами по “Винному ключу” и

по “Каменке”, 11 VII 1926, leg. Б. П. Сацердотов, В. И. Смирнов, И. И. Спрыгин, Л. И. Спрыгина, det. А. Криштофович» (РКМ, № 031434).

2) Specimina authentica: «Саратовская губерния, Вольский уезд, г. Хвалынский, вторая гора направо от дороги из города в Сосновую Мазу, лысина среди сосняка на склонах к северо-западу и юго-востоку, 17 VII 1927, leg. И. И. Спрыгин, Л. И. Спрыгина, det. А. Криштофович» (РКМ, № 031435).

Festuca wolgensis P. A. Smirn. 1945, Бюл. Моск. общ. исп. прир., отд. биол. 50, 1–2: 100.

Описан из Среднего Поволжья. По протологу: «Typus: Montes Schegulensis. Ad fontes vallis “Malinovyj” prope Veselaja Poljana, in steppis lapidosis ad declivitates meridionales, 2 VI 1935, W. I. Smirnow (MW)».

1) «Гербарий Жегулевских гор, Заповедник, Стрельная гора, каменистая степь, 26 VI 1937, Л. М. Черепнин» (РКМ);

2) «Гербарий Жегулевских гор, Заповедник, верхняя часть Ю-ЮЗ склона Б. Бахиловой горы, каменистая степь, 14 VI 1937, Л. М. Черепнин» (РКМ);

3) «Гербарий Жегулевских гор, Заповедник, “Веселые поляны”, 6 VI 1937, Л. М. Черепнин» (РКМ);

4) «Гербарий Жегулевских гор, Заповедник, южный склон М. Бахиловой горы, каменистая степь, 28 V 1937, Л. М. Черепнин» (РКМ).

Gnaphalium rossicum Kirp. 1959, Бот. мат. (Ленинград), 19: 349. ≡ *Filaginella rossica* (Kirp.) Tzvelev, 1990, Новости сист. высш. раст. 27: 150.

Описан из Среднего Поволжья. По протологу: «Typus. Provincia Saratoviensis, districtus Kuznetzk, ad ripam fl. Sijisjmka, in arenosis, 3 VII 1910, E. Stukenberg (LE)».

1) «Саратовская губ., Кузнецкий уезд, на запад разъезда Елюзань Сызр.-Вяз. жел. дор., версты 4, берег р. Сюзюмки, песок, 15 VII 1910, Е. К. Штукенберг» (РКМ, № 076093).

Koeleria sclerophylla P. A. Smirn. 1932, Feddes Repert. 30: 399. ≡ *Koeleria wolgensis* P. A. Smirn. 1931, Спрыгин, Растит. покров Средне-Волж. края: 60, nomen.

Описан из Среднего Поволжья. По протологу: «Typus: Montes Sheguli, pr. pag. Bachilowo, 25 VII 1927, № 999, leg. Sazerdotow et Sprygin (MW)».

1) Specimina authentica: «*Koeleria wolgensis* P. Smirn. Сызранский уезд, с. Усолье, гора Светелка, на южном склоне, 28 VI 1926, leg. А. А. Уранов, det. П. А. Смирнов (XII 1926)».



2) Specimina authentica: «*Koeleria wolgensis* P. Smirn. Сызранский уезд, с. Усолъе, гора Светелка, на южном склоне, 28 VI 1926, leg. А. А. Уранов, det. П. А. Смирнов (XII 1926)».

3) Specimina authentica: «*Koeleria wolgensis* P. Smirn. Самарский округ, Бахилова дача, Жегулевский заповедник, Малиновая гора, злаково-разнотравная степь в средней части юго-западного склона четвертого степного мыса, пробный участок Уранова А. А. № 11, leg. А. А. Уранов, det. П. А. Смирнов (XII 1926)».

4) Specimina authentica: «*Koeleria wolgensis* P. Smirn. Самарский округ, Бахилова дача, Жегулевский заповедник, каменистая степь на Стрельной горе, 24 VII 1927, leg. Б. П. Сацердотов, В. И. Смирнов, И. И. Спрыгин, Л. И. Спрыгина, А. А. Уранов, det. П. А. Смирнов (XII 1929)».

5) Specimina authentica: «*Koeleria wolgensis* P. Smirn. Саратовская губерния, Вольский уезд, г. Хвалынский, северный склон горы Каланчи, 8 VII 1927, Б. П. Сацердотов, В. И. Смирнов, И. И. Спрыгин, Л. И. Спрыгина, det. П. А. Смирнов (XII 1929)».

6) Specimina authentica: «*Koeleria wolgensis* P. Smirn. Саратовская губерния, Вольский уезд, г. Хвалынский, северный склон горы Каланчи, 8 VII 1927, Б. П. Сацердотов, В. И. Смирнов, И. И. Спрыгин, Л. И. Спрыгина, det. П. А. Смирнов».

7) Specimina authentica: «*Koeleria wolgensis* P. Smirn. Саратовская губерния, Вольский уезд, г. Хвалынский, каменистая степь на четвертой горке по левому берегу северного притока реки Черемшаны, 13 VII 1927, Б. П. Сацердотов, В. И. Смирнов, И. И. Спрыгин, Л. И. Спрыгина, det. П. А. Смирнов (XII 1929)».

Нами продолжается составление каталога типовых образцов Гербария имени И. И. Спрыгина (РКМ).

Благодарности

Авторы благодарны за консультации С. В. Саксонову, А. Н. Сенникову, А. П. Серегину, А. П. Сухорукову и за помощь в работе с гербарием Д. В. Панькиной, Т. М. Чепкасовой.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-04-97072 р_Поволжье_а).

Список литературы

1. Васюков В. М., Новикова Л. А., Горбушина Т. В. Типовые образцы *Thymus* L. (Lamiaceae), хранящиеся в гербарии имени И. И. Спрыгина Пензенского государственного университета (РКМ) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16, вып. 1. С. 91–94.
2. Saksonov S. V., Novikova L. A., Vasjukov V. M. Typification of *Euphorbia zhiguliensis* – local endemic to Zhiguli Upland (European Russia) // Ann. Bot. Fennici. 2015. Vol. 52. P. 333–334.
3. Новикова Л. А., Васюков В. М., Саксонов С. В. Типовые образцы молочаев (*Euphorbia* L., Euphorbiaceae) в Гербарии им. И. И. Спрыгина (РКМ) Пензенского государственного университета // Ботанические коллекции – национальное достояние России : сб. науч. ст. Всерос. (с междунар. участием) науч. конф., посвящ. 120-летию Гербария имени И. И. Спрыгина и 100-летию Русского ботанического о-ва. Пенза, 2015. С. 125–126.

Образец для цитирования:

Васюков В. М., Новикова Л. А. Типовые образцы *Alchemilla* L., *Corispermum* L., *Koeleria* Pers., *Onosma* L., хранящиеся в Гербарии имени И. И. Спрыгина Пензенского государственного университета (РКМ) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 67–71. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-67-71.

Cite this article as:

Vasjukov V. M., Novikova L. A. Type Specimens of *Alchemilla* L., *Corispermum* L., *Koeleria* Pers., *Onosma* L. Kept in the Sprygin Herbarium of Penza State University (PKM). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 67–71 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-67-71.



УДК 581.1

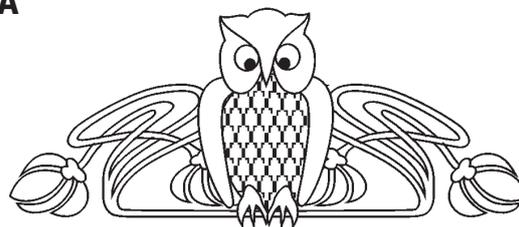
ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ (*TRITICUM AESTIVUM* L.) ПРИ ДЕЙСТВИИ 2,4,6-ТРИФЕНИЛ-3,5-ДИХЛОРПИРИДИНА И 2,6-ДИФЕНИЛ-3-ХЛОРПИРИДИНА

В. В. Коробко, Н. В. Пчелинцева,
М. А. Лунёва, Е. А. Самсонова

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: v.v.korobko@mail.ru

Проведено биологическое тестирование новых синтетических гетероциклических соединений – 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридина и 2,6-дифенил-3-хлорпиридина, отличающихся количеством атомов галогена и фенильных фрагментов в пиридиновом кольце. Соединения впервые получены на кафедре органической и биоорганической химии Института химии СГУ. Объектом исследования служили проростки яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Саратовская 36. Испытуемые растворы оказали положительный эффект на показатель корнеобеспеченности проростков во всех вариантах опыта. При культивировании проростков на растворах гетероциклических соединений наблюдается положительное влияние на рост и развитие корневой системы. При этом 2,6-дифенил-3-хлорпиридин способствует развитию корневой системы за счет увеличения количества корней и накопления сухой массы, а 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридин заметное стимулирующее воздействие оказывает на суммарную длину корней проростка. Установлено позитивное влияние 2,6-дифенил-3-хлорпиридина на рост первого листа в длину и развитие листовой пластинки. Предпосевная обработка раствором 2,6-дифенил-3-хлорпиридина в концентрации 10^{-12} М повышает энергию прорастания семян, обеспечивая дружные всходы; а также стимулирует развитие корневой системы. При этом, не оказывая влияния на длину первого листа в целом, ингибирует развитие листовой пластинки и стимулирует рост влагалища листа. Изучение влияния испытуемых растворов на массу проростка показало, что предварительная обработка семян оказывает ингибирующий эффект на накопление надземной массы и проявляет стимулирующее действие в отношении массы корневой системы (за исключением растворов в концентрации 10^{-6} М). Для изучения влияния 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридина и 2,6-дифенил-3-хлорпиридина на фотосинтетический аппарат проростка проводили количественный анализ пигментного состава пластинки первого листа. При культивировании объектов на испытуемых растворах наблюдается повышение соотношения количества хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* относительно контрольных значений. Предварительная обработка семян негативно сказалась на содержании каротиноидов. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что 2,6-дифенил-3-хлорпиридин и 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридин обладают росторегулирующей активностью.

Ключевые слова: гетероциклические соединения, регуляторы роста, биотестирование, рост и развитие растений.



Features of Growth and Development of Wheat Seedlings (*Triticum aestivum* L.) under the Action of 2,4,6-triphenyl-3,5-dichloropyridine and 2,6-diphenyl-3-chloropyridine

V. V. Korobko, N. V. Pchelintseva,
M. A. Lunyova, E. A. Samsonova

A biological testing of new synthetic heterocyclic compounds – 2,4,6-triphenyl-3,5-dichloropyridine and 2,6-diphenyl-3-chloropyridine differing more halogen atoms and phenyl fragments of the pyridine ring. The compounds were first obtained at the Department of Organic and Bioorganic Chemistry National Research Saratov State University. The objects of the study were the seedlings of spring wheat *Triticum aestivum* L. The test solutions had a positive effect on the rate root-maintenance seedlings in all variants of the experiment. There is a positive effect of the growth and development of the root system. In this case 2,6-diphenyl-3-chloropyridine promotes root development by increasing the number of roots and the weight accumulation, and 2,4,6-triphenyl-3,5-dichloropyridine exerts significant catalytic effect on the total length of seedling roots. A positive effect of 2,6-diphenyl-3-chloropyridine first sheet on the growth and development in length of the leaf plate. Presowing treatment of 2,6-diphenyl-3-chloropyridine solution at a concentration of 10^{-12} М improves seed germination energy, providing friendly shoots; and stimulates the development of the root system. Thus, without affecting the length of the first sheet generally inhibits the development of leaf plate and stimulates the growth of leaf sheath. Study of the effect on the weight of the test solutions plantlet showed that pre-treatment of seeds has an inhibitory effect on the accumulation of green mass, and exerts a stimulating action on the root mass of the system (except for the solutions in a concentration of 10^{-6} M). To study the effect of 2,4,6-triphenyl-3,5-dichloropyridine and 2,6-diphenyl-3-chloropyridine seedling photosynthetic apparatus for quantitative analysis was conducted of the pigment composition of the first sheet plate. When cultured in the solution of the test object is observed increase in the ratio of chlorophyll *a* to chlorophyll *b* with respect to the control values. Pretreatment of seeds negatively affected the content of carotenoids. Analysis of the data suggests that 2,6-diphenyl-3-chloropyridine, and 2,4,6-triphenyl-3,5-dichloropyridine exhibit growth regulating activity.

Key words: heterocyclic compounds, growth regulators, biological testing, plant growth and development.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-72-78



Растение представляет собой целостный организм, обладающий сложной многоуровневой системой регуляторных механизмов. Одной из актуальных задач физиологии растений является изучение действия физиологически активных соединений на различные метаболические процессы с целью получения определенных реакций со стороны организма. В последнее время предпочтение отдается синтетическим регуляторам роста растений. При этом биотестирование веществ – это единственный надежный метод оценки физиологической активности испытуемых соединений, так как использование высокочувствительных биообъектов снижает риск получения ошибочных результатов и позволяет в кратчайшие сроки объективно оценить испытуемые реактивы [1]. При изучении физиологической активности веществ часто ограничиваются изучением таких свойств, как фунгицидная, гербицидная или пестицидная активность. Тогда как изучение влияния химических соединений на отдельные процессы метаболизма и характер развития растения в целом позволит существенно расширить сферу применения новых синтезированных препаратов.

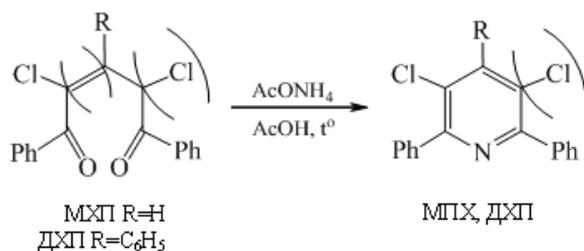
По разнообразию гетероциклические соединения занимают одно из первых мест среди органических соединений и благодаря широкому спектру биологических свойств интерес к их синтезу и изучению активности очень высок.

Целью данного исследования является изучение действия гетероциклических синтетических соединений на растительный тест-объект.

Материалы и методика

Исследования проводились в 2016 г. на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского национального исследовательского государственного университета.

Биотестированию подвергнуты гетероциклические соединения ряда пиридина – 2,6-дифенил-3-хлорпиридин (МХП) и 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридин (ДХП), отличающиеся количеством атомов галогена и фенильных фрагментов в пиридиновом кольце. Исследуемые хлорпиридины впервые получены в условиях реакции Чичибабина на основе 2,4-дихлорпентан- и 2,4-дихлор-2-пентен-1,5-дионон на кафедре органической и биоорганической химии Института химии СГУ [2].



Синтезированные хлорпиридины представляют собой бесцветные кристаллические вещества с четкими температурами плавления, хорошо растворимые в этаноле, диметилформамиде (ДМФА), хлороформе, плохо растворимые в воде. Следует отметить, что с увеличением атомов хлора в пиридиновом кольце растворимость в воде увеличивается.

Концентрацию веществ устанавливали по молекулярному весу, в трех характерных для физиологически активных веществ действующих дозах: 10^{-6} М, 10^{-9} М, 10^{-12} М.

Объектом исследования служили проростки яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. сорта Саратовская 36. Использовали неповрежденные, выровненные по размеру семена одного года репродукции, с хорошей всхожестью ($\geq 90\%$). Для изучения влияния предварительной обработки посевного материала на развитие растений семена замачивали в испытуемых растворах в течение двух суток, затем культивировали в стаканчиках на воде. Для изучения влияния веществ на рост и развитие растений зерновки замачивали в воде в течение двух суток, затем культивировали на водных растворах испытуемых веществ. Контролем служили растения, культивированные на дистиллированной воде. Энергию прорастания определяли на 3-и сутки эксперимента ($n=100$). На семидневных проростках проводили количественный учет роста и развития: определяли сырую и абсолютно сухую массу надземной и подземной частей, длину и количество корней проростка ($n=20$). Через 14 дней от начала эксперимента измеряли длину пластинки и влагалища первого листа ($n=20$), определяли содержание хлорофиллов *a* и *b*, каротиноидов.

Культивирование проростков осуществлялось в климатостате при температуре $+18^\circ\text{C}$. Обработку данных проводили по Доспехову [3].

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования установлено, что при проращивании зерновок на испытуемых растворах некоторых концентраций значения энергии прорастания превышают контрольные. Наибольшая энергия прорастания отмечена при проращивании семян на растворе МХП наименьшей концентрации и ДХП в концентрации 10^{-9} М – 74 и 82% соответственно, тогда как контрольное значение составило 55%. При проращивании в растворе ДХП наименьшей концентрации наблюдалось незначительное превышение контрольного значения. Наименьшая энергия прорастания отмечена при культивировании на ДХП 10^{-12} М – 78% от контрольного значения.



Энергия прорастания, наряду с всхожестью, является важнейшим показателем посевных качеств семян. При низкой энергии прорастания появление всходов в полевых условиях растягивается на более продолжительное время, что повышает вероятность гибели проростков. Семена с высокой энергией прорастания дают более дружные и ровные всходы. Анализ полученных данных позволяет сделать вывод о том, что предпосевная обработка раствором ДХП в концентрации 10^{-9} М и МХП в концентрации 10^{-12} М благоприятно отразится на состоянии посевов, обеспечив дружные всходы.

Масса надземной части проростков, выращенных из предварительно обработанных семян, увеличивается по мере возрастания concentra-

ции веществ. При этом значения сухой массы во всех вариантах опыта не превышают значения в контроле (рис. 1), т.е. предварительная обработка семян оказала ингибирующий эффект на накопление проростками надземной массы. В большей степени подавляющее действие проявилось после обработки семян ДХП в концентрациях 10^{-6} и 10^{-9} М.

При культивировании на растворе ДХП сухая масса надземной части проростка увеличивается по мере возрастания концентрации, составляя при этом 59, 72 и 89% от контрольных значений. Тогда как раствор МХП проявил стимулирующий эффект, наиболее выраженный при концентрации 10^{-6} М – масса побега превышает контрольное значение на 13%.

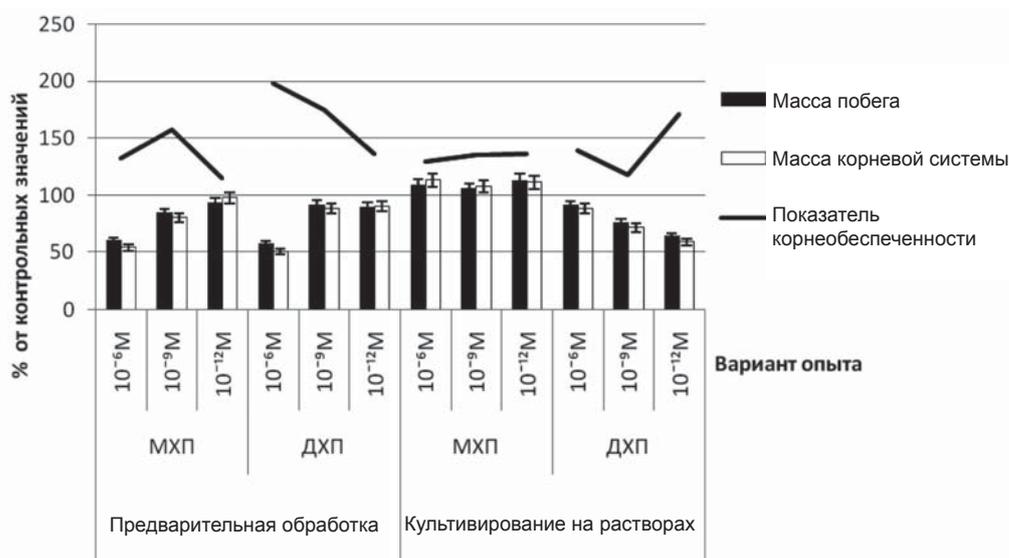


Рис. 1. Влияние гетероциклических соединений на развитие проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.): МХП – 2,6-дифенил-3-хлор пиридин; ДХП – 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридин

Важной составляющей характеристики проростка является развитие корневой системы, отражающей особенности роста и развития взрослого растения. При описании и сравнении развития корневой системы проростка часто используют один из параметров, например, суммарную длину корней, длину главного корня или массу корневой системы. На наш взгляд, при изучении влияния ФАВ на растительный организм целесообразно использовать несколько морфометрических показателей, сопоставление которых позволит выявить специфические особенности развития корневой системы при действии испытуемых веществ различных концентраций.

Предварительная обработка семян испытуемыми растворами оказала стимулирующее действие в отношении сухой массы корневой

системы, за исключением растворов в концентрации 10^{-6} М. Наибольший стимулирующий эффект отмечен для ДХП в концентрации 10^{-9} М – сухая масса проростков в 1,5 раза превысила контрольные значения.

Стимулирующее воздействие на развитие корневой системы оказали все концентрации раствора МХП: отмечено увеличение массы корневой системы опытных растений на 46–50% по сравнению с контролем. Раствор ДХП оказал стимулирующий эффект только в концентрации 10^{-6} М.

Одним из показателей развития проростка является корнеобеспеченность как отношение абсолютно сухой массы корневой системы к абсолютно сухой массе побега. Установлена связь между данным показателем и устойчивостью растений к неблагоприятным условиям окружа-



ющей среды [4]. Испытуемые растворы оказали положительный эффект на показатель корнеобеспеченности проростков во всех вариантах опыта. При предварительной обработке семян раствором МХП максимальная корнеобеспеченность проростков отмечена при концентрации 10^{-9} М, минимальная – при концентрации 10^{-12} М. Тогда как при обработке ДХП значения корнеобеспеченности увеличиваются от меньших концентраций к большим, превышая контрольные значения на 37, 72 и 98% соответственно. При культивировании проростков на испытуемых растворах отмечено, что в большей степени на повышение показателя корнеобеспеченности оказал влияние ДХП в концентрации 10^{-12} М. Развитие проростков на растворах МХП различных концентраций характеризуется незначительным варьированием показателя корнеобеспеченности: 0,54–0,57 отн.ед.

Результаты проведенного исследования показали, что испытуемые растворы оказывают стимулирующее действие на рост корневой системы в длину (рис. 2). Исключение составили проростки, выращенные из зерновок, подвергшихся предварительной обработке растворами в концентрации 10^{-6} М, а также проростки, культивированные на растворе ДХП 10^{-9} М. Наибольшее развитие корневая система проростков получила при культивировании объектов на растворах в концентрации 10^{-6} М. Суммарная длина корней проростков при этой концентрации раствора МХП превысила контрольные значения более чем в 2 раза, раствора ДХП – в 1,8 раза. Меньшие концентрации раствора МХП также проявили значительный стимулирующий эффект на рост корневой системы в длину.

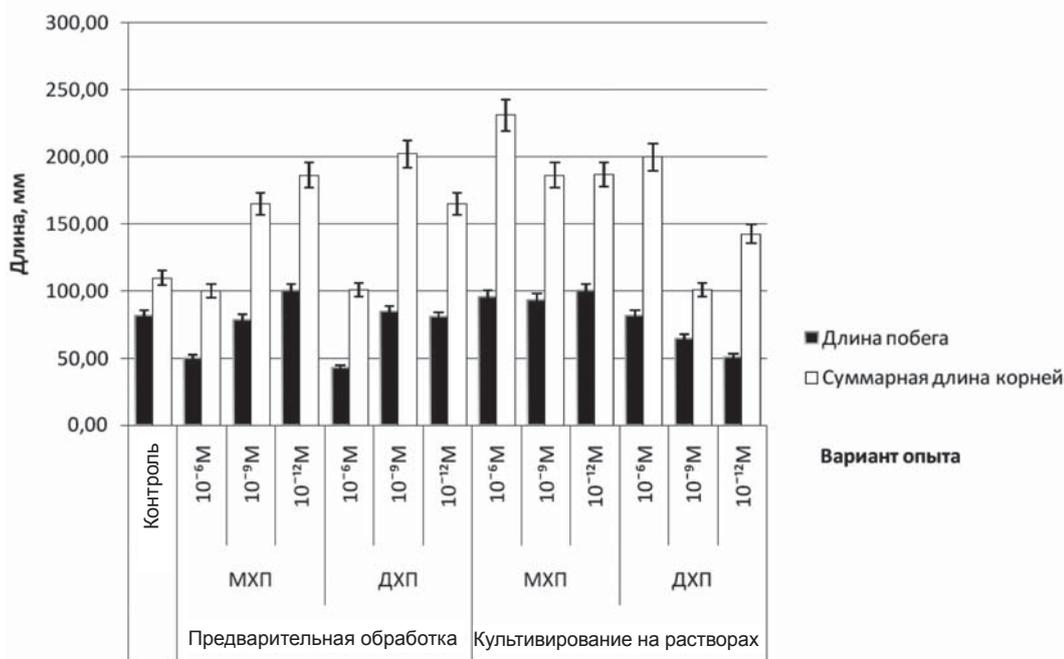


Рис. 2. Влияние гетероциклических соединений на рост побега и корневой системы проростков (*Triticum aestivum* L.): МХП – 2,6-дифенил-3-хлор пиридин; ДХП – 2,4,6-трифенил-3,5-дихлор-пиридин

Одним из показателей развития корневой системы является корневой индекс как отношение среднего значения наибольшей длины корня опытных растений к аналогичному показателю в контроле. Негативно на развитие этого показателя повлияла предварительная обработка семян растворами наибольшей концентрации. У проростков, культивированных на растворе МХП, корневой индекс при различных концентрациях веществ варьирует не значительно и

составляет 1,4–1,5. Раствор ДХП способствовал повышению данного показателя на большей концентрации и соответствие контролю в меньших концентрациях.

Наряду с изучением влияния растворов на рост корневой системы в длину проводился количественный учет корней. Предварительная обработка зерновок раствором МХП наименьшей концентрации и ДХП в концентрации 10^{-9} М на образование корней оказала стимулирующее



действие. Способствовало увеличению количества корней относительно контрольных значений культивирование на растворе МХП.

При сопоставлении данных о количестве корней с суммарной длиной корневой системы можно заключить, что развитие корневой системы на растворе ДХП при меньшей концентрации обусловлено ростом корней в длину, а при большей концентрации обеспечивается за счет увеличения количества корней.

Установлены особенности развития первого листа при действии испытуемых веществ (табл. 1).

Культивирование на МХП оказало стимулирующий эффект на длину первого листа. В меньшей степени от контрольного значения отличался лист проростков, выращенных при концентрации 10^{-6} М, так как эта концентрация оказала негативное воздействие на рост листового влагалища (95% от контрольного значения). При культивировании проростков на растворе ДХП стимулирующее воздействие на рост и влагалища, и пластинки листа оказала концентрация 10^{-6} М, ингибирующее – концентрация 10^{-9} М.

Таблица 1

Влияние гетероциклических синтетических соединений на рост первого листа пшеницы (*Triticum aestivum* L.)

Вариант опыта	Концентрация, М	$L_{пл}$, мм	$L_{вл}$, мм	$L_{пл}/L_{вл}$	$L_{пл}$, % от длины листа
Контроль		101,2±4,7	34,5±3,1	2,9	75
Предварительная обработка семян					
МХП	10^{-6}	82,3±3,4	40,8±3,7	2,0	67
	10^{-9}	98,4±4,2	36,0±2,5	2,7	73
	10^{-12}	88,8±4,1	46,0±4,1	1,9	66
ДХП	10^{-6}	96,1±3,9	45,8±3,5	2,1	68
	10^{-9}	102,8±5,5	43,5±2,8	2,4	70
	10^{-12}	85,1±3,8	30,7±1,7	2,8	73
Культивирование на растворах					
МХП	10^{-6}	112,1±4,7	32,7±3,0	3,4	77
	10^{-9}	103,7±5,6	42,0±2,9	2,5	71
	10^{-12}	111,5±5,0	39,7±1,9	2,8	74
ДХП	10^{-6}	110,6±5,5	39,4±2,5	2,8	74
	10^{-9}	89,6±4,1	27,8±1,8	3,2	76
	10^{-12}	99,7±3,8	40,1±3,2	2,5	71

Примечание. МХП – 2,6-дифенил-3-хлор пиридин; ДХП – 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридин; $L_{пл}$ – длина листовой пластинки; $L_{вл}$ – длина листового влагалища.

Следует отметить, что растворы оказали стимулирующее действие на рост листового влагалища, за исключением концентраций 10^{-9} М ДХП и 10^{-6} М МХП. Длина листовой пластинки у контрольных растений составила 75% от общей длины листа, экспериментальные значения варьируют в пределах 66–77%. Наиболее развитой листовой пластинкой характеризуются проростки, культивированные на растворах МХП 10^{-6} М и ДХП 10^{-9} М; при этом отношение длины пластинки к длине влагалища составляет 3,2 и 3,4.

Предварительная обработка семян оказала подавляющее действие на развитие листовой пластинки проростков относительно контрольных значений. Незначительный стимулирующий

эффект отмечен при обработке раствором ДХП в концентрации 10^{-9} М.

Количественное содержание пигментов может служить показателем, характеризующим активность фотосинтетического аппарата. Установлено, что максимальное содержание хлорофилла *a* и хлорофилла *b* характерно проросткам, культивированным на обоих растворах в концентрации 10^{-9} М, при этом значения не превышают контрольные (табл. 2).

Отношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* обуславливает приспособленность к интенсивному освещению; чем больше это отношение, тем меньше растения приспособлены к пониженной интенсивности освещения. Иными словами, при-



Таблица 2

Влияние гетероциклических синтетических соединений на содержание пигментов в пластинке первого листа пшеницы (*Triticum aestivum* L.), мг/г сухого веса

Вариант опыта	Концентрация, М	Хлорофилл		a/b	Каротиноиды
		a	b		
Контроль					
Предварительная обработка семян					
МХП	10 ⁻⁶	10,94±0,90	4,36±0,19	2,5	3,47±0,25
	10 ⁻⁹	7,88±0,32	3,11±0,13	2,5	2,44±0,12
	10 ⁻¹²	9,68±0,61	3,31±0,13	2,9	3,08±0,12
ДХП	10 ⁻⁶	8,46±0,45	3,86±0,17	2,2	2,66±0,13
	10 ⁻⁹	9,85±0,50	3,53±0,18	2,8	3,06±0,19
	10 ⁻¹²	8,10±0,38	3,24±0,24	2,5	2,77±0,21
Культивирование на испытуемых растворах					
МХП	10 ⁻⁶	9,51±0,49	2,96±0,16	3,2	2,95±0,17
	10 ⁻⁹	10,53±0,51	3,76±0,21	2,8	3,46±0,19
	10 ⁻¹²	9,70±0,25	3,05±0,16	3,2	3,24±0,20
ДХП	10 ⁻⁶	8,86±0,35	2,97±0,15	3,0	2,74±0,14
	10 ⁻⁹	10,11±0,44	3,38±0,20	3,0	3,20±0,21
	10 ⁻¹²	7,04±0,42	2,53±0,14	2,8	2,55±0,12

Примечание. МХП – 2,6-дифенил-3-хлор пиридин; ДХП – 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридин.

способлене к максимальной интенсивности светового потока достигается за счет значительного уменьшения относительной доли хлорофилла *b* и ксантофиллов, так как хлорофилл *b* обладает большей способностью к фотовосстановлению, чем хлорофилл *a*.

При культивировании проростков на растворах всех испытуемых концентраций наблюдается повышение соотношения количества хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* относительно контрольных значений. Максимальное значение данного показателя проявилось при действии МХП при концентрациях 10⁻⁶ и 10⁻¹²М и составило 3,2, что почти в 1,5 раза выше контрольных значений. Наибольшее соотношение хлорофилла *a* к хлорофиллу *b* под действием ДХП проявилось при концентрациях 10⁻⁶ и 10⁻⁹М, что на 38% превышает контрольные значения.

Количество каротиноидов в пластинке первого листа контрольных растений составило 3,2 мг/г. Предварительная обработка семян в целом негативно сказалась на содержании каротиноидов. Исключение составили растения, полученные из семян, обработанных раствором МХП наибольшей концентрации, что способствовало увеличению содержания каротиноидов в пластинке первого листа на 10% по сравнению

с контролем. При культивировании на опытных растворах ингибирующее действие проявили раствор МХП в наибольшей концентрации и ДХП в наибольшей и наименьшей концентрациях.

Заключение

Таким образом, установлено, что 2,6-дифенил-3-хлорпиридин (МХП) и 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридин (ДХП) обладают росторегулирующей активностью. Линейной зависимости «доза–эффект» не наблюдается.

Предварительная обработка посевного материала 2,6-дифенил-3-хлорпиридином в концентрации 10⁻¹²М благоприятно сказывается на развитии растений, а именно: повышается энергия прорастания семян, обеспечивая дружные всходы, стимулируется развитие корневой системы (рост в длину и увеличение количества корней). При этом, не оказывая влияния на длину первого листа в целом, ингибируется развитие листовой пластины и стимулируется рост влагалища. Такое изменение морфологии листа имеет положительное значение для механической устойчивости побега.

При культивировании проростков на испытуемых растворах установлен положительный эффект на рост корней в длину и показатель кор-



необеспеченности проростков во всех вариантах опыта. 2,6-дифенил-3-хлорпиридин на рост корневой системы в длину оказал более выраженный стимулирующий эффект, чем 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридин в соответствующих концентрациях. При этом первый способствует развитию корневой системы за счет увеличения количества корней и накопления сухой массы, а второй заметное стимулирующее воздействие оказывает только на суммарную длину корней проростка. Следует отметить, что при культивировании на растворах 2,6-дифенил-3-хлорпиридина варьирование ряда показателей по вариантам опыта менее выражено, чем при действии растворов 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридина. Установлено позитивное влияние всех концентраций 2,6-дифенил-3-хлорпиридина на рост первого листа в длину и развитие листовой пластинки.

Проведенное лабораторное исследование является важным этапом в изучении биологической активности гетероциклических соединений, может служить основой для дальнейших исследований их росторегуляторных свойств. Установление механизмов влияния синтетических гетероциклических соединений на растения

в целом и на отдельные процессы метаболизма, изучение зависимости «доза вещества–время воздействия–эффект» позволит использовать новые синтетические соединения для решения центральной задачи физиологии растений, а именно направленного изменения растений с целью повышения продуктивности.

Список литературы

1. Жигачева В. И., Стивак В. А. Биотестирование гетероциклических синтетических соединений некоторыми растительными объектами // Бюл. Бот. сада Саратов. гос. ун-та. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2010. Вып. 9. С. 179–185.
2. Пчелинцева Н. В., Харченко В. Г., Маркова Л. И., Федотова О. В. Реакции 1,5-дикетонов с аммиаком и его замещенными // Химия гетероциклических соединений. 2003. № 9. С. 1283–1304.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Колос, 1986. 336 с.
4. Коробко В. В., Букарев Р. В. Влияние разнокачественного засоления на корнеобеспеченность проростков некоторых сортов зернового сорго // Вестн. Мичуринского филиала Рос. ун-та кооперации. Науч.-производ. журн. 2013. № 3. С. 65–67.

Образец для цитирования:

Коробко В. В., Пчелинцева Н. В., Лунёва М. А., Самсонова Е. А. Особенности роста и развития проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при действии 2,4,6-трифенил-3,5-дихлорпиридина и 2,6-дифенил-3-хлорпиридина // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 72–78. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-72-78.

Cite this article as:

Korobko V. V., Pchelintseva N. V., Lunyova M. A., Samsonova E. A. Features of Growth and Development of Wheat Seedlings (*Triticum aestivum* L.) under the Action of 2,4,6-Triphenyl-3,5-dichloropyridine and 2,6-Diphenyl-3-chloropyridine. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 72–78 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-72-78.



УДК 579.26:579.69:574.42:502.55

СООБЩЕСТВА АЭРОБНЫХ БАКТЕРИЙ-ДЕСТРУКТОРОВ ДДТ КАК РЕЗУЛЬТАТ ЕСТЕСТВЕННОЙ И ИСКУССТВЕННОЙ СЕЛЕКЦИИ

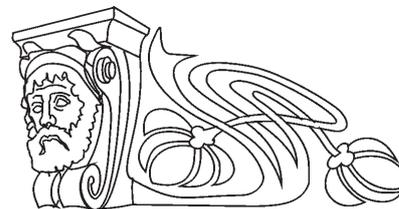
Д. О. Егорова^{1,2}, В. В. Фарофонова^{2,3},
Д. Н. Андреев², С. А. Бузмаков², В. А. Демаков^{1,2}

¹Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Пермь

E-mail: daryao@rambler.ru

²Пермский государственный национальный исследовательский университет

³Пушкинский государственный естественно-научный институт



На протяжении 40 лет почвенная микрофлора ООПТ «Осинская лесная дача» (Пермский край) подвергалась воздействию высоких концентраций ДДТ. Почвы кварталов 11 и 32 были отобраны и использованы в процессе искусственной селекции аэробных бактериальных сообществ, способных разлагать ДДТ. Селекция в лабораторных условиях проводилась в 4 этапа. В результате были зафиксированы сукцессионные изменения, сопровождавшиеся сокращением количества и разнообразия морфотипов бактериальных штаммов в микробных сообществах. Анализ по 16S рРНК показал наличие представителей родов *Bosea*, *Chryseobacterium*, *Cupriavidus*, *Kocuria*, *Mesorhizobium*, *Sphingobium*, *Terrabacter*. Полученные в результате селекции сообщества эффективно разлагают ДДТ – 89–100% за 10 месяцев при начальной концентрации поллютанта – 160 мг/л.

Ключевые слова: ДДТ, аэробные бактерии, деструкция, селекция.

Community of the Aerobic Bacteria-destroyers of DDT as a Result of Natural and Artificial Selection

D. O. Egorova, V. V. Farofonova, D. N. Andreev,
S. A. Buzmakov, V. A. Demakov

For 40 years the soil microflora of the Landscape Reserve «Osinsk Forest Summer House» (Perm region, Russia) was exposed to high concentrations of DDT. Soil from the blocks 11 and 32 were selected and used in the process of artificial selection of aerobic bacterial communities capable of degrading DDT. Selection was carried out in the laboratory in four stages. As a result, successional changes were recorded, accompanied by reduction in the number and diversity of morphological types of bacterial strains in microbial communities. Analysis of 16S rRNA showed the presence of representatives of the genera *Bosea*, *Chryseobacterium*, *Cupriavidus*, *Kocuria*, *Mesorhizobium*, *Sphingobium*, *Terrabacter*. Communities, developed due to selection, were able to effectively degrade DDT – 89–100% over 10 months at an initial concentration of pollutant – 160 mg/l.

Key words: DDT, aerobic bacteria, degradation, selection.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-79-86

Введение

Дихлордифенилтрихлорэтан (ДДТ) – хлорорганический инсектицид широкого спектра действия. Во второй половине XX в. широко применялся по всему миру в сельском хозяйстве для защиты растений от паразитов, а также для

уничтожения насекомых–переносчиков заболеваний человека и животных. Активное использование привело к повсеместному загрязнению почв, а также других элементов экосистем [1–6]. В 2001 г. согласно решению Стокгольмской конвенции ДДТ включен в перечень стойких органических загрязнителей – соединений, особо опасных для окружающей среды и здоровья человека, список «В» [7]. Таким образом, его производство и применение разрешено на данный момент только в Индии и Китае в целях борьбы с малярией. Во всех остальных странах ДДТ должен быть уничтожен, как в местах складирования, так и в окружающей среде.

ДДТ – химически стабильное соединение, устойчивое к действию кислот, щелочей и высоких температур, плохо растворимое в воде, но хорошо растворимое в органических растворителях (липидах). В связи с этим процесс разложения ДДТ в естественных условиях под действием абиотических факторов протекает медленно и неэффективно. Так, известно что период полураспада ДДТ составляет 10–15 лет [7]. Учитывая уровень загрязненности, процесс очистки может затянуться на несколько десятилетий.

Одним из эффективных способов очистки природных сред от инсектицидов является биоремедиация с применением бактериальных штаммов [8]. Анализ литературы показывает, что микроорганизмы разрушают ДДТ как в анаэробных, так и в аэробных условиях [8–10]. Однако минерализация, то есть полное разложение до соединений, неопасных для окружающей среды, возможна только в аэробных условиях. Описано несколько бактериальных штаммов родов *Alcaligenes*, *Pseudomonas* и *Terrabacter*, осуществляющих трансформацию ДДТ до 4-хлорбензойной кислоты (4-ХБК) [8]. 4-ХБК является хлорорганическим соединением 4-го класса опасности. Таким образом, при аэробной трансформации ДДТ образуются соединения менее опасные для человека и животных.



Известно, что при длительном загрязнении почв химическими соединениями в микробиоценозе протекает естественная селекция, направленная на преимущественное развитие бактериальных штаммов, обладающих способностью разлагать вещество-загрязнитель. Так, в почвах, длительно загрязненных хлорорганическими отходами химических производств, значительную долю в микробиоценозе составляют штаммы-деструкторы ароматических поллютантов и их хлорированных производных [11–14]. Длительное загрязнение почвы хлорсодержащими пестицидами ведет к формированию микрофлоры, устойчивой к их воздействию, а также способной к частичной или полной трансформации пестицида [15–17].

Цель настоящего исследования – изучить возможность получения бактериального сообщества, эффективно утилизирующего ДДТ в аэробных условиях, в результате сочетания естественной и искусственной селекции.

Условия эксперимента

В работе использовали аналитически чистые химические реактивы, ДДТ (>98%) фирмы Sigma-Aldrich (Steinheim, Germany). Культивирование осуществляли с использованием среды К1, состава (г/л): $K_2HPO_4 \cdot 3H_2O$ – 3.2, $NaH_2PO_4 \cdot 2H_2O$ – 0.4, $(NH_4)_2SO_4$ – 0.5, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ – 0.15, $Ca(NO_3)_2$ – 0.01; и среды LB, состава (г/л): триптон – 10, дрожжевой экстракт – 5, NaCl – 10 [18, 19], для получения

плотных питательных сред вносили агар-агар до конечной концентрации 1.5%.

Образцы почв отбирали с территории ООПТ «Осинская лесная дача» (Пермский край, Россия), обработанной в 1968–1970 гг. инсектицидными препаратами, содержащими ДДТ и гексахлороциклопексан. Пробоотбор производили в квартале 32 – образец 1 и 2, и в квартале 11 – образец 3 и 31 в соответствии с государственной нормативной документацией [20–22]. Все образцы почв отбирали по методу «конверта» с соблюдением правил асептики. Для дальнейшего анализа брали усредненную пробу.

Эксперимент по искусственной селекции проводили согласно следующей схеме (рис. 1). 10 г почвенного образца помещали в колбу Эрленмейера объемом 250 мл, содержащую 95 мл среды К1 и 0,1 г/л ДДТ (первая стадия искусственной селекции). Колбы выдерживали в термостате (ТС-1/80 СПУ, Россия) при +28°C. Последующие три стадии селекции проводили также в колбах Эрленмейера объемом 250 мл, содержащих 95 мл среды К1 и 0,1 г/л ДДТ, с последовательным переносом по 5 мл культуры и аэрированием на термостатируемой круговой качалке (Environmental Shaker-Incubator ES 20/60, «BioSan», Латвия) при 120 об/мин и +28°C. В результате были получены 4 микробных сообщества с 3-й стадии селекции (обозначены как НК2-№ образца) и 4 микробных сообщества с 4-й стадии селекции (обозначены как НК3-№ образца) (см. рис. 1).



Рис. 1. Схема эксперимента по искусственной селекции аэробных бактериальных сообществ-деструкторов ДДТ

Для изучения микробного состава сообществ проводили выделение чистых культур методом посева на плотную питательную среду LB. Морфологию колоний изолированных штаммов описывали согласно классическим рекомендациям [23]. Все полученные культуры

распределяли по морфотипам, каждому морфотипу присваивали порядковый номер.

Разнообразие выделенных штаммов из селектированных сообществ на геномном уровне изучали с использованием метода ВОХ-ПЦР, как описано [24]. Продукты реакции разделяли



методом электрофореза в агарозном геле (1%) при напряжении 8V/см, окрашивали раствором бромистого этидия (5 мг/л) и фотографировали в УФ-свете в системе гель-документирования Gel Doc™ XR (фирма «Bio-Rad Laboratories», США). Детекцию полос в геле осуществляли, используя алгоритм поиска полос пакета программ Quantity One версия 4.6 (фирма «Bio-Rad Laboratories», США). На основании проведенного анализа профиля ПЦР-продуктов штаммы распределяли по геномгруппам, каждой из которых также присваивали порядковый номер.

Идентификацию штаммов осуществляли на основании анализа нуклеотидной последовательности гена 16S рРНК, которую получали с использованием бактериальных праймеров 27F и 1492R, как описано [25], и определяли с применением набора реактивов Big Dye Terminator Cycle Sequencing Kit на автоматическом секвенаторе Genetic Analyser 3500XL («Applied Biosystems», США). Поиск гомологичных последовательностей производили по базам данных GenBank (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov>) и EzTaxon (<http://www.ezbiocloud.net>).

Способность полученных бактериальных сообществ использовать ДДТ в качестве единственного источника углерода и энергии изучали в периодической культуре. Бактериальное сообщество вносили в колбы Эрленмейера объемом 250 мл, содержащие 100 мл среды К1 и 0,16 г/л ДДТ, с аэрированием на термостатируемой круговой качалке (Environmental Shaker-Incubator ES 20/60, «BioSan», Латвия) при 120 об/мин и +28°C. Рост культуры определяли по изменению оптической плотности при 600 нм (спектрофотометр BioSpec-mini, «Shimadzu», Япония). Концентрацию ДДТ оценивали в культуральной жидкости, освобожденной от клеток центрифугированием (центрифуга miniSpin, «Eppendorf», Германия), методом ВЭЖХ, как описано [26].

Способность индивидуальных штаммов использовать ДДТ, а также его возможные метаболиты или схожие по химической структуре соединения в качестве источника углерода изучали в периодической культуре. Штаммы вносили в колбы Эрленмейера объемом 100 мл, содержащие 20 мл среды К1 и 0,1 г/л субстрата (ДДТ, бифенил, 4-ХБК), с аэрированием при 120 об/мин и +28°C. Рост культуры определяли по изменению оптической плотности при 600 нм (спектрофотометр BioSpec-mini, «Shimadzu», Япония). Изменение оптической плотности культуры свидетельствовало об использовании субстрата в качестве источника углерода.

Статистический анализ полученных результатов проводили в программе Microsoft Excel 2010.

Результаты и их обсуждение

В 1968–1970 гг. территория ООПТ «Осинская лесная дача» (Пермский край, Россия) была обработана хлорорганическими инсектицидами, в том числе ДДТ. Согласно архивным данным препараты вносили из расчета 300 кг на 1 га, при этом содержание хлорорганического соединения составляло 25% от внесенной массы. В дальнейшем обработка территории инсектицидами не проводилась. Рекультивационные мероприятия, направленные на снижение содержания инсектицидов в почве, также не осуществлялись. Таким образом, в почве ООПТ «Осинская лесная дача» были созданы условия для естественной селекции бактериальных штаммов, способных разлагать ДДТ.

Химический анализ почв, отобранных на территории кварталов 32 и 11, выявил различия между уровнем загрязненности образцов инсектицидами [27]. Так как в почве образцов 1 и 2 на данный момент не зафиксировано присутствие ДДТ, можно предположить, что естественный отбор в направлении штаммов-деструкторов завершен. Напротив, в почве образцов 3 и 31 присутствуют хлорорганические соединения (концентрация ДДТ составляет 25,05 мг/кг почвы) [27]. В связи с этим микроорганизмы находятся под давлением негативного фактора и, вероятно, процесс селекции штаммов-деструкторов протекает в настоящий момент.

Микробные сообщества всех почвенных образцов были проведены через четыре стадии искусственной селекции, где в качестве селективного фактора был использован труднодоступный источник углерода – ДДТ (см. рис. 1). Состав сообществ был проанализирован на третьей и четвертой стадиях (табл. 1). Установлено, что в сообществах последней стадии селекции количество морфотипов бактериальных колоний сокращается. Такая тенденция согласуется с классической теорией сукцессионных изменений в составе ценоза, в данном случае микробоценоза [28]. Сокращение разнообразия свидетельствует о переходе сообщества в стационарную стадию, наиболее приспособленную к существованию в данных условиях. Таким образом, можно предположить, что в микробных сообществах НКЗ представлено сочетание бактериальных штаммов, наиболее эффективно разлагающих ДДТ и его метаболиты.



Таблица 1

Морфологический анализ сообществ на 3-й и 4-й стадиях искусственной селекции

Элемент анализа	Образец почвы							
	1		2		3		31	
Микробное сообщество	НК2-1	НК3-1	НК2-2	НК3-2	НК2-3	НК3-3	НК2-31	НК3-31
Количество морфотипов	5	4	6	5	9	7	9	6
Количество новых морфотипов*	–	2	–	2	–	5	–	2
№ доминирующего морфотипа	20	29	1	32	8	36	11	38

Примечание. *Морфотипы, не встречавшиеся в сообществе на 2-й стадии селекции.

Отмечено, что в НК3 встречаются морфотипы, не зафиксированные в составе сообществ предыдущей стадии (табл. 1, 2). Вероятно, численность бактерий данных морфотипов в сообществах НК2 была очень низкой, однако в процессе селекции они смогли занять соответствующую нишу, что и привело к увеличению их количества. Процесс селективного отбора и связанные с ним изменения в микробоценозе подтверждаются также сменой доминирующего морфотипа (см. табл. 1).

Установлено, что состав сообществ НК3 сохраняется в течение 8–10 последовательных пересевов на селективные среды, что подтверждает выдвинутое ранее предположение, что микробные ассоциации четвертой стадии искусственной селекции являются сформировавшимися сообществами, наиболее приспособленными для разложения ДДТ в аэробных условиях.

Путем высева на агаризованные среды получены чистые культуры штаммов, входящих в состав бактериальных ассоциаций НК2 и НК3 (см. табл. 2). Максимальное разнообразие выявлено в ассоциации НК3-3. Установлено, что в ее состав входят 7 штаммов, из них грамположительных – 1, грамотрицательных – 6, принадлежащих 7 различным морфо- и геномогруппам. Минимальное разнообразие отмечено для ассоциации НК3-1. В ее составе присутствуют 4 штамма, из них два грамположительных и два грамотрицательных, все штаммы принадлежат разным морфо- и геномогруппам (см. табл. 2).

Идентификация отдельных штаммов на основании анализа нуклеотидной последовательности гена 16S рРНК показала, что в сообществах представлено значительное разнообразие видов и родов аэробных бактерий (табл. 3).

В результате сравнения нуклеотидной последовательности амплифицированных фрагментов гена 16S рРНК изолятов и известных последовательностей гена 16S рРНК типовых штаммов установлено, что штаммы WD100, WD101 и WD16р имели 100% сходство с представителями родов *Sphingobium*, *Chryseobacterium* и *Terra-*

bacter соответственно. Штаммы WD24 и WD25 филогенетически близки бактериям рода *Kocuria*, но демонстрируют сходство с различными видами данного рода. Наибольший интерес в филогенетическом плане представляет штамм WD13р, показавший наименьший процент сходства с известными видами. Можно предположить, что при дальнейшей идентификации данный штамм может быть описан как представитель нового вида бактерий.

У штаммов, формирующих бактериальные сообщества 3-й и 4-й стадий селекции была изучена способность использовать (хлор)ароматические субстраты в качестве источника углерода и энергии. Субстратную специфичность оценивали по росту бактериальной культуры в минеральной среде К1, содержащей ДДТ, бифенил или 4-хлорбензойную кислоту (см. табл. 2).

Установлено, что 34% выделенных штаммов эффективно растут на ДДТ, 30% утилизируют бифенил и 36% штаммов способны использовать в качестве ростового субстрата 4-хлорбензойную кислоту (см. табл. 2). Таким образом, штаммы, изолированные из почв, загрязненных ДДТ, обладают широкой субстратной специфичностью по отношению к веществам-ксенобиотикам.

Также установлено, что одиннадцать бактериальных штаммов проявляют деградационную активность ко всем трем из исследованных субстратов, а десять штаммов – к двум субстратам в разной комбинации (см. табл. 2). Данное явление может быть объяснено энергетической выгодой для микроорганизма от полной минерализации вещества и, возможно, плазмидной локализацией генов, отвечающих за деструкцию соответствующих субстратов.

Следует отметить, что большая часть выделенных штаммов характеризуется слабым ростом в условиях, когда источником углерода является ДДТ. Данное явление может быть обусловлено тем, что эффективный рост бактериальной культуры возможен только при полной минерализации субстрата и, таким образом, максимальном использовании представленного



Таблица 2

Состав сообществ аэробных бактерий-деструкторов ДДТ

Сообщество	Индивидуальные штаммы	Группа (№)		Грамположительные (+) / граммотрицательные (-)	Разлагаемые соединения
		морфо-	геномо-		
НК2-1	WD17p	17	1	+	ДДТ
НК2-1	WD18p	18	2	-	ДДТ
НК2-1	WD19p	19	3	-	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК2-1/НК3-1	WD20.1	20	4	+	ДДТ
НК2-1/НК3-1	WD28	28	5	+	Бифенил
НК3-1	WD29	29	6	-	4-ХБК
НК3-1	WD43	43	7	-	4-ХБК, ДДТ
НК2-2	WD1p	1	8	-	Бифенил
НК2-2	WD4p	4	9	-	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК2-2	WD5p	5	10	+	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК2-2/НК3-2	WD24	24	11	+	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК2-2/НК3-2	WD25	25	12	+	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК2-2/НК3-2	WD26	26	13	+	4-ХБК, ДДТ
НК3-2	WD34.1	34	14	-	4-ХБК, ДДТ
НК3-2	WD32	32	15	-	Бифенил, ДДТ
НК2-3	WD7p	7	16	-	Бифенил
НК2-3	WD8p	8	17	+	Бифенил
НК2-3	WD10p	10	18	+	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК2-3	WD10.1	10	19	-	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК2-3	WD21.1	21	20	+	Бифенил
НК2-3	WD21.2	21	21	+	Бифенил
НК2-3	WD21.3	21	22	+	Бифенил
НК2-3/НК3-3	WD22.1	22	23	+	4-ХБК
НК2-3/НК3-3	WD23	23	24	-	4-ХБК, ДДТ
НК3-3	WD36	36	25	-	4-ХБК, ДДТ
НК3-3	WD37	37	26	-	Бифенил
НК3-3	WD41.1	41	27	-	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК3-3	WD100	44	28	-	Бифенил, 4-ХБК
НК3-3	WD101	45	29	-	4-ХБК
НК2-31	WD11p	11	30	+	4-ХБК
НК2-31	WD12p	12	31	+	Бифенил, ДДТ
НК2-31	WD12.1	12	32	+	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК2-31	WD13p	13	33	+	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК2-31	WD14p	14	34		Бифенил
НК2-31/НК3-31	WD14.1	14	35	+	Бифенил, ДДТ
НК2-31/НК3-31	WD15p	15	36	+	бифенил
НК2-31/НК3-31	WD16p	16	37	+	ДДТ, бифенил, 4-ХБК
НК2-31/НК3-31	WD16.1	16	38		Бифенил
НК3-31	WD30	30	39	+	4-ХБК, ДДТ
НК3-31	WD38	38	40	+	ДДТ



Таблица 3

Идентификация штаммов-деструкторов ДДТ

Сообщество	Штамм	Типовой штамм	Сходство, %
НКЗ-2	WD4p	<i>Cupriavidus basilensis</i> CCUG 49340(T)	99,90
	WD5p	<i>Bosea thiooxidans</i> DSM 9653 ^T	99,68
	WD24	<i>Kocuria rosea</i> DSM 20447(T)	99,37
	WD25	<i>Kocuria rhizophila</i> DSM 11926 ^T	99,87
НКЗ-3	WD100	<i>Sphingobium yanoikuyae</i> ATCC 51230(T)	100
	WD101	<i>Chryseobacterium profundimaris</i> DY46 ^T	100
	WD13p	<i>Mesorhizobium qingshengii</i> CCBAU 33460 ^T	96,69
	WD16p	<i>Terrabacter carboxydivorans</i> PY2 ^T	100
НКЗ-31	WD10.1	<i>Cupriavidus basilensis</i> CCUG 49340 ^T	99,88

в нем углерода. Вероятно, большая часть изолированных штаммов осуществляет частичную трансформацию ДДТ.

Исследована способность бактериальных сообществ стадии НКЗ разлагать ДДТ (рис. 2). Из представленных на диаграммах данных видна корреляционная зависимость между набором биомассы и уменьшением концентрации субстрата (коэффициент корреляции составил 0,91–0,99), что подтверждает способность дан-

ных микробных сообществ использовать ДДТ для собственного роста как источник углерода и энергии. Удельная скорость деструкции при этом варьировала в пределах от 3×10^{-3} до 5×10^{-3} (мг ДДТ)/(л)/(сут). По данному показателю исследуемые бактериальные сообщества уступают штамму *Sphingobacterium* sp. D6 [29], однако стоит отметить, что концентрация ДДТ свыше 50 мг/л может оказывать ингибирующий эффект на деструктивную активность штаммов [15].

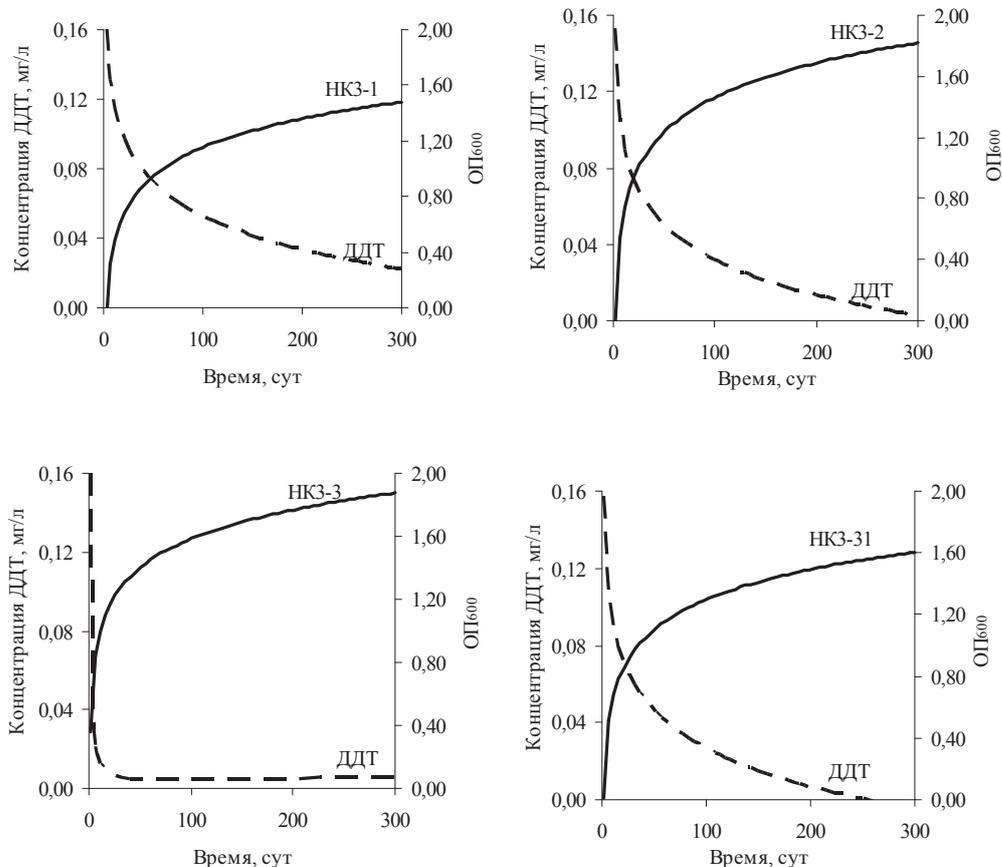


Рис. 2. Рост микробных сообществ в минеральной среде K1 с ДДТ в качестве единственного источника углерода



Заключение

На основании результатов, полученных при анализе культуральной среды методом ВЭЖХ, установлено, что в течение первого месяца культивирования наиболее эффективно ДДТ разлагает бактериальная ассоциация НКЗ-3, однако через 10 месяцев максимальная убыль субстрата отмечена при культивировании ассоциации НКЗ-31 (табл. 4). Известны бактериальные сообщества, а также индивидуальные штаммы, осуществляющие разложение 80–96% ДДТ при исходной концентрации 50–100 мг/л за аналогичный отрезок времени [16, 30].

Таблица 4

Разложение ДДТ (%) аэробными бактериальными сообществами

Время, сут	Бактериальное сообщество				Минеральный контроль
	НКЗ-1	НКЗ-2	НКЗ-3	НКЗ-31	
30	52,18	57,7	96,25	32,7	0,2
300	89,30	97,8	96,40	100	2,1

В работе [31] описаны бактериальные штаммы, способные за 30 дней осуществлять разложение 40–64% ДДТ при исходной концентрации 200 мг/л. Таким образом, сообщества аэробных бактерий, полученные в настоящей работе в результате селекции, не уступают по своей деградативной активности известным индивидуальным штаммам – деструкторам ДДТ, а также бактериальным сообществам, трансформирующим ДДТ.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ-Урал (проект № 14-04-96021р_урал_а).

Список литературы

1. Аладдин Д. Ю., Демин Д. В., Деева Н. Ф., Лупачев А. В., Ильина А. А., Севостьянов С. М. Анализ загрязнения хлорорганическими соединениями компонентов экосистемы Антарктиды // Изв. Уфим. науч. центра РАН. 2013. № 3. С. 110–113.
2. Бродский Е. С., Шелепчиков А. А., Фешин Д. Б., Агапкина Г. И., Артюхова М. В. Содержание и распределение дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) в почвах Москвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17: Почвоведение. 2016. № 1. С. 32–40.
3. Галиулин Р. В., Галиулина Р. А. Импактные зоны стойких хлорорганических соединений в окружающей среде // Агрохимия. 2011. № 3. С. 83–89.
4. Зыбалов В. С., Крупнова Т. Г. Исследование содержания хлорорганических пестицидов в объектах окружающей среды на территории Челябинской области // Вестн. ЮУрГУ. Сер. Химия. 2014. Т. 6, № 3. С. 39–43.
5. Odukkathil G., Vasudevan N. Toxicity and bioremediation of pesticides in agricultural soil // Rev. in Environ. Sci. and Biotechnol. 2013. Vol. 12. P. 421–444.
6. Verma J. P., Jaiswal D. K., Sagar R. Pesticide relevance and their microbial degradation: a state-of-art // Rev. in Environ. Sci. and Biotechnol. 2014. Vol. 13. P. 429–466.
7. Final act of the Conference of Plenipotentiaries on the Stockholm convention on the persistent organic pollutants, Stockholm, 22–23 May // UNEP/POPS/CONF/4. United Nations Environment Programme. Geneva, 2001. URL: <http://chm.pops.int>
8. Sudharshan S., Naidu R., Mallavarapu M., Bolan N. DDT remediation in contaminated soils: a review of recent studies // Biodegradation. 2012. Vol. 23. P. 851–863.
9. Quensen J. F. III, Tiedje J. M., Jain M. K., Mueller S. A. Factors controlling the rate of DDE dechlorination to DDMU in Palos Verdes margin sediments under anaerobic conditions // Environ. Sci. Technol. 2001. Vol. 32. P. 286–291.
10. Eganhouse R. P., Pontolillo J. Assessment of 1-chloro-4-[2,2-dichloro-1-94-chlorophenyl]ethenyl]benzene (DDE) transformation rates on the Palos Verdes Shelf // CA : U.S. Geological Survey Open-File Report 2007-1362. 119 p., 7 приложений. URL: <http://pubs.usgs.gov/of/2007/1362> (дата обращения: 10.05.2016).
11. Рыбкина Д. О., Плотникова Е. Г., Дорофеева Л. В., Мироненко Ю. Л., Демаков В. А. Новый аэробный грамположительный микроорганизм с уникальными свойствами деструкции орто- и пара-хлорированных бифенилов // Микробиология. 2003. Т. 72, № 6. С. 759–765.
12. Плотникова Е. Г., Рыбкина Д. О., Ананьина Л. Н., Ястребова О. В., Демаков В. А. Характеристика микроорганизмов, выделенных из техногенных почв Прикамья // Экология. 2006. № 4. С. 261–268.
13. Назаров А. В., Егорова Д. О., Макаренко А. А., Демаков В. А., Плотникова Е. Г. Эколого-микробиологическая оценка грунтов, загрязненных полихлорированными бифенилами // Экология человека. 2016. № 3. С. 3–8.
14. Megharaj M., Kantachote D., Singleton I., Naidu R. Effects of long-term contamination of DDT on soil microflora with special reference to soil algae and algal transformation of DDT // Environ. Pollution. 2000. Vol. 109. P. 35–42.
15. Bidlan R., Manonmani H. K. Aerobic degradation of dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) by *Serratia marcescens* DT-1P // Process Biochemistry. 2002. Vol. 38. P. 49–56.
16. Mwangi K., Boga H. I., Muigai A. W., Kiiyukia C., Tsanuo M. K. Degradation of dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT) by bacterial isolates from cultivated and uncultivated soil // Afric. J. of Microbiol. Res. 2010. Vol. 4, № 3. P. 185–196;
17. Bajaj A., Mayilraj S., Mudiam M. K. R., Patel D. K., Manickam N. Isolation and functional analysis of a glycolipid producing *Rhodococcus* sp. strain IITR03 with potential for degradation of 1,1,1-trichloro-2,2-bis(4-chlorophenyl)ethane (DDT) // Bioresource Technology. 2014. Vol. 167. P. 398–406.



18. Bertani G. Studies on lysogenesis. I. The mode of phage liberation by lysogenic *Escherichia coli* // J. of Bacteriol. 1951. Vol. 62. P. 293–300.
19. Zaitsev G. M., Tsoi T. V., Grischenkov V. G., Plotnikova E. G., Boronin A. M. Genetic control of degradation of chlorinated benzoic acids in *Arthrobacter globiformis*, *Corynebacterium sepedonicum* and *Pseudomonas ceracia* strains // FEMS Microbiol. Lett. 1991. Vol. 81. P. 171–176.
20. ГОСТ 17.4.3.01-83 Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. М. : ИПК Изд-во стандартов, 2004. 4 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200012800>
21. ПНД Ф 12.1:2.2:2.3.2-03 Отбор проб почв, грунтов, осадков биологических очистных сооружений, шламов промышленных сточных вод, донных отложений искусственно созданных водоемов, прудов-накопителей и гидротехнических сооружений. Методические рекомендации. М., 2003. 13 с. URL: http://snipov.net/database/c_4294956132_doc_4293831988.html
22. ГОСТ 12071-2014 Грунты. Отбор, упаковка, транспортирование и хранение образцов. М. : Стандартинформ, 2015. 12 с. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-12071-2000>
23. Непрусов А. И., Егорова М. А. Практикум по микробиологии. М. : Академия, 2005. 608 с.
24. Versalovic J., Schneider M., Bruijn F. J. de Genomic fingerprinting of bacteria using repetitive sequence based polymerase chain reaction // Methods in Molecular and Cellular Biology. 1994. Vol. 5. P. 25–40.
25. Tirola M. A., Mannisto M. K., Puhakka J. A., Kulomaa M. S. Isolation and characterization of *Novosphingobium* sp. strain MT1, a dominant polychlorophenol degrading strain in a groundwater bioremediation system // Appl. Environ. Microbiol. 2002. Vol. 68. P. 173–180.
26. Егорова Д. О., Шумкова Е. С., Демаков В. А., Плотникова Е. Г. Разложение хлорированных бифенилов и продуктов их биоконверсии штаммом *Rhodococcus* sp. В7а // Прикладная биохимия и микробиология. 2010. Т. 46, № 6. С. 644–650.
27. Егорова Д. О., Андреев Д. Н., Первова М. Г. Анализ почв с территорий, подвергнутых обработке инсектицидами // Антропогенная трансформация природной среды. Науч. чтения памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка : материалы междунар. школы-семинара молодых ученых (13–14 ноября 2014 г.) / под ред. С. А. Бузмакова ; Перм. гос. нац. исслед. ун-т. Пермь, 2014. С. 146–149.
28. Одум Ю. Экология : в 2 т. / пер. с англ. М. : Мир, 1986. Т. 1. 328 с. ; Т. 2. 376 с.
29. Fang H., Dong B., Yan H., Tang F., Yu Y. Characterization of a bacterial strain capable of degrading DDT congeners and its use in bioremediation of contaminated soil // J. of Hazardous Materials. 2010. Vol. 184. P. 281–289.
30. Qu J., Xu Y., Ai G.-M., Liu Y., Liu Z.-P. Novel *Chryseobacterium* sp. PYR2 degrades various organochlorine pesticides (OCPs) and achieves enhancing removal and complete degradation of DDT in highly contaminated soil // J. of Environ. Management. 2015. Vol. 161. P. 350–357.
31. Sharma S. K., Sadasivam K. V., Dave J. M. DDT degradation by bacteria from activated sludge // Environ. Intern. 1987. Vol. 13. P. 183–190.

Образец для цитирования:

Егорова Д. О., Фарофонова В. В., Андреев Д. Н., Бузмаков С. А., Демаков В. А. Сообщества аэробных бактерий-деструкторов ДДТ как результат естественной и искусственной селекции // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 79–86. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-79-86.

Cite this article as:

Egorova D. O., Farofonova V. V., Andreev D. N., Buzmakov S. A., Demakov V. A. Community of the Aerobic Bacteria-Destructors of DDT as a Result of Natural and Artificial Selection. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 79–86 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-79-86.



УДК 582.734.4 (470)

К ИЗУЧЕНИЮ РОДА *ALCHEMILLA* L. (ROSACEAE) В ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

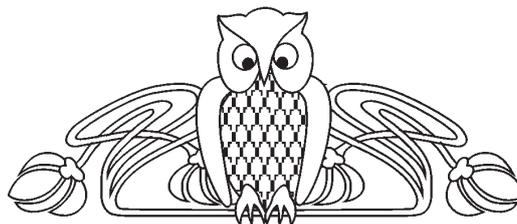
В. М. Васюков¹, А. В. Чкалов²

¹Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти

E-mail: vvasjukov@yandex.ru

²Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского

E-mail: biofor@yandex.ru



В результате критического изучения рода *Alchemilla* в Пензенской области (Россия) выявлено 37 видов: *A. acutiloba* Opiz, *A. trifolia* Zämelis, *A. baltica* G. Sam. ex Juz., *A. breviloba* H. Lindb., *A. cheirochlora* Juz., *A. conglobata* H. Lindb., *A. cymatophylla* Juz., *A. decalvans* Juz., *A. exilis* Juz., *A. glabricaulis* H. Lindb., *A. hebescens* Juz., *A. heptagona* Juz., *A. hians* Juz., *A. hirsuticaulis* H. Lindb., *A. homoeophylla* Juz., *A. leiophylla* Juz., *A. lessingiana* Juz., *A. lindbergiana* Juz., *A. litwinowii* Juz., *A. macrescens* Juz., *A. micans* Buser, *A. minizonii* Czakalov, *A. monticola* Opiz, *A. nemoralis* Alechin, *A. propinqua* H. Lindb. ex Juz., *A. psiloneura* Juz., *A. pustynensis* Czakalov, *A. rigescens* Juz., *A. sarmatica* Juz., *A. schmakovii* Czakalov, *A. semilunaris* Alechin, *A. subcrenata* Buser, *A. substrigosa* Juz., *A. tichomirovii* Czakalov, *A. tubulosa* Juz., *A. tzvelevii* Czakalov, *A. vorotnikovii* Czakalov.

Ключевые слова: *Alchemilla*, Rosaceae, Пензенская область, Россия.

On the Study of the Genus *Alchemilla* L. (Rosaceae) in the Penza Region

V. M. Vasjukov, A. V. Chkalov

As a result of critical revision, 37 species of the genus *Alchemilla* were revealed in the Penza region (Russia): *A. acutiloba* Opiz, *A. trifolia* Zämelis, *A. baltica* G. Sam. ex Juz., *A. breviloba* H. Lindb., *A. cheirochlora* Juz., *A. conglobata* H. Lindb., *A. cymatophylla* Juz., *A. decalvans* Juz., *A. exilis* Juz., *A. glabricaulis* H. Lindb., *A. hebescens* Juz., *A. heptagona* Juz., *A. hians* Juz., *A. hirsuticaulis* H. Lindb., *A. homoeophylla* Juz., *A. leiophylla* Juz., *A. lessingiana* Juz., *A. lindbergiana* Juz., *A. litwinowii* Juz., *A. macrescens* Juz., *A. micans* Buser, *A. minizonii* Czakalov, *A. monticola* Opiz, *A. nemoralis* Alechin, *A. propinqua* H. Lindb. ex Juz., *A. psiloneura* Juz., *A. pustynensis* Czakalov, *A. rigescens* Juz., *A. sarmatica* Juz., *A. schmakovii* Czakalov, *A. semilunaris* Alechin, *A. subcrenata* Buser, *A. substrigosa* Juz., *A. tichomirovii* Czakalov, *A. tubulosa* Juz., *A. tzvelevii* Czakalov, *A. vorotnikovii* Czakalov.

Key words: *Alchemilla* L., Rosaceae, Penza region, Russia.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-87-92

Род *Alchemilla* L. – одна из самых сложных систематических групп, включающая не менее 350 видов (преимущественно апомиктических рас) [1–4].

Обзор видов рода *Alchemilla* в Пензенской области проведен в основном по гербарным сборам, хранящимся в Пензенском государственном

университете (РКМ), Государственном природном заповеднике «Приволжская лесостепь» (ГПЗ), а также Ботаническом институте им. В. Л. Комарова РАН (LE), Московском государственном университете им. М. В. Ломоносова (МВУ), Институте экологии Волжского бассейна РАН (PVB).

Критически проанализированы литературные данные по роду *Alchemilla* в региональной флоре [5–14].

Распространение видов в Пензенской области приводится по бассейнам крупных рек – Ворона (ВОР), Хопер (ХОП) (бассейн Дона), Мокша (МОК), Сура (СУР) (бассейн Волги), с уточнением, в случае необходимости, и по административным районам. Общее распространение приводится согласно районам, принятым во «Флоре Европейской части СССР» [15].

Виды рода *Alchemilla* – Манжетка, зарегистрированные в Пензенской области (в алфавитном порядке):

1. *A. acutiloba* Opiz, 1838, Oekon.-Techn. Fl. Böhm. [Berchtold et al.] 2(1): 15. – *A. vulgaris* L., 1753, Sp. Pl., 1: 123, p. p.; emend. Fröhner, 1986, Gleditschia, 14, 1: 64; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 512. – *A. acutangula* Buser, 1894, Ver. Schweiz. Bot. Ges., 4: 69; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 353. – **М. остролопастная.**

Нередко. ВОР; МОК: [5]; СУР: Белинский; Камешкирский (Ст. Шаткино), Городищенский, Пензенский, Сосновоборский р-ны (РКМ; ГПЗ).

Общ. распр.: Зап. и Вост. Сиб., Дальн. Вост. (заносн.), Ср. Азия (зан.), Сканд., Ср. и Атл. Евр., Вост. Евр. (аркт., зап., сев.-зап., центр., повол., вост.), Средиз.

2. *A. trifolia* Zämelis, 1937, Latv. Biol. Biedribas Raksti, 7: 147; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 350, in adnot. – *A. lindbergiana* Juz., 1923, p. p., excl. typi, Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр. 9: 511. – **М. тёмнолистная.**

Нередко. ВОР; СУР: Белинский (Поим); Городищенский, Камешкирский (заповедный участок «Кунчеровская лесостепь»), Лунинский, Пензенский (зап. окр. Пензы, Заречный) р-ны (РКМ; ГПЗ).



Общ. распр.: Зап. и Вост. Сиб., Вост. Евр. (Волж.-Кам., Волж.-Дон., Заволж.).

3. *A. baltica* G. Sam. ex Juz., 1940, Маевский, Фл. средн. пол. Европ. части СССР, изд. 7: 449; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 523. – *A. nebulosa* G. Sam., 1940, Svensk Bot. Tidskr., 34: 444; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 388. – **М. балтийская.**

Нередко: ВОР; МОК; СУР: Белинский, Камешкирский, Кузнецкий, Пензенский, Спасский р-ны (ЛЕ; РКМ; PVB).

Общ. распр.: Зап. Сиб., Сканд., Вост. Евр. (аркт., зап., сев.-зап., центр., повол., вост.).

4. *A. breviloba* H. Lindb., 1909, Acta Soc. Sci. Fenn., 37, 10: 36, in adnot.; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 341; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 507. – **М. коротколопастная.**

Довольно редко. ВОР; МОК: указан для Иссинского р-на (с. Николаевка) [5]; СУР: 1) Белинский р-н, с. Лермонтово, 29.05.2008, Т. Разживина, det. A. Czkalov (MW); 2) Пенза, окр. к западу и юго-западу, пригородный лес, луговые поляны, 1.07.1985, Л. Каменева, С. Фокеева, det. A. Czkalov, veriss (РКМ, № 037029); 3) Пенза, окр., луг северо-западнее пос. Ахуны, 12.06.1975, Л. В. Симова, det. A. Czkalov (РКМ, № 037030); 4) Пенза, пос. Ахуны, в 7 км к востоку от города, на открытом месте, 12.06.1978, Моисеева, Кошкина, det. A. Czkalov (РКМ, № 037035); 5) Городищенский у., д. Александровка, у мостика в казенный дом, 13.08.1919, А. И. Введенский, det. A. Czkalov (РКМ, № 037036); данный сбор в 1924 г. С. В. Юзепчук определил как *A. strigosula* Buser ex C. DC.; 6) Городищенский у., Маисское лесн.-во, д. Покровская Слобода, лужайка, 4.06.1924, Е. Н. Новоденежкин, det. A. Czkalov (РКМ, № 037078); 7) Пенза, окр. к востоку, близ пос. Ахуны, 200?, Е. В. Сафонова, det. A. Czkalov (РКМ, № 037139); 8) Кузнецкий р-н, заповедный участок «Верховья Суры», кв. 48/6, Татарский просек, 26.07.1997, В. Васюков, det. A. Czkalov (ГПЗ); 9) Кузнецкий р-н, заповедный участок «Верховья Суры», лесная поляна кв. 15 (небольшая поляна на развилке лесных дорог), Татарский просек, 3.07.1998, В. Васюков, det. A. Czkalov (ГПЗ); 10) Сосновоборский р-н, окр. с. Русский Качим, 5.06.2003 г., Т. Разживина, det. A. Czkalov (MW).

Общ. распр.: Зап. Сиб. (Алт.), Ср. Азия (Прибал.), Вост. Евр. (сев.-зап., центр., вост.).

5. *A. cheirochlora* Juz., 1951, Бот. мат. (Ленинград), 14: 153; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 504. – **М. ярко-зелёная.**

Редко. СУР: 1) Пенза, лиственный лес близ сельхозтехникума, луг около ручья, 1.07.1978,

Климашина, Бочкарева, det. A. Czkalov (РКМ, № 037120); 2) Пенза, окр., близ сельхозтехникума, 14.06.2001, Колобкова, det. A. Czkalov (РКМ, № 037136).

Общ. распр.: Вост. Евр. (Верх.-Волж., Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

6. *A. conglobata* H. Lindb., 1909, Acta Soc. Sci. Fenn., 37, 10: 36; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 338; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 506. – *A. juzepczukii* Alechin, 1929, Предв. отчет о раб. Нижегород. геобот. экспед. в 1928 г.: 92. – **М. шаровидно-скупенная.**

Нередко. ВОР; МОК [5]; СУР: Белинский, Городищенский, Камешкирский, Кузнецкий (заповедный участок «Верховья Суры»), Лунинский, Пензенский р-ны (ЛЕ; РКМ; ГПЗ).

Общ. распр.: Зап. и Вост. Сиб. (Анг.-Саян.), Ср. Азия (Прибал., Тянь-Шан., Дж.-Тарб.), Сканд., Вост. Евр. (сев.-зап., центр., повол., вост.).

7. *A. cymatophylla* Juz., 1922, Бот. мат. (Ленинград), 3, 11–12: 41; id., 1941, Фл. СССР, 10: 345; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 508. – **М. волнистолистная.**

Редко. ВОР; МОК [5]; СУР: Белинский (Поим) (ГПЗ), Пензенский (Пенза) (РКМ), Сосновоборский (Новый Качим) (MW).

Общ. распр.: Зап. Сиб. (Алт.), Ср. Азия (Тянь-Шан.), Сканд., Ср. Евр., Вост. Евр. (сев.-зап., центр., повол., вост.).

8. *A. decalvans* Juz., 1933, Тр. Бот. инст. АН СССР, сер. 1, 1: 125; id., 1941, Фл. СССР, 10: 360; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 516. – **М. лысеющая.**

Редко. СУР: 1) Кузнецкий, у., с. Новый Кряжим, луга в овраге Гремячем, 14.07.1920, А. Введенский (ЛЕ); 2) Никольский р-н (locus classicus – «prov. Penza, distr. Gorodiscze, pag. Bazarnaja Kelscha» (ЛЕ) [1]; 3) Пензенский у., разнотравье по левому берегу р. Акульки бл. мостика на дороге с кордона Маслова в Леонидовск. л-во, 22.06.1926, Б. П. Сацердотов, det. С. Юзепчук (ЛЕ). Указание для Кузнецкого р-на (с. Часы, заповед. уч-к «Верховья Суры») [7] относится к *A. sarmatica* Juz. (PVB) [8].

Общ. распр.: Вост. Евр. (Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

9. *A. exilis* Juz., 1931, Тр. Бот. сада АН СССР, 43, 2: 502; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 502. – *A. egens* Juz., 1933, Тр. Бот. инст. АН СССР, сер. 1, 1: 119; id., 1941, Фл. СССР, 10: 325. – *A. rubens* Juz., 1941, Фл. СССР, 10, прил.: 626. – **М. тощая.**

Редко. СУР: по р. Медаевке Камеш. р-на [13].

Общ. распр.: Ср. Азия (Прибал., Дж.-Тарб., Тянь-Шан.), Вост. Евр. (Волж.-Кам., Волж.-Дон.).



10. *A. glabricaulis* Н. Lindb., 1909, Acta Soc. Sci. Fenn., 37, 10: 3; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 376; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 519. – **М. голостебельная.**

Нередко. ВОР; СУР: Белинский, Камешкирский, Кузнецкий, Пензенский (РКМ) [9, 13].

Общ. распр.: Ср. Евр., Вост. Евр. (сев., прибалт., центр., зап., вост.).

11. *A. hebescens* Juz., 1931, Тр. Бот. сада АН СССР, 43, 2: 537 (русс.); id., 1932, Animadv. Syst. Herb. Univ. Tomsk., 5–6: 3; id., 1941, Фл. СССР, 10: 330; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 502. – **М. притупляющаяся.**

Редко. СУР: Кузнецкий у., Пичеуро-Найманское лесн-во, данные Л. Калашникова [13].

Общ. распр.: Зап. и Вост. (Анг.-Саян.) Сиб., Дальн. Вост. (заносн.), Ср. Азия (Тянь-Шан.), Вост. Евр. (центр. и вост.), Монг.

12. *A. heptagona* Juz., 1922, Бот. мат. (Ленинград), 3: 45; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 359; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 516. – **М. семиугольная.**

Редко. СУР: окр. г. Заречный, сырая поляна в лиственном лесу, 1.06.2001, Т. Разживина, det. А. Czkalov (MW).

Общ. распр.: Сканд, Вост. Евр.

13. *A. hians* Juz., 1941, Фл. СССР, 10: 621; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 511. – **М. зияющая.**

Редко. СУР: 1) Пенза, район Западной Поляны, луг, по опушке леса, 10.06.1978, Н. В. Шмелев, Н. П. Казачкова, det. А. Czkalov (РКМ, № 036964).

Общ. распр.: Зап. и Вост. (Анг.-Саян.) Сиб., Ср. Азия (Дж.-Тарб., Тянь-Шан.), Вост. Евр. (центр., вост.), Дж.-Кашг.

14. *A. hirsuticaulis* Н. Lindb., 1904, Meddeland. Soc. Fauna Fl. Fenn., 30: 143; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 323; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 499. – **М. жёстковолосистостебельная**

Нередко. ВОР; МОК; СУР: Белинский, Вадинский, Камешкирский, Кузнецкий, Мокшанский, Никольский, Пензенский р-ны (LE; MW; РКМ)

Общ. распр.: Зап. и Вост. (Анг.-Саян.) Сиб., Сканд., Ср. Евр., Вост. Евр. (сев., прибалт., сев.-зап., центр., зап., вост.).

15. *A. homoeophylla* Juz., 1951, Бот. мат. (Ленинград), 14: 159; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 514. – **М. одинаковолистная.**

Редко. МОК; СУР: 1) Пенза, Арбековский лес, на поляне, 10.06.1976, Макарычева, det. А. Czkalov (РКМ, № 036951); 2) Нижнеломовский р-н, Татарский лес, 5.06.2000. Т. Разживина, det. А. Czkalov (РКМ, № 036995); 3) Пенза, за-

падная окр. города, Арбековский лес, на опушке, 10.06.1975, Климова, det. А. Czkalov (РКМ, № 037005); 4) Пензенский у. [Бессоновский р-н], с. Грабово, в парке Сазонова, 28.05.1916, А. И. Введенский, det. А. Czkalov (РКМ, № 037038); 5) Пенза, окр., близ пос. Сосновка, 14.06.2002, Блинкова, det. А. Czkalov (РКМ, № 037140); 6) Пенза, окр., 200?, Н. Бессонова, det. А. Czkalov (РКМ, № 037162 – 1).

Общ. распр.: Вост. Евр. (Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

16. *A. leiophylla* Juz., 1933, Тр. Бот. инст. АН СССР, сер. 1, 1: 127; id., 1941, Фл. СССР, 10: 354; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 514. – **М. гололистная.**

Редко. СУР: 1) Средне-Волжский гос. заповедник, Пензенский у., окр. заповедный участка «Сосновый бор», разнотравье по левому берегу Акульки близ мостика на дороге с кордона Маслова в Леонидовское лесн-во, 22.06.1926, Б. П. Сацердотов, det. S. Juzepczuk (РКМ, № 036989).

Общ. распр.: Вост. Евр. (сев. (заносн.); Волж.-Кам., Волж.-Дон., Заволж.).

17. *A. lessingiana* Juz., 1951, Бот. мат. (Ленинград), 14: 156; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 511, р. р., excl. *A. sub-lessingiana* Juz.

Редко. СУР: 1) г. Пенза, около сельхозтехникума, на лугу, 6.06.1986, Токарева, Роженцов, det. А. Czkalov (РКМ, № 037083 – 1). – **М. Лессинга.**

Общ. распр.: Вост. Евр. (Волж.-Кам., Волж.-Дон., Заволж.).

18. *A. lindbergiana* Juz., 1923, Бот. мат. (Ленинград), 4, 23–24: 181; id., 1941, Фл. СССР, 10: 350; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр. 9: 511, р. р. – **М. Линдберга.**

Довольно редко. СУР: 1) Пенза, окр. к западу, опушка лиственного леса биз сельхозтехникума, 15.07.1987, Шишканов, det. А. Czkalov (РКМ, № 036956); 2) Пенза, западная окраина города, поляна в лиственном лесу, 5.06.1979, Н. Б. Степанова, det. А. Czkalov (РКМ, № 036957); 3) Пенза, 2 км к северу от пос. Ахуны, сухой луг, 20.07.1979, Казакова, Лындина, det. А. Czkalov (РКМ, № 036958); 4) Пензенский у., по сырому лугу в пойме Суры у с. Грабова, 19.06.1922, G. Grosset, det. S. Juzepczuk (LE) [8]; 5) Пенза, район Западной Поляны, 2003 г., О. Горшкова det. А. Czkalov (ГПЗ). Кроме приведенных выше сборов, по данным Т. Б. Силаевой [13], в БИН РАН (LE, опр. С. Юзепчук) хранятся экземпляры: 6) окр. Пензы, за Сурой, на лугу, 15.06.1910, Н. В. Дюкина; 7) Терновский р-н, Засурские леса, пос. при ст. Леонидовка, 21.05.195?, Шиндина; 8) Кузнецкий у., Камешкирское лесн-во, овраг, 7.06.1927, С. Метлов; 9) Кузнецкий у., Кададин-



ское лесн-во, 8.07.1926, Л. Калашников. Прежнее указание вида для ВОР (с. Поим Белинского р-на) [6] относятся к *A. trifolia* Zämelis (РКМ, № 036990).

Общ. распр.: Зап. Сиб. (Ирг., Алт.), Вост. Евр. (Лад.-Ильм., Верх.-Волж., Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

19. *A. litwinowii* Juz., 1933, Тр. Бот. инст. АН СССР, сер. 1, 1: 123; id., 1941, Фл. СССР, 10: 344; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 510. – **М. Литвинова.**

Довольно редко. СУР: 1) Пенза, окр. к западу от города, луга близ сельхозтехникума, 16.07.1986, С. Астахова, det. A. Czkalov (РКМ, № 036961); 2) окр. г. Пензы, 2 км к северо-востоку от пос. Ахуны, луга, 20.07.1979, Гаврина, Мещерякова, det. A. Czkalov (РКМ, № 036962); 3) Пенза, окр., в 2 км к северу от пос. Ахуны, сухой луг, 20.07.1979, студенты ПГПИ, det. A. Czkalov (РКМ, № 036984); 4) г. Пенза, пос. Ахуны, правобережная пойма р. Суры, сырой луг, 12.07.1975, Козлова, Митрофанова, det. A. Czkalov (РКМ, № 036985); 5) Пенза, окр., в 2 км к северу от пос. Ахуны, луга, 20.06.1979, студенты ПГПИ, det. A. Czkalov (РКМ, № 037037); 6) г. Пенза, район Западной Поляны, на открытом месте, 18.07.1972, А. А. Солянов, det. A. Czkalov (РКМ, № 037096); 7) г. Заречный, Т. В. Разживина, 1997 г. (MW).

Общ. распр.: Вост. Евр. (сев. (заносн.); Верх.-Волж., Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

20. *A. macrescens* Juz., 1951, Бот. мат. (Ленинград), 14: 148; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 503. – **М. чахнушая.**

Редко. СУР: prov. Saratov, distr. Kuznetzk, pag. Kameskiru ad fl. Medaevka, 8.06.1924, S. Metlov, det. S. Juzepczuk (LE) [9].

Общ. распр.: Вост. Евр. (Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

21. *A. micans* Buser, 1893, Bull. Herb. Boiss. 1, append. 2: 28; Юз., 1941, Фл. СССР, 10: 348; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 510-511. – *A. gracilis* Opiz, 1838, in Bercht. et Opiz, Oekon.-Techn. Fl. Böhm. 2, 1: 14. – *A. opizii* Hadač, 1958, in Klášť. et al., Ph. M. Opiz Bedeut. Pflanzentax.: 157. – **М. сверкающая.**

Довольно редко. ВОР; СУР: Белинский (Поим), Кузнецкий, Мокшанский, Пензенский р-ны (РКМ; PVB; ГПЗ).

Общ. распр.: Зап. и Вост. (Анг.-Саян., Даур.) Сиб., Дальн. Вост. (заносн.), Сканд., Ср. Евр., Средиз., Вост. Евр. (аркт., сев., прибалт., центр., зап., вост.), Монг. (заносн.), Сев. Амер. (заносн.), Австр. (заносн.).

22. *A. mininzonii* Czkalov, 2011, Turczaninowia, 14, 3: 14. – **М. Мининзона.**

Редко. СУР: 1) окр. г. Кузнецка, родник Шурчавый, 2.07.2005, Т. В. Разживина, det. A. Czkalov

(PVB); 2) Городищенский у. [Никольский р-н], Базарная Кеньша, луг перед ... лесом, 12.06.1916, А. И. Введенский, det. A. Czkalov (РКМ, № 037034); данный сбор в 1924 г. С. В. Юзепчук определил как *A. strigosula* Buser.

Общ. распр.: Вост. Евр. (Верх.-Волж., Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

23. *A. monticola* Opiz, 1838, in Bercht. et Opiz, Oekon.-Techn. Fl. Böhm., 2, 1: 13; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 504. – *A. pastoralis* Buser, 1891, Bull. Soc. Dauphin. Échange Pl., ser. 2, 1: 18; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 334. – **М. горная.**

Нередко. ВОР; МОК; СУР: Вадинский, Белинский, Камешкирский, Кузнецкий, Лунинский р-ны (РКМ; PVB).

Общ. распр.: Зап. и Вост. (Анг.-Саян., Даур., Енис.) Сиб., Дальн. Вост. (заносн.), Сканд., Ср., Атл., Вост. Евр.

24. *A. nemoralis* Alechin, 1928, Предв. отчет о раб. Нижегород. геобот. экспед. в 1927 г.: 79, in adnot.; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 352; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 512, р. р. – **М. дубравная.**

Довольно редко. СУР: Камешкирский, Кузнецкий, Неверкинский (Теряевка), Никольский (Базарная Кеньша) (LE), Пензенский (Пенза) р-ны (РКМ) [13, 14].

Общ. распр.: Вост. Евр. (Верх.-Волж., Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

25. *A. propinqua* H. Lindb. ex Juz., 1923, Бот. мат. (Ленинград), 4, 23–24: 184; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 336; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 505. – *A. orbiculata* Alechin, 1928, Предв. отчет о раб. Нижегород. геобот. экспед. в 1927 г.: 79, non Ruiz et Pav., 1798, Fl. Peruv., 1: 68, nec Formanek, 1896, Verh. Naturf. Vereins Brünn, 34: 359. – *A. basilii* P. A. Smirn., 1930, Журн. Русск. бот. общ., 14, 1: 97. – *A. alechinii* Zämelis, 1930, Acta Horti Bot. Univ. Latv., 4: 94. – **М. близкая.**

Нередко. ВОР; МОК; СУР: Белинский (Поим), Камешкирский (Ст. Шаткино), Кузнецкий, Лунинский (Б. Вьяс), Мокшанский (Рамзай), Никольский, Пензенский, Сосновоборский р-ны (MW; РКМ; PVB; ГПЗ).

Общ. распр.: Сканд., Ср., Вост. Евр.

Примечание. Ранее для окр. с. Новоараповка Никольского р-на приводилась *A. plicata* Buser [16]; указание принадлежит *A. propinqua* (MW).

26. *A. psiloneura* Juz., 1939, Тр. Бот. инст. АН СССР, сер. 1, 1: 129; id., 1941, Фл. СССР, 10: 390; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 524. – **М. голжилковая.**

Редко. СУР: 1) г. Пенза, опушка Арбековско-го леса, Д. Тихоненков, Д. Яныкин, 24.06.2001, det. A. Czkalov (РКМ, № 037133).

Общ. распр.: Вост. Евр. (Верх.-Волж., Волж.-Кам., Волж.-Дон.).



27. *A. pustynensis* Czakalov, 2011, Turczaninowia, 14, 3: 17. – **М. пустынская.**

Редко. СУР: 1) Кузнецкий р-н, западные окр. сел Татарская и Русская Пенделки, нагорная дубрава, N53°02'231", E46°13'733", 224 м над ур. м., 8 VI 2013, С. В. Саксонов, В. Васюков, А. Иванова, С. Сенатор, det. А. Czakalov (MW).

Общ. распр.: (Верх.-Волж., Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

28. *A. rigescens* Juz., 1932, Animadv. Syst. Herb. Univ. Tomsk., 5–6: 5; id., 1941, Фл. СССР, 10: 352. – *A. nemoralis* Alechin, р. р., excl. typi, Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 512. – **М. твердеющая.**

Редко. СУР: Городищенский у. [Никольский р-н] (Базарная Кеньша), сорники в саду, 19.06.1916, А. И. Введенский, det. А. Czakalov (РКМ, № 037004). Данный сбор в 1929 г. С. В. Юзепчук определил как *A. nemoralis* Alechin.

Общ. распр.: Зап. Сиб., Вост. Евр. (Волж.-Кам., Волж.-Дон., Заволж.).

29. *A. sarmatica* Juz., 1936, Тр. Бот. инст. АН СССР, сер. 1, 3: 202; id., 1941, Фл. СССР, 10: 340; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 507. – **М. сарматская.**

Довольно редко. ВОР; ХОП: Белинский (Поим), Кузнецкий (заповедный участок «Верховья Суры»), Пензенский (Пенза), Сердобский (Соколка) р-ны (РКМ; РВВ; ГПЗ); СУР.

Общ. распр.: Зап. и Вост. (Анг.-Саян.), Ср. Азия (Тянь-Шан.), Сканд., Ср. Евр., Вост. Евр., Монг.

30. *A. schmakovii* Czakalov, 2015, Nord. Jour. Bot., 33, 5: 519. – **М. Шмакова.**

Редко. СУР: 1) Камешкирский р-н, заповедный участок «Кунчеровская лесостепь», сырая поляна около родника, 10.07.2008, Т. В. Разживина, det. А. Czakalov (ГПЗ).

Общ. распр.: Вост. Евр. (Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

31. *A. semilunaris* Alechin, 1922, Бот. мат. (Ленинград), 3: 132; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 346; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 508. – **М. полулунная.**

Довольно редко. СУР: 1) Пенза, окр. к западу, по лугам, кустарникам, 1975, студенты ПГПИ, det. А. Czakalov, veriss (РКМ, № 036988); 2) Пенза, окр., в лиственных лесах, 1976 г., студенты ПГПИ, det. А. Czakalov (РКМ, № 037032); 3) г. Пенза, близ татарского кладбища, у подошвы подтопленного грунтовыми водами склона оврага, 300 м западнее кирпичного завода № 1, 7.06.1979, А. А. Солянов, det. А. Czakalov (РКМ, № 037094); 4) Мокшанский р-н, с. Рамзай, на обочине дороги, 18.06.2001, Никимова, det. А. Czakalov (РКМ, № 037142); 5) Кумашкир-

ский р-н, заповедный участок «Кунчеровская лесостепь», 18.07.2014, Т. В. Горбушина, det. А. Czakalov (ГПЗ).

Общ. распр.: Ср. Евр., Сканд. (заносн.), Вост. Евр. (сев., прибалт., центр., зап.).

32. *A. subcrenata* Buser, 1893, apud Magnier, Scrib. Fl. Select., 12: 285; Юзепчук, 1941, Фл. СССР, 10: 355; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 514. – **М. городчатая.**

Довольно редко. МОК [5]; СУР: Бессоновский (Грабово), Кузнецкий (заповедный участок «Верховья Суры»), Никольский, Пензенский (Пенза) р-ны (РКМ; ГПЗ).

Общ. распр.: Зап. и Вост. (Анг.-Саян., Даур.) Сиб., Дальн. Вост. (заносн.), Сканд., Ср. и Атл. Евр., Вост. Евр. (сев., прибалт., центр., зап., вост.), Сев. Амер. (заносн.).

33. *A. substrigosa* Juz., 1940, Маевский, Фл. средн. пол. Европ. части СССР, изд. 7: 446; id., 1941, Фл. СССР, 10: 341; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 508. – **М. почти-щетиная.**

Редко. ВОР; СУР: 1) Белинский р-н, окр. с. Поим, лесная поляна близ конторы Поимского лесн-ва, 22.05.2001, В. Васюков, det. А. Czakalov (РКМ, № 036944); 2) Белинский р-н, окр. с. Поим, тенистая дорога в лесу, 25.07.2000, В. Васюков, det. А. Czakalov (РКМ, № 037148); 3) Кузнецкий р-н, в 4 км к северу от с. Никольское, вырубка, 29.06.2006, Т. В. Разживина, det. А. Czakalov (РКМ, № 037149).

Общ. распр.: Вост. Евр. (сев. (заносн.); Верх.-Волж., Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

34. *A. tichomirovii* Czakalov, 2011, Turczaninowia, 14, 3: 19. – **М. Тихомирова.**

Довольно редко. СУР: 1) г. Пенза, Засака, к северо-востоку от сельхозтехникума, лесная поляна, 10.06.1980, Бондина, Бездеткова, det. А. Czakalov (РКМ, № 036902); 2) окр. г. Пензы, Засака, к северо-востоку от с/х техникума, лесная поляна, 10.05.1980, Бондина, Бездеткова, det. А. Czakalov (РКМ, № 036986); 3) Пенза, окр., дубовый лес западнее города по дороге на сельхозтехникум, 1976 г., Т. А. Рудинская, О. В. Федотова, det. А. Czakalov (РКМ, № 037031); 4) г. Пенза, пос. Ахуны, в лесу, 5.06.1977, Сотова, Максимова, det. А. Czakalov (РКМ, № 037072); 5) Пенза, лиственный лес близ сельхозтехникума, 18.05.1979, Зюнина, Сарайкин, det. А. Czakalov (РКМ, № 037101); 6) Пенза, окр., пос. Ахуны, в 1 км к ю.-в. с преобладанием дуба лиственный пойменный лес, 25.06.1997, студенты ПГПУ, det. А. Czakalov (РКМ, № 037105); 7) г. Заречный, опушка леса на восточной окраине города, 20.07.2003, Т. В. Разживина, det. А. Czakalov (РКМ, № 037145); 8) Пенза, восточная окраина города близ пос. Ахуны, 11/VII.1986, Т. Разенкова, С. Чи-



горева, det. A. Czakalov (PKM, № 037154); 9) Пенза, северо-восточная окраина города, в 1 км севернее пос. Ахуны, 13.07.1990, С. Титова, Д. Смирнова, det. A. Czakalov (PKM, № 037155); 10) окр. г. Заречный, сырая поляна в лиственном лесу, 1 VI 2001, leg. Т. Разживина, det. A. Czakalov (MW).

Общ. распр.: Вост. Евр. (сев. (заносн.); Лад.-Ильм., Верх.-Волж., Волж.-Кам., Волж.-Дон.; зап.).

35. *A. tubulosa* Juz., 1951, Бот. мат. (Ленинград), 14: 157; Тихомиров, 2001, Фл. Вост. Евр., 10: 507. – **М. трубчатая.**

Редко. СУР: 1) Пенза, окр. в 2 км к северо-востоку, пойма реки Суры, луга, 16.06.1978, Горбатова, Герасимова, det. A. Czakalov (PKM, № 036959).

Общ. распр.: Зап. и Вост. (Анг.-Саян., Даур.) Сиб., Вост. Евр. (Волж.-Кам., Волж.-Дон., За-волж.), Монг.

36. *A. tzvelevii* Czakalov, 2015, Phytotaxa, 227, 3: 284. – **М. Цвелёва.**

Редко. СУР: 1) Кузнецкий р-н, VIII.2001, М. С. Куликовский, det. A. Czakalov (PKM, № 037002) – *Paratypus*; 2) Пенза, окр. в 3 км к западу, близ сельхозтехникума, влажный луг, 6.05.1977, Н. Есина, М. Соловьёва, det. A. Czakalov (PKM, № 037091) – *Paratypus*.

Общ. распр.: Вост. Евр. (Волж.-Дон.).

37. *A. vorotnikovii* Czakalov, 2011, Turczaninowia, 14, 3: 22. – **М. Воротникова.**

Редко. СУР: 1) Пенза, окр., луга близ сельхозтехникума, 17.05.1979, Н.Ф. Иванова, det. A. Czakalov (PKM, № 037089); 2) г. Пенза, окр., в 2 км к северо-востоку от пос. Ахуны, ..., Гзюнова, Конева, det. A. Czakalov (PKM, № 037090).

Общ. распр.: Вост. Евр. (сев. (заносн.); Лад.-Ильм., Верх.-Волж., Волж.-Кам., Волж.-Дон.).

Для территории Пензенской области В. Н. Тихомиров в 1964 г. [12] приводил 12 видов рода *Alchemilla*, А. А. Солянов в 2001 г. [10] – 16 видов, В. М. Васюков в 2004 г. [7] – 19 видов. С учётом описанных недавно видов [17–19], на 2016 г. во флоре региона насчитывается 37 видов.

Список литературы

1. Юзепчук С. В. Род *Alchemilla* L. // Флора СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1941. Т. 10. С. 289–410.
2. Walters S. M., Pawlowski B. *Alchemilla* L. // Flora Europaea. Cambridge, 1968. Vol. 2. P. 48–64.
3. Тихомиров В. Н. Род *Alchemilla* L. // Флора средней полосы Европейской части СССР. 9-е изд. Л.: Колос, 1964. С. 121–132.
4. Чкалов А. В. Идентификация представителей рода *Alchemilla* L. Нижегородского Поволжья: учеб.-метод. пособие. Н. Новгород: Нижегород. гос. ун-т, 2012. 46 с.
5. Агеева А. М. Флора бассейна реки Мокши в пределах Приволжской возвышенности: дис. ... канд. биол. наук. М., 2011. 436 с.
6. Васюков В. М. Обзор манжеток (*Alchemilla*, Rosaceae) западной части Пензенской области // Самарская Лука. 2001. № 11 (1). С. 307–308.
7. Васюков В. М. Растения Пензенской области (конспект флоры). Пенза: Пенз. гос. ун-т, 2004. 184 с.
8. Васюков В. М., Чкалов А. В. Род *Alchemilla* L. (Rosaceae) в гербарии Института экологии Волжского бассейна РАН (РВБ) // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2015. Т. 9, № 3. С. 145–150.
9. Силаева Т. Б. Флора бассейна реки Суры (современное состояние, антропогенная трансформация и проблемы охраны): дис. ... д-ра биол. наук. М., 2006. 907 с.
10. Солянов А. А. Флора Пензенской области. Пенза: Пенз. гос. пед. ун-т, 2001. 310 с.
11. Спрыгин И. И. О некоторых редких растениях Пензенской губернии. 4-е сообщ. Пенза: Пенз. гос. обл. музей, 1927. Вып. 2. 16 с.
12. Тихомиров В. Н. Род *Alchemilla* L. // Флора Восточной Европы. СПб.: Мир и семья; Изд-во СПХФА, 2001. Т. 10. С. 470–531.
13. Юзепчук С. В. Род *Alchemilla* L. // Флора Юго-Востока Европейской части СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1931. Т. 5. С. 534–543.
14. Юзепчук С. В. Род *Alchemilla* L. // Флора средней полосы Европейской части СССР. 7-е изд. М.; Л.: Сельхозгиз, 1941. С. 441–449.
15. Флора Европейской части СССР / отв. ред. Ан. Н. Фёдорова. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1974. Т. 1. 404 с.
16. Истомина Е. Ю., Силаева Т. Б. Конспект флоры бассейна реки Инзы. Ульяновск: УлГПУ, 2013. 160 с.
17. Чкалов А. В. Новые виды *Alchemilla* L. из Центральной России // Turczaninowia. 2011. Т. 14, № 3. С. 14–27.
18. Chkalov A. V. *Alchemilla schmakovii* sp. nov. from eastern Europe // Nordic Journal of Botany. 2015. Vol. 33, № 5. P. 518–521.
19. Chkalov A. V. A new species of the genus *Alchemilla* (Rosaceae) from Central Russia // Phytotaxa. 2015. Vol. 227, № 3. P. 282–288.

Образец для цитирования:

Васюков В. М., Чкалов А. В. К изучению рода *Alchemilla* L. (Rosaceae) в Пензенской области // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 87–92. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-87-92.

Cite this article as:

Vasjukov V. M., Chkalov A. V. On the Study of the Genus *Alchemilla* L. (Rosaceae) in the Penza Region. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 87–92 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-87-92.



ЭКОЛОГИЯ

УДК [599.742.42](470.44)

ТИПОЛОГИЯ МЕСТООБИТАНИЙ АМЕРИКАНСКОЙ НОРКИ (*NEOVISON VISON* *SCHREBER, 1777*) НА ПРИМЕРЕ СЕВЕРА НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

А. А. Савонин, Г. В. Шляхтин

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: savonin.aa@mail.ru

Цель исследования – выявить биотопическую приуроченность американской норки на севере Нижнего Поволжья и провести её ранжирование, проанализировав плотность популяции хищника в модельных биотопах. Использовались методы маршрутного учёта по следам, картирование и детектирование участков при помощи GPS-навигатора. Подсчёт особей выявляли по индивидуальным участкам с применением фотоловушек, а также по классическим методам оценки плотности популяции хищных млекопитающих. Статистическая обработка проводилась с помощью кластерного анализа. На основании проведённых исследований были выявлены 3 группы биотопов: *оптимальные*, *субоптимальные* и *неблагоприятные*. Установлено, что наиболее оптимальными для хищника являются водоёмы с богатой пойменной растительностью, в которых максимальный запас трофических ресурсов.

Ключевые слова: американская норка, север Нижнего Поволжья, биотопы, типология местообитаний.

**Habitat Types of American Mink (*Neovison vison* Schreber, 1777)
on for Example of Northern Lower Volga**

A. A. Savonin, G. V. Shlyakhtin

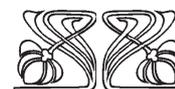
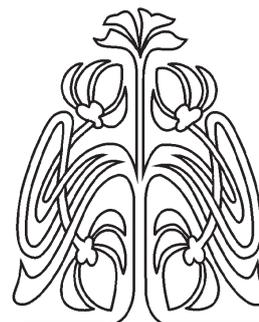
Objective of the study – to identify biotopical American mink in the north of the Lower Volga region and conduct its ranking analyzed the predator population density in model habitats. We used the methods of accounting the route trail mapping and detection of sites with use GPS-navigator. Calculation animals identified on individual sites using camera traps, as well as classical methods of estimation of population density of predatory mammals. Statistical analysis was performed using cluster analysis. On the basis, conducted researches identified three groups of habitats: *optimal*, *suboptimal* and *adverse*. Determined that the most optimal for the predator are reservoir with rich floodplain vegetation, with a maximum reserve trophic resource.

Key words: american mink, north of the Lower Volga region, biotope, habitat types.

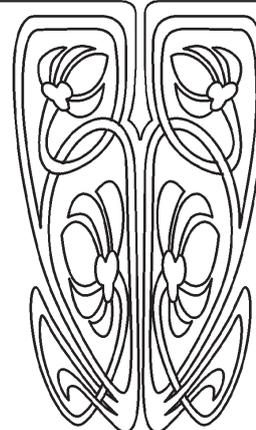
DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-93-97

Введение

Важным компонентом фаунистических комплексов и биоиндикаторами состояния природной среды являются мелкие хищники, в частности куньи. Они представляют особый интерес как одна из наиболее широко распространенных групп животных. Представителем данной группы является американская норка (*Neovison vison* Schreber, 1777) – многочисленный инвазивный хищник Европы и Азии [1]. Как в Северной Америке, так и в России, она является



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





характерным обитателем небольших лесных водоёмов с подмытыми обрывистыми берегами, сильно захламлёнными буреломами и поросшими кустарниками, с отдельными омутами и незамерзающими на зиму быстринами. Наличие физических (размер, жёсткий волосяной покров, эффективность передвижения в воде) и физиологических (диапауза в развитии зародышей) преимуществ, а также экологической пластичности позволило американской норке заселить всю пригодную для неё территорию Российской Федерации от западных границ до Дальнего Востока.

Современные данные по экологии американской норки в различных биотопах носят эпизодический характер и не несут сравнительной характеристики, в результате чего нет объективной оценки предпочтения того или иного местообитания хищника в зависимости от типа водоёма. Типология биотопов хищных млекопитающих частично рассматривается в работах Д. В. Терновского [2] и В. Е. Сидоровича [3].

Цель настоящей работы – выявить биотопическую приуроченность американской норки на севере Нижнего Поволжья и провести её ранжирование при помощи определения плотности популяции хищника в модельных биотопах.

Материалы и методы

Материал собирался с 2008 по 2016 г. на территории Саратовской области (Ивантеевский, Красноармейский, Лысогорский, Марковский, Ртищевский, Саратовский, Энгельсский районы) и сопредельных территориях (Волгоградская, Пензенская и Самарская области). В качестве модельных биотопов были выбраны: крупная река Волга (окр. сел Ахмат, Садовое и Зоркино), средние реки – Медведица (окр. сел Атаевка, Урицкое) и Б. Иргиз (окр. с. Канаевка), малые реки – Ольшанка (окр. пос. Бакунинский), Даниловка (окр. с. Белогорское), а также антропогенные биотопы – пос. Лесной (окр. г. Энгельс) и пруды в окр. г. Ртищево.

Для ранжирования местообитаний американской норки использовалась плотность её популяции в 25 выделенных модельных биотопах. Методика основана на подсчёте особей по индивидуальным участкам с применением фотоловушек [4, 5], а также на классических методах оценки плотности популяции хищных млекопитающих [6]. Анализировались данные по размерам индивидуальных участков и их буферных зон, определённые с помощью GPS-навигатора (Garmin «GPSMap 62s» (Garmin Ltd., USA)) и более 3000 информативных фотографий,

полученных фотоловушками («LTL-5210A» (LTL Acorn Outdoors, USA) на протяжении 10 км русла реки или 1 км² площади территории. Камеры устанавливались на расстоянии около 1 км и всегда напротив друг друга с целью более эффективного детектирования хищника во всех направлениях. Кроме того, фотоловушки размещались по периметру индивидуальных участков норки, а также в буферных зонах.

Дополнительно рассчитывался «относительный показатель обилия» (*relative abundance indices (RAI)*): общее число фотографий / [(число фотографий с объектом исследования) × 100]. При этом чем меньше значение, тем выше эффективность работы камеры. Данный критерий довольно часто используется для оценки успеха установки фотоловушек в том или ином биотопе [7].

Для математической обработки данных применяли программное обеспечение «CAPTURE» (PWR Software). Массив данных в программе представляет собой бинарную матрицу, в которой отмечается количество встреч особи, а также количество повторных данных и примерные размеры участков животного. Для установления взаимосвязи между особенностями использования ресурсов местообитаний применялся метод кластерного анализа. Данный метод основан на разбиении совокупности объектов на однородные группы (кластеры) с выделением некой степени взаимосвязи [8]. Графические построения создавались при помощи программного обеспечения «OriginPro 8.1» (OriginLab).

Результаты и их обсуждение

Американская норка в ходе акклиматизации и экспансии занимает водоёмы с учётом их экологической ёмкости. Высокий уровень плотности вида зависит от обилия пойменных водоёмов и лесистости.

На территории севера Нижнего Поволжья американская норка появилась в 1950-х гг. Это время сопряжено с периодом массовой акклиматизации хищника на территории всего государства и сильным снижением численности популяции европейской норки ввиду ее перепромысла. Крупные популяции отмечены на р. Волга; в Правобережье на рр. Хопёр, Медведица, Терешка и Терса. Отдельные поселения имеются по их притокам – Баланда, Иловля, Карамыш, Идолга, Мокрый Карай, Алай и Сердоба. В Заволжье норка встречается по рр. Б. и М. Иргиз, Б. и М. Узени, где сплошного распространения не наблюдается, и она приурочена к отдельным участкам пойменных лесов и зарослям кустар-



ников. В пойме Волгоградского водохранилища численность американской норки одна из самых высоких, но снижается по направлению к югу [9–11].

Типичное местообитание американской норки, как правило, включает водоёмы, имеющие преимущественно обрывистые берега. Очень важным критерием является наличие лесных массивов, где хищник может добывать мышевидных грызунов и птиц. Плотность заселения американской норки зависит от многих факторов: обилия пойменных

водоемов, ширины поймы, лесистости и закустаренности, но определяющим фактором при этом является ширина поймы.

При исследовании индивидуальных участков и результатов использования фотоловушек были получены данные по плотности популяции американской норки. Дополнительно успешность установки камер в каждом модельном биотопе подтверждается «относительным показателем обилия» (*relative abundance indices (RAI)*) (таблица).

Значение плотности популяции и относительного показателя обилия (RAI) в выделенных модельных биотопах

Точки сбора материала	Плотность популяции	Относительный показатель обилия (RAI)
р. Медведица	4.5–5 особей/10 км	0.25
р. Б. Иргиз	3.5–4 особей/10 км	0.29
р. Волга (окр. с. Зоркино)	3–3.5 особей/10 км	0.35
р. Даниловка	1.8–2 особей/10 км	0.79
р. Ольшанка	1.5–2 особей/10 км	0.84
р. Волга (окр. сел Ахмат, Садовое)	2–2.5 особей/10 км	0.75
пруды окр. г. Ртищево, пос. Лесной (окр. г. Энгельс)	1.6–2 особей/1 км ²	0.91

На основании проведенных исследований по выявлению местообитаний американской норки и анализе плотности её популяции были выделены следующие типы биотопов:

- оптимальные (предпочтительные);
- субоптимальные (пригодные);
- неблагоприятные (биотопы антропогенного ландшафта).

Наибольшее значение плотности популяции выявлено в *оптимальных (предпочтительных)* модельных биотопах: в поймах рр. Медведица (4.5–5 особей/10 км), Б. Иргиз (3.5–4 особей/10 км), Волга (окр. с. Зоркино; 3–3.5 особей/10 км). Условия данных биотопов способствуют увеличению разнообразия потенциальных компонентов рациона хищника и более эффективному использованию территории. Наиболее *оптимальные (предпочтительные)* биотопы должны обладать развитой пойменной растительностью, способствующей существованию крупной популяции основных жертв хищника и наличием большого количества доступных мест для организации индивидуальных участков и скрытых убежищ.

Заметно меньшее значение плотности было установлено в *субоптимальных (пригодных)*

биотопах: долинах рр. Даниловка (1.8–2 особей/10 км), Ольшанка (1.5–2 особей/10 км), Волга (окр. сел Ахмат, Садовое; 2–2.5 особей/10 км). Эти биотопы не обладают хорошо развитой пойменной растительностью или вообще её не имеют, а запас трофических и территориальных ресурсов в них гораздо ниже, чем в оптимальных. Условия данных биотопов способствуют перестройке модели поведения, что, в свою очередь, влияет на активность хищника, поэтому они представляют наибольший интерес для изучения уровня адаптации и экологической пластичности норки.

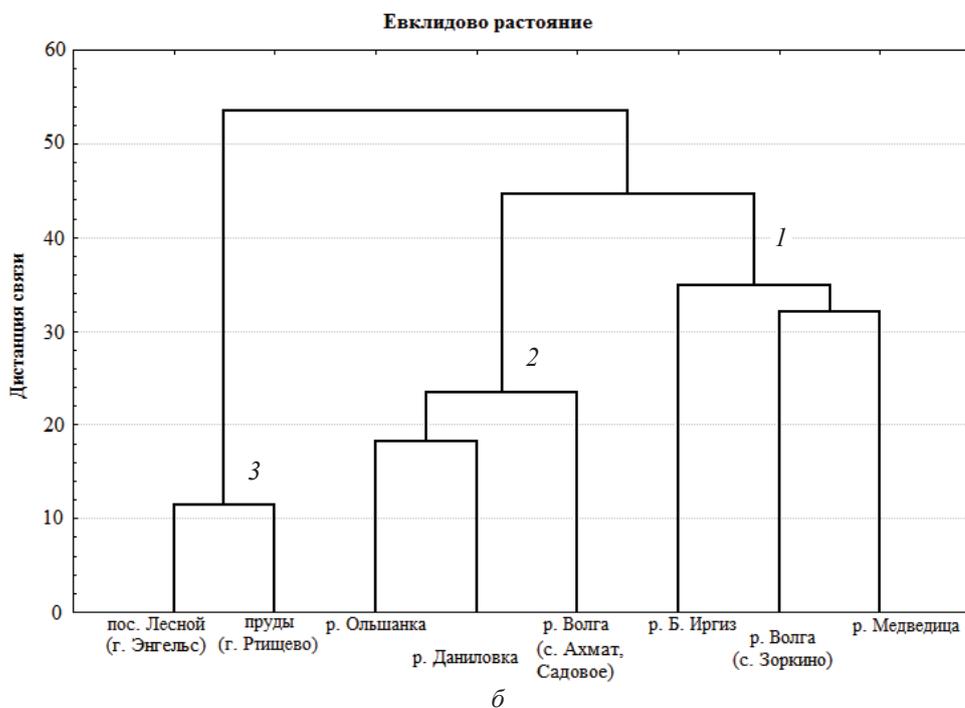
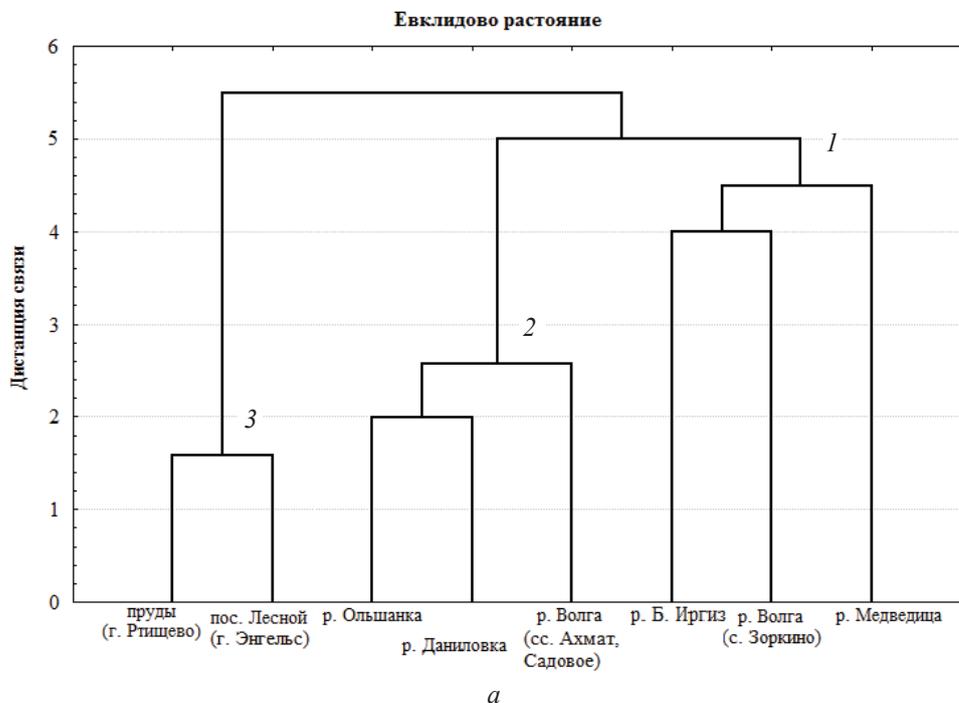
В *неблагоприятных (биотопы антропогенного ландшафта)*: пос. Лесной (окр. г. Энгельс) и прудах окр. г. Ртищево она селится ограниченно (1.6–2 особей/1 км²), но проявляет высокий уровень экологической пластичности. Эти биотопы подвергаются деятельности человека и его модифицирующей силе (обширные застройки, высокая рекреационная нагрузка, фактор беспокойства и т.д.), наличием множества врагов, (особенно бродячих собак), что приводит к существенной перестройке модели поведения хищника, выработке особой формы стратегии питания и организации индивидуальных участков.



Предложенную бонитировку местообитаний американской норки подтверждают результаты кластерного анализа (рисунок, а).

Американская норка в ходе акклиматизации и экспансии осваивает биотопы в зависимости от их экологической ёмкости. Обычно плотность

популяции зависит от ширины поймы и наличия лесистой территории. Поэтому в широкой пойме, открытой или поросшей лесом, популяции норки наиболее многочисленны. Плотность её популяции будет зависеть от численности и доступности основных объектов питания.



Результаты кластерного анализа при сравнении исследуемых местообитаний американской норки: 1 – оптимальные, 2 – субоптимальные и 3 – неблагоприятные биотопы: а – по плотности популяции; б – по индивидуальным участкам



Индивидуальный участок определяется доступностью территориальных ресурсов, от которого зависят такие показатели, как избирательность и состав рациона, активность и плотность заселения хищника, кроме того, выявление особенностей выбора биотопа, определение размера и структуры участка являются основой для изучения взаимодействия между особями одного или нескольких видов. В результате анализа размеров индивидуальных участков американской норки подтверждается ранее предложенная нами классификация местообитаний. Модельные биотопы образуют идентичные кластеры, выделенные нами ранее (см. рисунок, б).

Изучение избирательности и экологических особенностей выбора доступного биотопа, использование его ресурсов представляет большой интерес для выявления стратегий поддержания гомеостаза популяции американской норки. Наличие или отсутствие поймы, а также различный уровень доступности пищевых и территориальных ресурсов приводит к изменению поведения хищника.

Выводы

Таким образом, на территории севера Нижнего Поволжья для американской норки выявлено 3 группы биотопов: *оптимальные (предпочтительные)*, *субоптимальные (пригодные)* и *неблагоприятные (биотопы антропогенного ландшафта)*. Оптимальными для хищника являются местообитания, которые обладают богатой пойменной растительностью и необходимым уровнем топических и трофических ресурсов, в отличие от других типов биотопов, где слабо развита или отсутствует пойма и норка селится ограниченно.

Список литературы

1. Nentwig W., Kühnel E., S. Bacher E. A generic impact-scoring system applied to alien mammals in Europe // Conservation Biology. 2010. Vol. 24, № 1. P. 302–311.
2. Терновский Д. В. Биология и акклиматизация американской норки на Алтае. Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1958. 138 с.
3. Сидорович В. Е. Куньи в Беларуси. Минск : Золотой улей, 1997. 279 с.
4. Otis D. L., Burnham P., White G. C., Anderson D. R. Statistical inference from capture data on closed animal populations // Wildlife Monographs. 1978. № 62. P. 3–135.
5. Fuller A. K., Sutherland C. S., Royle J. A., Hare M. P. Estimating population density and connectivity of American mink using spatial capture-recapture // Ecol. Appl. 2016. Vol. 26, № 4. P. 1125–1135.
6. Новиков Г. А. Полевые исследования экологии наземных позвоночных животных : учеб. пособие для гос. ун-тов. 2-е изд., испр. и доп. М. : Сов. наука, 1953. 503 с.
7. Ancrenaz M., Hearn A. J., Ross J., Wilting A. Handbook for wildlife monitoring using camera-traps // BBEC II Secretariat. JC Printer. 2012. Vol. 6. P. 1–83.
8. Лакин Г. Ф. Биометрия : учеб. пособие для биол. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Высш. шк., 1990. 352 с.
9. Ильин В. Ю., Ермаков О. А., Лукьянов С. Б. Новые данные по распространению млекопитающих в Поволжье и Волго-Уральском Междуречье // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 1996. Т. 101, № 2. С. 30–37.
10. Шляхтин Г. В., Табачишин В. Г., Завьялов Е. В., Табачишина И. Е. Животный мир Саратовской области : в 4 кн. Кн. 4. Амфибии и рептилии : учеб. пособие. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2005. 112 с.
11. Беляченко А. В., Савонин А. А., Филиппов А. О. Американская норка (*Neovison vison* Schreber, 1777) в пойменных и прибрежных экосистемах Волгоградского водохранилища : сезонные изменения пространственной структуры, питания и временной активности // Поволж. экол. журн. 2015. № 3. С. 338–351.

Образец для цитирования:

Савонин А. А., Шляхтин Г. В. Типология местообитаний американской норки (*Neovison vison* Schreber, 1777) на примере севера Нижнего Поволжья // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 93–97. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-93-97.

Cite this article as:

Savonin A. A., Shlyakhtin G. V. Habitat Types of American Mink (*Neovison Vison* Schreber, 1777) on for Example of Northern Lower Volga. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 93–97 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-93-97.



УДК 581.92 + 502.757

ИНВАЗИОННЫЕ ВИДЫ РАСТЕНИЙ В БАССЕЙНЕ РЕКИ СЫЗРАНКИ

Г. В. Дронин

Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти
E-mail: dronin1@bk.ru



В статье приводятся результаты изучения инвазионных растений на территории бассейна р. Сызранки: выявлено 40 видов инвазионных растений, широко распространённых и натурализовавшихся в разной степени. В их числе 5 видов «трансформеров», 5 чужеродных видов, освоивших естественные и полустественные сообщества, 18 видов, расселяющихся и натурализующихся по нарушенным местообитаниям, и 13 потенциально инвазионных видов. Наиболее активны и широко распространены в речном бассейне *Acer negundo*, *Bidens frondosa*, *Echinocystis lobata*, *Elaeagnus angustifolia* и *Elodea canadensis*, изменяющие облик экосистем.

Ключевые слова: инвазионные виды, натурализация, бассейн реки Сызранки, антропогенные местообитания, растительные сообщества.

Invasive Species of Plants in the Syzranka River Basin

G. V. Dronin

The article presents results of a study of invasive plants on the territory of the Syzranka river basin: found 40 species of invasive plants, widespread and naturalized in varying degrees. Among them 5 species-«transformers», 5 alien species, naturalization semi-natural mastered the community, 18 kinds of dispersing and naturalized by disturbed habitats and 13 potentially invasive species. The most active and widely distributed in the river basin *Acer negundo*, *Bidens frondosa*, *Echinocystis lobata*, *Elaeagnus angustifolia* and *Elodea canadensis*, changing the face of ecosystems.

Key words: invasive species, naturalization, Syzranka river basin, anthropogenic habitats, plant communities.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-98-102

Введение

Проблема экспансии чужеродных видов растений остро стоит во всём мире. Их внедрение – вторая по значению угроза биологическому разнообразию после разрушения мест обитания [1], а активное расселение и воздействие на аборигенные виды и местные сообщества приводит к флористическому загрязнению территории [2]. Инвазии агрессивных чужеродных видов растений представляют огромную опасность для здоровья населения [3] и несут колоссальный экономический ущерб – по оценкам экспертов, в мировом масштабе он оценивается миллиардами долларов [4].

Изучение биологических инвазий – приоритетное направление современных ботанико-

экологических исследований. В «Стратегическом плане по сохранению биоразнообразия 2011–2020» [5] поставлена целевая задача № 9 (Aichi Biodiversity Target 9): «К 2020 году инвазионные чужеродные виды и пути их проникновения в естественные сообщества должны быть идентифицированы и подвергнуты ранжированию по степени приоритетности» (пер. с англ. – Г. Д.). Выявление инвазионных видов – актуальная задача изучения региональных флор и значимость этих исследований усиливается в связи с реализацией Глобальной программы по инвазионным видам [6].

Для бассейна реки Сызранки проблема инвазий чужеродных видов растений особенно актуальна, поскольку она обсуждается впервые. К этому ещё надо отнести транспортно-географическое положение (широтная федеральная автодорога М-5 «Урал» и широтно-меридиональная Куйбышевская железная дорога), создающее благоприятные условия для заноса растений, и сочетание на его территории различных природных комплексов. Для сохранения биоразнообразия и уменьшения негативных последствий инвазий необходима инвентаризация опасных агрессивных видов растений и разработка «Чёрных книг» и инвазионных списков.

Объекты и методы исследований

Река Сызранка – правый приток первого порядка р. Волги. Исток располагается в 4 км к северо-западу от с. Кармалейка Барышского района Ульяновской области на абсолютной высоте 210 м; устье – Саратовское водохранилище у пос. Кашпировка, южнее г. Сызрань Самарской области на уровне 25 м. Длина реки 164,5 км, ширина 30–40 м, глубина 0,3–2,0 м. Водосборный бассейн площадью 5 656 км² расположен в центральной части Среднего Поволжья в пределах Барышского, Николаевского, Кузоватовского и Новоспасского районов Ульяновской области и Сызранского района Самарской области. Долина р. Сызранки хорошо разработанная, плиоцен – плейстоценового возраста, длиной более 160 км, шириной 10–15 км. Левый склон сложен породами палеогена и верхнего мела, правый – верхне- и



нижнемеловыми, отчасти юрскими, отложениями. Склоны асимметричны: левый – пологий и длинный, правый – крутой и короткий; оба сильно расчленены многочисленными овражно-балочными системами и речными долинами субмеридионального простирания.

На территории речного бассейна с юго-запада на юго-восток сменяют друг друга три природные зоны, что создаёт большое разнообразие условий для растений-«пришельцев» с разными экологическими требованиями. В западной и северо-западной части бассейна расположен район сосновых и сосново-широколиственных лесов; восточную часть занимают лесостепные территории с преобладанием сосново-дубовых и сосново-липовых лесов с участками степной растительности; к югу и юго-востоку её сменяют луговые и ковыльно-типчаковые степи.

Полевые исследования проводились маршрутно-рекогносцировочным методом с изучением отдельных локальных флор в 2013–2015 гг. Обследованы природные сообщества разной степени нарушенности (леса, луга, прибрежно-водная флора и растительность, агроценозы и др.) и различные типы антропогенных экотопов (населённые пункты различного статуса, транспортные пути, насыпи железных дорог, обочины автодорог). Особое внимание уделено особо охраняемым природным территориям (Суруловская лесостепь, Акуловская и Новолавинская степи) как потенциальным уязвимым местам для инвазии. Критически учтены литературные данные по флоре Сызранского бассейна и материалы гербариев Института экологии Волжского бассейна РАН (PVB) и Ульяновского государственного педагогического университета (UPSU).

При оценке инвазионного компонента флоры опирались на методику, разработанную авторами «Чёрной книги флоры...» [2], и шкалу, ориентированную на оценку уровня агрессивности инвазионных растений и особенностей их распространения [7]. Учтены методические подходы к изучению антропогенно трансформированных флор [8–10].

Результаты и их обсуждение

Из 52 широко распространённых инвазионных видов растений, включённых в «Чёрную книгу флоры...» [2], на территории бассейна р. Сызранки обнаружены 33 вида, различающихся масштабами расселения и ролью в экосистемах. Кроме того, в исследуемой флоре выделено ещё 7 видов, которые также надо рассматривать как инвазионные. Для выявления видового состава инвазионного компонента и его категоризации установлены три основных критерия:

- 1) характер местообитания (естественное / полустественное / нарушенное);
- 2) активность чужеродного вида (внедряется в сообщества активно / не активно, одновидовые заросли образует / не образует);
- 3) взаимодействие инвазианта с аборигенными видами растений (местные виды вытесняет / не вытесняет).

Используя указанные критерии, выделено 4 группы видов (табл. 1):

- 1) виды-«трансформеры», активно внедряющиеся в естественные и полустественные сообщества, изменяющие их облик, нарушающие ценологические и сукцессионные связи, выступающие в качестве доминантов и эдификаторов, формирующие значительные по площади одновидовые заросли, вытесняющие и препятствующие возобновлению аборигенных видов;

Таблица 1

Список инвазионных видов растений в пределах Сызранского бассейна

Статус	Виды растений
1	<i>Acer negundo</i> L., <i>Bidens frondosa</i> L., <i>Echinocystis lobata</i> (Michx.) Torr. et Gray, <i>Elaeagnus angustifolia</i> L., <i>Elodea canadensis</i> Michx.
2	<i>Epilobium ciliatum</i> Rafin., <i>E. pseudorubescens</i> A. Skvorts., <i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch., <i>Phragmites altissimus</i> (Benth.) Nabile, <i>Typha laxmannii</i> Lepech.
3	<i>Acroptilon repens</i> (L.) DC., <i>Amaranthus albus</i> L., <i>A. retroflexus</i> L., <i>Ambrosia artemisiifolia</i> L., <i>A. trifida</i> L., <i>Atriplex tatarica</i> L., <i>Cardaria draba</i> (L.) Desv., <i>Conyza canadensis</i> (L.) Cronq., <i>Cuscuta campestris</i> Yunck., <i>Cyclachaena xanthiifolia</i> (Nutt.) Fresen., <i>Fraxinus pennsylvanica</i> Marsh., <i>Heracleum sosnowskyi</i> Manden., <i>Hippophaë rhamnoides</i> L., <i>Hordeum jubatum</i> L., <i>Lepidium densiflorum</i> Schrad., <i>Lepidotheca suaveolens</i> (Pursh) Nutt., <i>Oenothera biennis</i> L., <i>Thladiantha dubia</i> Bunge.
4	<i>Acorus calamus</i> L., <i>Anisantha tectorum</i> (L.) Nevski, <i>Reynoutria japonica</i> Houtt., <i>Sorbaria sorbifolia</i> (L.) A. Br., <i>Lupinus polyphyllus</i> Lindl., <i>Amelanchier spicata</i> (Lam.) C. Koch, <i>Galinsoga ciliata</i> (Rafin.) Blake, <i>G. parviflora</i> Cav., <i>Helianthus tuberosus</i> L., <i>Xanthium albinum</i> (Widd) H. Scholz., <i>Impatiens glandulifera</i> Royle., <i>Sisymbrium volgense</i> Bier. ex Fourn.



2) чужеродные виды, активно внедряющиеся и натурализующиеся в естественные и полустественные сообщества, не вытесняющие местные виды и не образующие одновидовых зарослей;

3) чужеродные виды, расселяющиеся и натурализующиеся по нарушенным местообитаниям, некоторые из которых в будущем могут внедриться в естественные и полустественные сообщества;

4) потенциально инвазионные виды, способные к возобновлению в местах заноса.

Первую группу составляют 5 видов растений, освоивших природные местообитания и ставших полноправными членами естественных сообществ – агриофиты *Acer negundo*, *Bidens frondosa*, *Echinocystis lobata*, *Elodea canadensis* и эпекофит *Elaeagnus angustifolia*. Это самые активные инвазионные виды, к которым должен быть проявлен повышенный интерес. Однако не все агриофиты, повсеместно встречающиеся в бассейне р. Сызранки, являются инвазионными видами и не включены в «Чёрную книгу флоры...» [2]. К их числу относятся потенциально опасные рудерально-сегетальные сорняки (*Berteroa incana* (L.) DC., *Bunias orientalis* L., *Capsella bursa-pastoris* (L.) Medik., *Convolvulus arvensis* L., *Saponaria officinalis* L.) и два вида древесно-кустарниковых растений (*Salix euxina* I.V. Belyaeva и *Sambucus racemosa* L.). Особо стоит отметить *Sambucus racemosa*, внедряющуюся наряду с аборигенными видами (*Euonymus verrucosus* Scop., *Frangula alnus* Mill., *Rhamnus cathartica* L. и др.) в разреженные сосновые лесопосадки, образуя подлесок.

Во вторую группу входят 5 видов растений – *Epilobium ciliatum* и *E. pseudorubescens*, а также не включённые в «Чёрную книгу флоры...» [2], но повсеместно внедряющиеся в прибрежно-водные сообщества в бассейне р. Сызранки *Parthenocissus quinquefolia* (активно расселяющегося благодаря орнитохории и вегетативному размножению участками лиан), *Phragmites altissimus* (расселяющийся благодаря агестохории) и *Typha laxmannii* (благодаря анемохории и орнитохории).

Третью группу образуют 18 видов растений, активно натурализующихся по нарушенным местообитаниям (см. табл. 1). В эту группу следует отнести карантинные виды растений с небольшими очагами распространения на полях, по мусорным местам и вдоль дорог – *Acroptilon repens*, *Ambrosia trifida*, *A. artemisiifolia* и *Cuscuta campestris*; два последних вида часто встречаются на территориях старых суконных фабрик. *Acroptilon repens* находится в Сызранском бассейне на северной границе ареала и его можно

трактовать как аколотофит (идёт расширение ареала к северу за счёт заноса заражённого семенного материала). К тому же этот вид вегетативно подвижен и очень долго сохраняет на большой глубине участки корневищ. Оба вида амброзии, зарегистрированные впервые в области в конце 1960 – начале 1970-х гг., разносятся с засорёнными почвогрунтами и наибольшую опасность представляет *Ambrosia trifida*, которая в первичном ареале в Северной Америке произрастает по влажным берегам и отмечается в посевах зерновых. В бассейне р. Сызранки наметилась тенденция повторения американского «сценария» распространения этого карантинного вида [11]. *Cuscuta campestris* только начинает расселяться, и вторичные очаги инвазии находятся вдоль дорог, реже на полях.

Ряд видов во флоре Сызранского бассейна считаются потенциально инвазионными (см. табл. 1, статус 4), так как в неразветвлённой речной сети небольшой густоты нет подходящих экологических условий. Они в настоящее время не представляют особой угрозы для растительного покрова региона и здоровья населения в силу невысокой численности и ограниченного распространения. Каждый из этих видов имеет свои пути распространения в пределах речного бассейна. Так, например, для трудноискоренимых высокоплодовых сорных видов *Galinsoga ciliata* и *G. parviflora* С. В. Голицын [12] отмечал, что растения распространяются с семенами некоторых декоративных сложноцветных (антропохория в виде спейрохории), *Amelanchier spicata* и *Sorbaria sorbifolia* – уход из культуры благодаря орнитохории и анемохории соответственно, а *Reynoutria japonica* – «беглец из культуры» путём вегетативного размножения. *Lupinus polyphyllus* не проявляет агрессии, так как для него нет подходящих экологических условий и он продолжает расселяться только вдоль дорог. Стоит обратить внимание на другого агестохора, в будущем сегетального сорняка *Sisymbrium volgense*, распространяющегося пока также вдоль дорог.

Инвазионные виды растений встречаются во всех сообществах: в водных (например, *Elodea canadensis*), прибрежно-водных (*Bidens frondosa*, *Echinocystis lobata* и *Epilobium ciliatum*), лесных (*Acer negundo* и *Oenothera biennis*), степных (*Elaeagnus angustifolia*). У некоторых инвазионных видов проявляется двойной (*Elaeagnus angustifolia* встречается в луговых и прибрежных сообществах) или тройной (*Acer negundo*, кроме лесных сообществ, встречается в степных и луговых) сценарий натурализации. Наиболее уязвимыми из естественных сообществ являются при-



брежно-водные. Об этом свидетельствует список инвазионных растений с левого берега р. Сызранки в пределах п.г.т. Новоспаское: *Acer negundo*, *Amaranthus albus*, *A. retroflexus*, *Anisantha tectorum*, *Atriplex tatarica*, *Bidens frondosa*, *Conyza canadensis*, *Cyclachaena xanthiifolia*, *Echinocystis lobata*, *Elaeagnus angustifolia*, *Elodea canadensis*, *Epilobium ciliatum*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Lepidium densiflorum* и *Oenothera biennis*.

На основании анализа 51 инвазионного вида растений для Средней России В. К. Тохтарь и Н. В. Мазур [13] выявили характерные черты идеального растения-«колониста», получающего преимущества для вторжения в естественные

фитоценозы. Это будут адвентивные виды, являющиеся однолетниками и травянистыми поликарпиками, относящиеся к семейству *Asteraceae*, безрозеточные, без подземных побегов, терофиты со стержневой корневой системой, мезотрофы, ксеромезофиты и/или эумезофиты североамериканского происхождения.

Между инвазионными видами флоры Средней России и Сызранского бассейна прослеживается определённая корреляция и общность двух флор по этим признакам (табл. 2), так как 41,9 и 48,0% видов из данных списков соответственно имеют черты идеального растения-«колониста».

Таблица 2

Сравнительная характеристика списков инвазионных видов растений

Признаки инвазионных видов	% от числа инвазионных видов в списке для флоры	
	Средней России	бассейна р. Сызранки
Из семейства <i>Asteraceae</i>	8,0	27,5
Травы	78,7	82,5
Терофиты	43,0	42,5
Ксеромезофиты	37,0	27,5
Североамериканское происхождение	43,0	60,0
Соответствие характерным чертам идеального растения-«колониста»	41,9	48,0

Выводы

К настоящему времени на территории бассейна р. Сызранки установлено произрастание 40 инвазионных видов растений, внедряющихся в экосистемы и оказывающих на них различное влияние. Пять видов (см. табл. 1, статус 1) активно внедряются в сообщества и изменяют их облик, вытесняя местные виды растений; ещё пять (статус 2) – внедряются в сообщества, но не вытесняют аборигенные виды; 18 видов (статус 3) расселяются по нарушенным местобитаниям и 13 считаются потенциально инвазионными. В целях предотвращения расселения агрессивных чужеродных видов растений необходимо уделить внимание тем видам, которые в настоящее время только проявляют тенденцию к расселению и не достигли ещё широкого распространения в регионе. В связи с этим необходимы мониторинговые исследования всех категорий инвазионных видов, обращая особое внимание на способы и пути расселения. В перспективе необходимо создать «Чёрную книгу» Самарско-Ульяновского Поволжья [14]; перечень видов, представляющих угрозу для

растительного покрова данного региона, уже составлен в границах Сызранского бассейна.

Благодарности

Автор выражает признательность и благодарность за ценные советы и замечания при обсуждении материалов данной статьи доктору биологических наук, профессору С. В. Саксонову и кандидату биологических наук, доценту Н. С. Ракову.

Список литературы

1. Конвенция о биологическом разнообразии. UNEP/CBD, 1995. 34 с.
2. Виноградова Ю. К., Майоров С. Р., Хорун Л. В. Чёрная книга флоры Средней России : чужеродные виды растений в экосистемах Средней России. М. : ГЕОС, 2010. 512 с.
3. Theoharides A. K., Dukes J. S. Plant invasion across space and time: factors affecting noneindigenous species success during four stages of invasion // *New Phytologist*. 2007. Vol. 176, № 2. P. 256–273.
4. Борисова Е. А. Адвентивная флора Верхневолжского региона : дис. ... д-ра биол. наук. М., 2008. 562 с.



5. Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 including Aichi Biodiversity Targets. URL: <https://www.cbd.int/sp/targets/> (дата обращения: 21.07.2015).
6. *McNeely J. A., Mooney H. A., Neville L. E., Schei P., Waage J. K.* A Global Strategy on Invasive Alien Species. Switzerland ; Cambridge, UK : IUCN Gland, 2001. 50 p.
7. *Нотов А. А., Виноградова Ю. К., Майоров С. П.* О проблеме разработки и ведения региональных Чёрных книг // Рос. журн. биол. инвазий. 2010. № 4. С. 54–68.
8. *Хорун Л. В.* Некоторые вопросы анализа адвентивных флор на примере Тульской области // Флористические исследования в Центральной России на рубеже веков. М. : Изд-во Бот. сада МГУ, 2001. С. 154–156.
9. *Smith R. D., Aradottir G. I., Taylor A., Lyal C.* Invasive species management – what taxonomic support is needed? Nairobi : Global Invasive Species Programme (GISP), 2008. 44 p.
10. *Pyšek P., Chytrý M., Pergl J., Sádlo J., Wild J.* Plant invasions in the Czech Republic : current state, introduction dynamics, invasive species and invaded habitats // Preslia (Praha). 2012. Vol. 84. P. 575–629.
11. *Раков Н. С.* Состав, структура и динамика адвентивной флоры Ульяновской области : дис. ... канд. биол. наук. Тольятти, 2012. 239 с.
12. *Голицын С. В.* К вопросу об антропохорных миграциях растений // Сов. ботаника. 1945. Т. XIII, № 6. С. 19–29.
13. *Тохтарь В. К., Мазур Н. В.* Анализ инвазионных видов России // Науч. ведомости БелГУ. Сер. Естественные науки. 2010. № 21 (92), вып. 13. С. 20–23.
14. *Раков Н. С., Сенатор С. А., Саксонов С. В.* Чужеродные виды – источник сорных растений в Самарско-Ульяновском Поволжье // Сорные растения в изменяющемся мире : актуальные вопросы изучения разнообразия, происхождения, эволюции : материалы I междунар. науч. конф. (С.-Петербург, 6–8 декабря 2011 г.). СПб. : ВИР, 2011. С. 272–277.

Образец для цитирования:

Дронин Г. В. Инвазионные виды растений в бассейне реки Сызранки // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 98–102. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-98-102.

Cite this article as:

Dronin G. V. Invasive Species of Plants in the Syzranka River Basin. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 98–102 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-98-102.

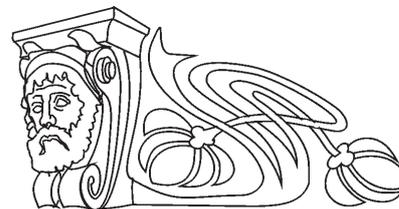


УДК 58.02 +582.572.226 : 575.17

СТРУКТУРА МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ И ВИТАЛИТЕТА В ПОПУЛЯЦИЯХ *TULIPA GESNERIANA* L. НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ И ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

А. С. Кашин, Н. А. Петрова, И. В. Шилова

УНЦ «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского
E-mail: kashinas2@yandex.ru



В течение четырех полевых сезонов (2013–2016 гг.) проводились исследования структуры морфологической изменчивости и виталитета в 38 популяциях *Tulipa gesneriana* в ряде областей Нижнего Поволжья и прилегающих территорий. Показана существенная изменчивость виталитетной структуры популяций как на межпопуляционном уровне, так и по годам. Выявлено, что в годы наблюдения в целом в большинстве популяций вида имела место достаточно ярко выраженная тенденция последовательного снижения виталитета от 2013 до 2015 г. и значительного улучшения состояния растений в них в 2016 г. Установлено снижение жизнеспособности особей в популяциях при интенсивном выпасе.

Ключевые слова: *Tulipa gesneriana*, сохранение биоразнообразия, виталитет, жизнеспособность популяции, Нижнее Поволжье.

The Structure of Morphological Variability and Vitality in the Populations of *Tulipa gesneriana* L. in the Lower Volga Region and Adjacent Territories

A. S. Kashin, N. A. Petrova, I. V. Shilova

During four field seasons (2013–2016.) conducted a study of the structure of morphological variability and vitality. 38 populations of *Tulipa gesneriana* in several areas of the Lower Volga region and adjacent territories. The significant variability in the vitality structure of the populations as on the interpopulation level, and year. It is revealed that years of observation in General, most populations of the species were quite pronounced tendency for a gradual reduction of vitality, from 2013 to 2015 and significantly improve the plants in them in 2016. The decrease of vitality of individuals in the populations under intensive grazing.

Key words: *Tulipa gesneriana*, biodiversity, vitality of a population, Lower Volga region.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-103-110

Введение

Tulipa gesneriana L. занесён в Красную книгу РФ [1] как вид, сокращающийся в численности. На территории Саратовской области находится под угрозой исчезновения [2].

В Правобережье Саратовской области вид очень редок (указан для Красноармейского и Татищевского районов, окрестностей г. Саратова) [3]. Сохранились единичные места произрастания в Вольском и Хвалынском районах [4]. В Левобережье более обычен и известен из целого ряда районов [3]. Численность вида на территории

области следует считать уменьшающейся. Судя по литературным данным и сборам, хранящимся в Гербариях Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского (SARAT, SARP и SARBG), г. Москвы (MW, MHA) и г. Санкт-Петербурга (LE), ранее вид на территории региона был более обилен и встречался даже в черте города Саратова.

Работы в области популяционной биологии данного вида крайне фрагментарны. Некоторые исследования ведутся на территории Республики Калмыкия [5–9], Оренбургской области [10, 11].

В Саратовской области активно изучается состояние отдельных популяций *T. gesneriana*, особенно входящих в состав ООПТ [12–17]. Однако многолетний мониторинг популяций данного вида ранее не проводился. Этот аспект исследования нашёл отражение в ряде наших публикаций [18–21].

В данной статье приведены результаты мониторинга жизнеспособности популяций *T. gesneriana* в Саратовской области и на прилегающих территориях. При этом под жизнеспособностью особей или популяций понимается неодинаковость особей одного онтогенетического состояния (популяций одного вида), связанная с их жизнеспособностью [22, 23]. Жизнеспособность, или виталитет, растений часто ассоциируется с вегетативной массой и размером и является важнейшим адаптивным механизмом, работающим на популяционном уровне [22, 24]. Таким образом, виталитет – это морфоструктурное выражение жизненного состояния растений [25].

Виталитетный анализ является сравнительным методом, поэтому чем больше локальных популяций участвует в анализе, тем точнее оценка. Одна из главных задач при оценке жизнеспособности – это отбор признаков (организменных или популяционных), являющихся наиболее информативными и удобными для измерения. Причем интерес, особенно при маршрутных исследованиях, направлен на поиск их меньшего числа, вплоть до единственного признака [26].



Материалы и методы

Исследования проводились в 2013–2016 гг. в период массового цветения растений *T. gesneriana* L. в 38 популяциях, произрастающих в различных районах Саратовской, Волгоградской, Астраханской, Ростовской областей и Республики Калмыкия (рис. 1, таблица). В качестве учетной единицы принимали особи генеративного онтогенетического состояния. В каждой популяции

у 30 случайно выбранных растений измерялись следующие параметры: высота и диаметр растения; длина побега; длина первого междоузлия; диаметр стебля в области первого междоузлия; количество листьев; длина и ширина нижнего листа; толщина листовой пластинки; длина и ширина второго листа; количество цветков; высота цветка, диаметр цветка; длина и ширина листочка околоцветника; длина столбика и тычинки.

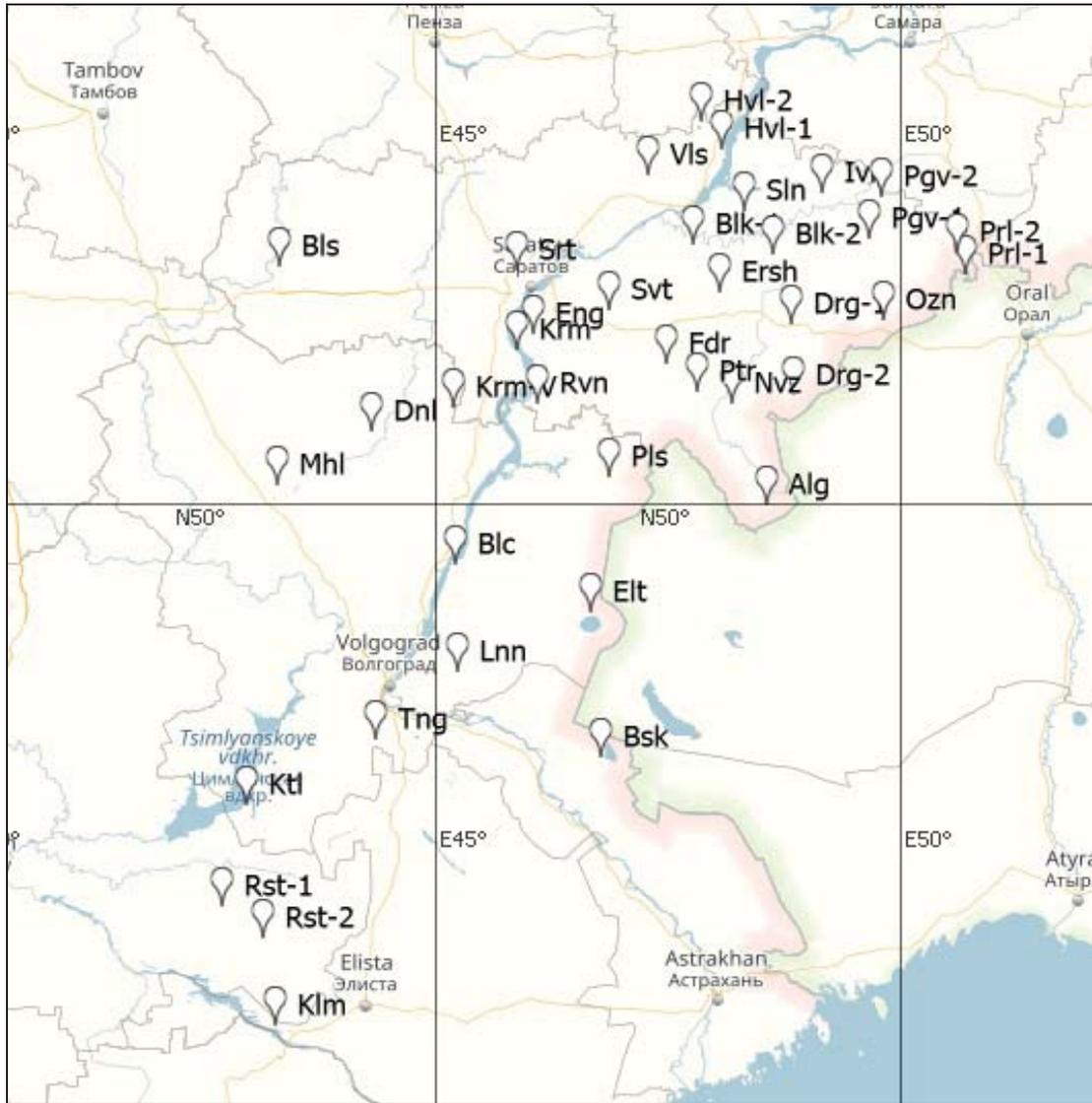


Рис. 1. Расположение исследованных популяций *T. gesneriana*. Здесь и далее районы Саратовской области: Alg –Алгайский, Bls – Балашовский, Blk – Балаковский, Drg – Дергачёвский, Eng – Энгельский, Ersh – Ершовский, Fdr – Фёдоровский, Hvl – Хвалынский (Цыганский дол), Hvl-2 – Хвалынский (Чёрный затон), Ivп – Ивантеевский, Krm – Красноармейский (с. Ахмат), Krm-V – Красноармейский (с. Гвардейское), Nvz – Новоузенский, Ozn – Озинский, Pgv – Пугачёвский (с. Максотово), Prl-1 – Перелобский (с. Бригадировка), Prl-2 – Перелобский (с. Натальин Яр), Ptr – Питерский, Rvn – Ровенский, Sln – Пугачёвский (с. Солянка), Srt – Саратовский, Svt – Советский, Vls – Вольский; районы Волгоградской области: Blc – Быковский, Dnl – Даниловский, Elt – Палласовский (окр. оз. Эльгон), Ktl – Котельниковский, Lnn – Ленинский, Mhl – Михайловский, Pls – Палласовский (с. Коршуновка), Tng – Светлоярский; районы Ростовской области: Bsk – Ахтубинский район Астраханской области; Rst-1 – Зимовниковский, Rst-2 – Ремонтненский; Klm – Приютнинский район Республики Калмыкия



Приуроченность к типу растительности и значение *IVC* изученных популяций *T. gesneriana*

Тип растительности	Район произрастания	Условн. обозн.	<i>IVC</i>			
			2013	2014	2015	2016
<i>Восточно-европейская степная провинция</i>						
Луговые степи	Саратовская обл., Хвалынский р-н	Hvl-1	–	–	1,43	1,36
		Hvl-2	–	–	–	1,44
	Саратовская обл., Вольский р-н	Vls	1,02	1,05	1,07	1,10
<i>Понтическая степная провинция</i>						
Богаторазнотравно-типчаково-ковыльные степи	Саратовская обл., Балашовский р-н	Bls	–	–	–	1,05
Разнотравно-типчаково-ковыльные степи	Окр. г. Саратова	Srt	0,92	0,82	0,60	0,89
	Саратовская обл., Красноармейский р-н	Krm	0,79	0,90	0,91	0,99
		Krm-V	–	1,03	0,95	1,09
	Волгоградская обл., Даниловский р-н	Dnl	–	–	–	1,40
	Волгоградская обл., Михайловский р-н	Mhl	–	–	–	1,05
Типчаково-ковыльные степи	Волгоградская обл., Светлоярский р-н	Tng	–	–	0,78	–
	Волгоградская обл., Котельниковский р-н	Ktl	–	–	0,82	–
	Ростовская обл., Зимовниковский р-н	Rst-1	–	–	1,23	–
	Ростовская обл., Ремонтненский р-н	Rst-2	–	–	0,96	–
Пустынные степи	Р. Калмыкия, Приютненский р-н	Klm	–	–	1,11	–
<i>Заволжско-казахстанская степная провинция</i>						
Разнотравно-типчаково-ковыльные степи	Саратовская обл., Ивантеевский р-н	Ivn	–	–	0,95	1,19
	Саратовская обл., Балаковский р-н	Blk-1	1,06	0,85	0,94	1,17
		Blk-2	–	0,84	*	*
	Саратовская обл., Пугачевский р-н	Sln	–	–	0,99	1,32
Типчаково-ковыльные степи	Саратовская обл., Пугачевский р-н	Pgv-1	1,04	0,85	0,82	1,02
		Pgv-2	0,96	0,75	*	*
	Саратовская обл., Перелюбский р-н	Prl-1	–	0,70	0,74	*
		Prl-2	–	–	–	1,13
	Саратовская обл., Ершовский р-н	Ersh	–	–	–	1,07
	Саратовская обл., Советский р-н	Svt	–	0,85	0,81	0,90
	Саратовская обл., Энгельский р-н	Eng	–	1,00	0,92	1,11
	Саратовская обл., Озинский р-н	Ozn	0,95	0,90	0,86	0,91
	Саратовская обл., Фёдоровский р-н	Fdr	1,01	0,86	0,84	0,96
	Саратовская обл., Дергачевский р-н	Drg-1	–	0,94	0,86	0,91
		Drg-2	–	–	0,96	1,22
	Саратовская обл., Питерский р-н	Ptr	–	–	–	1,00
Пустынные степи	Саратовская обл., Новоузенский р-н	Nvz	–	1,04	0,99	1,10
	Саратовская обл., Ровенский р-н	Rvn	–	0,86	0,79	0,93
	Саратовская обл., Александрово-Гайский р-н	Alg	–	1,05	0,82	1,18
	Волгоградская обл., Палласовский р-н	Pls	–	1,03	0,96	1,29
	Волгоградская обл., Палласовский р-н	Elt	–	–	1,16	1,31
	Волгоградская обл., Быковский р-н	Blc	–	–	1,05	1,29
	Волгоградская обл., Ленинский р-н	Lnn	–	–	1,16	*
	Астраханская обл., Ахтубинский р-н	Bsk	–	–	1,00	–

Примечание. В популяции не было достаточного количества генеративных растений из-за внешних, в основном антропогенных, причин (менее 30 шт.), прочерк означает отсутствие данных. Жирным шрифтом выделены ценопопуляции, подверженные интенсивному выпасу либо рекреационной нагрузке.



В связи с охранным статусом тюльпана уничтожение растений не допустимо, поэтому измерение фитомассы и других параметров не проводилось.

Для характеристики жизнеспособности популяций нами использовался индекс виталитета ценопопуляций (IVC), который рассчитывали по формуле [23, 27]:

$$IVC = \frac{\sum_{i=1}^N X_i^1 / X_i^2}{N},$$

где X_i^1 – значение i -го признака в ценопопуляции, X_i^2 – среднее значение i -го признака для всех ценопопуляций, N – число признаков.

Для оценки виталитета особи использовали индекс IVI (индекс виталитета особи) [27]. Ранжированный по индексу виталитета ряд особей разбивали на три класса виталитета – высший (a), средний (b) и низший (c). Установление границ класса b проводили в пределах границ доверительного интервала среднего значения ($x_{cp} \pm \sigma$). Виталитетный тип ценопопуляций определяли с использованием критерия Q : процветающие – ($Q = 1/2(a+b) > c$), равновесные – ($Q = 1/2(a+b) = c$), депрессивные – ($Q = 1/2(a+b) < c$). Для оценки степени процветания или депрессивности ценопопуляций использовали индекс $I_Q = (a+b)/2c$ [23].

Выбор признаков для виталитетного анализа проводили с учетом корреляционных связей между ними. Корреляционный анализ выполнен с использованием непараметрического коэффициента корреляции Спирмана в программе Statistica 6.0. Визуализация корреляционной матрицы выполнена в программном модуле GRAPHS [28, 29].

Коэффициенты корреляции по силе связи были разделены на 4 группы: 1) $r > 0.8$ – очень сильная связь; $r = 0.71 - 0.8$ – сильная связь; $r = 0.61 - 0.7$ – умеренная связь; $r = 0.5 - 0.6$ – слабая связь [30].

Учитывая, что существуют определенные закономерности варьирования морфологических признаков в зависимости от условий окружающей среды [3], эти признаки использовали в качестве системных индикаторов, объединяя в группы по особенностям общей и согласованной изменчивости. Согласованная изменчивость признаков определялась по значениям коэффициента детерминации R^2_{ch} – квадрату коэффициента корреляции r^2 , усредненного по отдельным признакам. Выделяли четыре группы системных индикаторов: 1) эколого-биологические – отражающие согласованную изменчивость особей в неоднородной среде; 2) биологические индикаторы – «ключевые» показатели, изменения которых определяют общее состояние системы; 3) генотипические (таксономические) индикаторы; 4) экологические индикаторы, изменения которых слабо согласованы с общей системой организма [31].

Типы растительности [32] даны с уточнением для Саратовской области [33].

Результаты и их обсуждение

Структура морфологической изменчивости. По результатам исследования структуры морфологической изменчивости [31], проведенного в популяциях *T. gesneriana* по 18 морфологическим признакам, в группу экологических системных индикаторов (рис. 2, I), в большей степени

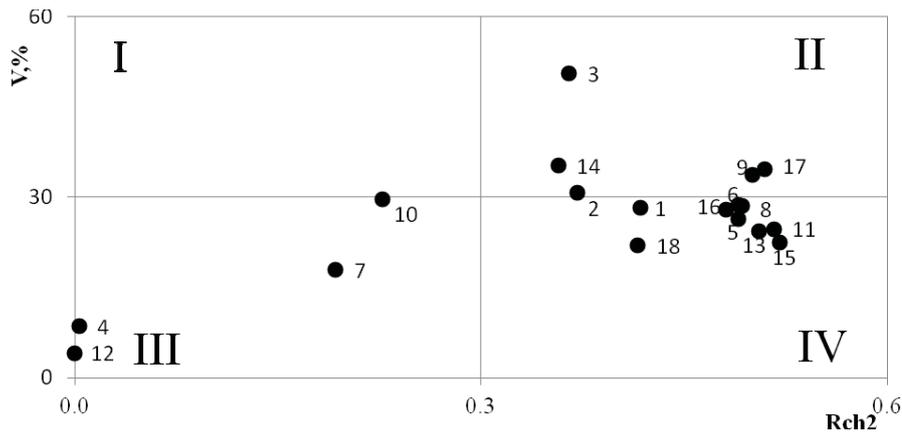


Рис. 2. Ординация морфологических параметров *T. gesneriana* по структуре морфологической изменчивости: 1 – высота растения, 2 – длина побега, 3 – диаметр растения, 4 – количество листьев, 5 – длина нижнего листа, 6 – ширина нижнего листа, 7 – толщина листовой пластинки, 8 – длина второго листа, 9 – ширина второго листа, 10 – длина междоузлия, 11 – диаметр стебля в области первого междоузлия, 12 – количество цветков, 13 – высота бокала, 14 – диаметр бокала, 15 – длина лепестка, 16 – ширина лепестка, 17 – высота столбика, 18 – длина тычинки. Группы системных индикаторов: I – экологические, II – эколого-биологические, III – генотипические, IV – биологические



зависящих от условий внешней среды и слабо связанных с изменениями других признаков, не попал ни один признак. Лишь длина междоузлия находится на границе генотипических и экологических признаков, так как зависит от густоты травостоя, увлажнения и освещенности, но при этом является характерным признаком вида.

К эколого-биологическим системным индикаторам (см. рис. 2, II), изменчивость которых зависит от внешних факторов и, определяя корреляционную структуру особи, влечет за собой согласованные изменения всей структуры связей морфологической системы растения, отнесены диаметр куста, диаметр бокала, ширина второго листа, высота столбика и отчасти длина побега.

К группе генотипических (таксономических) системных индикаторов отнесены количество листьев, количество цветков, толщина листовой пластинки нижнего листа и отчасти длина междоузлия (см. рис. 2, III).

Все остальные параметры отнесены к группе биологических системных индикаторов (см. рис. 2, IV), которые в меньшей степени зависят от условий среды, но обладают общей согласованной изменчивостью, являясь ключевыми для всей морфологической структуры особи: длина листочка околоцветника, диаметр стебля в области первого междоузлия, высота цветка, длина второго листа, ширина нижнего листа, ширина листочка околоцветника, длина тычинки, длина нижнего листа, высота растения.

Корреляционная структура морфологических параметров *T. gesneriana*. Учитывая, что корреляционная структура морфологических признаков варьирует в зависимости от условий окружающей среды, генотипа и иных внешних и внутренних факторов [30, 31], в корреляционный анализ вовлечены все измеренные растения за 4 года – более 2300 шт. Корреляционные связи морфологических параметров представлены на рис. 3.

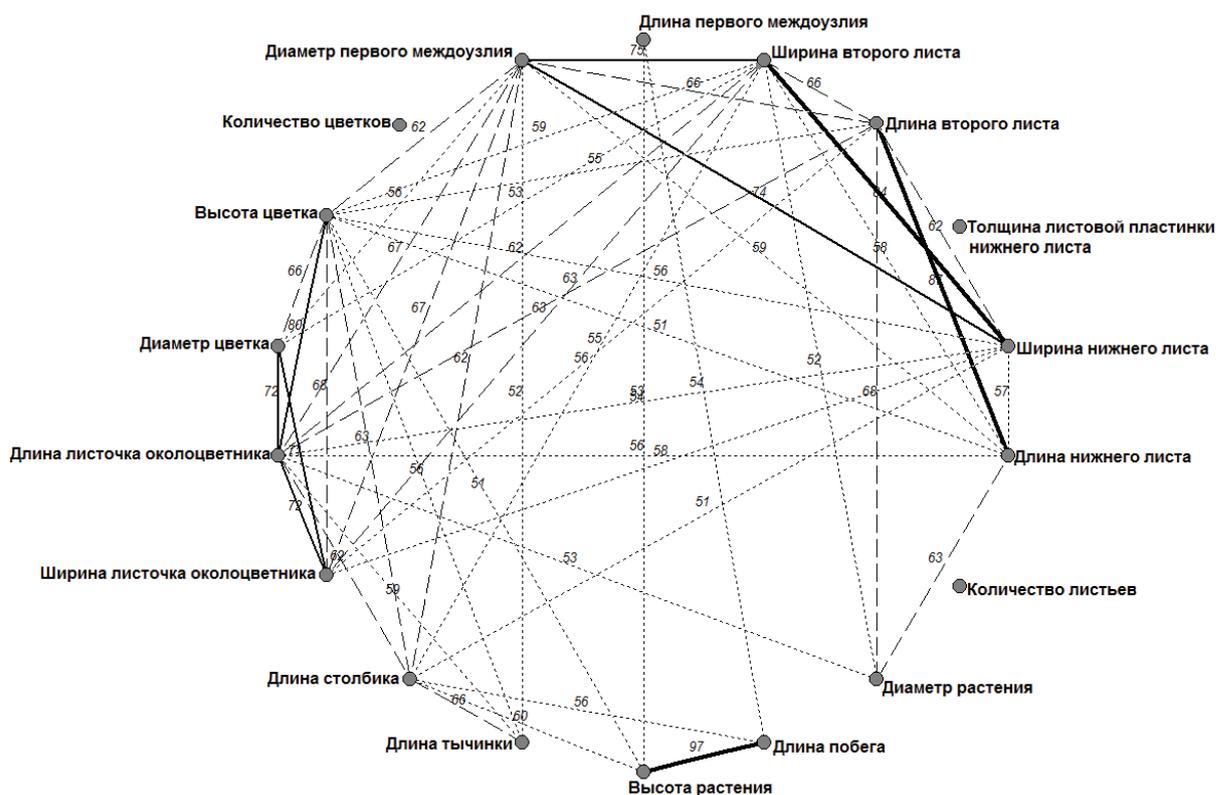


Рис. 3. Корреляционные связи морфологических параметров *T. gesneriana*. Приведены значения коэффициента корреляции Спирмана: $|r| = 0.50–0.60$ – слабая связь; - - - - - $|r| = 0.61–0.70$ – умеренная связь; ————— $|r| = 0.71–0.80$ – сильная связь; ————— $|r| = 0.80–1.00$ – очень сильная связь

Очень сильная корреляционная связь ($|r| > 0.8$) выявлена между параметрами вегетативных органов – длиной нижнего и длиной среднего листа, шириной нижнего и шириной среднего листа, высотой растения и длиной побега. Сильная связь

($|r| > 0.7$) отмечена между параметрами цветка – шириной и длиной листочка околоцветника, высотой цветка, диаметром цветка, а также между диаметром стебля в области первого междоузлия и размерами листьев. При этом максимальное



число коррелирующих отношений с достоверной корреляционной связью разной силы имеют длина листочка околоцветника (11), высота цветка (11), ширина второго листа (10), диаметр стебля в области первого междоузлия (10).

На основании полученных данных, к числу ключевых признаков следует отнести длину и ширину нижнего и среднего листьев, диаметр стебля в области первого междоузлия, длину и ширину листочка околоцветника, высоту и диаметр цветка, в меньшей степени – высоту растения и длину побега. Все эти признаки образуют внутри корреляционной плеяды три группы: 1) параметры листьев и междоузлия, 2) параметры цветка, 3) параметры вертикальной структуры растения.

По мнению Ю. А. Злобина [22], при выборе ключевых параметров следует избегать формализации процедуры и учитывать биолого-экологические свойства видов. Поэтому предпочтение

следует отдавать экологическим, эколого-биологическим и биологическим системным индикаторам, принимая во внимание взаимосвязь параметров друг с другом [34]. Из вышеперечисленных ключевых признаков к эколого-биологическим относятся ширина второго листа и длина побега, остальные – к биологическим индикаторам.

На основании этого для исследования виталитетной структуры популяций были выбраны следующие признаки: длина побега, длина листочка околоцветника, диаметр стебля в области первого междоузлия, ширина нижнего листа, длина нижнего листа, ширина второго листа. Данные признаки во всех отношениях характеризуют развитие растений *T. gesneriana*.

Жизненность и виталитетная структура популяций. Индекс виталитета популяций (*IVC*) и виталитетная структура популяций рассчитаны по шести признакам, отобранном по результатам корреляционного анализа (рис. 4, см. таблицу).

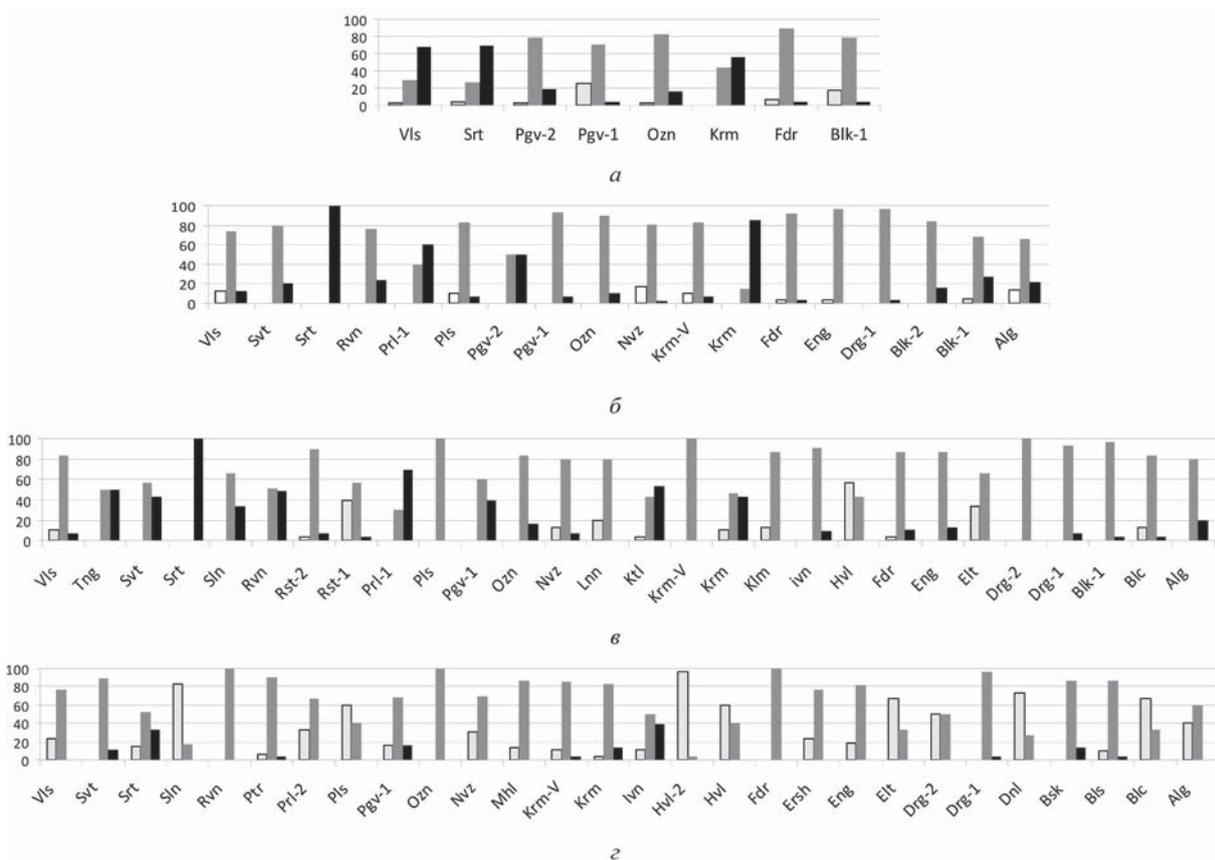


Рис. 4. Виталитетная структура популяций *T. gesneriana* в 2013 (а), 2014 (б), 2015 (в) и 2016 (г) годах: □ – класс а, ■ – класс b, ■ – класс с

В большей части исследованных популяций, наблюдения в которых осуществлялись на протяжении четырех лет, минимальная жизненность отмечена в 2014 г. и особенно в 2015 г. Исключением являются только популяция Krm и Vls,

жизненность которых в 2013 г. была ниже, чем в остальные годы наблюдения, и популяция Blk-1 с самой низкой жизненностью в 2014 г. В целом при



анализе жизненности всех популяций, независимо от числа лет их исследования, самым низким уровнем жизненности характеризовался 2015 г.

Исключением были лишь 4 популяции, в которых в 2015 г. жизненность была ниже, чем в 2016 г. (Vls, Pgv-1, Blk-1 и Prl-1). В 2016 г. в подавляющем большинстве исследованных популяций имел место максимальный уровень жизненности, за исключением Hvl-1. Этот год, безусловно, был наиболее благоприятным для роста и развития растений *T. gesneriana*. Лишь три популяции (Pgv-2, Blk-1 и Prl-1) находились в период цветения тюльпанов под интенсивной пастбищной нагрузкой и явно страдали прежде всего от этого.

Таким образом, в годы наблюдения в целом в большинстве популяций вида имела место достаточно ярко выраженная тенденция последовательного снижения виталитета от 2013 до 2015 г. и значительного улучшения состояния растений в них в 2016 г. Имеет место существенная изменчивость морфологических параметров и виталитета популяций, как на межпопуляционном уровне, так и по годам.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-04-00142).

Список литературы

1. Литвинская С. А. Тюльпан Шренка – *Tulipa schrenkii* Regel // Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М. : Т-во науч. изд. КМК, 2008. С. 333–334.
2. Худякова Л. П., Давиденко О. Н. Тюльпан Геснера – *Tulipa gesneriana* L. // Красная книга Саратовской области : Грибы. Лишайники. Растения. Животные. Саратов : Изд-во Торг.-пром. палаты Саратов. обл., 2006. С. 81.
3. Еленевский А. Г., Буланый Ю. И., Радыгина В. И. Конспект флоры Саратовской области. Саратов : ИЦ «Наука», 2008. 232 с.
4. Серова Л. А., Березуцкий М. А. Растения национального парка «Хвалынский» (Конспект флоры). Саратов : Изд-во «Научная книга», 2008. 194 с.
5. Поканинов Л. Б., Куякунов И. И. Биология и ритмы развития тюльпана Шренка на островах озера Маныч-Гудило // Экология и природная среда Калмыкии : сб. науч. тр. гос. природ. биосфер. заповедника «Черные земли». Элиста, 2005. С. 46–50.
6. Джапова Р. Р., Хулхачиева Г. С., Чоникова К. Ю. Эколого-биологические особенности ценопопуляции тюльпана Геснера (т. Шренка) на каштановых почвах // Проблемы сохранения и рационального использования биоразнообразия Прикаспия и сопредельных регионов : материалы VII междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 40-летию Калмыц. гос. ун-та. Сер. Флора. Фауна. Экология. Элиста, 2010. С. 26–29.
7. Лыу Т. Н., Бадаев Р. В., Лиджиева Н. Ц. Полиморфизм ценопопуляции тюльпана Геснера по окраске околоцветника и изменчивость количественных признаков // В мире научных открытий. 2013. № 11.2 (47). С. 51–64.
8. Лыу Т. Н., Бадаев Р. В., Обгенова Д. А., Лиджиева Н. Ц. Изменчивость признаков растений *Tulipa gesneriana* в ценопопуляции, полиморфной по окраске цветков // Вестн. Калмыц. ун-та. 2013б. № 1 (17). С. 39–43.
9. Боктаева А. П., Атуева Д. Н., Уланова Я. М. Ценопопуляция тюльпана Геснера на участке дерново-виннозлаковой степи, перспективном для создания ООПТ // Флора, растительность и растительные ресурсы Забайкалья и сопредельных территорий. Чита : Изд-во Забайкал. гос. ун-та, 2013. С. 90–93.
10. Алпатов И. С. Фенологическое наблюдение тюльпана Шренка в междуречье Оренбургской области // Наука вчера, сегодня, завтра : материалы VII междунар. науч.-практ. конф. (Новосибирск, 11 декабря 2013 г.). Новосибирск : Изд-во «СибАК», 2013. С. 25–29.
11. Максимова Н. В., Калмыкова О. Г. Об эколого-ценотических особенностях местообитаний *Tulipa gesneriana* L. в Урало-Илекском междуречье // Вопросы степеведения. Оренбург, 2013. № 10. С. 54–58.
12. Давиденко О. Н., Серова Л. А., Беляченко А. А. Биоценотический потенциал растительности памятника природы урочище «Иваново поле» // Вестн. Саратов. гос. техн. ун-та. 2013. Т. 4, № 1 (73). С. 244–248.
13. Давиденко О. Н., Невский С. А. Материалы к третьему изданию Красной книги Саратовской области // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2013. Т. 13, вып. 2. С. 40–49.
14. Шаповалова А. А. Онтогенетическая характеристика тюльпана Шренка (*Tulipa schrenkii* Regel.) в Балашовском районе // Биоразнообразие и антропогенная трансформация природных экосистем : сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием (Балашов, 17–18 октября 2013 г.). Саратов : ИЦ «Наука», 2013. С. 123–124.
15. Беляченко Ю. А., Беляченко А. А. К вопросу о проблеме разработки классификации типов окраски цветка в полиморфных ценопопуляциях тюльпана Геснера на территории урочища «Иваново поле» // Научные труды Национального парка «Хвалынский». Вып. 8 : материалы III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием «Особо охраняемые природные территории : прошлое, настоящее, будущее» : сб. науч. ст. Саратов ; Хвалынский : Амирит, 2016. С. 50–55.
16. Беляченко Ю. А., Беляченко А. А., Серова Л. А. Краткая характеристика ценопопуляций тюльпана Геснера на территории урочища «Иваново поле» Федоровского района Саратовской области // Экологические проблемы субъектов экономики : сб. материалов VI междунар. науч.-практ. конф. Пенза : Изд-во Пенз. гос. технол. ун-та. 2016. С. 81–85.



17. Давиденко О. Н. Характеристика ценопопуляций некоторых охраняемых видов растений Саратовской области // Новая наука : стратегии и векторы развития. 2016. № 1–3 (58) С. 4–6.
18. Кашин А. С., Крицкая Т. А., Петрова Н. А., Шилова И. В. Тюльпан Геснера в Саратовской области и на прилегающей территории : распространение, разнообразие, состояние популяций. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2016. 100 с.
19. Кашин А. С., Крицкая Т. А., Шанцер И. А. Генетический полиморфизм *Tulipa gesneriana* L. по данным ISSR маркирования // Генетика. 2016б. Т. 52, № 10. С. 1134–1145.
20. Кашин А. С., Петрова Н. А., Шилова И. В. Состояние ценопопуляций и морфологическая изменчивость *Tulipa gesneriana* L. на севере Нижнего Поволжья // Бот. журн. 2016. Т. 101, № 12. С. 1430–1465.
21. Кашин А. С., Шилова И. В., Петрова Н. А. Особенности экологической стратегии *Tulipa gesneriana* L. (Liliaceae, Liliopsida) // Поволж. экол. журн. 2016. № 2. С. 209–221.
22. Злобин Ю. А. Теория и практика оценки виталитетного состава ценопопуляции растений // Бот. журн. 1989. Т. 74, № 6. С. 769–780.
23. Иибирдин А. Р., Ишмуратова М. М., Журнова Т. В. Стратегии жизни ценопопуляции *Sephalanthera rubra* (L.) Rich. на территории Башкирского гос. заповедника // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. Сер. Биология. 2005. Вып. 1 (9). С. 85–98.
24. Заугольнова Л. Б., Жукова Л. А., Комаров А. С. Ценопопуляции растений (очерки популяционной биологии). М. : Наука, 1988. 184 с.
25. Злобин Ю. А., Скляр В. Г., Клименко А. А. Популяции редких видов растений : теоретические основы и методика изучения. Сумы : Университетская кн., 2013. 439 с.
26. Блинова И. В. Что понимать под жизненностью видов у орхидных и приживется ли в России термин «Фитнесс» (Fitness)? // Вестн. ТвГУ. Сер. Биология и экология. 2008. Вып. 8. С. 100–104.
27. Иибирдин А. Р., Ишмуратова М. М. Адаптивный морфогенез и экологические стратегии выживания травянистых растений // Методы популяционной биологии : материалы докл. VII Всерос. популяц. Семинара. Ч. 2. Сыктывкар, 2004. С. 113–120.
28. Новаковский А. Б. Обзор современных программных средств, используемых для анализа геоботанических данных // Растительность России. 2006. № 9. С. 86–96.
29. Заугольнова Л. Б., Браславская Т. Ю. Методические подходы к экологической оценке лесного покрова в бассейне малой реки. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2010. 383 с.
30. Пархоменко В. М., Кашин А. С. Состояние ценопопуляций *Hypericum perforatum* L. в Саратовской области : Изменчивость морфометрических признаков и стратегия выживания // Растительные ресурсы. 2011. Т. 47, вып. 4. С. 1–18.
31. Ростова Н. С. Корреляции : структура и изменчивость. СПб. : Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2002. 308 с.
32. Растительность европейской части СССР. Л. : Наука, 1980. 429 с.
33. Учебно-краеведческий атлас Саратовской области / В. В. Аникин, Е. В. Акифьева, А. Н. Афанасьева [и др.] ; гл. ред. А. Н. Чумаченко, отв. ред. В. З. Макаров. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2013. 144 с.
34. Пархоменко В. М., Кашин А. С. Состояние ценопопуляций *Hypericum perforatum* L. в Саратовской области : Виталитетная и возрастная структура // Растительные ресурсы. 2012. Т. 48, вып. 1. С. 3–16.

Образец для цитирования:

Кашин А. С., Петрова Н. А., Шилова И. В. Структура морфологической изменчивости и виталитета в популяциях *Tulipa gesneriana* L. Нижнего Поволжья и прилегающих территорий // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 103–110. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-103-110.

Cite this article as:

Kashin A. S., Petrova N. A., Shilova I. V. The Structure of Morphological Variability and Vitality in the Populations of *Tulipa Gesneriana* L. in the Lower Volga Region and Adjacent Territories. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 103–110 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-103-110.



УДК 595.745

НОВЫЕ ДАННЫЕ ПО ФАУНЕ РУЧЕЙНИКОВ (INSECTA: TRICHOPTERA) МОРДОВИИ

В. Май¹, В. В. Аникин², С. В. Сусарев³

¹Музей природы Института эволюции и биоразнообразия имени Лейбница, Берлин, Германия

E-mail: Wolfram.Mey@mfn-berlin.de

²Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

³Саранский филиал «Научно-исследовательского института технической физики и автоматизации»

E-mail: susarev.s@yandex.ru

В статье приведено 14 видов ручейников (Insecta: Trichoptera) рек Суры и Мокша с территории Мордовии – впервые для республики. Общее число известных видов в настоящее время – 39, что представляет небольшую часть существующей фауны ручейников региона исследований. Делается вывод, что состав фаун рек Сура и Мокша отличаются между собой, в их комплексы входят как широко распространенные в Европе виды, так и локально встречающиеся на территории России (*Ceraclea albimacula*, *Hydropsyche bulgaromanorum*, *Lenarchus bicornis*).

Ключевые слова: ручейники, Trichoptera, фауна, Мордовия, Россия.

New Data on the Caddisfly Fauna of Mordovia (Insecta: Trichoptera)

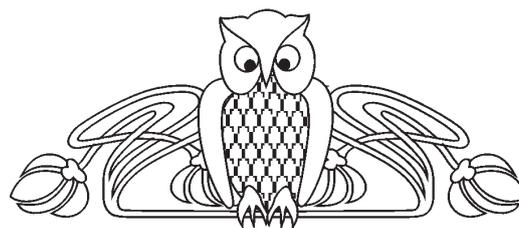
W. Mey, V. V. Anikin, S. V. Susarev

Collecting efforts on the rivers Sura and Moksha in the autonomous Republic of Mordovia (Russia) have resulted in the detection of 14 species of caddisflies, which are recorded from the Republic for the first time. To date, a total of 39 species are listed for the Republic, which is only a small fragment of the residential fauna. It is expected, that more than 200 species of caddisflies occur in the region. It is concluded that the fauna of the rivers of Sura and Moksha differ between themselves and their complexes included as widespread species in Europe like so locally occurring on the territory of Russia (*Ceraclea albimacula*, *Hydropsyche bulgaromanorum*, *Lenarchus bicornis*).

Key words: caddisflies, Trichoptera, fauna, Mordovia, Russia.

DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-111-113

Исследования по данной группе гетеробивотных насекомых в Мордовии проводились спорадически и только как сопутствующая группа насекомых (их личинок) бентоса отдельных озер [1–3] и малых водотоков на территории республики [4, 5]. Всего в этих работах для фауны было отмечено 25 видов ручейников.



Материалы и методы

В настоящей статье приводятся результаты обработки коллекции ручейников (Insecta, Trichoptera), собранных С. Сусаревым в пойменных биотопах двух рек Мордовии в летние месяцы 2012 и 2015 гг. (рисунок).

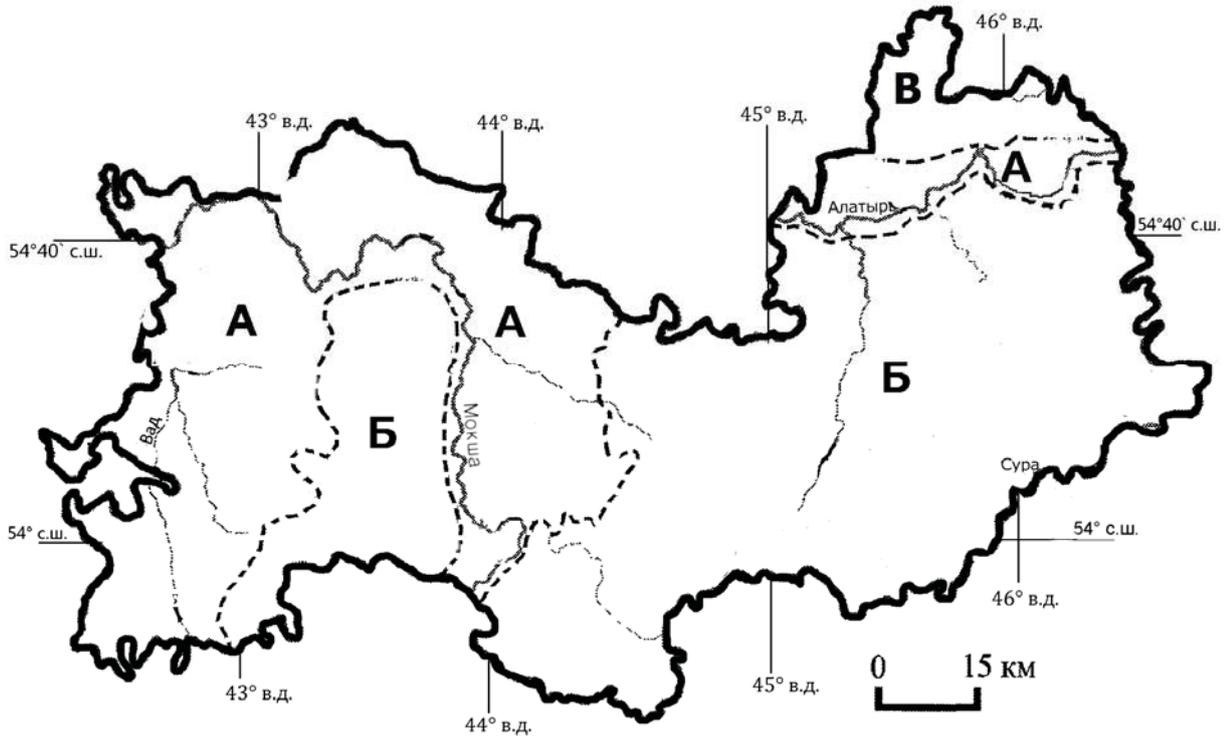
Всего было собрано и обработано около 100 экземпляров, относящихся к 15 видам ручейников.

Сборы ручейников осуществлялись преимущественно в ночное время с привлечением на свет. Источниками света служили лампа ДРЛ-400 и ДРЛ-300 и переносной бензиновый генератор РРГ-800.

Для определения ручейников использовались как внешние морфологические признаки имаго, так и структура генитального аппарата. Для изготовления генитальных препаратов брюшко вываривалось 5–10 мин в зависимости от размеров в 10%-ном растворе КОН. Затем последние сегменты брюшка промывали водой и помещали в каплю глицерина на предметном стекле и рассматривали под биноклем. После этого помещали в пластиковый блистер, предварительно заправленный глицерином, и подкальывали под насекомое.

Для типизации ландшафтов Мордовии, где проходили сборы имаго ручейников, была использована разработанная А. А. Ямашкиным схема [6], в соответствии с которой выделяют 4 типа ландшафтов: 1) смешанные леса водно-ледниковых равнин; 2) широколиственные леса и лесостепи вторичных моренных равнин; 3) широколиственные леса и лесостепи эрозионно-денудационных равнин; 4) долинные ландшафты.

Номенклатура и порядок таксонов в аннотированном списке приводятся в соответствии с системой Н. Малиски [7]. Все указанные виды ручейников впервые приводятся для Мордовии. Материал хранится в фондах коллекции лаборатории систематики чешуекрылых и ручейников Берлинского музея природы Института биоразнообразия ФРГ (Берлин) и зоологического музея Саратовского государственного университета.



Пункты сбора ручейников на территории Мордовии: Физико-географические провинции: А – Лесная Мещёрская, Б – Лесостепная Северо-Приволжская, В – Лесная Северо-Приволжская. Биотопы ландшафтов смешанных лесов водно-ледниковых равнин (ландшафт I): биотоп № 1 – смешанный лес (корд. Инорский, пойма реки Мокша); биотопы долинных ландшафтов (ландшафт IV): биотоп № 2 – пойменный лес, окр. д. Николаевка (пойма реки Сура)

Результаты и их обсуждение

Краткая характеристика исследованных биотопов

Ландшафтно-биотопическая структура является одной из важнейших характеристик фауны. В ходе исследования были собраны ручейники из двух типичных биотопов двух типов ландшафтов.

I. Биотопы ландшафтов смешанных лесов водно-ледниковых равнин

На территории республики они располагаются в лесных Мещёрской и Северо-Приволжской провинциях.

Биотоп № 1 – смешанный лес. Крупный лесной массив расположен на северо-западе, западе, юго-западе и северо-востоке Мордовии. Биотоп расположен в пойме реки Мокша. Кроме реки, возле пункта сбора материала расположены заболоченные участки, а также более сухая опушка. На всех участках преобладают дерново-мелкоподзолистые почвы. Среднее количество осадков 450–500 мм в год.

На данном участке в пойме реки Мокша были отмечены следующие 11 видов ручейников: *Ceraclea albimacula* (Rambur, 1842); *Ceraclea senilis* (Burmeister, 1839); *Ceraclea dissimilis* (Stephens,

1836); *Glyphotaelius pellucidus* (Retzius, 1783); *Grammotaulius nitidus* (Müller, 1764); *Hydropsyche contubernalis* McLachlan, 1865; *Hydropsyche pellucidula* Curtis, 1834; *Lenarchus bicornis* McLachlan, 1880; *Parasetodes respersella* (Rambur, 1842) *Plectrocnemia spec.* (определение до вида невозможно из-за утери брюшка); *Setodes viridis* Fourcroy, 1785.

II. Биотопы долинных ландшафтов

Как правило, эти биотопы не подчиняются зональному распределению и в целом их облик в разных природных зонах сходен.

Биотоп № 2 – пойменный лес. Данный биотоп относится к пойме реки Сура. Помимо этого, здесь имеются пойменные озёра и заболоченные участки. К биотопу примыкает суходольный луг, кроме того, в самом лесу имеются лесная поляна и разреженные участки. В районе сбора материала довольно сложная система лесов: с сосняком-зеленомошником переплетены сосняки-беломошники, практически рядом находятся остепнённые сосняки и участки смешанного леса. Здесь преобладают аллювиальные почвы. Количество среднегодовых осадков колеблется от 475 до 500 мм.

На данном участке в пойме реки Сура были отмечены следующие 7 видов ручейников:



Athripsodes aterrimus (Stephens, 1836); *Ceraclea albimacula* (Rambur, 1842); *Ceraclea dissimilis* (Stephens, 1836); *Ecnomus tenellus* (Rambur, 1842); *Hydropsyche bulgaromanorum* Malicky, 1977; *Neureclipsis bimaculata* (Linnaeus, 1758); *Setodes viridis* Fourcroy, 1785.

Представленные видовые комплексы двух рек имеют всего три «общих» вида, а общее число видов – 15. Делать выводы об особенностях реофильных видов двух рек разных бассейнов (р. Мокша – бассейн р. Ока, р. Сура – бассейн р. Волга) преждевременно. Более того, большая часть видов достаточно широко распространены в Европе, но ряд отмеченных видов (*Ceraclea albimacula*, *Hydropsyche bulgaromanorum*, *Lenarchus bicornis*) был зафиксирован на европейской части России очень локально [8]. Следует отметить, что исходя из ранее проведенных исследований в Мордовии [1–5] было известно всего 25 видов (по личинкам), из которых был отмечен только один вид из 15 установленных в ходе данных исследований. Это может быть объяснено специфичностью проводимых ранее сборов – исключительно бентосные пробы в ряде озер и малых водотоков на территории республики, которые представлены другой экологической группой видов – обитателей малых водотоков, стоячих и замкнутых водоемов. Итог сборов имаго в долинных участках рек Мокша и Сура позволил «увеличить» состав фауны ручейников на одну треть.

Таким образом, фауна ручейников Мордовии в настоящее время насчитывает 39 видов, что, по предварительным оценкам, может составлять только третью часть всего объема этой группы насекомых исходя из данных по другим локальным фаунам хорошо изученных участков, например бассейн р. Ока в Московской области – 90 видов [9]. Проведение в будущем авторских целенаправленных исследований состава фау-

ны ручейников республики даст возможность определить таксономический состав группы и его экологические особенности в полном объеме.

Список литературы

1. Плавильщиков Н. Н. Список видов насекомых, найденных на территории Мордовского государственного заповедника // Тр. Морд. гос. заповедника им. П. Г. Смидовича. 1964. Вып. 2. С. 105–134.
2. Каменев А. Г., Тимралеев З. А., Вельмайкина А. Н. Зооперифитон малых озер левобережного Присурья. Фитофильные беспозвоночные. Саранск : Изд-во Морд. ун-та, 2005. 108 с.
3. Стойко Т. Г., Бурдова В. А., Мазей Ю. А. Гидробионты озера Инерки (Мордовский заповедник) // Тр. Морд. гос. заповедника им. П. Г. Смидовича. 2014. № 12. С. 357–364.
4. Каменев А. Г., Кузнецов Ю. А. Биоиндикация вод малых рек Примокшанья (р. Пушта) // Экология животных и проблемы регионального образования : сб. науч. трудов. Саранск, 1999. С. 3–5.
5. Каменев А. Г. Биопродуктивность и биоиндикация малых водотоков междуречья Суры и Мокши. Макрозообентос. Саранск : Изд-во Морд. ун-та, 2002. 121 с.
6. Ямашкин А. А. Физико-географические условия и ландшафты Мордовии. Саранск : Изд-во Морд. ун-та, 1998. 156 с.
7. Malicky H. Atlas of European Trichoptera. Second edition. Dordrecht : Springer Verlag, 2004. XXVIII + 359 p.
8. Май В., Аникин В. В. К фауне ручейников (Insecta: Trichoptera) Национального парка «Хвалынский» (Саратовская область) // Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье. Саратов, 2015. Вып. 12. С. 42–43.
9. Чертопруд М. В., Палатов Д. М. Фауна реофильных насекомых Московской области : отряды поденки (Ephemeroptera), веснянки (Plecoptera) и ручейники (Trichoptera) // Гидроэнтомология в России и сопредельных странах : материалы V Всерос. симпозиума по амфибиотическим и водным насекомым. Ярославль : Филигрань, 2013. С. 236–242.

Образец для цитирования:

Май В., Аникин В. В., Сусарев С. В. Новые данные по фауне ручейников (Insecta: Trichoptera) Мордовии // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 111–113. DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-111-113.

Cite this article as:

Mey W., Anikin V. V., Susarev S. V. New Data on the Caddisfly Fauna of Mordovia (Insecta: Trichoptera). *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 111–113 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2017-17-1-111-113.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Андреев Дмитрий Николаевич – заведующий лабораторией экологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета, канд. геогр. наук. E-mail: andreev@psu.ru

Аникин Василий Викторович – профессор кафедры морфологии и экологии животных биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р биол. наук. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

Бузмаков Сергей Алексеевич – заведующий кафедрой биогеоценологии и охраны природы Пермского государственного национального исследовательского университета, д-р геогр. наук. E-mail: lep@psu.ru

Бурмистрова Наталия Анатольевна – доцент кафедры общей и неорганической химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: naburmistrova@mail.ru

Васюков Владимир Михайлович – научный сотрудник лаборатории проблем фиторазнообразия Института экологии Волжского бассейна РАН (Тольятти), канд. биол. наук. E-mail: vvasjukov@yandex.ru

Демаков Виталий Алексеевич – заведующий лабораторией молекулярной микробиологии и биотехнологии Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН (Пермь), д-р мед. наук. E-mail: Demakov@iegm.ru

Джарлагасова Дана Нуруллоевна – магистр Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: dana.dzharlagasova@mail.ru

Дронин Григорий Валерьевич – аспирант Института экологии Волжского бассейна РАН (Тольятти). E-mail: dronin1@bk.ru

Егорова Дарья Олеговна – старший научный сотрудник Института экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН (Пермь), канд. биол. наук. E-mail: daryao@rambler.ru

Ермолаева Татьяна Яковлевна – ведущий научный сотрудник ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока» (Саратов), канд. биол. наук. E-mail: yaresko.tanya@mail.ru

Журавлев Владимир Сергеевич – студент биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: v.guravlev@hotmail.com

Заверненкова Екатерина Олеговна – химик лаборатории методов жидкостной хроматографии Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения (Пермь). E-mail: zavernenkova@yandex.ru

Заикин Михаил Алексеевич – аспирант Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: Mixail-zaikin@yandex.ru

Зайцева Нина Владимировна – директор Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения (Пермь), профессор, д-р мед.наук. E-mail: root@fcrisk.ru

Захарова Тамара Витальевна – доцент кафедры общей и неорганической химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: zacharova_tv@mail.ru

Зубарева Инна Сергеевна – студент Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: naburmistrova@mail.ru

Иванова Александра Леонидовна – аспирант Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: aleksandrleonodovna@gmail.com

Каргатова Алиса Михайловна – аспирант биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: kuy-jene@yandex.ru

Карнажицкая Татьяна Дмитриевна – заведующая лабораторией методов жидкостной хроматографии Федерального научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения (Пермь). E-mail: tdkarn@fcrisk.ru

Кашин Александр Степанович – профессор кафедры генетики биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р биол. наук. E-mail: kashinas@sgu.ru

Колонтаева Ольга Андреевна – аспирант Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: naburmistrova@mail.ru

Кондратьева Анна Олеговна – биолог УНЦ «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: popova.ao@mail.ru

Конюхов Иван Владимирович – старший научный сотрудник кафедры биофизики биологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова, канд. биол. наук. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

Коробко Валерия Валерьевна – доцент кафедры микробиологии и физиологии растений биологического фа-



культета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: v.v.korobko@mail.ru

Кузьмина Раиса Ивановна – заведующий кафедрой химической технологии нефти и газа Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р хим. наук. E-mail: kuzminaraisa@mail.ru

Кулапина Елена Григорьевна – профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р хим. наук. E-mail: kulapinaeg@mail.ru

Лунёва Марина Анатольевна – инженер кафедры органической и биорганической химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: menshovama777@mail.ru

Мажукина Ольга Анатольевна – доцент кафедры органической и биорганической химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: grigoryeva0a@mail.ru

Май Вольфрам – куратор коллекции насекомых по отрядам Trichoptera и Lepidoptera Музея природы Института эволюции и биоразнообразия имени Лейбница (Берлин), Ph. D. E-mail: Wolfram.Mey@mfn-berlin.de

Манин Сергей Дмитриевич – студент Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: Mixail-zaikin@yandex.ru

Мендагалиева Динара Рамазановна – магистр Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: Mixail-zaikin@yandex.ru

Никельшпарг Матвей Ильич – ученик МАOU «Гимназия № 3» (Саратов). E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

Никельшпарг Эвелина Ильинична – аспирант биологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

Новикова Любовь Александровна – профессор кафедры общей биологии и биохимии Пензенского государственного университета, д-р биол. наук. E-mail: la_novikova@mail.ru

Нуждина Надежда Николаевна – старший научный сотрудник ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока» (Саратов), канд. биол. наук. E-mail: schirschowa@mail.ru

Петрова Надежда Андреевна – аспирант биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: nasch-1@yandex.ru

Пожаров Михаил Владимирович – младший научный сотрудник лаборатории общей и неорганической

химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: PozharovMV@info.sgu.ru

Пчелинцева Нина Васильевна – профессор кафедры органической и биорганической химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р хим. наук. E-mail: pchelinzevanv555@mail.ru

Савонин Алексей Александрович – аспирант биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: savonin_aa@rambler.ru

Самсонова Елена Александровна – студент биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: elena.smsnv@mail.ru

Степанов Сергей Александрович – заведующий кафедрой микробиологии и физиологии растений биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р биол. наук. E-mail: hanin-hariton@yandex.ru

Сусарев Сергей Викторович – инженер-эколог Саранского филиала Научно-исследовательского института технической физики и автоматизации, канд. биол. наук. E-mail: susarev.s@yandex.ru

Тимофеева Светлана Николаевна – ведущий биолог УНЦ «Ботанический сад», аспирант биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: timofeevasn@mail.ru

Тютликова Маргарита Сергеевна – магистр Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: rita_tjutlikova@mail.ru

Угольников Екатерина Владимировна – заведующий отделом биологии и экологии растений УНЦ «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: ugolnikova@yandex.ru

Уланова Татьяна Сергеевна – заведующая отделом химико-аналитических методов исследования Федерально-го научного центра медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения (Пермь), профессор, д-р биол. наук. E-mail: ulanova@fcrisk.ru

Фарофонова Василина Валерьевна – магистр Пушчинского государственного естественно-научного института. E-mail: crazytide@yandex.ru

Федотова Ольга Васильевна – директор Института химии, заведующий кафедрой органической и биорганической химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р хим. наук. E-mail: inchem@infosgu.ru



Чернозубова Екатерина Викторовна – доцент кафедры общей и неорганической химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: naburmistrova@mail.ru

Шилова Ирина Васильевна – ведущий биолог УНЦ «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: schiva1952@yandex.ru

Чесноков Дмитрий Владимирович – студент Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: chesnokov.dmitry.64@gmail.com

Чкалов Андрей Вячеславович – доцент кафедры ботаники и зоологии Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского, канд. биол. наук. E-mail: biofor@yandex.ru

Шек Евгений Александрович – аспирант биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: v.guravlev@hotmail.com

Шилова Ирина Васильевна – ведущий биолог УНЦ «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: kashinas@sgu.ru

Шляхтин Геннадий Викторович – декан биологического факультета, заведующий кафедрой морфологии и экологии животных биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р биол. наук. E-mail: biofac@sgu.ru

Эйдельштейн Михаил Владимирович – старший научный сотрудник НИИ антимикробной химиотерапии Смоленского государственного медицинского университета, канд. биол. наук. E-mail: v.guravlev@hotmail.com

Эльконин Лев Александрович – главный научный сотрудник отдела биотехнологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Юго-Востока» (Саратов), д-р биол. наук. E-mail: lelkonin@gmail.com

Юдакова Ольга Ивановна – заведующий кафедрой генетики биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, доцент, д-р биол. наук. E-mail: yudakovaoi@info.sgu.ru



INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Andreev Dmitry Nikolaevich – Head of the Laboratory of Ecology and Nature Protection, Perm State University, Ph. D. E-mail: andreev@psu.ru

Anikin Vasilii Viktorovich – Professor, Chair of Animals Morphology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Doctor of Biological Science. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

Burmistrova Natalia Anatolievna – Associate Professor, Chair of General and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Ph. D. E-mail: naburmistrova@mail.ru

Buzmakov Sergey Alexeevich – Head of Chair of Biogeocenology and Nature Conservation, Perm State University, Doctor of Geographical Sciences. E-mail: lep@psu.ru

Chernozubova Ekaterina Viktorovna – Associate Professor, Chair of General and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Ph. D. E-mail: naburmistrova@mail.ru

Chesnokov Dmitry Vladimirovich – Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: chesnokov.dmitry.64@gmail.com

Chkalov Andrey Vyacheslavovich – Associate Professor, Nizhny Novgorod State University, Ph. D. E-mail: biofor@yandex.ru

Demakov Vitaliy Alexeevich – Head of the Laboratory of Molecular Microbiology and Biotechnology, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms (Perm), Doctor of Medical Sciences. E-mail: Demakov@iegm.ru

Dronin Grigory Valerievich – Graduate Student, Institute of Ecology of Volga River Basin (Togliatti), Ph. D. E-mail: dronin1@bk.ru

Dzharlagasova Dana Nurullova – Magister, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: dana.dzharlagasova@mail.ru

Edelstein Michail Vladimirovich – Senior Researcher, Research Institute of Antimicrobial Chemotherapy, Smolensk State Medical University, Ph. D. E-mail: v.guravlev@hotmail.com

Egorova Daria Olegovna – Senior Researcher, Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms (Perm), Ph. D. E-mail: daryao@rambler.ru

Elkonin Lev Alexandrovich – Senior Researcher, «Agricultural Research Institute of the South–East» (Saratov), Doctor of Biological Science. E-mail: lelkonin@gmail.com

Ermolaeva Tatiana Yakovlevna – Leading Researcher, «Agricultural Research Institute of the South–East» (Saratov), Ph. D. E-mail: yaresko.tanya@mail.ru

Farofonova Vasilina Valerievna – Magister, Pushchino State Science Institute. E-mail: crazytide@yandex.ru

Fedotova Olga Vasilevna – Director, Institute of Chemistry, Head of Chair of Organic and Bioorganic Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Professor, Doctor of Chemical Science. E-mail: inchem@infosgu.ru

Ivanova Alexandra Leonidovna – Graduate Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: aleksandraleonodovna@gmail.com

Kargatova Alice Michailovna – Graduate Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: kuy-jene@yandex.ru

Karnazhitskay Tatiana Dmitrievna – Head of Laboratory of Liquid Chromatography Methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies (Perm). E-mail: tdkarn@fcrisk.ru

Kashin Alexandr Stepanovich – Professor, Chair of Genetics, Biological Department, Saratov State University, Doctor of Biological Science. E-mail: kashinas@sgu.ru

Kolontaeva Olga Andreevna – Graduate Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: naburmistrova@mail.ru

Kondrateva Anna Olegovna – Biologist, Botanical Garden, Saratov State University. E-mail: popova.ao@mail.ru

Konyukhov Ivan Vladimirovich – Senior Researcher, Biological Department, Moscow State University, Ph. D. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

Korobko Valeria Valerievna – Associate Professor, Chair of Microbiology and Plant Physiology, Biological Department, Saratov State University, Ph. D. E-mail: v.v.korobko@mail.ru

Kulapina Elena Grigorievna – Professor, Chair of Analytical Chemistry and Chemical Ecology, Institute of Chemistry, Saratov State University, Doctor of Chemical Sciences. E-mail: kulapinaeg@mail.ru

Kuzmina Raisa Ivanovna – Head of Chair of Petrochemicals and Technological Safety, Institute of Chemistry, Saratov State University, Professor, Doctor of Chemical Sciences. E-mail: kuzminaraisa@mail.ru

Lunyova Marina Anatolievna – Engineer, Chair of Organic and Bioorganic Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Ph. D. E-mail: menshovama777@mail.ru

Manin Sergey Dmitrievich – Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: Mixail-zaikin@yandex.ru

Mazhukina Olga Anatolievna – Associate Professor, Chair of Organic and Bioorganic Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Ph. D. E-mail: grigoryevaoa@mail.ru



Mendagalieva Dinara Ramazanovna – Magister, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: Mixail-zaikin@yandex.ru

Mey Wolfram – Curator of Trichoptera and Lepidoptera Collections, Museum für Naturkunde, Leibniz Institut für Evolutions und Biodiversitätsforschung (Berlin), Ph. D. E-mail: Wolfram.Mey@mfn-berlin.de

Nikelshparg Evelina Iliyichna – Graduate Student, Moscow State University. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

Nikelshparg Matvey Iliyich – Pupil, Gymnasium № 3 (Saratov). E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

Novikova Ljubov Alexandrovna – Professor, Chair of General Biology and Biochemistry, Penza State University, Doctor of Biological Science. E-mail: la_novikova@mail.ru

Nuzhdina Nadezhda Nikolaevna – Senior Researcher, «Agricultural Research Institute of the South–East» (Saratov), Ph. D. E-mail: schirschowa@mail.ru

Pchelintseva Nina Vasilievna – Professor, Chair of Organic and Bioorganic Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Doctor of Chemical Science. E-mail: pchelinzevanv555@mail.ru

Petrova Nadezhda Andreevna – Graduate Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: nasch-1@yandex.ru

Pozharov Michail Vladimirovich – Junior Researcher, Laboratory of General and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Ph. D. E-mail: pozharovmv@info.sgu.ru

Samsonova Elena Alexandrovna – Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: elena.smsnv@mail.ru

Savonin Alexey Alexandrovich – Graduate Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: savonin_aa@rambler.ru

Shek Evgeny Alexandrovich – Graduate Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: v.guravlev@hotmail.com

Shilova Irina Vasilievna – Leading Biologist, Botanical Garden, Saratov State University, Ph. D. E-mail: kashinas@sgu.ru

Shlyakhtin Gennady Viktorovich – Dean of Biological Department, Head of Chair of Animals Morphology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Professor, Doctor of Biological Science. E-mail: biofac@sgu.ru

Stepanov Sergey Aleksandrovich – Head of Chair of Microbiology and Plant Physiology, Biological Department, Sara-

tov State University, Professor, Doctor of Biological Science. E-mail: hanin-hariton@yandex.ru

Susarev Sergey Viktorovich – Engineer of Ecology, Saransk Branch of Scientific-Research Institute of Technical Physics and Automation, Ph. D. E-mail: susarev.s@yandex.ru

Timofeeva Svetlana Nikolaevna – Leading Biologist, Botanical Garden, Graduate Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: timofeevasn@mail.ru

Tyutlikova Margarita Sergeevna – Magister, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: rita_tjutlikova@mail.ru

Ugolnikova Ekaterina Vladimirovna – Head of the Department of Plant Biology and Ecology, Botanical Garden, Saratov State University, Ph. D. E-mail: ugolnikova@yandex.ru

Ulanova Tatiana Sergeevna – Head of Department of Chemical Analytical Methods of Research, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies (Perm), Professor, Doctor of Biological Science. E-mail: ulanova@fcrisk.ru

Vasjukov Vladimir Michailovich – Researcher, Institute of Ecology of Volga River Basin (Togliatti), Ph. D. E-mail: vvasjukov@yandex.ru

Yudakova Olga Ivanovna – Head of Chair of Genetics, Biological Department, Saratov State University, Doctor of Biological Science. E-mail: yudakovaoi@info.sgu.ru

Zaikin Michail Alexeevich – Graduate Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: Mixail-zaikin@yandex.ru

Zaitseva Nina Vladimirovna – Director, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies (Perm), Professor, Doctor of Medical Sciences. E-mail: root@fcrisk.ru

Zakharova Tamara Vitalievna – Associate Professor, Chair of General and Inorganic Chemistry, Saratov State University, Ph. D. E-mail: zacharova_tv@mail.ru

Zavarnenkova Ekaterina Olegovna – Chemist, Laboratory of Liquid Chromatography Methods, Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies (Perm). E-mail: zavarnenkova@yandex.ru

Zhuravlev Vladimir Sergeevich – Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: v.guravlev@hotmail.com

Zubareva Inna Sergeevna – Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: naburmistrova@mail.ru