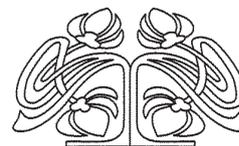




Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского»

ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА Новая серия



Научный журнал
2019 Том 19

ISSN 1816-9775 (Print)

ISSN 2541-8971 (Online)

Издается с 2005 года

Серия Химия. Биология. Экология, выпуск 2

Продолжение «Известий Императорского Николаевского Университета» 1910–1918, «Ученых записок СГУ» 1923–1962,
«Известий Саратовского университета. Новая серия» 2001–2004

СОДЕРЖАНИЕ

Научный отдел

Химия

Демидова Д. М., Василькова Н. О., Кривенько А. П.

Синтез и пути образования гидроксифенилзамещенных триазологексагидрохиназолинов

128

Гринёв В. С., Волкова А. В., Линькова Е. И., Егорова А. Ю.

Взаимодействие малеинового ангидрида с 1,2-фенилендиамином в различных условиях

133

Кулапина Е. Г., Тютликова М. С., Мурсалов Р. К.

Транспортные свойства мембран на основе ассоциатов тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим

138

Маракаева А. В., Косырева И. В. Тест-определение амоксициллина

в лекарственных препаратах

146

Малинкина О. Н., Гегель Н. О., Шиповская А. Б. Влияние изоформы

аскорбиновой кислоты на гидродинамическое поведение макромолекул аскорбата хитозана в водных растворах

152

Кузьмина Р. И., Хорошилов И. И., Чеботарев С. А. Каталитическая

конверсия этилового спирта на цеолитных катализаторах

165

Биология

Шевлягина О. Ф., Коробко В. В. Особенности роста этиолированных растений в аспекте реализации донорно-акцепторных отношений

170

Важенина Н. В. Таксономический состав напочвенных беспозвоночных

и их соотношение в различных типах листовых лесов в пределах Тобольского района Тюменской области

177

Сажнев А. С., Родионова Е. Ю. Жесткокрылые (Insecta: Coleoptera),

собранные в световые ловушки со сверхъяркими светодиодами на территории Краснодара

188

Иванова А. В., Костина Н. В., Аристова М. А. Родовой спектр

в анализе флоры Самаро-Ульяновского Поволжья

196

Горбатов А. А., Титарева Г. М., Кравченко Т. Б., Шайхутдинова Р. З.,

Герасимов В. Н., Мокриевич А. Н., Фирстова В. В. Влияние химической

структуры O-антигена разных подвидов *Francisella tularensis* на иммунологические реакции

207

Лаксаева Е. А., Давыдов В. В., Кяримов И. А., Кухтенкова Е. А.,

Арушанова В. В., Злобина Е. А. Биологическая активность

полисахаридсодержащих экстрактов, выделенных из плодов боярышника обыкновенного разной степени зрелости

216

Экология

Алексеев Ю. Г. Зоогеографический анализ аранеофауны

степных участков Ульяновской области с данными

по расширению ареалов некоторых видов

223

Приложения

Хроника

Шляхтин Г. В. 110 лет зоологической кафедре Саратовского государственного университета

229

Болдырев В. А. 110 лет ботанической кафедре Саратовского

государственного университета

242

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 (специальности: 02.00.02; 02.00.03; 02.00.04; 03.01.02; 03.02.01; 03.02.04; 03.02.05; 03.02.08 (биологические науки))

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

Директор издательства

Бучко Ирина Юрьевна

Редактор

Каргин Игорь Анатольевич

Художник

Соколов Дмитрий Валерьевич

Редактор-стилист

Кочкаева Инна Анатольевна

Верстка

Ковалева Наталья Владимировна

Технический редактор

Каргин Игорь Анатольевич

Корректор

Кочкаева Инна Анатольевна

Адрес учредителя, издателя и редакции:

410012, Саратов, ул. Астраханская, 83

Тел.: (845-2) 51-45-49, 52-26-89

E-mail: izvestiya@info.sgu.ru

Подписано в печать 30.05.19.

Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. л. 14,41 (15,5).

Тираж 500 экз. Заказ 68-Т.

Отпечатано в типографии Саратовского университета.

Адрес типографии:

410012, Саратов, Б. Казачья, 112А

© Саратовский университет, 2019



ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал публикует научные статьи по аналитической химии, органической химии, физической химии, биофизике, биохимии, биотехнологии (в том числе бионанотехнологии), ботанике, зоологии, микробиологии, экологии, энтомологии.

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

Статья должна быть оформлена строго в соответствии с требованиями журнала и тщательно отредактирована.

Для публикации статьи автору необходимо представить в редакцию следующие материалы и документы:

- текст статьи в электронном виде;
- два экземпляра подписанного Лицензионного договора на право использования научного произведения.

Структура подачи материала:

- на русском языке: индекс УДК, название статьи, имена, отчества и фамилии авторов, сведения об авторах (ученая степень, должность, место работы/учебы (структурное подразделение, организация, почтовый адрес), город, страна, e-mail), аннотация, ключевые слова, текст статьи, благодарности и источники финансирования работы (если есть), список литературы;
- на английском языке: название статьи, имена (полностью), отчества и фамилии авторов, сведения об авторах (ORCID, место работы/учебы (организация, почтовый адрес организации), e-mail); аннотация, ключевые слова, благодарности и источники финансирования работы (если есть).

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 150–200 слов;
- 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/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». Website: <http://ichbe.sgu.ru>

CONTENTS

Scientific Part

Chemistry

- Demidova D. M., Vasil'kova N. O., Kriven'ko A. P.**
Synthesis and Ways of Formation of Hydroxyphenyl Substituted Triazolohexahydroquinazolines 128
- Grinev V. S., Volkova A. V., Linkova E. I., Yegorova A. Yu.**
Interaction of Maleic Anhydride with 1,2-phenylenediamine under Different Conditions 133
- Kulapina E. G., Tyutikova M. S., Mursalov R. K.**
Transport Properties of Membranes on the Basis of Tetradecylammonium Associates with Complex Compounds Silver(I)-cefotaxime 138
- Marakaeva A. V., Kosyreva I. V.** Test-Determination of Amoxicillin in Medications 146
- Malinkina O. N., Gegel N. O., Shipovskaya A. B.**
Influence of Ascorbic Acid Isoforms on the Hydrodynamic Behavior of Chitosan Ascorbate Macromolecules in Aqueous Solution 152
- Kuz'mina R. I., Khoroshilov I. I., Chebotarev S. A.**
Catalytic Conversion of Ethyl Alcohol on Zeolite Catalysts 165

Biology

- Shevlyagina O. F., Korobko V. V.** Some Features of Growth of Etiolated Plants in the Aspect of Implementation of Donor-Acceptor Relations 170
- Vazhenina N. V.** Taxonomic Composition of Ground Invertebrates and Their Ratio in Different Types of Deciduous Forests within Tobolsk District of Tyumen Region 177
- Sazhnev A. S., Rodionova E. Yu.** The Beetles (Insecta: Coleoptera), Collected by the Light Traps with Super Bright LEDs on the Territory of Krasnodar 188
- Ivanova A. V., Kostina N. V., Aristova M. A.** Generic Spectrum in the Analysis of Flora in Samara-Ulyanovsk Volga Region 196
- Gorbatov A. A., Titareva G. M., Kravchenko T. B., Shaykhutdinova R. Z., Gerasimov V. N., Mokrievich A. N., Firstova V. V.** Effect of the O-Antigen Chemical Structure in Different Subspecies of *Francisella Tularensis* on Immunological Reactions 207
- Laksaeva E. A., Davydov V. V., Kyarimov I. A., Kukhtenkova E. A., Arushanova V. V., Zlobina E. A.** Polysaccharidebased Biological Activity of Extracts Isolated from Fruits of *Crataegus Monogyna* of Varying Degrees of Maturity 216

Ecology

- Alekseenko Yu. G.** Zoogeographical Analysis of Araneofauna of Steppous Plots of the Ulyanovsk Region with Data on Area Expanding of Several Species 223

Appendices

Chronicle

- Shlyakhtin G. V.** 110 years of Zoological Department of Saratov State University 229
- Boldyrev V. A.** 110 years of Botanical Department of Saratov State University 242



**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)
Берберова Надежда Титовна, доктор химических наук, профессор (Астрахань, Россия)
Богатырев Владимир Александрович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)
Гаркушин Иван Кириллович, доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, действительный член РАЕН (Самара, Россия),
Горбунов Олег Григорьевич, доктор биологических наук, профессор (Москва, Россия)
Горячева Ирина Юрьевна, доктор химических наук, доцент (Саратов, Россия)
Дыкман Лев Абрамович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)
Ерошенко Галина Александровна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник (Саратов, Россия)
Захаров Владимир Михайлович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН (Москва, Россия)
Золотухин Вадим Викторович, доктор биологических наук, доцент (Ульяновск, Россия)
Кашин Александр Степанович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)
Коннова Светлана Анатольевна, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)
Кулагин Алексей Юрьевич, доктор биологических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ и Республики Башкортостан (Уфа, Россия),
Кулиш Елена Ивановна, доктор химических наук, доцент (Уфа, Россия)
Максимов Георгий Владимирович, доктор биологических наук, профессор (Москва, Россия)
Никитина Валентина Евгеньевна, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)
Опарин Михаил Львович, доктор биологических наук, профессор (Саратов, Россия)
Позднякова Наталия Николаевна, доктор биологических наук (Саратов, Россия)
Ревин Виктор Васильевич, доктор биологических наук, профессор (Саранск, Россия)
Розенберг Геннадий Самуилович, доктор биологических наук, профессор, член-корреспондент РАН (Тольятти, Россия)
Шиповская Анна Борисовна, доктор химических наук, доцент (Саратов, Россия)
Штыков Сергей Николаевич, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия)
Щеголев Сергей Юрьевич, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия)
Юдакова Ольга Ивановна, доктор биологических наук, доцент (Саратов, Россия)

**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL
«IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY. NEW SERIES.
SERIES: Chemistry. Biology. Ecology»**

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

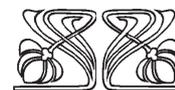
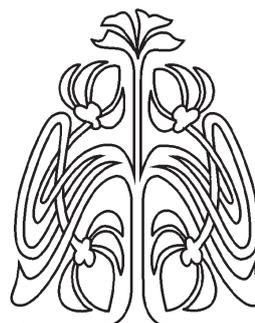
Deputy Editor-in-Chief – Olga V. Fedotova (Saratov, Russia)

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

Members of the Editorial Board:

Vasili V. Anikin (Saratov, Russia)
Nadezhda T. Berberova (Astrakhan, Russia)
Vladimir A. Bogatyrev (Saratov, Russia)
Ivan K. Garkushin (Samara, Russia)
Oleg G. Gorbunov (Moscow, Russia)
Irina Ju. Goryacheva (Saratov, Russia)
Lev A. Dykman (Saratov, Russia)
Galina A. Eroshenko (Saratov, Russia)
Vladimir M. Zacharov (Moscow, Russia)
Vadim V. Zolotuhin (Ulyanovsk, Russia)
Alexandr S. Kashin (Saratov, Russia)
Svetlana A. Konnova (Saratov, Russia)

Alexey Yu. Kulagin (Ufa, Russia)
Elena I. Kulish (Ufa, Russia)
Georgy V. Maksimov (Moscow, Russia)
Valentina E. Nikitina (Saratov, Russia)
Michail L. Oparin (Saratov, Russia)
Natalia N. Pozdnyakova (Saratov, Russia)
Viktor V. Revin (Saransk, Russia)
Gennady S. Rozenberg (Toliatty, Russia)
Anna B. Shipovskay (Saratov, Russia)
Sergey N. Shtykov (Saratov, Russia)
Sergey Ju. Shchyogolev (Saratov, Russia)
Olga I. Yudakova (Saratov, Russia)



**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**



ХИМИЯ

УДК 547.856.1

Синтез и пути образования гидроксифенилзамещенных триазологексагидрохиназолинов

Д. М. Демидова, Н. О. Василькова, А. П. Кривенько

Демидова Дарья Михайловна, магистрант кафедры органической и биоорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, apnenkova_darya@mail.ru

Василькова Наталья Олеговна, кандидат химических наук, ассистент кафедры органической и биоорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, vasilkovano@mail.ru

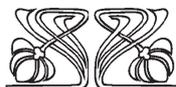
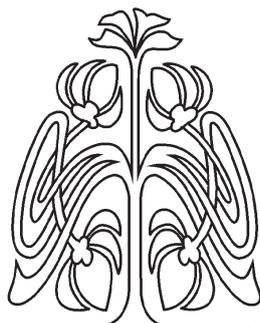
Кривенько Адель Павловна, доктор химических наук, профессор кафедры органической и биоорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, krivenko@info.sgu.ru

При трехкомпонентной конденсации 1,2,4-триазол-3-амин, гидроксизамещенного ароматического альдегида (2-гидроксibenзальдегид, 4-гидроксibenзальдегид, 4-гидрокси-3-метоксibenзальдегид, 2-нафталинкарбальдегид), циклогексанона строение альдегидной компоненты оказывает определяющее влияние на формирование арилзамещенных триазологидрохиназолинов с различным типом сочленения колец и положением в них двойной связи ($C_{4a}-C_5$ и $C_{4a}-C_{8a}$). При использовании салицилового альдегида формируются позиционные изомеры триазологексагидрохиназолины углового и линейного строения в эквимольном соотношении. При перемещении гидроксильной группы в альдегиде из орто- в пара-положение реакция протекает аналогично, однако возрастает доля линейного изомера (соотношение углового и линейного изомеров = 1 : 2), что можно связать с уменьшением возможности стабилизации углового изомера за счет электронного и пространственного факторов при сближении NH- и OH-групп. Конденсации 4-гидрокси-3-метоксibenзальдегида (2-гидроксинафталинкарбальдегида), 1,2,4-триазол-3-амин и циклогексанона протекают селективно с образованием 9-(4-гидрокси-3-метоксифенил(2-гидроксинафталинил)гексагидротриазоло[5,1-b]хиназолина линейного строения и иным положением двойной связи ($C_{4a}-C_5$). Такой результат можно объяснить возможностью изомеризации первоначально возникающих триазологексагидрохиназолинов с 1,4-дигидропиримидиновым фрагментом, чему способствуют условия реакции (кислотный катализ) и наличие объёмных арильных заместителей. Состав и строение продуктов подтверждены данными элементного анализа, ИК- и ЯМР 1H -спектров. Таким образом, синтезированы новые представители ряда триазологидрохиназолинов, содержащие фармакофорные гидроксиперарильные заместители перспективные для дальнейшего исследования их биологической активности.

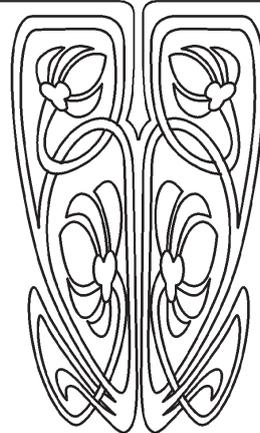
Ключевые слова: 2-гидроксibenзальдегид, 4-гидроксibenзальдегид, 4-гидрокси-3-метоксibenзальдегид, 2-нафталинкарбальдегид, гидроксифенилзамещенные триазологексагидрохиназолины, позиционные изомеры, ИК-спектры, ЯМР 1H -спектры.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-128-132>

Соединения, содержащие фрагмент хиназолина, триазола, пиримидина, обладают широким спектром фармакологической активности (противоопухолевая, противогрибковая, противовирусная и др.). Неослабевающее внимание исследователей к соединениям



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





указанного типа стимулирует работы по синтезу (особенно с использованием современной методологии мультикомпонентных реакций) [1–7], изучению строения, путей образования, биоактивности этих гетероциклов.

Ранее нами при трехкомпонентной конденсации тетразол-2-амина (бензимидазол-2-амина), циклогексанола и гидроксильрованных ароматических альдегидов осуществлен синтез тетразоло(бензимидазоло)гексагидрохиназолинов с различным положением гидроксильной группы в арильном заместителе [8, 9]. 1,2,4-триазол-3-амин ранее в этих реакциях не использовался.

С целью получения новых представителей ряда триазологексагидрохиназолина, выявления направления, особенностей реакций в зависимости от строения альдегидной компоненты и аминирующего агента нами впервые проведена трехкомпонентная конденсация 1,2,4-триазол-3-амина, циклогексанола, 2-гидроксibenзальдегида, 4-гидроксibenзальдегида, 4-гидрокси-3-метоксибензальдегида и 2-нафталинкарбальдегида. Реакции проводились при эквимолярном соотношении реагентов в условиях кислотного катализа (уксусная кислота, 110 °С).

Так, при использовании салицилового альдегида формируются позиционные изомеры триазологексагидрохиназолины 1, 2 в эквимолярном соотношении. При перемещении

гидроксильной группы в альдегиде из орто- в пара-положение реакция протекает аналогично, однако резко возрастает доля линейного изомера 4 (соотношение соед. 4 : соед. 5 = 2 : 1), что мы связываем с уменьшением возможности стабилизации углового изомера 5 за счет электронного и пространственного факторов при сближении NH и OH групп, как это отмечалось ранее для тетразолсодержащих аналогов [9]. Суммарные выходы продуктов составили 26 и 56% соответственно.

Конденсации 4-гидрокси-3-метоксибензальдегида, 2-гидрокси-нафталинкарбальдегида, 1,2,4-триазол-3-амина и циклогексанола протекают селективно с образованием 9-(2-гидрокси-нафталин-ил)-4,5,6,7,8,9-гексагидро-[1,2,4]триазоло[5,1-b]хиназолина (3) и 9-(4-гидрокси-3-метоксифенил)-4,6,7,8,8a,9-гексагидротриазоло[5,1-b]хиназолина (6) (выходы 14 и 39%) линейного строения и иным положением двойной связи (C_{4a}-C₅). Такой результат можно объяснить возможностью изомеризации первоначально возникающих триазологексагидрохиназолинов с 1,4-дигидропиримидиновым фрагментом, чему способствуют условия реакции (кислотный катализ) и наличие объемных арильных заместителей.

Общая схема превращений представлена ниже. Характеристики полученных соединений приведены в табл. 1.

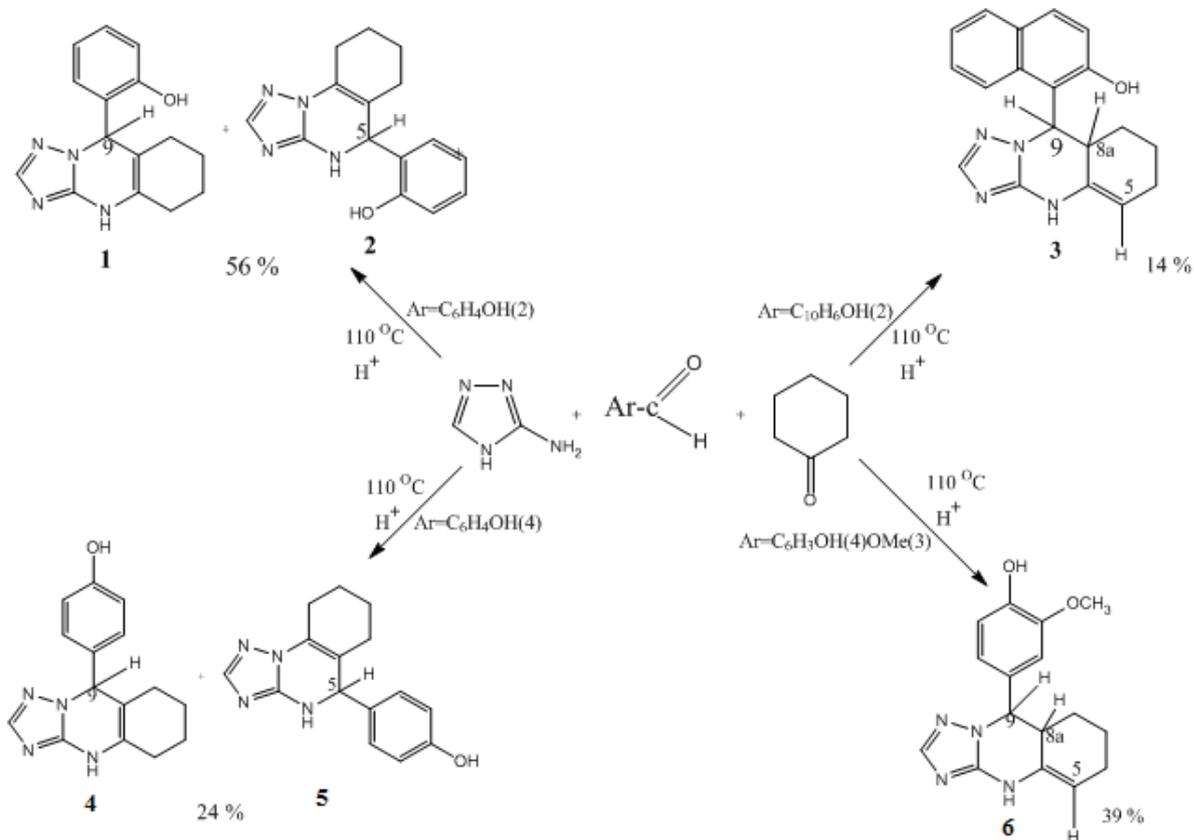




Таблица 1 / Table 1

Характеристики триазологексагидрохиназолинов 1-6
Characteristics of triazolohexahydroquinazolines 1-6

№ соединения / No. Compound	Т. пл., °С / М. п., °С	Rf (гексан-этилацетат-хлороформ 5:1:1) / Rf (hexane-ethyl acetate-chloroform 5:1:1)	Выход, % / Output, %
1, 2	179–182	0,18	56
3	232–235	0,3	14
4, 5	259–262	0,17 0,29	24
6	147–150	0,12	39

Состав и строение триазологексагидрохиназолинов 1-6 подтверждены данными эле-

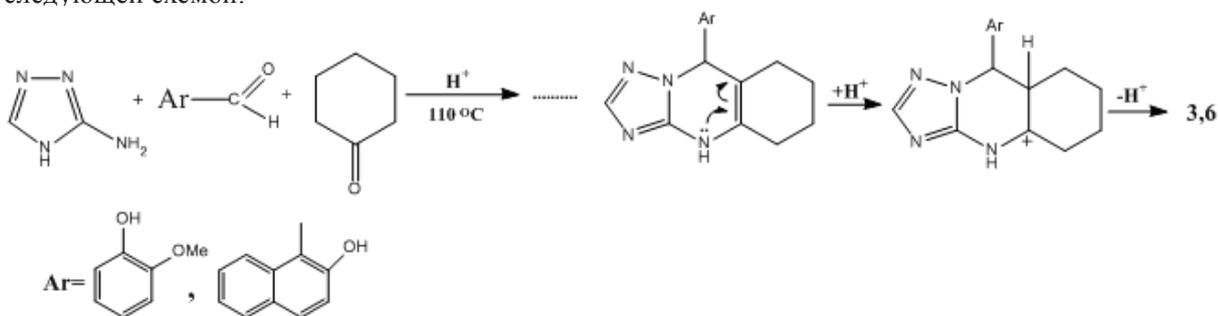
ментного анализа, ИК- и ЯМР ¹H-спектрами. В ИК-спектрах присутствуют полосы валентных колебаний групп ОН (3421–3209 см⁻¹), NH (3107–3043 см⁻¹), C=C связи (1606 см⁻¹), триазольного (3074 см⁻¹) и ароматического (1701–1624 см⁻¹) колец. В спектрах ЯМР ¹H триазологидрохиназолинов линейного строения 1,4 ключевым является сигнал протона Н-9 (6.21–6.15 м.д.), а для 5-(2-гидроксифенил)-4,5,6,7,8,9-гексагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]хиназолина (2) и 5-(4-гидроксифенил)-4,5,6,7,8,9-гексагидро-[1,2,4]триазоло[1,5-а]хиназолина (6) углового строения – протона Н-5 (5.47–5.22 м.д.). В системах 3 и 6 присутствуют сигналы протонов Н-9 (6.96–6.15 м.д.), Н-8а (1.96–1.23 м.д.) и Н-5 (6.83–5.18 м.д.) (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

ЯМР ¹H-спектры триазологексагидрохиназолинов 1–6 (δ, м.д.)
NMR ¹H spectra of triazolohexahydroquinazolines 1–6 (δ, ppm)

№ соединения / No. Compound	ОН	NH	H ⁹	H ⁵	H ^{8a}	C ₆ H ₄	(CH ₂) ₄
1 2	с, 11.58	с, 8.71 с, 8.57	с, 6.21	с, 5.47	–	м, 7.89–7.66	м, 1.83–1.67
3	с, 10.94	с, 10.25	д, 6.96	т, 6.83	м, 1.96–1.93	м, 8.63–7.17	м, 1.28–0.89
4 5	с, 11.52	с, 9.75 с, 8.65	с, 6.15	с, 5.22	–	м, 7.85–6.92	м, 1.87–1.27
6	с, 11.52	с, 8.64	с, 6.15	с, 5.18	м, 1.25–1.23	м, 7.85–6.82	м, 1.84–1.25

С учетом ранее полученных нами данных [10], образование соединений 3,6 можно представить следующей схемой:



Таким образом, получены новые данные о направлении трехкомпонентной конденсации 1,2,4-триазол-3-амина, гидроксированных ароматических альдегидов и циклогексанона, селективности реакций. Синтезированы новые представители ряда триазологидрохиназолинов, содержащие фармакофорные гидроксиарильные заместители.

Список литературы

1. Ajani O. O. Quinazoline pharmacophore in therapeutic medicine // Bangladesh J. Pharmacol. 2016. Vol. 11, № 3. P. 716–733. DOI: 10.3329/bjp.v11i3.25731

2. Carmen Balo, Carmen López, José Manuel Brea, Franco Fernández, Olga Caamaño. Synthesis and Evaluation of Adenosine Antagonist Activity of a Series of [1,2,4] Triazolo[1,5-c]quinazolines // Chem. Pharm. Bull. 2007. Vol. 55. P. 372–375. DOI: 10.1248/cpb.55.372

3. Rashad Al-Salahi, Kamal-Eldin El-Tahir, Ibrahim Alswaidan, Nabih Lolak, Mohammed Hamidaddin, Mohamed Marzouk. Biological effects of a new set 1,2,4-triazolo[1,5-a]quinazolines on heart rate and blood pressure // Chem. Cent. J. 2014. Vol. 8. P. 1–8. DOI:10.1186/1752-153X-8-3

4. Alagarsamy V., Pathak U. S. Synthesis and antihypertensive activity of novel 3-benzyl-2-substituted 3H-[1,2,4]triazolo[5,1-b]quinazolin-9-ones // Bioorg. Med. Chem. 2007. Vol. 15. P. 3457–3462. DOI: 10.1016/j.bmc.2007.03.007



5. Khazhieva I. S., Glukhareva T. V., El'tsov O. S., Morzherin Yu. Yu., Minin A. A., Pozdina V. A., Ulitko M. V. Synthesis and study of cytotoxic effect of 1,2,3-triazole derivatives on glioma cells // *Pharm. Chem. J.* 2015. Vol. 49, № 5. P. 12–15. DOI: 10.30906/0023-1134-2015-49-5-12-15
6. Boechat N., Pinheiro L. C. S., Silva T. S., Aguiar A. C. C., Carvalho A. S., Bastos M. M., Costa C. C. P., Pinheiro S., Pinto A. C., Mendonça J. S., Dutra K. D. B., Valverde A. L., Santos-Filho O. A., Ceravolo I. P., Krettl A. U. New Tri-fluoromethyl Triazolopyrimidines as Anti-Plasmodium falciparum Agents // *Molecules*. 2012. Vol. 17. P. 8285–8302. DOI: 10.3390/molecules17078285
7. Chebanov V. A., Desenko S. M., Gurley T. W. Azaheterocycles Based on α , β -Unsaturated Carbonyls. Berlin, Heidelberg : Springer Verlag, 2008. 210 p.
8. Ивонин М. А., Аль Фахдави А. Х. А., Сорокин В. В., Кривенько А. П. Синтез и пути образования гидроксифенилзамещенных бенз[4,5]имидазоло-1,2,3,4,5,6-гексагидро[1,2-а]хиназолинов // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2018. Т. 18, вып. 1. С. 4–8 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-4-8
9. Василькова Н. О., Кривенько А. П. Трехкомпонентный синтез орто-фенилзамещенных тетраологексагидрохиназолинов. Влияние орто-эффекта на соотношение позиционных изомеров // *Международ. науч. изд. SWorld : сб. науч. тр. Одесса*, 2015. Т. 25, вып. 1. С. 4–7.
10. Vasil'kova N. O., Anis'kov A. A., Sorokin V. V., Kriven'ko A. P. Three-component condensation of 1,2,4-triazol-3-amine with cyclohexanone and ortho-substituted benzaldehydes // *J. Org. Chem.* 2018. Vol. 54, № 6. P. 928–931. DOI: 10.1134/S1070428018060179

Образец для цитирования:

Демидова Д. М., Василькова Н. О., Кривенько А. П. Синтез и пути образования гидроксифенилзамещенных триазологексагидрохиназолинов // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 128–132. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-128-132>

Synthesis and Ways of Formation of Hydroxyphenyl Substituted Triazolohexahydroquinazolines

D. M. Demidova, N. O. Vasil'kova, A. P. Kriven'ko

Darya M. Demidova, <https://orcid.org/0000-0003-2100-584X>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, annenkova_darya@mail.ru

Natalia O. Vasil'kova, <https://orcid.org/0000-0001-9437-0704>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, vasilkovano@mail.ru

Adel' P. Kriven'ko, <https://orcid.org/0000-0003-3277-4556>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, krivenko@info.sgu.ru

With three-component condensation of 1,2,4-triazol-3-amine, hydroxy-substituted aromatic aldehyde (2-hydroxybenzaldehyde, 4-hydroxybenzaldehyde, 4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde, 2-naphthalene-carbaldehyde), cyclohexanone, the aldehyde component has a defining impact on the shaping of triazologic hydroquinazolines with different types of rings articulation and the position of the double bond in them ($C_{4a}-C_5$ and $C_{4a}-C_{8a}$). When salicylic aldehyde is used, the positional isomers of the triazologic hexahydroquinazolines of angular and linear structure are formed in an equimolar ratio. When the hydroxyl group in the aldehyde is moved from the ortho to the para position, the reaction proceeds similarly, but the proportion of the linear isomer increases (the ratio of the angular and linear isomers = 1:2), which can be associated with a decrease in the possibility in stabilization of the angular isomer due to electronic and steric factors in the convergence of NH- and OH-groups. Condensation of 4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde (2-hydroxynaphthalenecarbaldehyde), 1,2,4-triazol-3-amine and cyclohexanone proceeds selectively with the formation of 9- (4-hydroxy-3-methoxyphenyl (2-hydroxynaphthalenyl)) hexahydro-triazolo [5,1-b] quinazoline linear structure and different position of the

double bond ($C_{4a}-C_5$). This result can be explained by the possibility of isomerization of the initially arising triazologic hexahydroquinazolines with a 1,4-dihydropyrimidine fragment, which is facilitated by the reaction conditions (acid catalysis) and the presence of bulky aryl substituents. The composition and structure of the products are confirmed by elemental analysis data, IR and 1H NMR spectra. Thus, new members of a series of triazolohydroquinazolines have been synthesized, containing pharmacophoric hydroxyaryl substituents substituents, providing the potential for further study of their biological activity.

Keywords: 2-hydroxybenzaldehyde, 4-hydroxybenzaldehyde, 4-hydroxy-3-methoxybenzaldehyde, 2-naphthalenecarbaldehyde, hydroxyphenyl substituted triazolohexahydroquinazolines, positional isomers, IR spectra, 1H NMR spectra.

References

1. Ajani O. O. Quinazoline pharmacophore in therapeutic medicine. *Bangladesh J. Pharmacol.*, 2016, vol. 11, no. 3, pp. 716–733. DOI: 10.3329/bjp.v11i3.25731
2. Carmen Balo, Carmen López, José Manuel Brea, Franco Fernández, Olga Caamaño. Synthesis and Evaluation of Adenosine Antagonist Activity of a Series of [1,2,4] Triazolo[1,5-c]quinazolines. *Chem. Pharm. Bull.*, 2007, vol. 55, pp. 372–375. DOI: 10.1248/cpb.55.372
3. Rashad Al-Salahi, Kamal-Eldin El-Tahir, Ibrahim Alswaidan, Nabih Lolak, Mohammed Hamidaddin, Mohamed Marzouk. Biological effects of a new set 1,2,4-triazolo[1,5-a]quinazolines on heart rate and blood pressure. *Chem. Cent. J.*, 2014, vol. 8, pp. 1–8. DOI:10.1186/1752-153X-8-3
4. Alagarsamy V., Pathak U. S. Synthesis and anti-hypertensive activity of novel 3-benzyl-2-substituted 3H-[1,2,4]triazolo[5,1-b]quinazolin-9-ones. *Bioorg. Med. Chem.*, 2007, vol. 15, pp. 3457–3462. DOI: 10.1016/j.bmc.2007.03.007



5. Khazhieva I. S., Glukhareva T. V., El'tsov O. S., Morzhirin Yu. Yu., Minin A. A., Pozdina V. A., Ulitko M. V. Synthesis and study of cytotoxic effect of 1,2,3-triazole derivatives on glioma cells. *Pharm. Chem. J.*, 2015, vol. 49, no. 5, pp. 12–15. DOI: 10.30906/0023-1134-2015-49-5-12-15
6. Boechat N., Pinheiro L. C. S., Silva T. S., Aguiar A. C. C., Carvalho A. S., Bastos M. M., Costa C. C. P., Pinheiro S., Pinto A. C., Mendonça J. S., Dutra K. D. B., Valverde A. L., Santos-Filho O. A., Ceravolo I. P., Krettli A. U. New Trifluoromethyl Triazolopyrimidines as Anti-Plasmodium falciparum Agents. *Molecules*, 2012, vol. 17, pp. 8285–8302. DOI: 10.3390/molecules17078285
7. Chebanov V. A., Desenko S. M., Gurley T. W. *Azaheterocycles Based on α , β -Unsaturated Carbonyls*. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 2008. 210 p.
8. Ivonin M. A., Al Fahdawi A. H. A., Sorokin V. V., Kriven'ko A. P. Synthesis and Ways of Formation of Hydroxyphenyl Substituted Benz[4,5]imidazole-1,2,3,4,5,6-hexahydro[1,2-a]quinazolines. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 1, pp. 4–8 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-1-4-8
9. Vasil'kova N. O., Kriven'ko A. P. Trekhkomponentnyj sintez orto-fenilzameshchennyh tetrazologeksagidrohina-zolinov. Vliyanie orto-effekta na sootnoshenie pozicionnyh izomerov. *Int. Sci. publ. SWorld : collected papers*. Odessa, 2015, vol. 25, iss. 1, pp. 4–7.
10. Vasil'kova N. O., Anis'kov A. A., Sorokin V. V., Kriven'ko A. P. Three-component condensation of 1,2,4-triazol-3-amine with cyclohexanone and ortho-substituted benzaldehydes. *J. Org. Chem.*, 2018, vol. 54, no. 6, pp. 928–931. DOI: 10.1134/S1070428018060179

Cite this article as:

Demidova D. M., Vasil'kova N. O., Kriven'ko A. P. Synthesis and Ways of Formation of Hydroxyphenyl Substituted Triazolohexahydroquinazolines. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 128–132 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-128-132>



УДК 547.415.1'435.1'484.2'745.04:543.422.25

Взаимодействие малеинового ангидрида с 1,2-фенилендиамином в различных условиях



В. С. Гринёв, А. В. Волкова, Е. И. Линькова, А. Ю. Егорова

Гринёв Вячеслав Сергеевич, кандидат химических наук, доцент кафедры органической и биоорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского; старший научный сотрудник лаборатории биохимии, Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН (Саратов), grinev@ibppm.ru

Волкова Анна Владиславовна, студент 4-го курса Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, ms.asagi@mail.ru

Линькова Елена Ивановна, аспирант кафедры органической и биоорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, alenaj2006@rambler.ru

Егорова Алевтина Юрьевна, доктор химических наук, профессор кафедры органической и биоорганической химии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, yegorovaau@gmail.com

Реакция малеинового ангидрида с 1,2-фенилендиамином в условиях нагревания в среде апротонного растворителя независимо от температурного режима протекает с первоначальным образованием первичного продукта присоединения 4-((2-аминофенил)амино)-4-оксобут-2-еновой кислоты, которая в дальнейшем претерпевает гетероциклизацию по двум путям, обусловленным наличием нескольких электрофильных центров в молекуле, в зависимости от условий реакции. В мягких условиях наблюдается образование 3-(2-гидрокси-2,3-дигидро-1*H*-бензо[*d*]имидазол-2-ил)акриловой кислоты, образование которой объясняется нуклеофильной атакой свободной аминогруппы по амидному атому углерода, тогда как в более жёстких условиях, с азеотропным удалением воды, реакция проходит, по Михаэлю, с участием электронодефицитного атома углерода экзоциклической кратной связи с образованием изомерной 2-(3-оксо-1,2,3,4-тетрагидрохиноксалин-2-ил)уксусной кислоты. Структуры полученных соединений доказаны с помощью совокупности данных ИК-, ЯМР ¹H-, ¹³C-спектроскопии, а также двумерных экспериментов ЯМР гетероядерной корреляции HSQC и HMBC.

Ключевые слова: малеиновый ангидрид, 1,2-фенилендиамин, амидокислота, тетрагидрохиноксалин, дигидробензимидазол.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-133-137>

Введение

Реакции гетероциклизации малеинового ангидрида с бинуклеофилами представляют значительный интерес вследствие высокой реакционной способности первого и наличия у него

нескольких электрофильных центров. Образующиеся продукты присоединения и гетероциклизации обладают значительным синтетическим потенциалом и выраженной биологической активностью. В большинстве работ в реакции выделяют две стадии: первая – образование промежуточного продукта в виде малеимида либо открыто-цепочечного амида, вторая – гетероциклизация алифатического фрагмента с образованием закрытой формы. При этом возможны пути реакции циклизации промежуточного соединения либо через атаку нуклеофила по карбонильной группе, либо через атаку по электронодефицитному атому углерода кратной связи C=C малеинового ангидрида.

Реакция конденсации малеинового ангидрида с первичными ароматическими аминами, как известно, даёт *N*-замещённые малеимидазы. Показано, что в случае реакции 2,3-дихлормалеинового ангидрида с 1 моль *n*-толуидина образуется *N*-малеимид, тогда как реакция с 2 моль приводит к нуклеофильному замещению хлора у активированных винильных атомов углерода образующегося первоначально 2,3-дихлор-*N*-малеимида [1].

При нагревании 2,3-дихлормалеинового ангидрида с бифункциональными ароматическими аминами (1,2-фенилендиаминами и 1,8-диаминонафталином) образуются соответствующие *N*-малеимидазы [2–4], что часто сопровождается последующей конденсацией, в которой участвуют свободная первичная аминогруппа и одна из двух карбонильных групп малеимида с образованием замещённых пирроло[1,2-*a*]бензимидазол-1-она [3, 4] и пирроло[1,2-*a*]пиримидин-10-она [2].

При наличии разных по нуклеофильности групп в 1,2-замещённых ароматических аминах взаимодействие с малеиновым ангидридом также приводит к первоначальному образованию *N*-малеимида, однако дальнейшая гетероциклизация идёт по Михаэлю и затрагивает электрофильный атом углерода двойной связи [5, 6]. Так, при использовании в качестве бинуклеофилов производных 2-аминотиофенола продуктами реакции с малеиновым ангидридом в эфире при комнатной температуре являются 1,4-бензотиазины, например 3,4-дигидро-3-оксо-2*H*-1,4-



бензотиазин-2-илуксусные кислоты с выходами 75–94% [5], а при проведении реакции при 28° С в толуоле с незамещённым 2-амино(тио)фенолом приводит к образованию 3,4-дигидро-3-оксо-2*H*-1,4-бензоокса(тиа)зин-2-ил уксусной кислоты с выходами 94–97% [6].

Настоящая работа посвящена изучению реакционной способности малеинового ангидрида по отношению к 1,2-фенилендиамину, а также строения получаемых продуктов в среде апротонного растворителя при разных температурах.

Материалы и методы

Элементный анализ проводился на CHNS-анализаторе Elementar Vario Micro cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Германия). ИК-спектры снимали на ИК-фурье-спектрометре Nicolet 6700 (Thermo Scientific, США) в таблетках KBr. Спектры ЯМР ¹H (400 МГц) и ¹³C (100 МГц), а также гетероядерной корреляции ¹H-¹³C HSQC и HMBC регистрировались на спектрометре Varian 400 (Varian, США) в ДМСО-*d*₆, внутренний стандарт – ТМС. Однородность соединений подтверждали методом ТСХ на пластинках Alugram® Sil G UV254 (Macherey-Nagel GmbH & Co. KG, Германия), элюент – этилацетат–гексан–хлороформ (2:2:1); проявляли в УФ-свете (длина волны 254 нм).

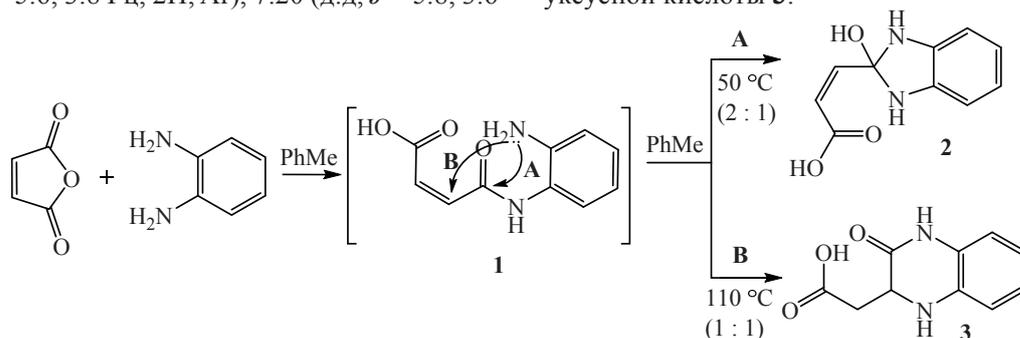
3-(2-гидрокси-2,3-дигидро-1*H*-бензо[*d*]имидазол-2-ил)акриловая кислота (**2**). В колбу Эрленмейера объемом 100 мл, снабженную дефлегматором, помещают 0.5 г малеинового ангидрида (0.0051 моль), 0.27 г 1,2-фенилендиамина (0.0025 моль), приливают 30 мл толуола и нагревают при постоянном перемешивании при температуре 50° С в течение 4–5 ч. Выделившийся осадок отделяют, промывают *n*-гексаном и сушат. Кристаллическое вещество бледно-жёлтого цвета. Выход: 0.46 г (89%). Т. пл. 172–174° С. C₁₀H₁₀N₂O₃. Найдено, %: С, 58.35; Н, 4.78; N, 13.76. Вычислено, %: С, 58.25; Н, 4.89; N, 13.59. ИК-спектр, ν, см⁻¹: 3430 (О–Н); 3238 (NH), 3220 (NH), 1711 (C=O), 1659 (C=C). ЯМР ¹H-спектр, δ, м.д.: 12.7 (уш.с, 1H, OH), 9.81 (с, 2H, NH), 7.65 (д.д, *J* = 5.6, 3.8 Гц, 2H, Ar), 7.20 (д.д, *J* = 5.8, 3.6

Гц, 2H, Ar), 6.57 (д, *J* = 12.1 Гц, 1H, –CH=), 6.31 (д, *J* = 12.0 Гц, 1H, –CH=), 2.39 (с, 1H, OH_{четв}). ЯМР ¹³C-спектр, δ, м.д.: 164.4 (COOH), 133.2 (–CH=), 132.3, 130.5, 130.4 (–CH=), 129.8, 128.3, 126.0, 125.1, 83.8 (C_{четв}).

2-(3-оксо-1,2,3,4-тетрагидрохиноксалин-2-ил)уксусная кислота (**3**). В круглодонную колбу объёмом 100 мл, снабжённую обратным холодильником и насадкой Дина – Старка, помещают 0.5 г малеинового ангидрида (0.0051 моль), 0.55 г 1,2-фенилендиамина (0.0051 моль), приливают 30 мл толуола и нагревают в течение 4–5 часов. Охлаждают, выделившийся осадок отделяют, промывают *n*-гексаном и сушат. Кристаллическое вещество телесного цвета. Выход: 0.83 г (79%). Т.пл. 135–138 °С. C₁₀H₁₀N₂O₃. Найдено, %: С 58.43; Н 4.46; N 13.45. Вычислено, %: С 58.25; Н, 4.89; N, 13.59. ИК-спектр, ν, см⁻¹: 3380 (OH), 3200 (NH), 1700 (COOH), 1642 (C=O, «Амид-I»). ЯМР ¹H-спектр, δ, м.д.: 2.55 (д.д, *J* = 16.3, 5.1 Гц, 1H, CH₂); 2.68 (д.д, *J* = 16.3, 5.1 Гц, 1H, CH₂), 4.05 (т, *J* = 6.0 Гц, 1H, CH); 5.97 (с, 1H, NH); 6.58–6.73 (м, 4H, Ar), 7.34 (с, 1H, NH(CO)), 10.3 (с, 1H, OH); ЯМР ¹³C-спектр, δ, м.д.: 37.0 (CH₂), 52.9 (CH), 114.8, 118.4, 123.2, 126.3, 126.4 134.4, 167.1 (C=O), 172.4 (COOH).

Результаты и их обсуждение

Взаимодействие малеинового ангидрида с 1,2-фенилендиамином первоначально приводит, по-видимому, к 4-((2-аминофенил)амино)-4-оксобут-2-еновой кислоте **1**, дальнейшая гетероциклизация которой может протекать по нескольким путям, два из которых представлены на схеме (А и В). Путь А реализуется за счёт нуклеофильной атаки атома азота первичной аминогруппы амидокислоты по карбонильному атому углерода амидной группы с возможностью образования различных структур в зависимости от выбранных условий. Путь В представляет собой нуклеофильную атаку свободной первичной аминогруппы по электронодефицитному атому углерода двойной C=C связи с образованием 2-(3-оксо-1,2,3,4-тетрагидрохиноксалин-2-ил) уксусной кислоты **3**.





Реакцию проводили в среде апротонных растворителей при разных температурных режимах и соотношениях реагентов. При двукратном избытке малеинового ангидрида при перемешивании при температуре 50° С в толуоле в течение 4–5 ч был с высоким выходом выделен продукт, который по совокупности физико-химических и спектральных данных был охарактеризован как 3-(2-гидрокси-2,3-дигидро-1*H*-бензо[*d*]имидазол-2-ил)акриловая кислота (**2**).

Так, в ИК-спектре **2** наблюдаются широкая полоса поглощения с максимумом около 3430 см⁻¹, связанная с валентными колебаниями водородосвязанных гидроксильных групп, не полностью разрешённые полосы валентных колебаний вторичных аминогрупп при 3238 и 3220 см⁻¹, интенсивный сигнал карбонильной группы при 1711 см⁻¹, а также полоса, отвечающая колебаниям фрагмента С=C при 1659 см⁻¹.

В спектре ЯМР ¹H **2** наблюдаются уширенный пик гидроксильной группы COOH фрагмента при 12.7 м.д., характерный для органических кислот, синглет магнитно эквивалентных протонов вторичных аминогрупп при 9.81 м.д., характерный, в частности, для имидазолидинов, имеющих во 2-м положении электроноакцепторные заместители. В виде двух дублетов при 7.65 и 7.20 м.д. с КССВ 5.6 и 3.8 Гц резонируют протоны ароматического кольца. Сигналы магнитно неэквивалентных протонов при двойной связи проявляются в виде двух дублетов при 6.57 и 6.31 м.д., КССВ составляют 12.0–12.1 Гц, что типично для *цис*-расположенных вицинальных протонов. Отмечен слабоинтенсивный сигнал третичной спиртовой группы при 2.39 м.д.

Спектр ЯМР ¹³C **2** содержит характеристичные сигналы углеродов карбонильной группы при 164.4 м.д., четвертичного углерода при 83.8 м.д. Атомы углерода ароматического кольца и кратной экзоциклической связи резонируют в диапазоне 125.1–132.3 м.д.

Спектры гетероядерной корреляции ¹H-¹³C подтверждают предложенную структуру. Так, в спектре HSQC, как и ожидается, отсутствуют кросс-пики сигналов 9.81 и 2.39 м.д., что подтверждает связанность данных протонов с гетероатомами. В спектре HMBC обнаруживается кросс-пик 2.39/83.8 м.д., подтверждающий близость протона третичной спиртовой группы с четвертичным атомом углерода. Кросс-пики 9.81/125.1 и 9.81/130.5 м.д. подтверждают связи вторичных аминогрупп с соответствующими ароматическими атомами углерода, а корреляция 9.81/164.4 демонстрирует пространственную сближенность одной из NH групп с карбониль-

ным атомом углерода, что согласуется с *цис*-конфигурацией экзоциклического заместителя, сохраняющейся после раскрытия цикла малеинового ангидрида.

Таким образом, в мягких условиях взаимодействие 1,2-фенилендиамина с малеиновым ангидридом реализуется по пути **A**, т. е. не останавливается на стадии образования амидокислоты **1**, а происходит нуклеофильная атака свободной аминогруппы по амидному карбонильному атому углерода, приводящая к замыканию имидазолидинового цикла без последующей дегидратации и образованию имидазолилакриловой кислоты **2**.

С целью направления реакции по другому возможному пути нами были изменены условия взаимодействия. При эквимольном соотношении малеинового ангидрида и 1,2-фенилендиамина в кипящем толуоле с азеотропной отгонкой воды в течение 4–5 ч нами был выделен продукт, который по данным элементного анализа и совокупности спектральных характеристик был охарактеризован как 2-(3-оксо-1,2,3,4-тетрагидрохиноксалин-2-ил)уксусная кислота **3**.

В ИК-спектре **3** обнаружены полосы поглощения валентных колебаний O-H группы при 3380 см⁻¹ и группы N-H при 3200 см⁻¹. Колебания карбонильной группы С=O «Амид-I» и карбоксильной группы наблюдаются при 1642 см⁻¹ и 1700 см⁻¹ соответственно.

ЯМР ¹H-спектр **3** содержит два дублета от двух протонов ненасыщенного пирролидинового фрагмента и серию сигналов протонов ароматического кольца. В спектре отмечены дублеты дублетов протонов CH₂ звена при 2.55 и 2.68 м.д., триплет протона CH звена пиперазинового фрагмента при 4.05 м.д. Сигналы протонов ароматического кольца проявляются в интервале 6.58–6.73 м.д. Сигнал протона NH группы обнаружен в виде синглета при 5.97 м.д., сигнал NH группы лактамного фрагмента резонирует в виде синглета при 7.34 м.д. В сильном поле проявляется сигнал протона гидроксильной группы (10.2 м.д.).

Спектр ЯМР ¹³C **3** содержит характеристичные сигналы углеродов метиленового звена при 37.0 м.д., метинового фрагмента при 52.9 м.д., а также двух карбонильных групп. Сигналы атомов углерода ароматического кольца проявляются в диапазоне 134.4–114.8 м.д.

Дополнительным подтверждением предложенной структуры послужили спектры двумерных экспериментов ЯМР гетероядерной корреляции ¹H-¹³C HSQC и HMBC. В спектре HSQC обнаружены кросс-пики 2.55/37.0 и 2.55/37.0 м.д., соответствующие метиленовому звену, кросс-пик при 4.05/52.9 м.д. метинового звена,



а также корреляции протонов ароматического кольца при 6.69/114.8, 6.58/118.4 и 6.73/123.2 м.д. В спектре НМВС выявлены корреляции карбонильных атомов углерода с протонами CH_2 и CH фрагментов, доказывающие их близость. Интенсивности кросс-пиков также находятся в согласии с предложенной структурой **3**.

В условиях азеотропного удаления воды первоначально образующаяся амидокислота **1** претерпевает гетероциклизацию по Михаэлю по электронодефицитному атому углерода двойной связи с образованием тетрагидрохиноксалинилуксусной кислоты **3**.

Таким образом, взаимодействие малеинового ангидрида с 1,2-фенилендиамином в среде апротонного растворителя при разных температурах предположительно проходит с первоначальным образованием продукта присоединения – амидокислоты, которая сохраняет высокую реакционную способность и в дальнейшем претерпевает гетероциклизацию с образованием различных гетарилзамещённых кислот в зависимости от выбранных условий.

Список литературы

1. *Watson W. H., Wu G., Richmond M. G.* Sequential reaction of *p*-toluidine with 2,3-dichloromaleic anhydride: Synthesis and molecular structure of 2-chloro-3-*p*-toluidino-*N*-*p*-tolylmaleimide // *J. Chem. Cryst.* 2003. Vol. 33, № 12. P. 983–988. DOI: 10.1023/A:1027498202694
2. *Watson W. H., Wu G., Richmond M. G.* Reaction of *o*-phenylenediamine with 2,3-dichloromaleic anhydride: synthesis of *N*-substituted maleimide derivatives and 2,3-dichloropyrrolo[1,2-*a*]benzimidazol-1-one. X-ray structures of 2,3-dichloro-*N*-*o*-C₆H₄(NH₂)maleimide and *N,N'*-*o*-C₆H₄-bis(2,3-dichloromaleimide) // *J. Chem. Cryst.* 2004. Vol. 34, № 11. P. 757–764. DOI: 10.1007/s10870-004-7651-2
3. *Dawood K. M., Elwan N. M., Abdel-Wahab B. F.* Recent advances on the synthesis of azoles, azines and azepines fused to benzimidazole // *Arkivoc.* 2011(i). P. 111–195. DOI: 10.3998/ark.5550190.0012.102
4. *Balasubramaniyan V., Balasubramaniyan P., Patil S. V.* Reactions of Cyclic Anhydrides. Part 17. Synthesis of Pyrrolobenzimidazoles and Benzimidazolylacrylic Acids // *Ind. J. Chem. Sect. B* 29. 1990. Vol. 2. P. 124–127. DOI: 10.1002/chin.199021168
5. *Лозинский М. О., Демченко А. М., Шиванюк А. Ф.* Синтез и свойства производных 1,4-бензотиазина // *Избранные методы синтеза и модификации гетероциклов* / под ред. В. Г. Карцева. Т. 2. М.: IBS PRESS, 2003. 565 с.
6. *Okafor C. O., Akpuaka M. U.* New synthesis of pyrrolobenzothiazine and pyrrolobenzoxazine ring systems // *J. Chem. Soc., Perkin Trans 1.* 1993. P. 159–161. DOI: 10.1039/P19930000159

Образец для цитирования:

Гринёв В. С., Волкова А. В., Линькова Е. И., Егорова А. Ю. Взаимодействие малеинового ангидрида с 1,2-фенилендиамином в различных условиях // *Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2019. Т. 19, вып. 2. С. 133–137. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-133-137>

Interaction of Maleic Anhydride with 1,2-phenylenediamine under Different Conditions

V. S. Grinev, A. V. Volkova, E. I. Linkova, A. Yu. Yegorova

Vyacheslav S. Grinev, <https://orcid.org/0000-0002-0627-6804>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia; Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Russian Academy of Sciences, 13 Ave. Entuziastov, Saratov 410049, Russia, grinev@ibppm.ru

Anna V. Volkova, <https://orcid.org/0000-0002-4892-0127>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, ms.asagi@mail.ru

Elena I. Linkova, <https://orcid.org/0000-0001-9925-2897>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, alenaji2006@rambler.ru

Alevtina Yu. Yegorova, <https://orcid.org/0000-0002-4368-0021>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, yegorovaay@gmail.com

The reaction of maleic anhydride with 1,2-phenylenediamine when heated in an aprotic solvent, regardless of temperature, proceeds with the initial formation of the primary addition product, namely, 4-[(2-aminophenyl)amino]-4-oxobut-2-enoic acid, which further undergoes heterocyclization within two ways, due to the presence of several electrophilic centers in the molecule, depending on the reaction conditions. Under mild conditions, the formation of 3-(2-hydroxy-2,3-dihydro-1*H*-benzo[*d*]imidazol-2-yl)acrylic acid is observed, the formation of which is explained by the nucleophilic attack of free amino acid on the amide carbon atom, while in more severe conditions, with azeotropic removal of water, the Michael reaction takes place, with the participation of an electron-deficient carbon atom of an exocyclic multiple bond with the formation of isomeric 2-(3-oxo-1,2,3,4-tetrahydroquinoxalin-2-yl)acetic acid. The structures of the compounds obtained were proved using a combination of data of IR, ¹H, ¹³C NMR spectroscopy, as well as two-dimensional NMR experiments of heteronuclear correlation, HSQC and HMBC.

Keywords: Maleic anhydride, 1,2-phenylenediamine, amidoacid, tetrahydroquinoxaline, dihydrobenzimidazole.



References

1. Watson W. H., Wu G., Richmond M. G. Sequential reaction of p-toluidine with 2,3-dichloromaleic anhydride: Synthesis and molecular structure of 2-chloro-3-p-toluidino-N-p-tolylmaleimide. *J. Chem. Cryst.*, 2003, vol. 33, no. 12, pp. 983–988. DOI: 10.1023/A:1027498202694
2. Watson W. H., Wu G., Richmond M. G. Reaction of o-phenylenediamine with 2,3-dichloromaleic anhydride: synthesis of N-substituted maleimide derivatives and 2,3-dichloropyrrolo[1,2-a]benzimidazol-1-one. X-ray structures of 2,3-dichloro-N-o-C₆H₄(NH₂)maleimide and N,N'-o-C₆H₄-bis(2,3-dichloromaleimide). *J. Chem. Cryst.*, 2004, vol. 34, no. 11, pp. 757–764. DOI: 10.1007/s10870-004-7651-2
3. Dawood K. M., Elwan N. M., Abdel-Wahab B. F. Recent advances on the synthesis of azoles, azines and azepines fused to benzimidazole. *Arkivoc.*, 2011(i), pp. 111–195. DOI: 10.3998/ark.5550190.0012.102
4. Balasubramaniyan V., Balasubramaniyan P., Patil S. V. Reactions of Cyclic Anhydrides. Part 17. Synthesis of Pyrrolobenzimidazoles and Benzimidazolylacrylic Acids. *Ind. J. Chem., Sect. B29*, 1990, vol. 2, pp. 124–127. DOI: 10.1002/chin.199021168
5. Lozinskiy M. O., Demchenko A. M., Shivanyuk A. F. Sintez i svoystva proizvodnykh 1,4-benzotiazina [Synthesis and properties of derivatives of 1,4-benzothiazine]. *Izbrannye metody sinteza i modifikatsii geterotsiklov* [Selected methods for the synthesis and modification of heterocycles]. Moscow, IBS PRESS Publ., 2003, vol. 2. 565 p. (in Russian).
6. Okafor C. O., Akpuaka M. U. New synthesis of pyrrolobenzothiazine and pyrrolobenzoxazine ring systems. *J. Chem. Soc., Perkin Trans 1*, 1993, pp. 159–161. DOI: 10.1039/P19930000159

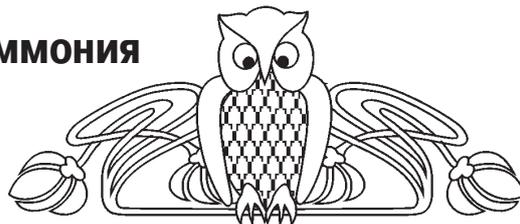
Cite this article as:

Grinev V. S., Volkova A. V., Linkova E. I., Yegorova A. Yu. Interaction of Maleic Anhydride with 1,2-phenylenediamine under Different Conditions. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 133–137 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-133-137>



УДК 543:615.33

Транспортные свойства мембран на основе ассоциатов тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим



Е. Г. Кулапина, М. С. Тютликова, Р. К. Мурсалов

Кулапина Елена Григорьевна, доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, kulapinaeg@mail.ru

Тютликова Маргарита Сергеевна, магистр Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, rita_tjutlikova@mail.ru

Мурсалов Руслан Кямранович, студент Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, ruslan.mursalov2011@yandex.ru

Исследованы транспортные свойства пластифицированных поливинилхлоридных мембран на основе ассоциатов тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим в условиях диффузионного массопереноса и постоянного тока при варьировании концентрации электродно-активных веществ (0,5; 1; 2; 3%), внешних растворов, контактирующих с мембранами (10^{-2} – 10^{-7} М). Установлено, что сопротивление мембран зависит от содержания электродно-активных веществ (ЭАВ) и концентрации примембранных растворов цефотаксима. При увеличении концентрации электродно-активных компонентов сопротивление мембран уменьшается, что связано с возрастанием количества ионообменных центров в фазе мембраны. Исследуемые мембраны характеризуются устойчивыми токами проводимости в течение продолжительного времени. Стационарные значения потенциалов устанавливаются через 50 мин после начала измерения. Величина падения напряжения на мембранах остается постоянной при изменении направления тока. Это указывает на то, что происходит обратимый ионный обмен на границе мембрана – раствор антибиотика. Показано, что введение модификаторов (полианилина и наночастиц NiZnFeO) уменьшает сопротивление мембран, что связано с увеличением их проводимости. Оценены проницаемость и потоки ионов антибиотиков в мембранах: данные характеристики не являются постоянными и специфическими свойствами мембран; они зависят от природы и типа диффундирующих частиц.

Ключевые слова: транспортные свойства, мембраны, цефотаксим, тетрадециламмоний бромид, комплексные соединения серебра (I).

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-138-145>

Введение

Процессы переноса ионов в мембранах являются достаточно сложными. Они всегда со-

провождаются сорбцией ионов или молекул на поверхности и включают собственно перенос и десорбцию. В основе процессов переноса ионов в растворах и в ионообменных материалах лежит механизм диффузии [1].

Большое количество работ посвящено теоретическому исследованию процессов переноса через ионообменные и биполярные мембраны на основе уравнения Нернста – Планка – Пуассона [2, 3]. Исследователи в основном изучают ионный транспорт через пограничный диффузионный слой. Толщина диффузионного пограничного слоя составляет от десятков до сотен микрометров в зависимости от гидродинамических условий в электрохимической ячейке.

Авторами [4] оценены основные характеристики мембранного транспорта гомологов алкилпиридиния через пластифицированные поливинилхлоридные и наночистратационные мембраны (молекулярные сита) в условиях диффузионного массопереноса и постоянного тока. При этом рассчитывали коэффициенты диффузии, проницаемости, потоки ионов, селективность, сорбционную емкость, степень обогащения при варьировании концентрации активных компонентов и примембранных растворов.

Электрическое сопротивление мембран возможно уменьшить путем введения в мембрану различных модификаторов. Перспективной является модификация высокомолекулярных мембран наноразмерными частицами, наиболее простой путь – введение нанодисперсных частиц в раствор, из которого впоследствии получают мембраны [5]. В качестве модификаторов мембран сенсоров используется токопроводящий полимер – полианилин (ПАНИ) [6, 7], наночастицы [8]. Электронная проводимость полианилина обусловлена подвижностью делокализованных π -электронов в сопряженной структуре полимера. Авторами [9] проведен синтез наночастиц переходных металлов серебра и меди в матрице мембраны МФ-4СК (ООО



«Пластполимер», обменная емкость 1 мг-экв/г, толщина 98 мкм), а также исследовано влияние внедренных частиц на транспортные свойства мембраны. Установлено, что введение частиц металлов в матрицу по-разному сказывается на транспортных свойствах мембран в зависимости от способа получения композита.

Модификация мембранных композиций способствует улучшению их транспортных свойств: увеличиваются скорость диффузии и поток ионов, изменяется селективность, снижается сопротивление мембран [6–9].

В последние годы интенсивно исследуются процессы переноса веществ через ионообменные мембраны. Изучение сопротивления мембран в условиях постоянного тока является основой в формировании представлений о механизме переноса иона внутри нее и на границе раздела мембрана – раствор, позволяет объяснить ионную селективность мембран и закономерности функционирования селективных электродов на их основе [4, 10].

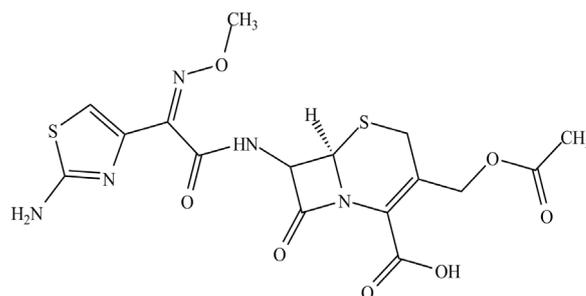
Пластифицированные ионообменные мембраны часто применяются при создании потенциометрических сенсоров, чувствительных к антибиотикам [11]. Такие мембраны характеризуются достаточной простотой изготовления, хорошей селективностью и высоким электрическим сопротивлением (порядка 1–5 МОм).

Цефотаксим – цефалоспориновый антибиотик III поколения, широко используется в медицинской практике для лечения различных инфекционно-соматических патологий [10]. Для определения цефотаксима в водных и биологических средах предложены твердоконтактные потенциометрические сенсоры [12]; при этом не изучены транспортные процессы в мембранах.

В настоящей работе исследованы транспортные свойства немодифицированных и модифицированных пластифицированных поливинилхлоридных мембран на основе ассоциатов тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим в условиях диффузионного массопереноса и постоянного тока при варьировании концентрации электродно-активных соединений и примембранных растворов антибиотиков.

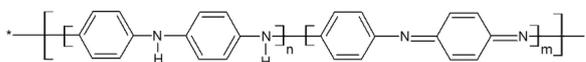
Экспериментальная часть

• Цефотаксим — цефалоспориновый антибиотик III поколения (Ceftx). Коммерческое название препарата *Цефотаксим*; производство ОАО «Биосинтез» (г. Пенза).



• Раствор цефотаксима $1 \cdot 10^{-2}$ М готовили путем растворением навески препарата в дистиллированной воде; рабочие растворы с концентрациями $1 \cdot 10^{-2}$; $1 \cdot 10^{-3}$; $1 \cdot 10^{-4}$; $1 \cdot 10^{-7}$ М – последовательным разбавлением исходных растворов.

• Полианилин. (Эмеральдин, Турция); наночастицы NiZnFeO.



• Растворы хлорида натрия $1 \cdot 10^{-1}$ М и нитрата серебра $1 \cdot 10^{-2}$ М готовили растворением точных навесок в дистиллированной воде.

• Тетрадециламмоний бромид $[(C_{10}H_{21})_4N]Br$ (ТДА) с концентрацией $1 \cdot 10^{-2}$ М готовили растворением навески массой 0,0329 г в 5 мл хлороформа.

• В качестве ЭАВ для мембран, селективных к цефотаксиму, использовали ассоциаты тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим $[Ag(Ceftx)_2]TDA$; $C_{зав} = 0; 0,5; 1; 2; 3\%$.

Синтез ЭАВ, получение мембран проводили согласно [12].

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

Транспортные свойства мембран изучали методом приложенного потенциала и диффузионного массопереноса [4]. Ячейка представляла собой цилиндр, состоящий из двух равных отсеков, между которыми наклеена мембрана диаметром 1 см.

Определение сопротивления мембран методом приложенного потенциала. Измерения напряжения проводили на мультиметре



DT9202A, силы тока – на микроамперметре М244 для мембран, содержащих $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$ ТДА различных концентраций. В отсек с анодным электродом помещался раствор антибиотика с меньшей концентрацией $C=1 \cdot 10^{-7}$ М, а с катодным – раствор с большей концентрацией ($1 \cdot 10^{-2}$, $1 \cdot 10^{-3}$, $1 \cdot 10^{-4}$ М). Серия растворов в пробирках на 10 мл была приготовлена из стандартного

раствора цефотаксима $C=1 \cdot 10^{-2}$ М. Исследовали мембраны с разным содержанием ЭАВ (0,5–3%).

Напряжение на мембранах при прохождении тока регистрировали с помощью двух электродов сравнения, подключенных к мультиметру DT9202A и последовательно подключенному микроамперметру М244. Источником поляризации служил гальваностат (рис. 1).

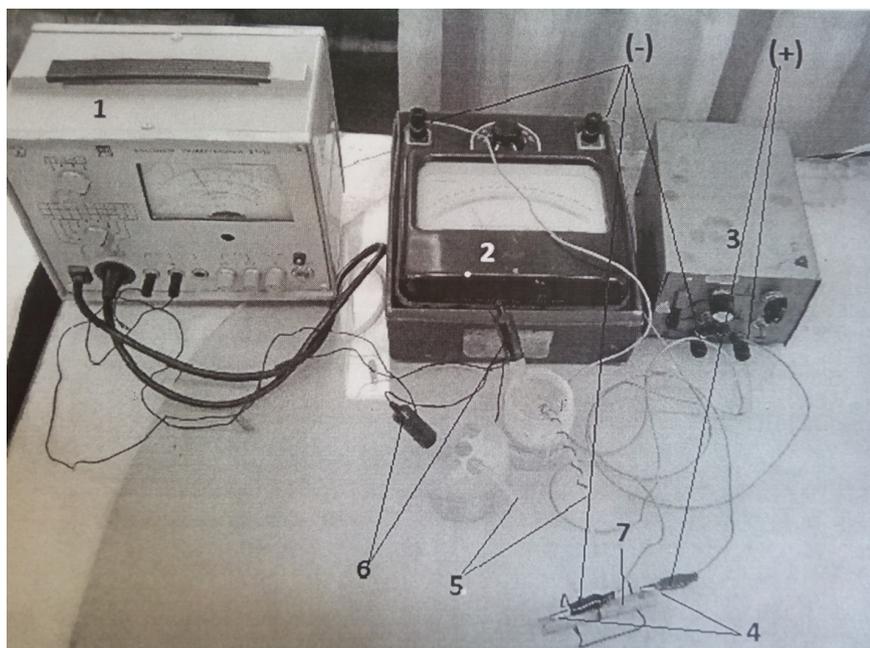


Рис. 1. Схема рабочей установки, используемой для исследования мембранного транспорта методом приложенного потенциала: 1 – вольтметр (мультиметр); 2 – микроамперметр; 3 – гальваностат; 4 – платиновые электроды; 5 – солевые мосты; 6 – ХСЭ; 7 – ячейка

Fig. 1. The scheme of the workstation used for the study of membrane by applied-potential method: 1 – voltmeter (multimeter); 2 – microammeter; 3 – galvanostat; 4 – platinum electrodes; 5 – salt bridges; 6 – HSE; 7 – cell

Измерения проводили в течение 2 ч: первые 5 мин показания снимали с интервалом в 1 мин, последующие 15 мин – через 5 мин, далее с 10-минутным интервалом до установления электрохимического равновесия системы. После первого часа измерений производилась смена поляризации с дальнейшим снятием показаний. Электрическое сопротивление мембран рассчитывали во всех сериях опытов по закону Ома:

$$R = \frac{U}{I},$$

где U – падение напряжения на мембране, В; I – сила тока, А.

Исследования транспортных процессов проводились также для мембран **в условиях диффузионного массопереноса**, в ячейке, состоящей

из двух отделений объемом по 330 мл каждая (в одном находились растворы антибиотика различных концентраций, в другом – дистиллированная вода), между которыми располагалась ионообменная мембрана [4].

Обе секции перемешивались с помощью магнитных мешалок. Концентрации антибиотиков в источнике определяли методом прямой потенциометрии с использованием твердоконтактных сенсоров на основе $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$ ТДА через 30, 60, 90, 120, 150, 180 мин от начала эксперимента. Концентрации цефотаксима находили по градуировочному графику.

Результаты и их обсуждение

Комплексные соединения серебра (I) с β -лактамами антибиотиками описаны в литературе



[13]. Устойчивость комплексов способствует получению на их основе ионных ассоциатов, образующихся при электростатическом взаимодействии соединений серебро(I)- β -lac с катионом тетрадециламмония.

С целью получения некоторых данных о транспорте ионов в немодифицированных и модифицированных мембранах на основе изучаемых ионных ассоциатов была исследована зависимость сопротивления мембран от времени

при варьировании концентрации электродноактивных веществ, внешних растворов, контактирующих с мембранами.

Электрическое сопротивление фоновых мембран. Высокие омические сопротивления характерны для фоновых мембран (без электродно-активного соединения) (рис. 2). Накопление носителей заряда в таких мембранах осуществляется процессами проникновения ионов антибиотика из раствора в фазу мембраны.

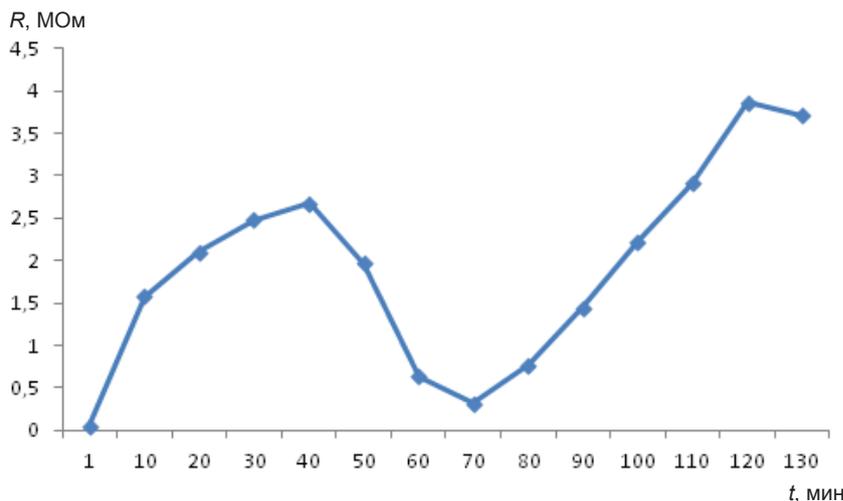


Рис. 2. Зависимость сопротивления фоновой мембраны от времени; $C_{\text{примембранная}} = 10^{-2}/10^{-7}\text{M}$

Fig. 2. Dependence of the supporting membrane on time; $C_{\text{primembrane}} = 10^{-2}/10^{-7}\text{M}$

Перенос ионов через фоновую мембрану заметно затруднен, так как сильно проявляется процесс закупоривания пор мембран, что вызывает излишние энергетические затраты на данный процесс в ходе эксперимента и, как следствие, высокие значения сопротивления.

Электрическое сопротивление немодифицированных мембран. В настоящей работе были исследованы транспортные свойства пластифицированных мембран на основе соединения $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$ ТДА, с концентрациями ЭАВ 0,5; 1; 2; 3%. Для определения сопротивления мембран использовали свежеприготовленные растворы антибиотиков.

Исследуемые мембраны характеризуются устойчивыми токами проводимости в течение продолжительного времени (рис. 3). Стационарные значения потенциалов устанавливаются через 50 мин после начала измерения. Величина падения напряжения на мембране не меняется при изменении направления тока. Это указывает на то, что происходит обратимый ионный обмен на границе мембрана – раствор антибиотика. Зависимость стационарного сопротивления

мембран от содержания ЭАВ, концентрации примембранных растворов представлена на рис. 4, 5.

При увеличении концентрации электродно-активных компонентов сопротивление мембран уменьшается, что связано с увеличением концентрации ионообменных центров в фазе мембраны.

Электрическое сопротивление модифицированных мембран. В качестве модификаторов пластифицированных ПВХ мембран выступали полианилин, наночастицы NiZnFeO . При модифицировании мембран полианилином заметно улучшается процесс переноса ионов через мембрану. Это обусловлено подвижностью делокализованных π -электронов в сопряженной структуре полимера. Введение в мембраны полианилина способствует уменьшению их омического сопротивления (рис. 6).

При исследовании транспортных свойств пластифицированных модифицированных наночастицами NiZnFeO мембран наблюдается также снижение их сопротивления за счет увеличения пористости. Транспорт ионов улуч-

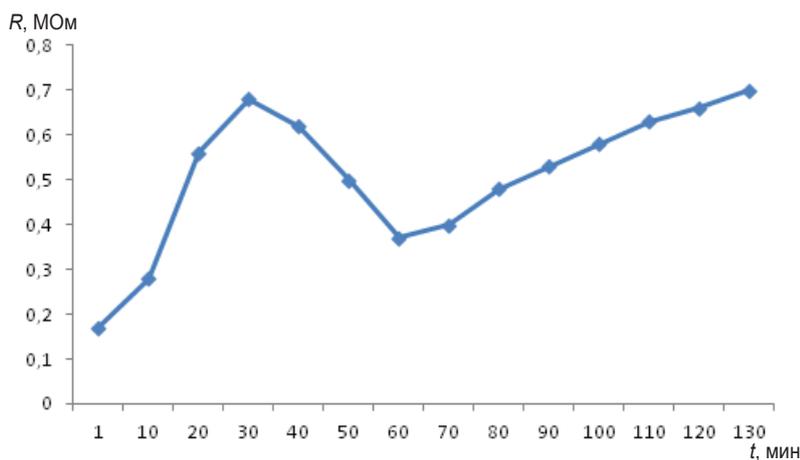


Рис. 3. Зависимость сопротивления пластифицированной мембраны на основе $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$ ТДА от времени; $C_{\text{ЭАВ}} = 2\%$; $C_{\text{примембранная}} = 10^{-3}/10^{-7}\text{M}$
Fig. 3. Dependence of the plasticized membrane resistance based on $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$ TDA on time; $C_{\text{EAS}} = 2\%$; $C_{\text{primemembrane}} = 10^{-3}/10^{-7}\text{M}$

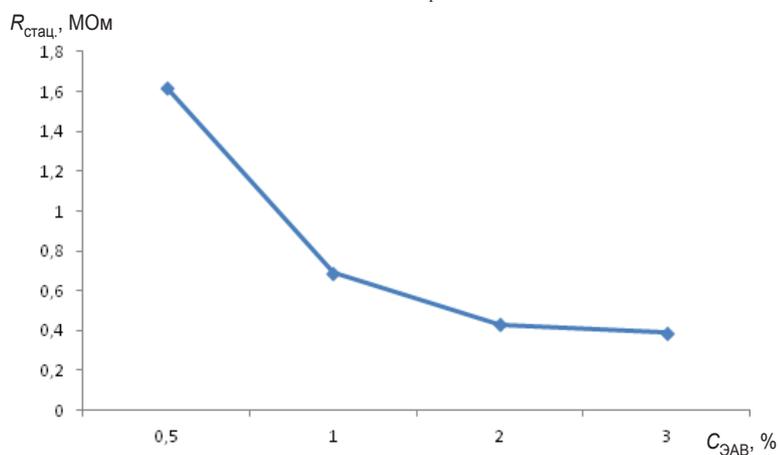


Рис. 4. Зависимость стационарного сопротивления пластифицированных мембран на основе $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$ ТДА от концентрации ЭАВ; $C_{\text{примембранная}} = 0,01\text{M}$
Fig. 4. Dependence of the static resistance of plasticized membranes based on $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$ TDA on the concentration of EAS; $C_{\text{primemembrane}} = 0,01\text{M}$

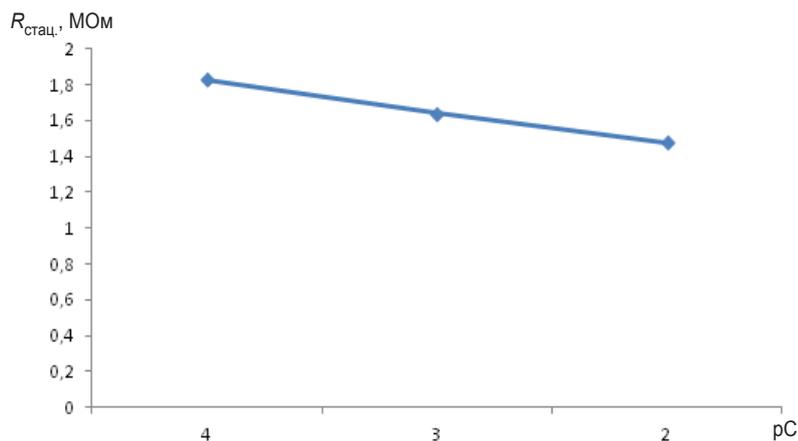


Рис. 5. Зависимость стационарного сопротивления пластифицированных мембран на основе $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$ ТДА от концентрации примембранных растворов; $C_{\text{ЭАВ}} = 0,5\%$
Fig. 5. Dependence of static resistance plasticized membranes based on $\text{Ag}(\text{Ceftx})_2$ TDA on the concentration of primemembrane solutions; $C_{\text{EAS}} = 0.5\%$

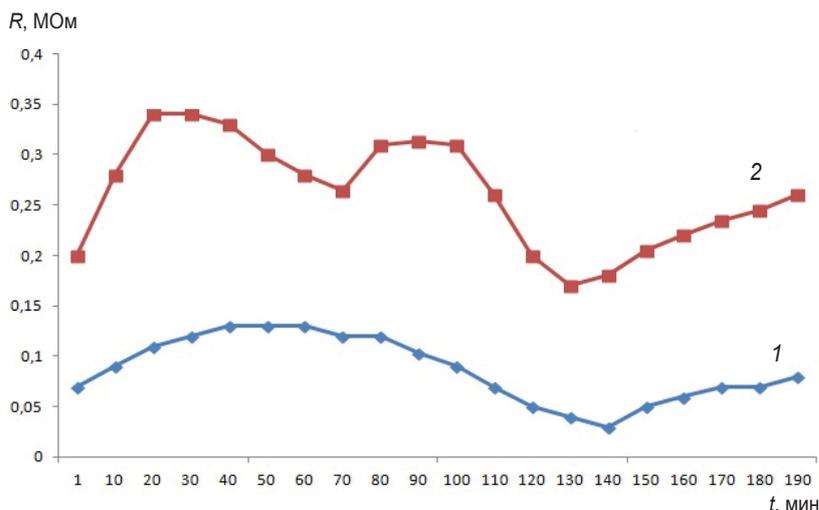


Рис. 6. Зависимость сопротивления модифицированных ПАНИ (1) и наночастицами NiZnFeO (2) пластифицированных мембран на основе Ag(Ceftx)₂ TDA от времени; C_{ЭАВ} = 2%; C_{примембранная} = 10⁻³/10⁻⁷М

Fig. 6. Dependence of the resistance of modified PANs (1) and NiZnFeO (2) nanoparticles of plasticized Ag(Ceftx)₂ TDA-based membranes on time; C_{EAS} = 2%; C_{primemembrane} = 10⁻³/10⁻⁷М

шается, происходит еще большее снижение сопротивления по сравнению с сопротивлением модифицированных ПАНИ мембран.

При исследовании транспортных процессов методом диффузионного массопереноса были оценены проницаемости и потоки ионов антибиотиков.

Коэффициент проницаемости *P* выражает количество вещества, проникающее через единицу поверхности мембраны, имеющей единичную толщину, в единицу времени при перепаде концентраций, равном единице. Поток ионов *J* – количество вещества, проходящего через единицу поверхности мембраны в единицу времени [4, 10].

$$P = \frac{\ln \frac{C_1 + C_2}{C_1 - C_2}}{S \left(\frac{1}{V_1} + \frac{1}{V_2} \right) t} - \text{коэффициент проницаемости мембраны, м/с}$$

$J = P(C_2 - C_1)$ – поток ионов, моль/м²·с, где *C*₁, *C*₂ – концентрации растворов исследуемых веществ в источнике, приемнике, соответственно, моль/м; *S* – рабочая площадь поверхности мембраны, м²; *t* – время эксперимента, с; *V*₁ и *V*₂ – объем секции 1 (источника) и секции 2 (приемника) соответственно, м³.

Проницаемость и поток ионов не являются постоянными и специфическими свойствами мембраны. Они могут зависеть от природы и типа диффундирующих частиц.

В таблице представлены основные количественные характеристики мембранного транспорта цефотаксима в зависимости от времени в условиях диффузионного массопереноса. Показано, что объемные характеристики ионообменных мембран зависят от времени их контакта с растворами антибиотиков.

Основные количественные характеристики мембранного транспорта (ЭАВ: Ag(Ceftx)₂ TDA, 2%)

Major quantitative characteristics of membrane transport (EAS: Ag(Ceftx)₂ TDA, 2%)

C ₁ , М	C ₂ , М	t, с	V ₁ , м ³	V ₂ , м ³	S, м ²	P, м/с	J, моль/м ² ·с
4,3·10 ⁻³	1,7·10 ⁻⁵	1800	3,3·10 ⁻⁴	3,3·10 ⁻⁴	6,36·10 ⁻⁵	1,14·10 ⁻⁵	4,89·10 ⁻⁸
		3600				5,69·10 ⁻⁶	2,44·10 ⁻⁸
		5400				3,79·10 ⁻⁶	1,63·10 ⁻⁸
		7200				2,85·10 ⁻⁶	1,22·10 ⁻⁸
		10800				1,89·10 ⁻⁶	8,14·10 ⁻⁹



Заклучение

Исследованы транспортные свойства фоновых мембран и мембран, содержащих ЭАВ, в растворах цефотаксима.

Предложен эффективный метод снижения омических сопротивлений пластифицированных ПВХ мембран (0,40–4,00 МОм) – модифицирование мембран токопроводящим полимером полианилином и наночастицами NiZnFeO. При этом сопротивление мембран снижалось (0,10–0,35 МОм), что связано с увеличением их проводимости.

Список литературы

1. Николаев Н. И. Диффузия в мембранах. М.: Химия, 1980. 232 с.
2. Kim Yo., Walker W. S., Lawler D. F. The Painlevé equation of the second kind for the binary ionic transport in diffusion boundary layers near ion-exchange membranes at over-limiting current // J. Electroanal. Chem. 2010. Vol. 639, № 1. P. 59–66.
3. Volgin V. M., Davydov A. D. Ionic transport through ion-exchange and bipolar membranes // J. Membr. Sci. 2005. Vol. 259, № 1–2. P. 110–121.
4. Макарова Н. М., Погорелова Е. С., Кулапина Е. Г., Захаревич А. М. Влияние гидрофобности ПАВ на характеристики транспортных процессов в поливинилхлоридных пластифицированных мембранах на основе гомологов алкилсульфатов и алкилпиридиния // Мембраны и мембранные технологии. 2014. Т. 4, № 2. С. 128–139.
5. Jones D. J., Roziere J. Handbook of Fuel Cells – Fundamentals, Technology and Applications // Fuel Cell Technology and Applications Ltd. 2003. Vol. 3. P. 447–455.
6. Stejskal J., Gilbert R. G. Polyaniline. Preparation of a conducting polymer // Pure and Applied Chemistry. 2002. Vol. 74, № 5. P. 857–867.
7. Абаляева В. В., Дремова Н. Н. Электрохимическое допирование полианилина анионом тетрацианохидриметана // Электрохимия. 2016. Т. 52, № 8. С. 834–842.
8. Радхи М. М., Алофур Ф. К. М., Ридха Н. Ж. Вольтамперометрические характеристики привитого полимера, модифицированного наночастицами ZnO, на стеклоуглеродном электроде // Электрохимия. 2018. Т. 54, № 1. С. 33–39.
9. Новикова С. А., Ярославцев А. Б. Синтез и транспортные свойства мембранных материалов с металлическими частицами меди и серебра // Сорбционные и хроматографические процессы. 2008. Т. 8, вып. 6. С. 887–892.
10. Харитонов С. В. Транспортные свойства селективных мембран, обратимых к катионам азотсодержащих органических оснований: проницаемость и поток ионов // Журн. аналит. химии. 2003. Т. 58, № 12. С. 199–206.
11. Кулапина О. И., Кулапина Е. Г. Антибактериальная терапия. Современные методы определения антибиотиков в лекарственных и биологических средах. Саратов: Саратовский источник, 2015. 91 с.
12. Кулапина Е. Г., Тютликова М. С. Твердоконтактные и планарные сенсоры для определения цефотаксима в водных и биологических средах // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2017. Т. 17, вып. 1. С. 14–18.
13. Алексеев В. Г. Металлокомплексы пенициллинов и цефалоспоринов // Хим.-фарм. журн. 2011. Т. 45, № 11. С. 31–48.

Образец для цитирования:

Кулапина Е. Г., Тютликова М. С., Мурсалов Р. К. Транспортные свойства мембран на основе ассоциатов тетрадециламмония с комплексными соединениями серебро(I)-цефотаксим // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 138–145. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-138-145>

Transport Properties of Membranes on the Basis of Tetradecylammonium Associates with Complex Compounds Silver(I)-cefotaxime

E. G. Kulapina, M. S. Tyutlikova, R. K. Mursalov

Elena G. Kulapina, <https://orcid.org/0000-0002-5644-5039>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, kulapinaeg@mail.ru

Margarita S. Tyutlikova, <https://orcid.org/0000-0002-4881-376X>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, rita_tyutlikova@mail.ru

Ruslan K. Mursalov, <https://orcid.org/0000-0002-7754-5469>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, ruslan.mursalov2011@yandex.ru

Transport properties of the plasticized polyvinylchloride membranes on the basis of tetradecylammonium associates with complex connections silver (I) – cefotaxime in the conditions of a diffusive mass transfer and a direct current are investigated. With variation of concentration of electrode active substances (0.5; 1; 2; 3%), the external solutions contacting with membranes (10^{-2} – 10^{-7} M). It is established that resistance of membranes depends on the content of electrode active substances (EAS) and concentration of perimembrane solutions of a cefotaxime. When an increase in concentration of electrode active components, resistance of membranes decreases which is connected with an increase of a number of the ion-exchange centers in a membrane phase. The studied membranes are characterized by steady currents of conductivity for an appreciable length of time. Stationary values of potentials are established in 50 min from the beginning of measurement. The voltage drop on membranes remains constant with a change of the direction of current. It indicates that



there is a reversible ion exchange on the border of the antibiotic membrane solution. It is shown that the introduction of modifiers (polyaniline and nanoparticles of NiZnFeO) reduces resistance of membranes which is connected to an increase in their conductivity. The permeability and streams of ions of antibiotics in membranes are estimated: these characteristics are not constant and specific properties of membranes; they depend on nature and the type of diffusing particles.

Keywords: transport properties, membranes, cefotaxime, tetradecylammonium, complex compounds of silver(I).

References

1. Nikolaev N. I. *Diffuziya v membranakh* [Diffusion in membranes]. Moscow, Khimiya Publ., 1980. 232 p. (in Russian).
2. Kim Yo., Walker W. S., Lawler D. F. The Painlevé equation of the second kind for the binary ionic transport in diffusion boundary layers near ion-exchange membranes at over-limiting current. *J. Electroanal. Chem.*, 2010, vol. 639, no. 1, pp. 59–66.
3. Volgin V. M., Davydov A. D. Ionic transport through ion-exchange and bipolar membranes. *J. Membr. Sci.*, 2005, vol. 259, no. 1–2, pp. 110–121.
4. Makarova N. M., Pogorelova E. S., Kulapina E. G., Zakharevich A. M. Influence of water repellency surfactant on characteristics of transport processes in the polyvinylchloride plasticized membranes on the basis of homologs of alkylsulfates and an alkylpyridinium. *Membranes and membrane technologies*, 2014, vol. 4, no. 2, pp. 128–139 (in Russian).
5. Jones D. J., Roziere J. Handbook of Fuel Cells – Fundamentals, Technology and Applications. *Fuel Cell Technology and Applications Ltd.*, 2003, vol. 3, p. 447–455.
6. Stejskal J., Gilbert R. G. Polyaniline. Preparation of a conducting polymer. *Pure and Applied Chemistry*, 2002, vol. 74, no. 5, pp. 857–867.
7. Abalyaeva V. V., Dremova N. N. Electrochemical doping of polyaniline anion of a tetracyanokhinodimetan. *Electrochemistry*, 2016, vol. 52, no. 8, pp. 834–842 (in Russian).
8. Radhi M. M., Alosfur F. K. M., Ridkha N. Zh. Voltammetric characteristics of the imparted polymer modified by ZnO nanoparticles on a glassy carbon electrode. *Electrochemistry*, 2018, vol. 54, no. 1, pp. 33–39 (in Russian).
9. Novikova S. A., Yaroslavtsev A. B. Synthesis and transport properties of membrane materials with metal particles of copper and silver. *Sorption and Chromatographic processes*, 2008, vol. 8, iss. 6, pp. 887–892 (in Russian).
10. Kharitonov S. V. Transport properties of the selective membranes reversible to cations of the nitrogen-containing organic bases: permeability and stream of ions. *J. Anal. Chemistry*, 2003, vol. 58, no. 12, pp. 199–206 (in Russian).
11. Kulapina O. I., Kulapina E. G. *Antibakterial'naya terapiya. Sovremennye metody opredeleniya antibiotikov v lekarstvennyh i biologicheskikh sredah* [Antibacterial therapy. Modern methods of definition of antibiotics in medicinal and biological environments]. Saratov, Saratovskiy istochnik Publ., 2015. 91 p. (in Russian).
12. Kulapina E. G., Tyutlikova M. S. The solid-state and planar sensors for the determination of cefotaxime in aqueous and biological environments. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2017, vol. 17, iss. 1, pp. 14–18 (in Russian).
13. Alekseev V. G. Metal complexes of penicillin and cephalosporin. *Chemical-Pharm. Magazine*, 2011, vol. 45, no. 11, pp. 31–48 (in Russian).

Cite this article as:

Kulapina E. G., Tyutlikova M. S., Mursalov R. K. Transport Properties of Membranes on the Basis of Tetradecylammonium Associates with Complex Compounds Silver(I)-cefotaxime. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 138–145 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-138-145>



УДК 543.068.8

Тест-определение амоксициллина в лекарственных препаратах

А. В. Маракаева, И. В. Косырева

Маракаева Анастасия Вячеславовна, аспирант кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, marakaeva_anastasiya@mail.ru

Косырева Ирина Владимировна, кандидат химических наук, доцент кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, i_kosyreva@mail.ru

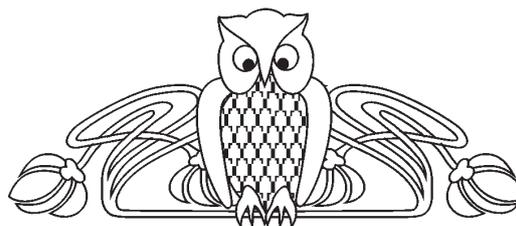
Амоксициллин – полусинтетический аминопенициллин β -лактамно ряда с широким спектром антибактериальной активности в отношении многих грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов. Входит в перечень важнейших лекарственных препаратов. Тест-системы для обнаружения и идентификации амоксициллина отсутствуют. Нами получены индикаторные бумаги с иммобилизованным нингидрином и п-диметиламинобензальдегидом для тест-определения амоксициллина. Подобраны условия проведения реакции в зависимости от температуры и времени. Построены цветовые шкалы для визуально-колориметрического и цветометрического определения. Определены значения цветовых параметров по цветовым моделям RGB, CMYK, HSB, выбраны оптимальные каналы по яркости, контрастности, чувствительности. Построены линейные зависимости выбранных цветовых параметров от концентрации антибиотика. Проведена математическая обработка тест-средств с построением лепестковых диаграмм в координатах цветовых моделей R, G, B, C, M, Y, K. Получены линейные зависимости параметров «площадь», «периметр лепестковых диаграмм» от концентрации антибиотика, позволяющие проводить количественную оценку содержания лекарственного препарата. На основании проведенных исследований разработана и апробирована простая экспрессная методика определения антибиотика в лекарственных препаратах. Методика апробирована на двух лекарственных препаратах отечественных производителей, выпускаемых в таблетках.

Ключевые слова: тест-определение, индикаторные бумаги, антибиотики, цветовые модели, лепестковая диаграмма.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-146-151>

Введение

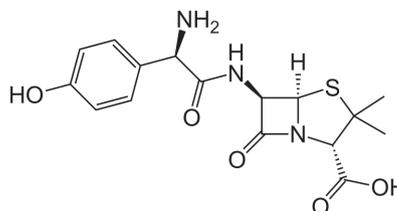
К антибиотикам относят продукты жизнедеятельности (или их синтетические аналоги) живых клеток, которые избирательно подавляют функционирование других клеток – микроорганизмов, опухолей и т. д. Термин «антибиоз» – «жизнь против жизни» впервые предложил Л. Пастер [1], впоследствии вещества, реализующие антибиоз, назвали антибиотиками.



По химической структуре выделяют основные классы антибиотиков: β -лактамы (пенициллины, цефалоспорины, монолактамы); макролиды и группа линкомицина, стероиды, тетрациклины, хлорамфеникол (левомицетин) и его препараты, аминогликозиды, пептидные антибиотики (полимиксины, ванкомицин), полиены и другие [2, 3].

Для определения антибиотиков в различных объектах (лекарственных препаратах, пищевых продуктах и биологических средах) в основном используются электрохимические, спектрофотометрические, хроматографические методы анализа [4]. Однако они не пригодны для быстрого и дешевого скринингового обследования лекарственных препаратов на предмет наличия фальсификатов, при оценке содержания основного вещества в препаратах и т. п. Для этих целей положительно себя зарекомендовали тест-методы анализа [5]. Для нашей страны такой скрининг актуален, так как имеется более 150 зарубежных и отечественных аналогов препарата, выпускаемых в виде таблеток, капсул, суспензий для приема внутрь и порошков для приготовления растворов.

Амоксициллин – один из наиболее распространенных антибиотиков [6] с широким спектром антибактериальной активности в отношении многих грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов. Он входит в перечень жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов медицинского назначения [7]. В настоящее время тест-средства для обнаружения и идентификации амоксициллина отсутствуют.



В связи с этим цель настоящей работы состояла в создании тест-систем для определения амоксициллина и применении их к анализу фармацевтических форм и лекарственных препаратов.



Материалы и методы

В работе использовали следующие реагенты и материалы:

– амоксициллин (в виде амоксициллина натрия) – порошок для приготовления раствора для внутривенного введения, фирма-производитель «Красфарма». Исходный раствор антибиотика с концентрацией 0,1 моль/л готовили растворением точной навески (0,9135 г) препарата в растворе 0,01М соляной кислоты объемом 25 мл. Рабочие растворы с концентрацией $5 \cdot 10^{-2}$ – $1 \cdot 10^{-4}$ М (в 0,01М HCl) готовили в день проведения эксперимента путем последовательного разбавления исходного;

– спиртовой 0,1М раствор нингидрина ($C_9H_6O_4$, Mг 178,14 г/моль, «ч.д.а»). Навеску $m = 0,3725$ г растворяли в мерной колбе на 25 мл;

– спиртовой 0,1М раствор п-диметиламинобензальдегида (п-ДМАБ) ($(CH_3)_2NC_6H_4CHO$, Mг 149,19 г/моль, «ч.д.а»). Навеску $m = 0,4450$ г растворяли в мерной колбе на 25 мл;

– фильтры обеззолненные «Синяя лента», ТУ 2642-001-13927158-2003, масса золы 1 фильтра 0,00104 г;

– бокс для фотографирования размером 22х23х24 см с двумя полосками светодиодного освещения (5V, 1A);

– 20,1-Мегапиксельная цифровая камера Nikon Coolpix A100.

Получение индикаторных бумаг

Для получения двух видов индикаторных бумаг (ИБ) фильтр размером 5×5 см погружали на 2 мин в свежеприготовленные спиртовые растворы либо нингидрина, либо п-ДМАБ, высушивали при комнатной температуре и разрезали на части размером 1×1 см.

Результаты и их обсуждение

При проведении тест-определения каплю анализируемого раствора наносили на индикаторную бумагу с нингидрином либо п-ДМАБ, высушивали при 95° С в течение 5–35 мин и наблюдали появление фиолетового (с нингидрином) либо желтого (с п-ДМАБ) окрашивания. Аналитический сигнал регистрировали цифровой камерой Nikon Coolpix A100, для этого тест-форму помещали в бокс и фотографировали. Полученные изображения обрабатывали с помощью программы Adobe Photoshop CS5 и авторской онлайн-программы [8]. Для этого часть изображения усредняли с помощью фильтра «Average», определяли интенсивность цветовых параметров моделей RGB, CMYK, HSB. Среди существующих цветовых моделей, разработанных для описания цвета в цифровых технологиях, наиболее часто применяют модели RGB, CMYK, HSB, XYZ и CIELAB [9]. На рис. 1 представлены графики зависимости интенсивности цветных каналов моделей RGB, CMYK, HSB от времени нагревания индикаторных бумаг.

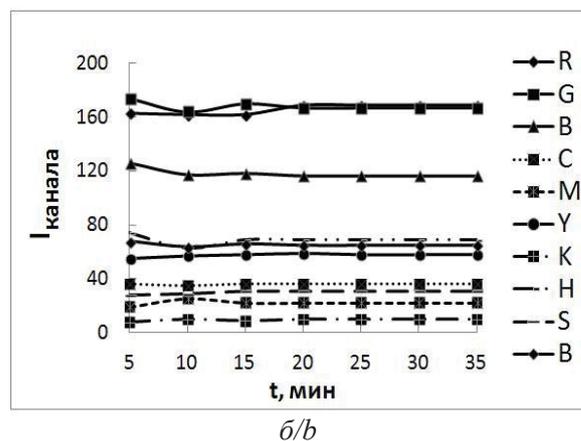
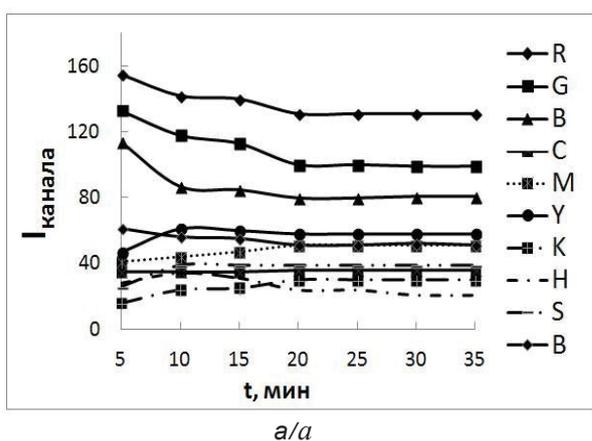


Рис. 1. Зависимость интенсивности (I) цветных каналов от времени нагревания: а – ИБ с нингидрином, б – ИБ с п-ДМАБ

Fig. 1. Dependence of intensity (I) of color channels on heating time: а – indicator papers with ninhydrin, б – indicator papers with p-Dimethylaminobenzaldehyde

Общим для всех моделей является фиксирование состояния равновесия, наступающего в течение 15–20 мин, независимо от выбранной модели (см. рис. 1).

Построены зависимости выбранных цветовых параметров по цветовым моделям RGB, CMYK, HSB от концентрации антибиотика (рис. 2).

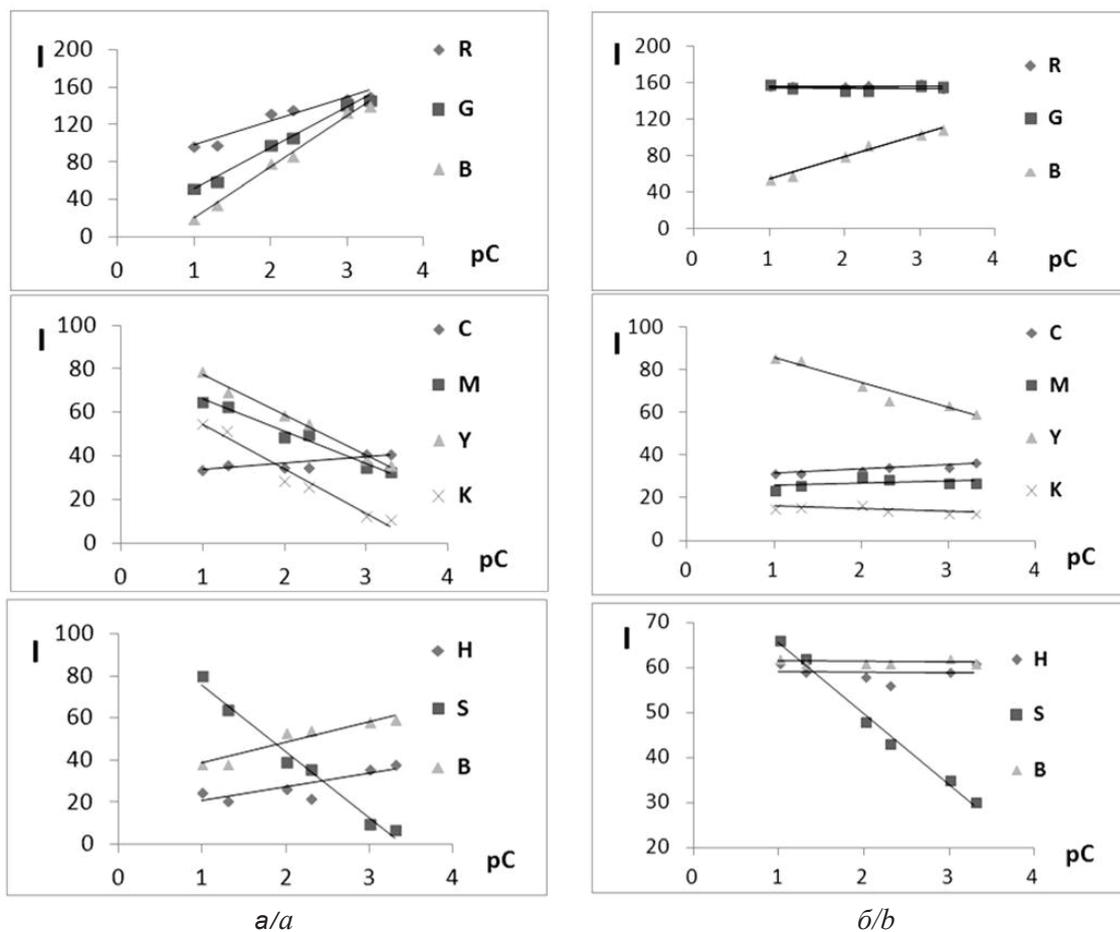


Рис. 2. Зависимость интенсивности (I) цветных каналов от концентрации антибиотика: a – ИБ с нингидрином, $б$ – ИБ с п-ДМАБ; $t = 95^\circ \text{C}$, 20 мин

Fig. 2. Dependence of intensity (I) of color channels on the concentration of the antibiotic: a – indicator papers with ninhydrin, b – indicator papers with p-Dimethylaminobenzaldehyde; $t = 95^\circ \text{C}$, 20 min

Уравнения регрессии зависимостей $I_{\text{канала}} - pC$ при тест-определении амоксициллина с нингидрином и п-ДМАБ

Regression equations of $I_{\text{channel}} - pC$ dependencies in the test-determination for amoxicillin with ninhydrin and p-DMAAB

ИБ с нингидрином			ИБ с п-ДМАБ		
Канал	Уравнение	r^2	Канал	Уравнение	r^2
Модель RGB					
R	$y = 25,1x + 73,9$	0,923	R	$y = -0,85x + 157$	0,318
G	$y = 43,5x + 8,23$	0,989	G	$y = -0,085x + 154$	0,002
B	$y = 54,0x - 33,4$	0,992	B	$y = 22,2x + 33,9$	0,967
Модель CMYK					
C	$y = 2,97x + 30,6$	0,732	C	$y = 2,08x + 29,5$	0,894
M	$y = -14,6x + 80,6$	0,977	M	$y = 1,00x + 25,0$	0,182
Y	$y = -18,5x + 96,1$	0,992	Y	$y = -11,8x + 97,7$	0,945
K	$y = -20,4x + 74,8$	0,969	K	$y = -1,29x + 17,4$	0,510
Модель HSB					
H	$y = 6,52x + 14,2$	0,679	H	$y = -0,073x + 61,5$	0,016
S	$y = -31,5x + 107$	0,982	S	$y = -15,7x + 81,2$	0,990
B	$y = 9,99x + 28,5$	0,901	B	$y = -0,07x + 59,2$	0,001



Как видно из таблицы и рис. 2, для ИБ с нингидрином и ИБ с п-ДМАБ в модели RGB оптимальным каналом является канал В ($y = 54,0x - 33,4$; $r^2 = 0,992$ и $y = 22,2x - 33,9$; $r^2 = 0,967$ соответственно). В модели СМΥК оптимальный канал Υ ($y = -18,5x + 96,1$; $r^2 = 0,992$ и $y = -11,8x + 97,7$; $r^2 = 0,945$). В модели HSB – S ($y = -31,5x + 107$; $r^2 = 0,982$ и $y = -15,7x + 81,2$; $r^2 = 0,990$). Однако наибольшая чувствительность (t_{gr}) и значения коэффициента регрессии r^2 характерны для ИБ с нингидрином.

Диаграмма – способ визуализации данных [10, 11], делающий их более понятными и на-

глядными. Один из типов – лепестковая диаграмма, в которой для каждой категории сведений определена своя ось. Значение каждой точки отмечается на соответствующей оси. Обработка аналитического сигнала с помощью различных преобразований играет важную роль в химическом анализе [12]; применима для проведения многовариантного анализа и поиска решений в многокритериальной оптимизации. В настоящей работе по результатам определения цветowych параметров в программе MS Excel строили лепестковые диаграммы с 7 осями в координатах R, G, B, C, M, Y, K (рис. 3).

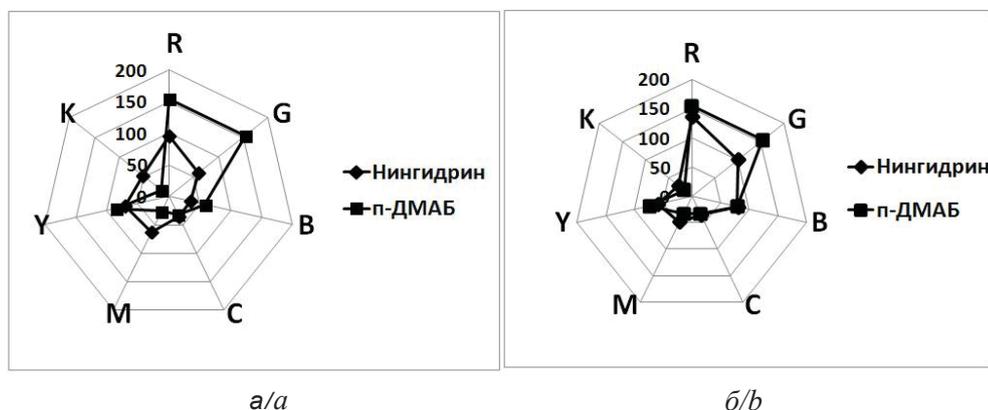


Рис. 3. Профили лепестковых диаграмм тест-средств с иммобилизованным нингидрином и п-ДМАБ при определении амоксициллина: а – $C_{\text{амоксициллин}} = 5 \cdot 10^{-2} \text{M}$; б – $C_{\text{амоксициллин}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{M}$; $t = 95^\circ \text{C}$, 20 мин

Fig. 3. Profiles of radar charts for test agents with immobilized ninhydrin and p-DMAAB in determining amoxicillin: а – $S_{\text{amoxicillin}} = 5 \cdot 10^{-2} \text{M}$; б – $S_{\text{amokitsillin}} = 5 \cdot 10^{-3} \text{M}$; $t = 95^\circ \text{C}$, 20 min

Как видно из рис. 3, каждому тест-средству соответствует свой индивидуальный «отпечаток». С уменьшением концентрации амоксициллина увеличивается профиль диаграммы реакции с п-ДМАБ (значения параметров R, G, B возрастают). При уменьшении концентрации антибиотика профили лепестковых диаграмм реакции с нингидрином и п-ДМАБ становятся сходными.

Рассчитывали параметры «площадь» (S) и «периметр» (P) полученных лепестковых диаграмм в MS Excel по формулам:

$$P = \sqrt{a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos(ab)},$$

$$S = a + b \cdot \sin(ab),$$

где a, b – стороны треугольника; $\cos(ab)$ – косинус угла между сторонами a, b ; $\sin(ab)$ – синус угла между сторонами a, b .

Строили соответствующие зависимости S или P от концентрации (pC) антибиотика (рис. 4).

Как видно из рис. 4, получены линейные зависимости S и P от pC , с коэффициентом регрессии 0,98 и 0,99 соответственно, что позволяет проводить количественную оценку содержания амоксициллина в исследуемом объекте.

Определение амоксициллина в лекарственных препаратах

Навеску препарата растворяли в 0,01M соляной кислоте, отбирали каплю надосадочной жидкости и наносили на индикаторную бумагу с нингидрином или п-ДМАБ, нагревали при 95°C в течение 20 мин. После ИБ помещали в бокс и фотографировали. В программе Adobe Photoshop CS5 определяли интенсивность цветowych параметров и по графику зависимости $I_{\text{канала}} - pC$ определяли содержание антибиотика.

С помощью разработанных тест-средств определено содержание амоксициллина в двух лекарственных препаратах отечественных про-

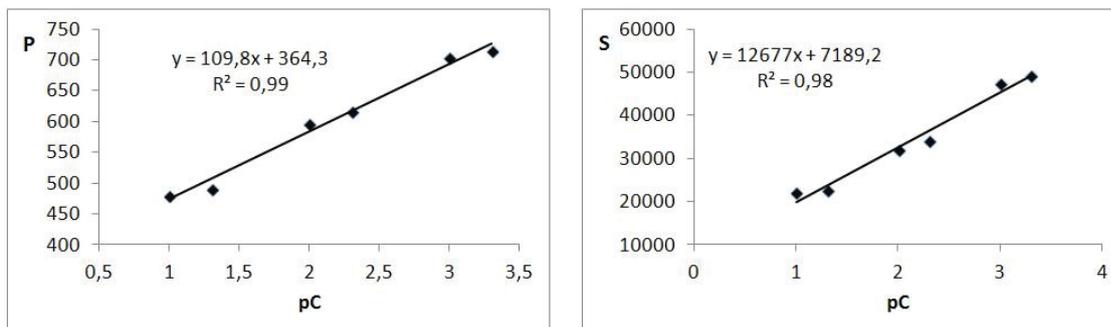


Рис. 4. Зависимость площади (S), периметра (P) лепестковых диаграмм от концентрации амоксициллина: ИБ с нингидрином; $t = 95^\circ \text{C}$, 20 мин

Fig. 4. Dependence of the area (S), perimeter (P) of the radar charts on the concentration of amoxicillin: indicator papers with ninhydrin; $t = 95^\circ \text{C}$, 20 min

изготовителей (ПАО «Биохимик» и ПАО «АВВА Рус»), форма выпуска – таблетки по 250 мг. Найденное количество соответствует заявленному производителями и составляет 250 ± 25 мг.

Таким образом, полученные индикаторные бумаги с нингидрином и п-диметиламинобензальдегидом могут быть применены для экспресс-определения, а также оценки подлинности амоксициллина в фармацевтических формах и лекарственных препаратах.

Список литературы

1. Крылов Ю. Ф., Бобырев В. М. Фармакология. М. : ВУНМЦ МЗ РФ, 1999. 352 с.
2. Арзамасцев А. П. Фармацевтическая химия. М. : Гэотар ; Медицина, 2004. 640 с.
3. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках. 6-е изд. М. : Изд-во МГУ ; Наука, 2004. 524 с.
4. Кулапина О. И., Кулапина Е. Г. Антибактериальная терапия. Современные методы определения антибиотиков в лекарственных и биологических средах. Саратов : Саратовский источник, 2013. 91 с.
5. Золотов Ю. А., Иванов В. М., Амелин В. Г. Химические тест-методы анализа. М. : Эдиториал УРСС, 2002. 304 с.
6. Щетинин Е. В., Сирак С. В., Батулин В. А., Сирак А. Г., Игнатиади О. Н., Вафиади М. Ю., Петросян Г. Г., Паразян Л. А., Дыгов Э. А., Арутюнов А. В., Цховре-
тов А. И. Результаты мониторинга потребления противомикробных препаратов в амбулаторной практике // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2015. Т. 10, № 1. С. 80–84. DOI: 10.14300/mnnc.2015.10013
7. Об утверждении перечня жизненно необходимых и важнейших лекарственных препаратов на 2018 г. Распоряжение Правительства РФ от 23 октября 2017 г. № 2323-р. М., 2017.
8. Габидулина М. К., Говорухин В. А., Доронин С. Ю., Косырева И. В., Ли Е. П., Маракаева А. В., Такиаитова Э. И. Программа для обработки цветометрических параметров тест-средств в химическом анализе // Компьютерные науки и информационные технологии : материалы междунар. науч. конф. Саратов : ИЦ «Наука», 2018. С. 93–95.
9. Рудакова Л. В., Рудаков О. Б. Информационные технологии в аналитическом контроле биологически активных веществ. СПб. : Лань, 2015. 361 с.
10. Романова И. К. Современные методы визуализации многомерных данных : анализ, классификация, реализация, приложения в технических системах // Наука и образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн. 2016. № 3. С. 133–167. DOI: 10.7463/0316.0834876
11. Scott D. W. Multivariate density estimation: theory, practice, and visualization. N.Y. : John Wiley & Sons, 2015. 365 p.
12. Hansen P. W. Pre-processing method minimizing the need for reference analyses // Journal of Chemometrics : A Journal of the Chemometrics Society. 2001. Vol. 15, № 2. P. 123–131. DOI: 10.1002/1099-128X

Образец для цитирования:

Маракаева А. В., Косырева И. В. Тест-определение амоксициллина в лекарственных препаратах // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 146–151. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-146-151>

Test-Determination of Amoxicillin in Medications

A. V. Marakaeva, I. V. Kosyрева

Anastasia V. Marakaeva, <https://orcid.org/0000-0002-1378-6861>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, marakaeva_anastasiya@mail.ru

Irina V. Kosyрева, <https://orcid.org/0000-0002-7607-2292>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, i_kosyрева@mail.ru

Amoxicillin is a semi-synthetic aminopenicillin β -lactam series with a wide spectrum of antibacterial activity against many gram-positive and gram-negative microorganisms. It is included in the list of



essential drugs. Test systems for the detection and identification of amoxicillin are missing. We have obtained indicator papers with immobilized ninhydrin and p-dimethylaminobenzaldehyde for the test determination of amoxicillin. The reaction conditions were selected, depending on the temperature and time. Color scales for visual colorimetric and colorimetric determination were constructed. The values of color parameters were determined by RGB, CMYK, HSB color models, the optimal channels were selected for brightness, contrast and sensitivity. The linear dependencies of the chosen color parameters on the concentration of the antibiotic were constructed. Mathematical processing of test tools with the construction of radar charts in the coordinates of the color models R, G, B, C, M, Y, K was carried out. Linear dependencies of the parameters of the area, the perimeter of radar charts on the antibiotic concentration were obtained, allowing a quantitative assessment of the drug content. Based on the studies conducted, a simple, express method for determining the antibiotic in medicinal preparations was developed and tested. The technique was tested on two drugs in tablet form produced by Russian pharmaceutical companies.

Keywords: test definition, indicator papers, antibiotics, color models, radar charts.

References

1. Krylov Yu. F., Bobyrev V. M. *Farmakologiya* [Pharmacology]. Moscow, VUNMTs MZ RF, 1999. 352 p. (in Russian).
2. Arzamashev A. P. *Farmaceuticheskaya himiya* [Pharmaceutical Chemistry]. Moscow, Geotar, Medicina Publ., 2004. 640 p. (in Russian).
3. Egorov N. S. *Osnovy ucheniya ob antibiotikah* [Fundamentals of antibiotic theory]. Moscow, Izd-vo MGU, Nauka Publ., 2004. 524 p. (in Russian).
4. Kulapina O. I., Kulapina E. G. *Antibakterial'naya terapiya. Sovremennye metody opredeleniya antibiotikov v lekarstvennyh i biologicheskikh sredah* [Antibacterial therapy. Modern methods for the determination of antibiotics in medicinal and biological media]. Saratov, Saratovskiy istochnik Publ., 2015. 91 p. (in Russian).
5. Zolotov Yu. A., Ivanov V. M., Amelin V. G. *Himicheskie test-metody analiza* [Chemical test-methods of analysis]. Moscow, Editorial URSS, 2002. 304 p. (in Russian).
6. Shchetin E. V., Sirak S. V., Baturin V. A., Sirak A. G., Ignatiadi O. N., Vafiadi M. Yu., Petrosyan G. G., Parazyan L. A., Dydov E. A., Arutyunov A. V., Tshovrebov A. Ch. Rezul'taty monitoringa potrebleniya protivomikrobnnykh preparatov v ambulatornoy praktike [The results of monitoring the consumption of antimicrobial drugs in outpatient practice]. *Meditsinskiy vestnik Severnogo Kavkaza* [Medical Journal of the North Caucasus], 2015, vol. 10, no. 1. P. 37. (in Russian). DOI: 10.14300/mnnc.2015.10013
7. *Ob utverzhdenii perechnya zhiznenno neobhodimyyh i vazhneyshih lekarstvennykh preparatov na 2018 g. Rasporyazhenie Pravitel'stva RF ot 23 oktyabrya 2017 g. No. 2323-r.* [On Approval of the List of Essential and Essential Drugs for 2018. Decree of the Government of the Russian Federation of October 23, 2017. No. 2323-r.]. Moscow, 2017 (in Russian).
8. Gabidulina M. K., Govoruhin V. A., Doronin S. Yu., Kosyreva I. V., Li E. P., Marakaeva A. V., Takshaitova E. I. Programma dlya obrabotki cvetometricheskikh parametrov test-sredstv v himicheskoy analize [Program for processing colorimetric parameters of test-means in chemical analysis]. In: *Komp'yuternye nauki i informatsionnyye tekhnologii. Materialy mezhdunar. nauch. konf.* [Computer science and information technology. Materials of Intern. scientific conf.]. Saratov, ITs Nauka Publ., 2018, pp. 93–95 (in Russian).
9. Rudakova L. V., Rudakov O. B. *Informatsionnyye tekhnologii v analiticheskoy kontrole biologicheskii aktivnykh veshchestv* [Information technologies in the analytical control of biologically active substances]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2015. 361 p. (in Russian).
10. Romanova I. K. Sovremennyye metody vizualizatsii mnogomernyykh dannykh analiz, klassifikatsiya, realizatsiya, prilozheniya v tekhnicheskikh sistemakh [Modern methods of visualization of multidimensional data analysis, classification, implementation, applications in technical systems]. *Nauka i obrazovanie. MGTU im. N. E. Bauman. Elektron. zhurn.* [Science and Education. MGTU them. N. E. Bauman. Electron. Journals], 2016, no. 3, pp. 133–167 (in Russian). DOI: 10.7463/0316.0834876
11. Scott D. W. *Multivariate Density Estimation: Theory, Practice, and Visualization*. New York, John Wiley & Sons, 2015. 365 p.
12. Hansen P. W. Pre-processing method minimizing the need for reference analyses. *Journal of Chemometrics: A Journal of the Chemometrics Society*, 2001, vol. 15, no. 2, pp. 123–131. DOI: 10.1002/1099-128X

Cite this article as:

Marakaeva A. V., Kosyreva I. V. Test-Determination of Amoxicillin in Medications. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 146–151 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-146-151>



УДК 547.458:544

Влияние изоформы аскорбиновой кислоты на гидродинамическое поведение макромолекул аскорбата хитозана в водных растворах

О. Н. Малинкина, Н. О. Гегель, А. Б. Шиповская



Малинкина Ольга Николаевна, ассистент кафедры полимеров на базе ООО «АКРИПОЛ» Института химии, инженер отдела высокомолекулярных соединений ОНИ НС и БС, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Olga-Malinkina@yandex.ru

Гегель Наталия Олеговна, кандидат химических наук, руководитель научного проекта, Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН (Саратов); зам. начальника отдела высокомолекулярных соединений ОНИ НС и БС, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, GegelNO@yandex.ru

Шиповская Анна Борисовна, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой полимеров на базе ООО «АКРИПОЛ» Института химии, начальник отдела высокомолекулярных соединений ОНИ НС и БС, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, ShipovskayaAB@yandex.ru

Методами капиллярной вискозиметрии изучено гидродинамическое поведение макромолекул хитозана в водных растворах диастереомеров аскорбиновой кислоты (АК). Проведено сравнение данных систем с растворами хитозана в традиционных растворяющих средах: соляной и уксусной кислотах, Наацетатном буфере. Построены концентрационные зависимости числа вязкости, определены предельное число вязкости и константа Хаггинса. Установлено ухудшение термодинамического качества водно-кислотной смеси как растворителя хитозана в ряду $\text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{CH}_3\text{COONa} \rightarrow \text{AK}$, а также с повышением концентрации АК. Обнаружено влияние изомерной формы АК на вискозиметрические параметры, гидродинамический объем макромолекул и проявление ими полиэлектролитных свойств. В водных растворах *L*- и *D*-АК при одинаковом значении рН и ионной силы наиболее разбухшие клубки реализуются в присутствии *L*-АК, с добавкой NaCl – *D*-АК. Методом ИК-спектроскопии доказано формирование солевой формы хитозана при его растворении в АК, установлены различия в строении *L*- и *D*-аскорбата хитозана. СЭМ-микроскопией выявлены особенности морфологии воздушно-сухих порошков солей хитозана и АК: частицы *L*-аскорбата хитозана характеризуются более шероховатой поверхностью и менее однородной текстурной слоистостью в объеме образца по сравнению с *D*-аскорбатом хитозана. Установленные закономерности объясняются с позиции влияния изомерной формы АК на пространственную конфигурацию макромолекул *L*- и *D*-аскорбата хитозана и их гидродинамическую конформацию в водных растворах.

Ключевые слова: хитозан, *L*-(*D*)-аскорбиновая кислота, вискозиметрия, гидродинамические параметры, конформация.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-152-164>

Введение

Известно, что свойства хитозана в растворе определяются прежде всего повышенной жесткостью цепи, обусловленной β -(1,4)-гликозидными связями, наличием ионогенных аминогрупп, способных протонироваться с формированием поликатиона и вызывать полиэлектролитное набухание макроклубка, а также способностью функциональных групп образовывать внутри- и межмолекулярные водородные связи, стабилизирующие конформацию макромолекулы и приводящие к возможной ассоциации макроцепей [1–5]. Все это предопределяет весьма сложное поведение макромолекул хитозана в растворе [1, 3]. Кроме того, физико-химические характеристики полимера (молекулярная масса, степень деацелирования, полидисперсность) [6], природа выбранной кислоты для получения бикомпонентного водно-кислотного растворителя (полярность, структура, размер и функциональность аниона) [7, 8], ионная сила растворяющей смеси и добавка соли-электролита [2, 9] вносят дополнительный вклад в конформацию макромолекул хитозана и, соответственно, в их гидродинамическое поведение в растворе.

Например, авторы [6] на основании экспериментов по светорассеянию показали, что конформация макромолекул хитозана в натрий-ацетатном буфере может изменяться при увеличении молекулярной массы от формы «палочки» до гауссова клубка сравнительно большого размера. В работе [3] установили, что гидрофобные взаимодействия ацетилированных звеньев хитозана в аммониево-ацетатном буфере, т.е. в препятствующих образованию водородных связей условиях, способствуют самоассоциации макроцепей. При этом уменьшение степени деацелирования повышает жесткость макроцепи [5].

Немаловажным является и влияние природы растворяющей среды на вискозиметрические свойства растворов хитозана и конформационное состояние макромолекул. Так, в водно-кислотных растворах полимера при низкой ионной силе наблюдается полиэлектролитный эффект, выражающийся в увеличении числа вязкости при разбавлении вследствие отталкивания положи-



тельно заряженных глюкозаминных звеньев [2]. Увеличение ионной силы водно-кислотной среды, например введением соли или повышением концентрации кислоты, приводит к поджатию клубков в результате экранирования зарядов макроиона низкомолекулярными противоионами [9, 10]. Однако при высоких концентрациях соли-электролита может наблюдаться высаливание с осаждением хитозана из раствора. Ионная сила растворяющей среды определяет и реализуемое значение предельного числа вязкости раствора [11, 12], имеющего физический смысл гидродинамического объема изолированной макромолекулы [1]. Кроме того, на примере растворов хитозана в моно- и многовалентных неорганических и органических кислотах обнаружено, что процессы солеобразования при растворении полимера определяются не только значением pK кислоты, pH и ионной силой растворяющей среды, но и молекулярной структурой и объемом противоиона [7, 8].

Как правило, традиционными растворителями хитозана являются водно-кислотные растворы одноосновных неорганических (соляной) и органических (уксусной, муравьиной и т. п.) кислот [2, 9, 11, 13]. Однако использование водных растворов биологически активных органических кислот, например АК, является перспективным для практических приложений медицины и фармакологии. Так, исследования солевого комплекса аскорбата хитозана показали его специфичную адсорбцию к жирным кислотам [14, 15], селективную цитотоксичность в отношении атипичных клеток [17], высокую хелатирующую способность к тяжелым металлам и радионуклидам [18], противовоспалительную и другую биологическую активность [19–21]. При этом получение аскорбата хитозана в присутствии восстановителя посредством реакции Шиффа понижает антибактериальную активность полисоли за счет уменьшения совокупного заряда макромолекулы [20]. Таким образом, для медико-биологических приложений наиболее перспективно ионное солеобразование посредством донорно-акцепторного взаимодействия протонированных аминогрупп хитозана, ответственных за биологическую активность полимерной системы, с анионом аскорбиновой кислоты.

Вследствие наличия двух асимметричных атомов углерода существует четыре диастереомера АК, из которых коммерчески доступны два – *L*-аскорбиновая и *D*-изоаскорбиновая (эриторбиновая). *D*-изоформа не только отличается от *L*-формы температурой плавления и реакционной способностью, но и является более мощным

усилителем биодоступности железа [22]. Последнее, возможно, реализуется за счет разницы, хотя и не очень существенной, в силе этих кислот: константа диссоциации *L*-аскорбиновой – $pK_{a1} = 4.26$, а *D*-изоаскорбиновой кислоты $pK_{a1} = 4.18$.

Большая часть исследований системы на основе хитозана и аскорбиновой кислоты проведена с *L*-формой кислоты. Возможно, это объясняется классическим представлением о фармакологической активности *L*-изомера АК (витамин С). Между тем в работе [23] показаны различия в реакционной способности *L*- и *D*-АК с хитозаном и параметрах моноклинной ячейки безводных кристаллов *L*- и *D*-аскорбата хитозана. Нами были получены хиральные соли хитозана с *L*- и *D*-аскорбиновой кислотой в виде растворов, порошков и глицерогидрогелей [24–27]. Установлены принципиальные отличия не только в хирооптических характеристиках, но и в биологической активности этих солей. Оказалось, и это было неожиданным, что системы на основе хитозана и *D*-АК проявляют большую антибактериальную, противовоспалительную и ранозаживляющую активность, а также значимо повышают жизнеспособность фибробластов, чем системы на основе этого аминополисахариды и *L*-АК [25, 26].

Обнаруженные отличия могут иметь конформационную природу и нуждаются в дополнительной оценке. Одним из наиболее доступных и информативных методов исследования конформационного состояния полимерных молекул является капиллярная вискозиметрия. В связи с этим целью настоящей работы явилось изучение гидродинамического поведения макромолекул хитозана в водных растворах *L*- и *D*-АК.

Материалы и методы

Использовали образец хитозана (ХТЗ, ЗАО «Биопрогресс», РФ) со средневязкостной молекулярной массой $\bar{M}_\eta = 200$ кДа, степенью деацелирования $CD = 82$ мольн.% и влажностью $W = 8 \pm 1$ мас.%; *L*-АК (ЗАО «Мелиген», РФ); *D*-изоАК (*D*-АК, ЗАО «База химреактивов № 1», РФ); 98%-ную уксусную кислоту (CH_3COOH , ЗАО «База химреактивов № 1», РФ); 36%-ную соляную кислоту (HCl , ООО «НПО «Завод химических реагентов»», РФ); ацетат натрия тригидрат (CH_3COONa , ЗАО «База химреактивов № 1», РФ); хлорид натрия ($NaCl$, ЗАО «База химреактивов № 1», РФ); бидистиллированную воду с $pH = 6.5 \pm 0.5$. Все реактивы имели аналитическую степень чистоты и использовались без дополнительной очистки.



Для растворения ХТЗ использовали водные растворы кислот (далее будем называть их растворяющими смесями): 0.03–0.511 М *L*-(*D*-)АК без и с добавкой 0.005–0.085 М NaCl, 0.33 М CH₃COOH без и с добавкой 0.2 М CH₃COONa (натрий-ацетатный буфер, традиционно используемый для определения \bar{M}_n хитозана [11, 12]) и 0.04 N HCl. Выбор CH₃COOH и HCl обуслов-

лен широким многоплановым исследованием растворов хитозана в данных растворяющих средах [9–13]. В случае с HCl выбор концентрации 0.04 N обусловлен практически полным протонированием аминогрупп макромолекул хитозана. Физико-химические параметры используемых растворяющих смесей приведены в табл. 1.

Таблица 1 / Table 1

Физико-химические параметры водно-кислотных растворяющих смесей, используемых для приготовления растворов ХТЗ

Physicochemical parameters of aqueous-acidic solvent mixtures used for preparing CS solutions

Водно-кислотная растворяющая смесь / Aqueous-acidic solvent mixture		Физико-химический параметр / Physicochemical parameter	
Вещество / Basis	<i>C</i> , М	pH	n_D^{20}
CH ₃ COOH + CH ₃ COONa	0.33 + 0.2	4.40	1.3362
	CH ₃ COOH	0.33	3.10
	HCl	0.04	1.40
<i>D</i> -АК <i>D</i> -AscA	0.51	2.45	1.3470
	0.34	2.52	1.3417
	0.11	2.97	1.3354
	0.06	3.06	1.3340
	0.03	3.15	1.3338
<i>L</i> -АК <i>L</i> -AscA	0.51	2.23	1.3472
	0.34	2.41	1.3418
	0.11	2.63	1.3356
	0.06	2.74	1.3343
	0.03	2.95	1.3340

Ионную силу (*I*, мМ) растворяющей среды рассчитывали по формуле (1):

$$I = 0.5 \sum C_i \cdot Z_i^2, \quad (1)$$

где *C_i* – молярная концентрация отдельных ионов (с учетом константы диссоциации для слабых электролитов), *Z_i* – заряд иона.

Приготовление исходных растворов ХТЗ проводили диспергированием воздушно-сухой навески порошка полимера (с учетом влажности) в расчетном объеме растворяющей смеси на магнитной мешалке в течение 30 мин с последующим выдерживанием в течение 1 сут при 20 ± 2° С до полного растворения полимера. Растворы ХТЗ в *L*-(*D*-)АК готовили в отсутствие естественного освещения. Непосредственно перед измерением растворы фильтровали через фильтр Шотта № 160. Во всех экспериментах использовали свежеприготовленные растворы полимера.

Порошки солей хитозана (ХТЗ · *L*-(*D*-)АК) выделяли из соответствующих свежеприготовленных растворов при эквимольном соотношении ХТЗ : *L*-(*D*-)АК (с учетом СД полимера) на лабораторном лиофилизаторе VirTis 2KBTES-55 (SP Scientific, США) при –55° С и 495–390 м торр в течение 1 сут.

Гравиметрические измерения проводили на аналитических весах «ОНАУС» SC 2020 (ОНАУС, США), точность взвешивания ±0.0001 г. Водородный показатель (pH) измеряли на pH-метре Mettler Toledo Five Easy FE20 pH-meter (MTD, Сингапур). Показатель преломления (n_D^{25}) определяли на рефрактометре Mettler Toledo RM40 (MTD, Сингапур).

Вискозиметрические исследования проводили в вискозиметре Уббелодде с диаметром капилляра 0.56 мм при 25° С. Точность определения времени истечения составляла ±0.1 с. Число вязкости ($\eta_{уд}/C_{II}$, дл/г) рассчитывали по формуле (2):



$$\frac{\eta_{уд}}{C_{II}} = \frac{t - t_0}{t_0} \cdot C_{II}, \quad (2)$$

где t и t_0 – время истечения раствора полимера и растворяющей смеси, с; C_{II} – концентрация раствора полимера, г/дл. В случае наблюдения прямолинейной зависимости $\eta_{уд}/C_{II} = f(C_{II})$ определение предельного числа вязкости ($[\eta]$, дл/г) проводили по уравнению Хаггинса (3) при условии $[\eta] = \lim_{C_{II} \rightarrow 0} \left(\frac{\eta_{уд}}{C_{II}} \right)$, криволинейной – по уравнению Фуосса (4), $[\eta]^{-1} = \lim_{\sqrt{C_{II}} \rightarrow 0} \left(\frac{\eta_{уд}}{C_{II}} \right)^{-1}$ соответственно.

$$\eta_{уд} = [\eta] \cdot C_{II} + k_X \cdot ([\eta] \cdot C_{II})^2, \quad (3)$$

$$\eta_{уд}^{-1} = ([\eta] \cdot C_{II})^{-1} + B \cdot ([\eta] \cdot \sqrt{C_{II}})^{-1}, \quad (4)$$

где k_X и B – константы Хаггинса и Фуосса соответственно.

ИК-спектры регистрировали на ИК-спектрометре Nicolet 6700 FT-IR (Thermo Scientific, США) с разрешением 4 см^{-1} , используя усреднение из 32 сканов в диапазоне $4000 \div 500 \text{ см}^{-1}$ методом НПВО.

СЭМ-изображения получали на сканирующем электронном микроскопе MIRA\LMU (Tescan, Чехия) при напряжении 7 кВ и проводящем токе 400 рА. На образец напыляли слой золота толщиной 5 нм на установке K450X Carbon Coater (Германия).

Результаты и их обсуждение

Растворение хитозана в водно-кислотной среде сопровождается формированием солевой формы этого аминополисахарид. При этом размер макромолекулярного клубка полисоли и гидродинамическое поведение ее макромолекул определяются в первую очередь природой используемой кислоты и ионной силой среды. Поэтому на первом этапе исследовали влияние природы растворяющей смеси, оценивая вискозиметрические параметры макромолекул ХТЗ в водных растворах *L*- и *D*-АК в сравнении с традиционными системами, используемыми для растворения хитозана.

На рис. 1 показаны концентрационные зависимости числа вязкости исследуемых растворов. Видно, что в 0.03 М *L*- и *D*-АК макромолекулы ХТЗ проявляют полиэлектролитные свойства: число вязкости ($\eta_{уд}/C_{II}$) увеличивается при разбавлении раствора (кривые 1–2). Этот эффект объясняется полиэлектролитным набуханием макрокатиона: при разбавлении уменьшается экранирование фиксированных зарядов и возрас-

тает их взаимное отталкивание, что и приводит к увеличению $\eta_{уд}/C_{II}$. В 0.33 М CH_3COOH , 0.04 Н НСl и 0.33 М $\text{CH}_3\text{COOH} + 0.2 \text{ М } \text{CH}_3\text{COONa}$ полиэлектролитный эффект подавлен: зависимость $\eta_{уд}/C_{II} = f(C_{II})$ прямолинейна и аналогична зависимости для незаряженных полимеров (прямые 3–5). Растворы ХТЗ различаются также значениями $\eta_{уд}/C_{II}$ (см. рис. 1) и константы Хаггинса (табл. 2). При этом значения k_X растворов ХТЗ в 0.33 М $\text{CH}_3\text{COOH} + 0.2 \text{ М } \text{CH}_3\text{COONa}$ и НСl согласуются с известными в литературе для растворов других образцов ХТЗ с \bar{M}_n , близкой к используемому в настоящей работе образцу, в тех же растворителях [9, 11].

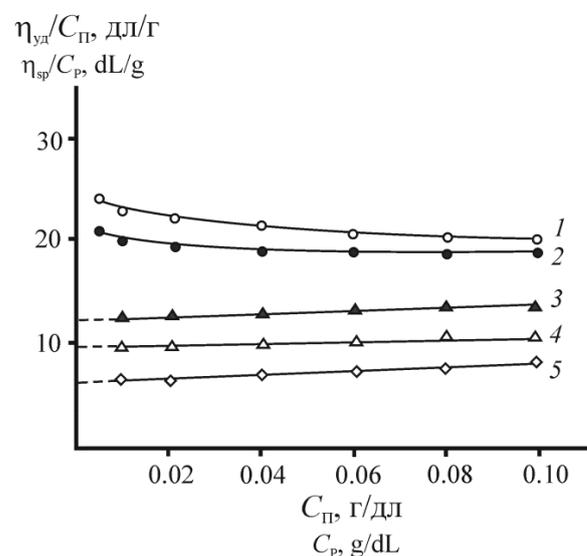


Рис. 1. Концентрационная зависимость числа вязкости растворов ХТЗ в 0.03 М *L*- (1) и *D*-АК (2), 0.33 М CH_3COOH (3), 0.04 Н НСl (4) и 0.33 М $\text{CH}_3\text{COOH} + 0.2 \text{ М } \text{CH}_3\text{COONa}$ (5), 25° С

Fig. 1. Concentration dependence of the viscosity number of CS solutions in 0.03 M *L*- (1) and *D*-AscA (2), 0.33 M CH_3COOH (3), 0.04 N HCl (4) and 0.33 M $\text{CH}_3\text{COOH} + 0.2 \text{ M } \text{CH}_3\text{COONa}$ (5), 25° C

Полученные результаты указывают на различное конформационное поведение макромолекул ХТЗ в данных растворяющих смесях, что подтверждается и значениями предельного числа вязкости $[\eta]$ исследуемых растворов (табл. 2). Как и следовало ожидать, реализуемые значения $[\eta]$ зависят от ионной силы растворяющей среды. При малом значении I вследствие электростатического отталкивания одноименно заряженных звеньев, формируются разбухшие макромолекулярные клубки сравнительно большого размера. При повышении I происходит компактизация



макроклубков, обусловленная экранированием протонированных аминогрупп полимера низкомолекулярными анионами. Такое поведение

согласуется с классическими представлениями об электростатической природе разбухания макромолекул ионогенного полимера [1].

Таблица 2 / Table 2

Влияние ионной силы растворяющей смеси на значение предельного числа вязкости и константы Хаггинса водных растворов ХТЗ
Effect of the ionic strength of the solvent mixture on the intrinsic viscosity and the Huggins constant of aqueous CS solutions

Растворяющая смесь / Solvent mixture	$I, \text{ mM} / I, \text{ mM}$	$[\eta], \text{ дл/г} / [\eta], \text{ dL/g}$	k_X / k_H
0.03 M L-AK / 0.03 M L-AscA	1.6	25.5 ²	–
0.03 M D-AK / 0.03 M D-AscA	1.6	21.6 ²	–
0.33 M CH ₃ COOH	2.4	12.8 ¹	0.09
0.04 N HCl / 0.04 N HCl	35.2	10.0 ¹	0.05
0.33 M CH ₃ COOH + 0.2 M CH ₃ COONa	200.0	6.3 ¹	0.12

Примечание. ^{1, 2} – $[\eta]$ определено по уравнению (3) и (4) соответственно.

Note. ^{1, 2} – $[\eta]$ was calculated by Eq. (3) and (4), respectively.

Обращает на себя внимание тот факт, что, несмотря на одинаковые значения I водных растворов изоформ АК, характеризующихся и близкими значениями pK_{a1} , значения $[\eta]$ растворов ХТЗ в L-AK несколько больше, чем в D-AK (см. табл. 2). Это позволяет предположить, что на размеры и, соответственно, гидродинамическое поведение макромолекул ХТЗ в водном растворе L- и D-AK существенное влияние оказывает и пространственная конфигурация противоиона. Для выяснения данного предположения на следующем этапе оценивали влияние ионной силы данной растворяющей смеси, задаваемой варьированием

концентрации L-(D)-АК, на вискозиметрические параметры макромолекул.

Оказалось, что концентрационные зависимости числа вязкости растворов ХТЗ в L- и D-AK концентрации $C_{AK} = 0.03–0.51$ М существенно различаются (рис. 2). Так, во всем исследуемом диапазоне концентраций L-AK проявляется ярко выраженный эффект полиэлектролитного набухания макромолекул (см. рис. 2, а). В случае растворов ХТЗ в D-AK данный эффект наблюдается только при концентрации кислоты 0.03 М (см. рис. 2, б, кривая 1). При $C_{D-AK} = 0.06–0.11$ М наблюдается поведение, характерное для макро-

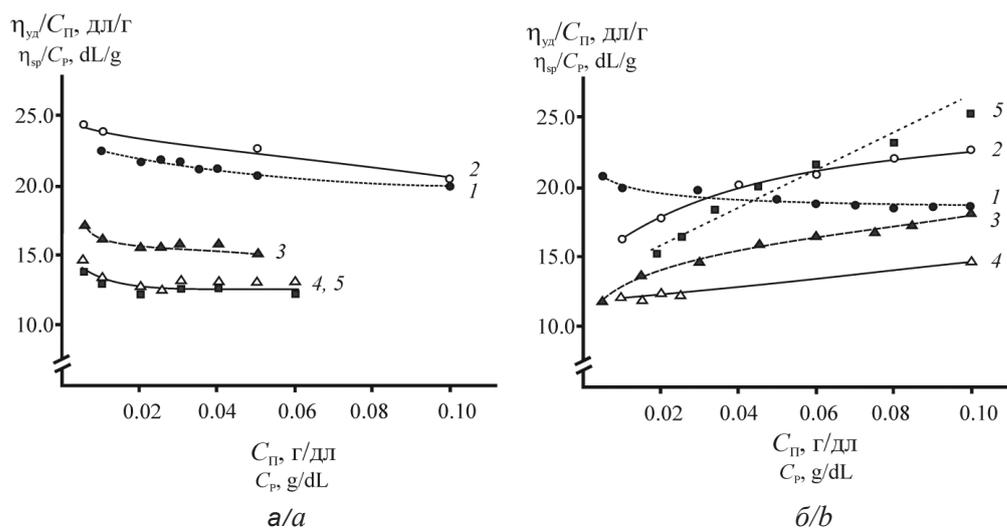


Рис. 2. Концентрационная зависимость числа вязкости растворов ХТЗ в L- (а) и D-AK (б) с концентрацией АК 0.03 (1), 0.06 (2), 0.11 (3), 0.34 (4) и 0.51 М (5), 25° С

Fig. 2. Concentration dependence of the viscosity number of CS solutions in L- (a) and D-AscA (b) with the AscA concentration 0.03 (1), 0.06 (2), 0.11 (3), 0.34 (4) and 0.51 М (5), 25° С



ионов с частичной компенсацией заряда (см. рис. 2, б, кривые 2, 3), когда создаваемое низкомолекулярными противоионами значение ионной силы растворяющей смеси недостаточно для полной нейтрализации совокупного заряда макромолекулы [1, 28]. В растворе ХТЗ с $C_{D-АК} = 0.34-0.51$ М заряд макрокатиона, по-видимому, практически скомпенсирован и зависимость $\eta_{уд}/C_{\Pi} = f(C_{\Pi})$ прямолинейна (см. рис. 2, б, прямые 4, 5). Обращает на себя внимание то, что при прочих равных условиях значения $\eta_{уд}/C_{\Pi}$ растворов ХТЗ в L-АК практически во всех случаях выше, чем в D-АК. В наибольшей степени эти различия проявляются в растворах ХТЗ малой концентрации, $C_{\Pi} < 0.04-0.05$ г/дл.

Предельное число вязкости водных растворов ХТЗ в L- и D-АК закономерно уменьшается с увеличением концентрации кислоты и, соответственно, ионной силы среды (рис. 3, а, табл. 3). При $C_{АК} > \sim 0.2 - 0.3$ М масштаб уменьшения $[\eta] = f(C_{АК})$ существенно понижается и в диапазоне 0.34–0.51 М D-АК ($I = 5.2-6.4$ мМ) размеры макромолекулярных клубков близки к реализуемым в 0.33 М CH_3COOH ($I = 2.4$ мМ, см. табл. 2). Значения $[\eta]$, как и значения $\eta_{уд}/C_{\Pi}$ растворов ХТЗ в L-АК выше, чем в D-АК.

На примере растворов хитозана в D-АК установлено практически трехкратное увеличение константы Хаггинса с повышением концентрации кислоты (см. табл. 3), что может свидетельствовать об ухудшении термодинамического качества данной водно-кислотной растворяющей смеси с повышением ее ионной силы. Константу $k_{\text{Х}}$ растворов хитозана в L-АК определить не удалось. Тем не менее аналогичное поведение должно выполняться и для данной системы, но, вероятно, при более высоких $C_{АК}$.

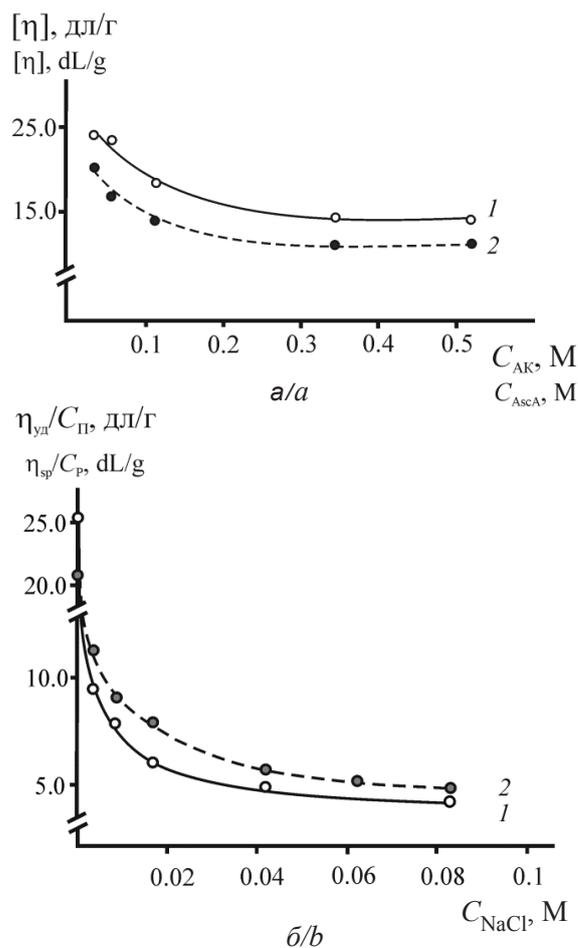


Рис. 3. Зависимости: а – предельного числа вязкости растворов ХТЗ в L- (1) и D-АК (2) от концентрации АК; б – числа вязкости 0.01 г/дл раствора ХТЗ в 0.03 М L- (1) и D-АК (2) от концентрации NaCl; 25° С

Fig. 3. Dependence of: a – the intrinsic viscosity of the CS solution in L- (1) and D-AscA (2) on the AscA concentration; b – the viscosity number of the 0.01 g/dL CS solution in 0.034 M D- (1) and L-AscA (2) on the NaCl concentration; 25° C

Таблица 3 / Table 3

Влияние концентрации и ионной силы водных растворов АК на значения предельного числа вязкости и константы Хаггинса растворов ХТЗ в L- и D-АК
Effect of the concentration and ionic strength of AscA on the intrinsic viscosity and the Huggins constant of CS solutions in L- and D-AscA

Концентрация АК, М / AscA concentration, M	I, мМ I, mM	[η], дл/г ([η], dL/g)		$k_{\text{Х}}$ (k_{Π})	
		L-АК L-AscA	D-АК D-AscA	L-АК L-AscA	D-АК D-AscA
0.03	1.6	25.5 ²	21.6 ²	–	–
0.06	2.1	24.0 ²	16.5 ¹	–	0.25
0.11	3.0	18.5 ²	13.0 ¹	–	0.37
0.34	5.2	14.4 ²	11.6 ¹	–	0.22
0.51	6.4	13.3 ²	11.5 ¹	–	0.63

Примечание. ^{1,2} – [η] определено по уравнению (3) и (4) соответственно.
 Note. ^{1,2} – [η] was calculated by Eq. (3) and (4), respectively.



Обращает на себя внимание то, что значения k_X растворов ХТЗ в АК существенно выше реализуемых в традиционных растворяющих смесях (см. табл. 2 и 3). Сопоставление значений k_X обнаруживает ухудшение термодинамического качества используемых в работе растворителей ХТЗ в ряду $\text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa} \rightarrow \text{АК}$.

Таким образом, обнаруженные особенности гидродинамического поведения макромолекул ХТЗ в водных растворах *L*- и *D*-АК разной концентрации указывают на различия не только в размере макроклабков, но и в их совокупном объемном заряде. Нейтрализация макрокатиона реализуется при разных концентрациях *L*- и *D*-АК. Кроме того, энергетика растворения хитозана в *L*- и *D*-АК также различна.

На следующем этапе исследовали вискозиметрические параметры макромолекул *L*- и *D*-аскорбата ХТЗ в условиях частичного или полного подавления полиэлектролитного набухания клубков при варьировании ионной силы введением низкомолекулярной соли NaCl (см. рис. 3, б). Выбор для проведения данного исследования $C_{\text{II}}=0.01$ г/дл и $C_{\text{АК}}=0.03$ М обусловлен максимально реализуемыми в принятых условиях эксперимента различиями в значениях $\eta_{\text{уд}}/C_{\text{II}}$ растворов ХТЗ в *L*-(*D*-)АК (см. рис. 2) и гидродинамического объема макромолекулы (см. табл. 3) при наименьшем значении *I*.

Характер концентрационной зависимости числа вязкости при варьировании C_{NaCl} подобен зависимости $[\eta]=f(C_{\text{АК}})$ (см. рис. 3). В обоих случаях повышение ионной силы среды приводит к поджатию макромолекулярных клубков. Как и следовало ожидать, в отличие от повышения

ионной силы варьированием $C_{\text{АК}}$, увеличение *I* введением NaCl понижает $\eta_{\text{уд}}/C_{\text{II}}$ в большей степени. В диапазоне $C_{\text{NaCl}} \approx 0.04 - 0.08$ М значения числа вязкости растворов ХТЗ в *L*-(*D*-)АК сопоставимы с таковыми в натрий-ацетатном буфере (см. рис. 1, прямая 5), а также с таковыми для полужесткоцепных неионогенных полисахаридов, например эфиров целлюлозы [29]. Стало быть, при высокой концентрации соли происходит экранирование заряда поликатиона и гидродинамическое поведение аналогично незаряженным полимерным цепям. При $C_{\text{NaCl}} > \sim 0.09$ М происходит высаливание и фазовое разделение полимерной системы. Кроме того, как и в случае $[\eta]=f(C_{\text{АК}})$, зависимость $\eta_{\text{уд}}/C_{\text{II}}=f(C_{\text{NaCl}})$ показывает влияние изомерной формы *L*- и *D*-АК на показатели вязкости. Однако, в отличие от водно-кислотных растворов (см. рис. 2), в случае с водно-кислотно-солевыми значения $\eta_{\text{уд}}/C_{\text{II}}$ выше для ХТЗ в *D*-АК (см. рис. 3, б).

В совокупности полученные результаты показывают существенное влияние геометрии противоиона на гидродинамическое поведение макромолекул аскорбата хитозана в водной среде. Известно, что диастереомеры АК (раствор, кристалл) различаются характером меж- и внутримолекулярного взаимодействия. Так, для *L*-АК предпочтительно образование межмолекулярных контактов, а для *D*-АК – внутримолекулярных водородных связей между гидроксогруппами при C3 и C5 (рис. 4) [30]. Это приводит к различиям в температуре плавления диастереомеров *L*- и *D*-АК, их растворимости в воде [30], а также энергетике взаимодействия с ХТЗ при солеобразовании [31], что неизбежно должно отразиться на пространственном строении полисолей ХТЗ · *L*-(*D*-)АК.

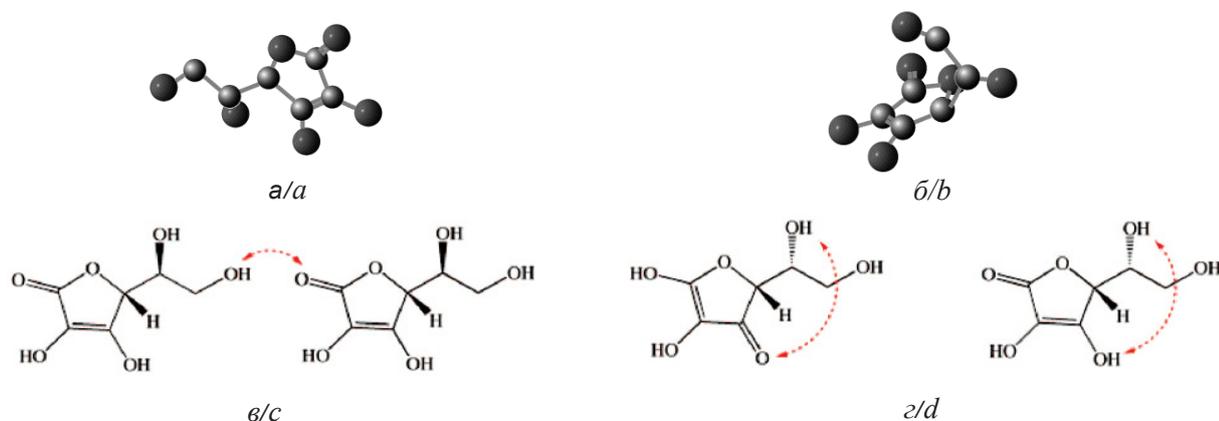


Рис. 4. Изображение пространственной структуры молекул *L*- (а) и *D*-АК (б). Меж- и внутримолекулярные взаимодействия (красные пунктирные стрелки) в диастереомерах *L*- (в) и *D*-АК (г) [30]

Fig. 4. The image of the spatial structure of molecules *L*- (a) and *D*-Ascorbic Acid (b). Inter- and intramolecular interactions (red dotted arrows) in *L*- (c) and *D*-Ascorbic Acid (d) diastereomers [30]



На рис. 5 представлены ИК-спектры порошков ХТЗ · *L*-(*D*-)АК и исходных компонентов. ИК-спектр ХТЗ (см. рис. 5, а, кривая 1) показывает все характеристические частоты колебаний $-\text{NH}_2$ (1315 см^{-1} , Амид III; 759 см^{-1}), $-\text{OH}$ (1249 и 1416 см^{-1}), $-\text{NHCO}$ - групп (1638 см^{-1} , Амид I) и глюкопиранозного кольца (1149 – 1033 см^{-1}) [1, 20, 32]. В ИК-спектрах ХТЗ · *L*-(*D*-)АК появляется характерная для деформационных колебаний протонированных аминогрупп $-\text{NH}_3^+$ полоса при 1537 см^{-1} (Амид II) [33]. Особенностью ХТЗ · *D*-АК является уширение и увеличение интенсивности полосы валентных колебаний

групп $>\text{N}-\text{H}$ и $-\text{O}-\text{H}$ в области 3550 – 3400 см^{-1} по сравнению с ХТЗ (см. рис. 5, а, кривая 3), а в случае ХТЗ · *L*-АК – сужение и уменьшение ее интенсивности (см. рис. 5, а, кривая 2). Кроме того, в отличие от ХТЗ · *D*-АК, для ХТЗ · *L*-АК наблюдаются сдвиги полос поглощения Амид I и $>\text{C}=\text{O}$ кислотного остатка в область низких частот. Это согласуется с ИК-спектрами индивидуальных диастереомеров *L*- и *D*-АК, отличающихся отсутствием полосы поглощения группы $-\text{OH}$ при С-3 для *D*-АК, вовлеченных в образование внутримолекулярных водородных связей $\text{C}-3\cdots\text{C}-5$ (см. рис. 5, б) [34, 35].

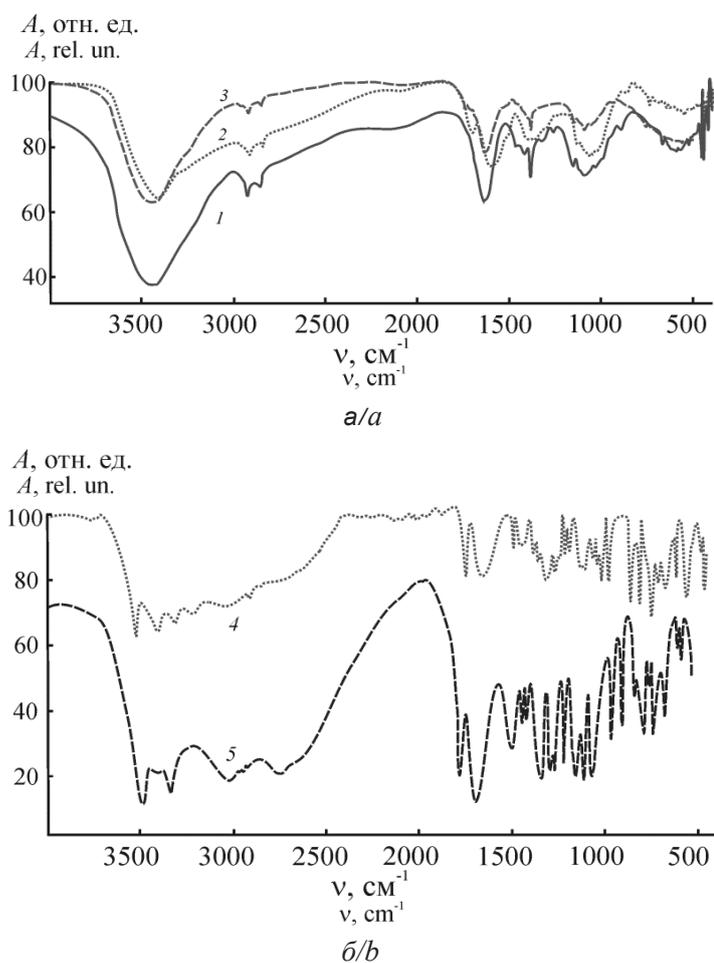


Рис. 5. ИК-спектры: а – ХТЗ (1), ХТЗ·*L*-АК (2), ХТЗ·*D*-АК (3); б – *L*-АК (4) и *D*-АК (5)
 Fig. 5. IR spectra: а – CS (1), CS·*L*-AscA (2), CS·*D*-AscA (3); б – *L*-AscA (4) and *D*-AscA (5)

Таким образом, ИК-спектроскопия не только подтверждает солеобразование при растворении ХТЗ в АК, но и выявляет отличительные особенности *L*- и *D*-аскорбатов хитозана. Исходя из полученных результатов представляется возможным объяснить специфику гидродинамиче-

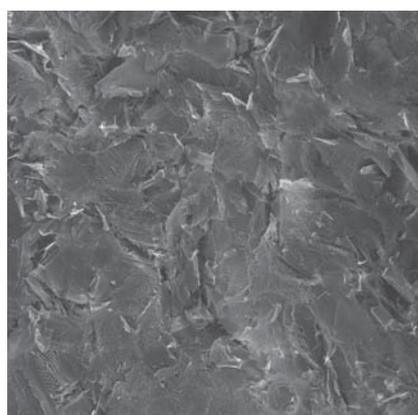
ского поведения макромолекул ХТЗ в водных растворах *L*-(*D*-)АК (см. рис. 2 и 3). В водно-кислотной среде гидродинамический объем макромолекулярного клубка аскорбата хитозана в большей степени определяется способностью диастереоизомера к образованию меж-



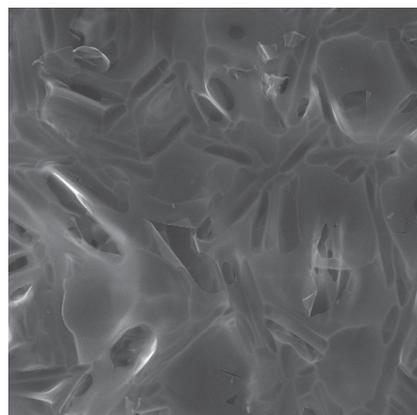
или внутримолекулярных Н-связей (*D*-АК). В водно-кислотно-солевой среде пространственная конфигурация *D*-АК в составе полисоли создает стерические затруднения при компактизации и, как следствие, приводит к реализации больших по размеру макромолекулярных клубков.

Различия в пространственной структуре полисолей ХТЗ · *L*-(*D*-)АК проявляются и в

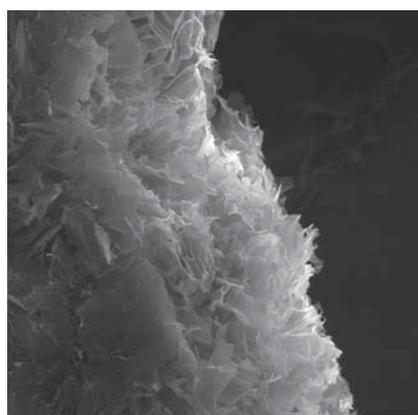
морфологии их воздушно-сухих образцов. Несмотря на то что обе полисоли характеризуются сложным поверхностным рельефом и слоистой укладкой надмолекулярных элементов полимерной матрицы в объеме образца, частицы порошка ХТЗ · *L*-АК имеют более шероховатую поверхность и менее однородную текстурную слоистость в сравнении с ХТЗ · *D*-АК (рис. 6).



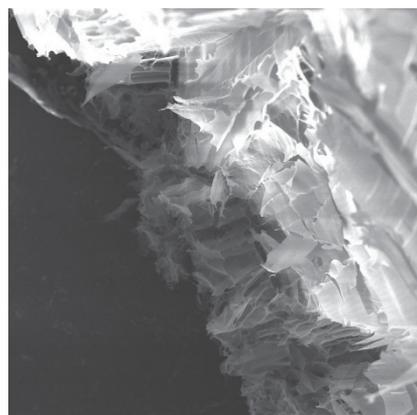
a/a



b/c



c/b



d/c

Рис. 6. СЭМ-изображения морфологии поверхности (*a*, *b*) и излома (*c*, *d*) частиц воздушно-сухих порошков ХТЗ · *L*-АК (*a*, *b*) и ХТЗ · *D*-АК (*c*, *d*)

Fig. 6. SEM images of the surface morphology (*a*, *c*) and fracture (*b*, *d*) of air-dry particles of CS · *L*-AscA (*a*, *b*) and CS · *D*-AscA (*c*, *d*)

Заклучение

Исследование водных растворов хитозана в *L*- и *D*-АК разной концентрации без и с добавкой NaCl (соли-электролита нейтрального типа) показало существенные различия в гидродинамическом поведении макромолекул. В зависимости от концентрации АК и ионной силы среды растворы ХТЗ проявляют полиэлектролитные свойства с реализацией максимально разбухшего поликатиона либо с частично компенсированным

зарядом, а также показывают характерную для макромолекул ионогенного полимера с практически полностью экранированным зарядом прямолинейную концентрационную зависимость числа вязкости. При этом при прочих равных условиях существенное влияние на конформационное состояние макроцепей оказывает и изомерная форма противоиона. Так, значения рН водных растворов *L*- и *D*-АК различаются не существенно, а ионной силы – одинаковые. Тем



не менее во всем исследуемом диапазоне концентраций *L*-АК хитозан проявляет эффект полиэлектролитного набухания макромолекулярного клубка и характеризуется большими размерами макромолекул в сравнении с *D*-АК. В случае с водно-кислотно-солевой смесью наибольший гидродинамический объем «нейтрализованного» макромолекулярного клубка реализуется в растворах *D*-АК. Обнаруженные особенности гидродинамических свойств обусловлены пространственной конфигурацией *L*- и *D*-АК в составе полисоли. Кроме того, стереоизомерия кислотного остатка отражается и на надмолекулярном упорядочении воздушно-сухих порошков *L*- и *D*-аскорбата хитозана. Установленные различия в вискозиметрических параметрах и, соответственно, в конформационных особенностях могут явиться основой для понимания высокой биологической активности соли гидрохлорида хитозана и *D*-аскорбиновой кислоты.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 17-73-10076 «Хиральные полимерные матрицы: получение, физико-химические свойства, взаимодействие с биообъектами»).

Список литературы

1. *Rinaudo M.* Physicochemical behaviour of semi-rigid biopolymers in aqueous medium // *Food Hydrocolloids*. 2017. Vol. 68. P. 122–127. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.09.015
2. *Cho J., Heuzy M. C., Bégin A., Carreau P. J.* Viscoelastic properties of chitosan solutions: Effect of concentration and ionic strength // *J. Food Eng.* 2006. Vol. 74, № 4. P. 500–515. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.01.047
3. *Schatz C., Viton C., Delair T., Pichot C., Domard A.* Typical physicochemical behaviors of chitosan in aqueous solution // *Biomacromol.* 2003. Vol. 4, № 3. P. 641–648. DOI: 10.1021/bm025724c
4. *Anthonsen M. W., Varum K. M., Smidsrod O.* Solution properties of chitosans: conformation and chain stiffness of chitosans with different degrees of N-acetylation // *Carbohydr. Polym.* 1993. Vol. 22, № 3. P. 193–201. DOI: 10.1016/0144-8617(93)90140-Y
5. *Desbrieves J.* Viscosity of semiflexible chitosan solution: Influence of concentration, temperature, and role of intermolecular interactions // *Biomacromol.* 2002. Vol. 3, № 2. P. 342–349. DOI: 10.1021/bm010151+
6. *Berth G., Dautzenberg H., Peter M. G.* Physico-chemical characterization of chitosans varying in degree of acetylation // *Carbohydr. Polym.* 1998. Vol. 36, № 2–3. P. 205–216. DOI: 10.1016/S0144-8617(98)00029-0
7. *Hamdine M., Heuzy M. C., Bégin A.* Effect of organic and inorganic acids on concentrated chitosan solutions and gels // *Intern. J. Biol. Macromol.* 2005. Vol. 37, № 3. P. 134–142. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2005.09.009
8. *Shamov M. V., Bratskaya S. Y., Avramenko V. A.* Interaction of carboxylic acids with chitosan: effect of pK and hydrocarbon chain length // *J. Colloid Interface Sci.* 2002. Vol. 249. P. 316–321. DOI: 10.1006/jcis.2002.8248
9. *Costa C. N., Teixeira V. G., Delpech M. C., Souza J. V. S., Costa M. A.* Viscometric study of chitosan solutions in acetic acid/sodium acetate and acetic acid/sodium chloride // *Carbohydr. Polym.* 2015. Vol. 133. P. 245–250. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.06.094
10. *Eich A., Wolf B. A.* Intrinsic viscosities of polyelectrolytes: determination and modeling of the effects of extra salt // *ChemPhysChem.* 2011. Vol. 12, № 15. P. 2786–2790. DOI: 10.1002/cphc.201100439
11. *Колсанова Е. В., Орозалиев Э. Э., Шиповская А. Б.* Вискозиметрические свойства растворов хитозана в уксусной кислоте и натрий-ацетатном буфере // *Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2014. Т. 14, вып. 2. С. 5–9.
12. *Kasaai M. R.* Calculation of Mark – Houwink – Sakurada (MHS) equation viscometric constants for chitosan in any solvent–temperature system using experimental reported viscometric constants data // *Carbohydr. Polym.* 2007. Vol. 68, № 3. P. 477–488. DOI: 10.1016/j.carbpol.2006.11.006
13. *Кулиш Е. И., Туктарова И. Ф., Чернова В. В., Абзалдинов Х. С., Заиков Г. Е.* Метод вискозиметрии как способ оценки конформационного состояния хитозана в растворе // *Вестник Казан. технол. ун-та.* 2013. № 14. С. 140–143.
14. *Osman M., Fayed S. A., Ghada I. M., Romeilah R. M.* Protective effects of chitosan, ascorbic acid and gymnema sylvestre against hypercholesterolemia in male rats // *Aust. J. Basic Appl. Sci.* 2010. Vol. 4, № 1. P. 89–98.
15. *Kanauchi O., Deuchi K., Imasato Y., Kobayashi E.* Increasing effect of a chitosan and ascorbic acid mixture on fecal dietary fat excretion // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 1994. Vol. 58, № 9. P. 1617–1620. DOI: 10.1271/bbb.58.1617
16. *Tsujikawa T., Kanauchi O., Andoh A., Saotome T., Sasaki M., Fujiyama Y., Bamba T.* Supplement of a chitosan and ascorbic acid mixture for Crohn’s disease // *Nutrition.* 2003. Vol. 19, № 2. P. 137–139. DOI: 10.1016/S0899-9007(02)00958-9
17. *Rajendran K., Vallinayagam S., Deepak V., Mahadevan S.* Synthesis and characterization of chitosan ascorbate nanoparticles for therapeutic inhibition for cervical cancer and their *in silico* modeling // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2018. Vol. 62. P. 239–249. DOI: 10.1016/j.jiec.2018.01.001
18. *Muzzarelli R. A. A.* Removal of uranium from solutions and brines by a derivative of ascorbic acid and chitosan // *Carbohydr. Polym.* 1985. Vol. 5, № 2. P. 85–89. DOI: 10.1016/0144-8617(85)90026-8
19. *Yanagiguchi K.* Wound healing following direct pulp capping with chitosan-ascorbic acid complex in rat incisors // *Korean Chitin Chitosan Journal.* 2000. Vol. 5, № 3. P. 182–182.



20. Hafsa J., Charfeddine B., Smach M. A., Limem K., Majdoub H., Sonia R. Synthesis, characterization, antioxidant and antibacterial properties of chitosan ascorbate // Intern. J. Pharm. Chem. Biol. Sci. 2014. Vol. 4, № 4. P. 1072–1081.
21. Muzzarelli R., Biagini G., Pugnali A., Filippini O., Baldassarre V., Castaldini C., Rizzoli C. Reconstruction of parodontal tissue with chitosan // Biomaterials. 1989. Vol. 10, № 9. P. 598–603. DOI: 10.1016/0142-9612(89)90113-0
22. Fidler M. C., Davidsson L., Zeder C., Hurrell R. F. Erythorbic acid is a potent enhancer of nonheme-iron absorption // Am. J. Clin. Nutr. 2004. Vol. 79, № 1. P. 99–102. DOI: 10.1093/ajcn/79.1.99
23. Ogawa K., Nakata K., Yamamoto A., Nitta Y., Yui T. X-ray study of chitosan L- and D-ascorbates // Chem. Mater. 1996. Vol. 8. P. 2349–2351. DOI: 10.1021/cm9601751
24. Шиповская А. Б., Зудина И. В., Фомина В. И., Малинкина О. Н. Новые антимицробные препараты на основе комплексных солей хитозана с хиральным органическим лигандом // Бутлеровские сообщения. 2015. Т. 41, № 3. С. 82–94.
25. Gegel N. O., Zhuravleva Yu. Yu., Shipovskaya A. B., Malinkina O. N., Zudina I. V. Influence of chitosan ascorbate chirality on the gelation kinetics and properties of silicon-chitosan-containing glycerohydrogels // Polymers. 2018. Vol. 10, № 3. P. 259. DOI: 10.3390/polym10030259
26. Гегель Н. О., Зудина И. В., Малинкина О. Н., Шиповская А. Б. Влияние изомерной формы аскорбиновой кислоты на антибактериальную активность ее солей с хитозаном // Микробиология. 2018. Т. 87, № 5. С. 618–623. DOI: 10.1134/S0026261718050107
27. Журавлева Ю. Ю., Малинкина О. Н., Гегель Н. О., Голядкина А. А., Шиповская А. Б. Физико-механические свойства кремнийхитозансодержащих глицеро-гидрогелевых пластин на основе L- и D-аскорбата хитозана // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2018. Т. 18, вып. 2. С. 154–162. DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-154-162
28. Луговицкая Т. Н., Шиповская А. Б. Физико-химические свойства водных растворов L-аспарагиновой кислоты с добавкой хитозана // Журнал общей химии. 2017. Т. 87, № 4. С. 650–656. DOI: 10.1134/S1070363217040193
29. Шиповская А. Б., Щеголев С. Ю. Фазовый анализ и оптическая активность систем эфир целлюлозы – мезофазогенный растворитель. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2014. 266 с.
30. Ambrosi M., Nostro P. L., Fratini E., Giustini L., Ninham B. W., Baglioni P. Effect of headgroup chirality in nanoassemblies. Part 1. Self-assembly of D-isoascorbic acid derivatives in water // J. Phys. Chem. B. 2009. Vol. 113, № 5. P. 1404–1412. DOI: 10.1021/jp8092644
31. Горячева В. А., Шиповская А. Б. Калориметрическое исследование растворения хитозана в водных растворах L- и D-аскорбиновой кислоты // Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии : сб. науч. тр. XII Всерос. конф. молодых ученых с междунар. участием 2017. Саратов : Саратовский источник, 2017. С. 130–132.
32. Малинкина О. Н., Провозина А. А., Шиповская А. Б. Оценка химического взаимодействия гидрохлорида хитозана с аскорбиновой кислотой методами ИК- и ЯМР-спектроскопии // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2014. Т. 14, вып. 3. С. 20–27.
33. Singh J., Dutta P. K. Spectroscopic and conformational study of chitosan acid salts // J. Polym. Res. 2009. Vol. 16. P. 231–238. DOI: 10.1007/s10965-008-9221-3
34. Yadav R. A., Rani P., Kumar M., Singh R., Singh P., Singh N. P. Experimental IR and Raman spectra and quantum chemical studies of molecular structures, conformers and vibrational characteristics of L-ascorbic acid and its anion and cation // Spectrochim. Acta A. 2011. Vol. 84, № 1. P. 6–21. DOI: 10.1016/j.saa.2011.07.043
35. Dolle C., Magrone P., Riva S., Ambrosi M., Fratini E., Peruzzi N., Nostro P. L. Symmetric and asymmetric bolaamphiphiles from ascorbic acid // J. Phys. Chem. B. 2011. Vol. 115, № 40. P. 11638–11649. DOI: 10.1021/jp204920y

Образец для цитирования:

Малинкина О. Н., Гегель Н. О., Шиповская А. Б. Влияние изоформы аскорбиновой кислоты на гидродинамическое поведение макромолекул аскорбата хитозана в водных растворах // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 152–164. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-152-164>

Influence of Ascorbic Acid Isoforms on the Hydrodynamic Behavior of Chitosan Ascorbate Macromolecules in Aqueous Solution

O. N. Malinkina, N. O. Gegel, A. B. Shipovskaya

Olga N. Malinkina, <https://orcid.org/0000-0002-4912-1036>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, Olga-Malinkina@yandex.ru

Natalia O. Gegel, <https://orcid.org/0000-0001-5724-7571>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia;

Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Russian Academy of Sciences, 49 Entuziastov Ave., Saratov 410049, Russia, GegelNO@yandex.ru

Anna B. Shipovskaya, <https://orcid.org/0000-0003-1916-4067>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, ShipovskayaAB@yandex.ru

The hydrodynamic behavior of chitosan macromolecules in aqueous solutions of ascorbic acid (AscA) diastereomers was studied by means of capillary viscometry. A comparison of these systems with chitosan solutions in such traditional solvent media as hydrochloric and acetic



acids, Na-acetate buffer was made. Concentration dependencies of the specific viscosity were plotted, and the intrinsic viscosity and the Huggins constant were evaluated. The deterioration of the thermodynamic quality of the water–acid mixture as a solvent for chitosan in the $\text{HCl} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{COONa} \rightarrow \text{AscA}$ row and with an increase in the AscA concentration was established. The effect of the isomeric form of AscA on the viscometric parameters, the hydrodynamic volume of macromolecules and the manifestation of their polyelectrolyte properties was found. In aqueous solutions of *L*- and *D*-AscA with the same values of pH and ionic strength, the most swollen coils exist in the presence of *L*-AscA and in *D*-AscA if NaCl added. The formation of the salt form of chitosan when dissolved in AscA was proven using IR spectroscopy, differences in the structures of chitosan *L*- and *D*-ascorbate were established. SEM revealed features of the morphology of air-dry powders of chitosan–AscA salts, namely: particles of chitosan *L*-ascorbate are characterized by a rougher surface and less uniform texture of layers in the sample bulk as compared to chitosan *D*-ascorbate. The regularities established are explained the influence of the isomeric AscA form on the spatial configuration of the macromolecules of chitosan *L*- and *D*-ascorbate and their hydrodynamic conformation in aqueous solutions.

Keywords: chitosan, *L*-(*D*)-ascorbic acid, viscosimetry, hydrodynamic parameters, conformation.

Acknowledgements: *This work was supported by the Russian Science Foundation (project No. 17-73-10076 “Chiral polymeric matrices: preparation, physicochemical properties, interaction with bioobjects”).*

References

- Rinaudo M. Physicochemical behaviour of semi-rigid biopolymers in aqueous medium. *Food Hydrocolloids*, 2017, vol. 68, pp. 122–127. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2016.09.015
- Cho J., Heuzy M. C., Bégin A., Carreau P. J. Viscoelastic properties of chitosan solutions: Effect of concentration and ionic strength. *J. Food Eng.*, 2006, vol. 74, no. 4, pp. 500–515. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2005.01.047
- Schatz C., Viton C., Delair T., Pichot C., Domard A. Typical physicochemical behaviors of chitosan in aqueous solution. *Biomacromol.* 2003, vol. 4, no. 3, pp. 641–648. DOI: 10.1021/bm025724c
- Anthonsen M. W., Varum K. M., Smidsrod O. Solution properties of chitosans: conformation and chain stiffness of chitosans with different degrees of N-acetylation. *Carbohydr. Polym.*, 1993, vol. 22, no. 3, pp. 193–201. DOI: 10.1016/0144-8617(93)90140-Y
- Desbrie' res J. Viscosity of semiflexible chitosan solution: Influence of concentration, temperature, and role of intermolecular interactions. *Biomacromol.*, 2002, vol. 3, no. 2, pp. 342–349. DOI: 10.1021/bm010151+
- Berth G., Dautzenberg H., Peter M. G. Physico-chemical characterization of chitosans varying in degree of acetylation. *Carbohydr. Polym.*, 1998, vol. 36, no. 2–3, pp. 205–216. DOI: 10.1016/S0144-8617(98)00029-0
- Hamdine M., Heuzy M. C., Bégin A. Effect of organic and inorganic acids on concentrated chitosan solutions and gels. *Intern. J. Biol. Macromol.*, 2005, vol. 37, no. 3, pp. 134–142. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2005.09.009
- Shamov M. V., Bratskaya S. Y., Avramenko V. A. Interaction of carboxylic acids with chitosan: effect of pK and hydrocarbon chain length. *J. Colloid Interface Sci.*, 2002, vol. 249, pp. 316–321. DOI: 10.1006/jcis.2002.8248
- Costa C. N., Teixeira V. G., Delpech M. C., Souza J. V. S., Costa M. A. Viscometric study of chitosan solutions in acetic acid/sodium acetate and acetic acid/sodium chloride. *Carbohydr. Polym.*, 2015, vol. 133, pp. 245–250. DOI: 10.1016/j.carbpol.2015.06.094
- Eich A., Wolf B. A. Intrinsic viscosities of polyelectrolytes: determination and modeling of the effects of extra salt. *ChemPhysChem.*, 2011, vol. 12, no. 15, pp. 2786–2790. DOI: 10.1002/cphc.201100439
- Kolsanova E. V., Orozaliev E. E., Shipovskaya A. B. Viscosity properties of chitosan solutions in acetic acid and sodium acetate buffer. *Izv. Saratov Univ. (N. S.). Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2014, vol. 14, iss. 2, pp. 5–9 (in Russian).
- Kasaai M. R. Calculation of Mark – Houwink – Sakurada (MHS) equation viscometric constants for chitosan in any solvent-temperature system using experimental reported viscometric constants data. *Carbohydr. Polym.*, 2007, vol. 68, no. 3, pp. 477–488. DOI: 10.1016/j.carbpol.2006.11.006
- Kulish E. I., Tuktarova I. F., Chernova V. V., Abzal'dinov H. S., Zaikov G. E. Metod viskozimetrii kak sposob ocenki konformacionnogo sostoyaniya hitozana v rastvore [Viscometry method as a way to assess the information state of chitosan in solution]. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta*, 2013, no. 14, pp. 140–143 (in Russian).
- Osman M., Fayed S. A., Ghada I. M., Romeilah R. M. Protective effects of chitosan, ascorbic acid and gymnema sylvestre against hypercholesterolemia in male rats. *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, 2010, vol. 4, no. 1, pp. 89–98.
- Kanauchi O., Deuchi K., Imasato Y., Kobayashi E. Increasing effect of a chitosan and ascorbic acid mixture on fecal dietary fat excretion. *Biosci. Biotechnol. Biochem.*, 1994, vol. 58, no. 9, pp. 1617–1620. DOI: 10.1271/bbb.58.1617
- Tsujikawa T., Kanauchi O., Andoh A., Saotome T., Sasaki M., Fujiyama Y., Bamba T. Supplement of a chitosan and ascorbic acid mixture for Crohn's disease. *Nutrition*, 2003, vol. 19, no. 2, pp. 137–139. DOI: 10.1016/S0899-9007(02)00958-9
- Rajendran K., Vallinayagam S., Deepak V., Mahadevan S. Synthesis and characterization of chitosan ascorbate nanoparticles for therapeutic inhibition for cervical cancer and their in silico modeling. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 2018, vol. 62, pp. 239–249. DOI: 10.1016/j.jiec.2018.01.001
- Muzzarelli R. A. A. Removal of uranium from solutions and brines by a derivative of ascorbic acid and chitosan. *Carbohydr. Polym.*, 1985, vol. 5, no. 2, pp. 85–89. DOI: 10.1016/0144-8617(85)90026-8
- Yanagiguchi K. Wound healing following direct pulp capping with chitosan-ascorbic acid complex in rat incisors. *Korean Chitin Chitosan Journal*, 2000, vol. 5, no. 3, pp. 182–182.



20. Hafsa J., Charfeddine B., Smach M. A., Limem K., Majdoub H., Sonia R. Synthesis, characterization, antioxidant and antibacterial properties of chitosan ascorbate. *Intern. J. Pharm. Chem. Biol. Sci.*, 2014, vol. 4, no. 4, pp. 1072–1081.
21. Muzzarelli R., Biagini G., Pugnali A., Filippini O., Baldassarre V., Castaldini C., Rizzoli C. Reconstruction of parodontal tissue with chitosan. *Biomaterials.*, 1989, vol. 10, no. 9, pp. 598–603. DOI: 10.1016/0142-9612(89)90113-0
22. Fidler M. C., Davidsson L., Zeder C., Hurrell R. F. Erythorbic acid is a potent enhancer of nonheme-iron absorption. *Am. J. Clin. Nutr.*, 2004, vol. 79, no. 1, pp. 99–102. DOI: 10.1093/ajcn/79.1.99
23. Ogawa K., Nakata K., Yamamoto A., Nitta Y., Yui T. X-ray study of chitosan *L*- and *D*-ascorbates. *Chem. Mater.*, 1996, vol. 8, pp. 2349–2351. DOI: 10.1021/cm9601751
24. Shipovskaya A. B., Zudina I. V., Fomina V. I., Malinkina O. N. Novel antimicrobial drugs based on complex chitosan salts with chiral organic ligands. *Butlerov Commun.*, 2015, vol. 41, no. 3, pp. 82–94 (in Russian).
25. Gegel N. O., Zhuravleva Yu. Yu., Shipovskaya A. B., Malinkina O. N., Zudina I. V. Influence of chitosan ascorbate chirality on the gelation kinetics and properties of silicon-chitosan-containing glycerohydrogels. *Polymers*, 2018, vol. 10, no. 3, pp. 259. DOI: 10.3390/polym10030259
26. Gegel N. O., Zudina I. V., Malinkina O. N., Shipovskaya A. B. Effect of ascorbic acid isomeric forms on antibacterial activity of its chitosan salts. *Microbiology*, 2018, vol. 87, no. 5, pp. 732–737. DOI: 10.1134/S0026261718050107
27. Zhuravleva Yu. Yu., Malinkina O. N., Gegel N. O., Golyadkina A. A., Shipovskaya A. B. Physico-mechanical Properties of Silicon-chitosan-containing Glycerohydrogels Plates Based on Chitosan *L*- and *D*-ascorbates. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2018, vol. 18, iss. 2, pp. 154–162 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2018-18-2-154-162
28. Lugovitskaya T. N., Shipovskaya A. B. Physicochemical properties of aqueous solutions of L-aspartic acid containing chitosan. *Russian Journal of General Chemistry*, 2017, vol. 87, no. 4, pp. 782–787. DOI: 10.1134/S1070363217040193
29. Shipovskaya A. B., Shchegolev S. Yu. *Fazovyj analiz i opticheskaya aktivnost' sistem efir cellyulozy – mezofazogennyj rastvoritel'* [Phase analysis and optical activity of cellulose ether systems – mesophasogenic solvent]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2014. 266 p. (in Russian).
30. Ambrosi M., Nostro P. L., Fratini E., Giustini L., Ningham B. W., Baglioni P. Effect of headgroup chirality in nanoassemblies. Part 1. Self-assembly of D-isoascorbic acid derivatives in water. *J. Phys. Chem. B.*, 2009, vol. 113, no. 5, pp. 1404–1412. DOI: 10.1021/jp8092644
31. Goryacheva V. A., Shipovskaya A. B. *Kalorimetricheskoe issledovanie rastvoreniya hitozana v vodnykh rastvorah L- i D-askorbinovoy kisloty* [Calorimetric study of the dissolution of chitosan in aqueous solutions of L- and D- ascorbic acid]. *Sovremennye problemy teoreticheskoy i eksperimental'noy himii: sb. nauch. tr. XII Vseros. konf. mol. uch. s mezhdunarod. uch. 2017*, Saratov, Saratovskiy Istochnik Publ., 2017, pp. 130–132 (in Russian).
32. Malinkina O. N., Provozina A. A., Shipovskaya A. B. Evaluation of the chemical interaction between chitosan hydrochloride and ascorbic acid by IR and NMR spectroscopy. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2014, vol. 14, iss. 3, pp. 20–27 (in Russian).
33. Singh J., Dutta P. K. Spectroscopic and conformational study of chitosan acid salts. *J. Polym. Res.*, 2009, vol. 16, pp. 231–238. DOI: 10.1007/s10965-008-9221-3
34. Yadav R. A., Rani P., Kumar M., Singh R., Singh P., Singh N. P. Experimental IR and Raman spectra and quantum chemical studies of molecular structures, conformers and vibrational characteristics of L-ascorbic acid and its anion and cation. *Spectrochim. Acta A*, 2011, vol. 84, no. 1, pp. 6–21. DOI: 10.1016/j.saa.2011.07.043
35. Dolle C., Magrone P., Riva S., Ambrosi M., Fratini E., Peruzzi N., Nostro P. L. Symmetric and asymmetric bolaamphiphiles from ascorbic acid. *J. Phys. Chem. B.*, 2011, vol. 115, no. 40, pp. 11638–11649. DOI: 10.1021/jp204920y

Cite this article as:

Malinkina O. N., Gegel N. O., Shipovskaya A. B. Influence of Ascorbic Acid Isoforms on the Hydrodynamic Behavior of Chitosan Ascorbate Macromolecules in Aqueous Solution. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 152–164 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-152-164>



УДК 662.754:547.26

Каталитическая конверсия этилового спирта на цеолитных катализаторах

Р. И. Кузьмина, И. И. Хорошилов, С. А. Чеботарев



Кузьмина Раиса Ивановна, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтехимии и техногенной безопасности Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, kuzminaraisa@mail.ru

Хорошилов Илья Игоревич, аспирант кафедры нефтехимии и техногенной безопасности Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, horoshilovilya93@mail.ru

Чеботарев Станислав Андреевич, студент кафедры нефтехимии и техногенной безопасности Института химии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, stasik203@yandex.ru

В статье рассмотрена возможность использования биоэтанола в качестве заменителя традиционного топлива из нефтяного сырья. Биоэтанол, полученный путем брожения из биомассы, рассматривается не только как аналог бензина или топливной добавки, но и как источник сырья для производства олефинов, ароматических углеводородов и углеводородов бензинового ряда путем каталитической конверсии. В настоящее время считается, что конверсия этанола на цеолитах протекает в несколько этапов. Механизм реакции включает дегидратацию этанола, олигомеризацию полученного этилена с последующим крекингом и ароматизацией полученных олефинов или олефиновых фрагментов. Оптимальными параметрами для проведения реакции конверсии этанола являются температура 350–420° С, давление от 0,1 до 10 МПа и расход 1–2 ч⁻¹. С увеличением давления растет селективность жидких продуктов. Проведено исследование превращения этилового спирта на отечественных цеолитных катализаторах NH₄-ЦВМ и Na-ЦВМ, а также модифицированных каталитических системах 1%Gd/NH₄-ЦВМ и 1%Gd/Na-ЦВМ. Исследования проводились на лабораторной установке проточного типа со стационарным слоем катализатора в диапазоне температур 350–500° С. Экспериментально установлено, что при использовании катализаторов NH₄-ЦВМ и 1%Gd/NH₄-ЦВМ получается продукт с высоким содержанием изопарафина, соответствующий стандарту моторного топлива Евро-5. Продукт, полученный на катализаторах Na-ЦВМ и 1%Gd/Na-ЦВМ, из-за высокого содержания ароматических углеводородов, в том числе бензола, может быть использован для повышения октанового числа моторного топлива.

Ключевые слова: биоэтанол, углеводороды бензинового ряда, олефины, ароматические углеводороды, синтетические моторные топлива, цеолитные катализаторы.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-165-169>

Введение

В настоящее время в связи со снижением мировых запасов природных энергоресурсов,

нестабильностью цен на нефтяном рынке, а также ужесточением экологических требований к моторным топливам важной задачей становится поиск альтернативных возобновляемых источников сырья. Наиболее перспективным источником возобновляемого сырья для химической и топливной промышленности является биоэтанол, полученный из биомассы. При использовании биоэтанола в качестве моторного топлива необходимо модернизировать двигатель, а также увеличивать запас топлива для сохранения среднего пробега автомобиля. Для использования в двигателях без модернизации необходимо смешение с бензином. В качестве недостатков биоэтанола можно отметить высокую коррозионную активность из-за содержания воды, а также усложнение использования в регионах с низкими температурами из-за замерзания топлива. Для решения этих проблем в последние годы внимание исследователей сосредоточено на дальнейшей переработке биоэтанола в углеводороды бензинового ряда, а также олефинов и ароматических углеводородов – сырья для нефтехимической промышленности [1–3].

Конверсия этанола на цеолитах протекает несколько стадий, первой из которых является дегидратация спирта с последующей олигомеризацией образующегося этилена, крекингом и ароматизацией получающихся олефинов или олефиновых фрагментов. Стадия дегидратации этанола проходит с высокой скоростью и практически не зависит от селективности катализатора по жидким продуктам реакции. А лимитирующей стадией конверсии этилового спирта является олигомеризация этилена, образующегося на первом этапе процесса из этанола [4–6]. Оптимальными параметрами проведения реакции конверсии этанола являются температура 350–420° С, давление от 0,1 до 10 МПа и объемная скорость потока 1–2 ч⁻¹. Изменение температурных значений в большую сторону приводит к интенсификации реакций крекинга, за счет чего увеличивается выход газообразных парафинов, в основном метана и этилена. При уменьшении температуры снижается выход целевого продукта и увеличивается выход этилена



и диэтилового эфира. При увеличении давления значительно возрастает выход жидких углеводородов [7, 8].

Жидкий продукт конверсии этанола обладает высокими значениями октанового числа, его можно использовать в качестве октанповышающих присадок для бензинового топлива. Для использования катализата в качестве моторного топлива необходимо дополнительно проводить гидрирование аренов, так как согласно экологическому стандарту топлива Евро-5 содержание ароматических углеводородов не должно превышать 30% [9].

Материалы и методы

В работе исследованы отечественные катализаторы NH_4 -ЦВМ и Na-ЦВМ, а также модифицированные каталитические системы 1%Gd/ NH_4 -ЦВМ и 1%Gd/Na-ЦВМ.

Исследования проводили на лабораторной установке проточного типа (рис. 1) в интервале температур 350–500° С с шагом в 50° С, при атмосферном давлении с объемной скоростью подачи этанола 1 ч⁻¹. Образцы порошкообразного катализатора предварительно спрессованы ($P = 15$ атм), прокалены ($T = 500^\circ \text{C}$) и раздроблены. Для загрузки в лабораторную установку использована фракция с размером зерна 2–3 мм, объем загрузки катализатора – 11 см³. Перед опытом катализатор активировали в токе воздуха при температуре 500° С в течение 2 ч при скорости подачи газа 2 л/ч. Сырье поступает в реактор через систему подачи, снабженную трехходовым краном. Реактор представляет собой трубку из

кварцевого стекла, заполненную катализатором. Нагрев реакционной зоны реактора производится электрической печью, температура реактора контролируется при помощи термопары. Прореагировавшее сырье поступает в приемник, охлаждаемый водой со льдом. В приемнике пары продуктов реакции частично конденсируются. Несконденсированные газообразные продукты поступают в газометр, заполненный насыщенным раствором NaCl. О давлении газа в системе судят по показаниям манометра. Система отбора газов снабжена трехходовым краном, что позволяет направлять газовый поток в газометр или на выброс. Хроматографический анализ продуктов проводили методом газожидкостной и газоадсорбционной хроматографии на аналитическом стационарном лабораторном хроматографе «Кристалл 5000», предназначенном для анализа органических соединений с температурой кипения до 250° С. Хроматограф оснащен колонкой ДВ-1 длиной 100 м и диаметром 0.25 мм, неподвижной жидкой фазой является полиметилсилоксан. Газ-носитель – гелий. Анализ компонентного состава проводится с помощью пламенно-ионизационного детектора (ПИД). Идентификация компонентов осуществлялась с использованием стандартов «Алкилаты», «Нафта», «Риформат». Расчет концентрации компонентов (вес. %, объем. %, мол. %), средней молекулярной массы, относительной плотности, давления насыщенных паров, октановых чисел по ИМ и ММ, температуры выкипания проводится с помощью программы «Хроматэк-Аналитик», специально разработанной для детального углеводородного анализа [5].

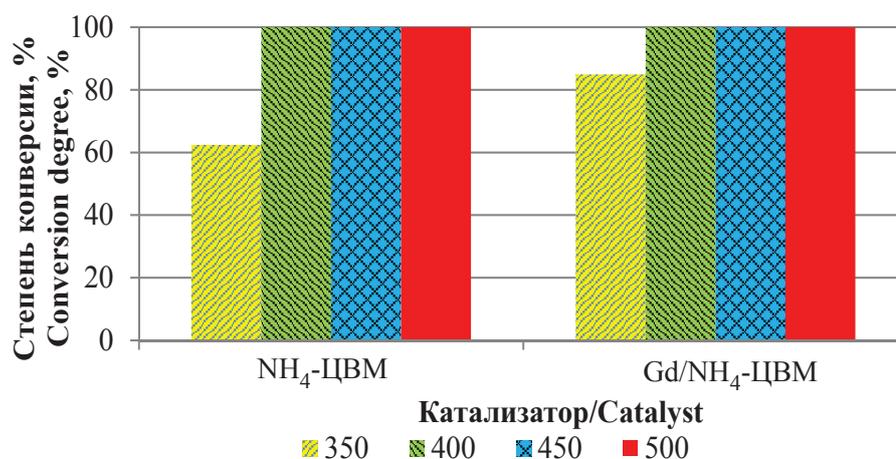


Рис. 1. Зависимость степени конверсии этилового спирта от температуры на катализаторах NH_4 -ЦВМ и 1%Gd/ NH_4 -ЦВМ

Fig. 1. Dependence of ethanol conversion on the temperature over catalysts NH_4 -CVM and 1%Gd/ NH_4 -CVM



Результаты и их обсуждение

Опыты проводились на высококремнистых цеолитах типа NH₄-ЦВМ и Na-ЦВМ, а также каталитических системах модифицированным гадолинием. Каталитическая активность цеолитов типа ЦВМ в процессах превращения углеводородов различных классов обусловлена как молекулярно-ситовыми, так и кислотными свойствами, что, в свою очередь, определяется такими факторами, как варьирование соотношения алюминия и кремния в реакционной смеси на стадии гидротермального синтеза

(силикатный модуль), методы предварительной обработки и модифицирование цеолита различными элементами.

С увеличением температуры протекания реакции глубина превращений этанола на катализаторах NH₄-ЦВМ и 1%Gd/NH₄-ЦВМ достигает 99.9% (см. рис. 1).

С увеличением температуры наблюдается рост содержания пропана, что свидетельствует об усилении крекирующей способности катализатора. Катализатор проявляет активность в реакциях изомеризации и ароматизации (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Групповой углеводородный состав жидкого продукта превращения этилового спирта при разных температурах на катализаторах NH₄-ЦВМ и 1%Gd/NH₄-ЦВМ
Hydrocarbon-type content of liquid product of ethanol change in various temperatures over catalysts NH₄-CVM and 1%Gd/NH₄-CVM

Компонент, % мас. / Component, % wt	Катализатор / Catalyst							
	NH ₄ -ЦВМ / NH ₄ -CVM				1%Gd/NH ₄ -ЦВМ / 1%Gd/NH ₄ -CVM			
	350	400	450	500	350	400	450	500
Парафины / Paraffins	3.0	1.8	1.0	0.7	0.7	0.8	1.1	2.4
Изопарафины / Isoparaffins	49.6	23.9	23.3	19.2	17.3	22.4	28.2	52.4
Ароматика, в том числе бензол / Aromatic, including benzene	23.6 0.1	42.2 3.4	62.0 7.5	28.9 3.4	15.3 0.1	47.0 4.9	68.8 7.2	24.9 11.9
Нафтенy / Naphthenes	4.4	2.8	0.9	19.4	16.5	6.7	0.7	0.7
Олефины / Olefins	1.6	5.7	3.0	4.6	8.2	4.7	1.2	3.3
Октановое число (ИМ)	104	108	117	102	95	112	117	97
Октановое число (ММ) Octane number (RM)	81	78	86	75	76	82	86	77

Содержание парафинов изо-строения на катализаторе NH₄-ЦВМ с ростом температуры снижается, а наибольшее значение наблюдается при температуре 350° С и составляет 49.6%. При введении в состав катализатора модифицирующей добавки гадолиния с ростом температуры содержание изопарафинов возрастает и составляет 52.4% при 500° С. Содержание ароматических соединений с ростом температуры возрастает и достигает максимума при температуре 450° С на обоих катализаторах. За счет высокого содержания ароматических и изопарафиновых углеводородов при температуре 450° С наблюдается наибольшее значение октанового числа. Согласно стандарту качества топлива Евро-5, продукт, полученный при температуре 350° С на обоих катализаторах, возможно использовать в качестве автомобильного топлива.

При превращении этилового спирта на цеолитных катализаторах Na-ЦВМ и 1%Gd/Na-ЦВМ с ростом температуры степень конверсии возрастает и достигает 99.9% (рис. 2).

При превращении этилового спирта на цеолитных катализаторах Na-ЦВМ и 1%Gd/Na-ЦВМ с ростом температуры наблюдается увеличение содержания нафтенy и олефинов, а также ароматических углеводородов, в том числе и бензола. Содержание изопарафинов на катализаторе Na-ЦВМ с ростом температуры снижается, а на катализаторе с добавлением 1% гадолиния, наоборот, наблюдается незначительное увеличение. Из-за высокого содержания ароматических углеводородов полученный продукт возможно использовать в качестве октановышающей добавки к моторному топливу (табл. 2).

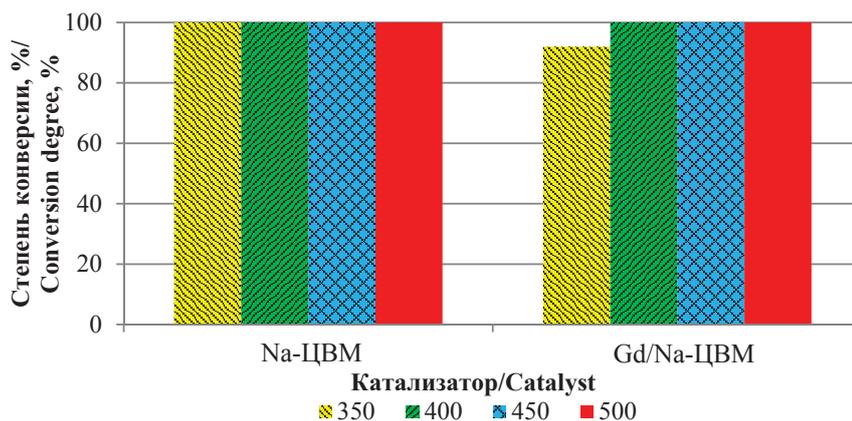


Рис. 2. Зависимость степени конверсии этилового спирта от температуры на цеолитных катализаторах Na-ЦВМ и 1%Gd/Na-ЦВМ

Fig. 2. Dependence of ethanol conversion on the temperature over zeolite catalysts Na-CVM and 1%Gd/Na-CVM

Таблица 2 / Table 2

Групповой углеводородный состав жидкого продукта превращения этилового спирта при разных температурах на катализаторах Na-ЦВМ и 1%Gd/Na-ЦВМ
Hydrocarbon-type content of liquid product of ethanol change in various temperatures over catalysts Na-CVM and 1%Gd/Na-CVM

Компонент, % мас. / Component, % wt	Катализатор / Catalyst							
	Na-ЦВМ / Na-CVM				1%Gd/Na-ЦВМ / 1%Gd/Na-CVM			
	350	400	450	500	350	400	450	500
Парафины / Paraffins	1.5	3.1	5.5	1.3	1.6	6.3	2.6	1.5
Изопарафины / Isoparaffins	28.9	25.6	22.8	20.1	26.9	26.9	27.8	28.2
Ароматика, в том числе бензол / Aromatic, including benzene	37.6 2.1	52.2 5.7	56.1 10.7	64.2 12.4	15.5 0.1	41.1 2.0	50.4 3.1	52.5 8.2
Нафтены / Naphthenes	4.3	1.8	0.8	0.7	10.6	7.8	2.4	1.7
Олефины / Olefins	8.7	2.9	1.2	0.2	14.5	6.7	4.0	3.2
Октановое число (ИМ) / Octane number (MM)	105	112	115	113	85	106	110	113
Октановое число (ММ)	80	85	81	86	74	91	79	79

Выводы

1. При превращении этилового спирта при температуре 350° С на всех каталитических системах достигается наибольшая селективность по жидким углеводородам, которая составляет 34%.

2. Экспериментально доказано, что при температуре 350° С идет превращение этилового спирта на катализаторе NH₄-ЦВМ с образованием моторного топлива с высоким показателем октанового числа (104 и 81 – по исследовательскому и моторному методам соответственно), а на каталитической системе 1%Gd/NH₄-ЦВМ – топлива (с октановым числом 94 и 76 – по исследовательскому и моторному методам соответственно), которое соответствует стандарту Евро-5.

Список литературы

1. Варфоломеев С. Д., Моисеев И. И., Мясоедов Б. Ф. Энергоносители из возобновляемого сырья // Вестник Российской академии наук. 2009. Т. 79, № 7. С. 595–607.
2. Моисеев И. И., Платэ Н. А., Варфоломеев С. Д. Альтернативные источники органических топлив // Вестник Российской академии наук. 2006. Т. 76, № 5. С. 427–437.
3. Чернова Н. И., Коробкова Т. П., Киселева С. В. Биомасса как источник энергии // Вестник Российской академии естественных наук. 2010. № 1. С. 54–60.
4. Третьяков В. Ф., Макаревич Ю. И., Тальшинский Р. М., Французова Н. А., Третьяков К. В. Каталитические превращения биоэтанола. Обзор // Вестник МИТХТ. 2010. Т. 5, № 4. С. 5–22.
5. Karthikeyan K. R., Yong W. Ethanol conversion to hydrocarbons on HZSM-5 : Effect of reaction conditions



- and Si/Al ratio on the product distributions // *Catalysis Today*. 2014. Vol. 1. P. 203–217.
6. Третьяков В. Ф., Лермонтов А. С., Макаrfи Ю. И., Якимова М. С., Французова Н. А., Коваль Л. М., Ерофеев В. И. Синтез моторных топлив из биоэтанола // *Химия и технология топлив и масел*. 2008. № 6. С. 30–34.
 7. Кузьмина Р. И., Пилипенко А. Ю., Хорошилов И. И., Фролов М. П. Конверсия этанола на цеолитах // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2015. Т. 15, вып. 4. С. 30–41.
 8. Третьяков В. Ф., Макаrfи Ю. И., Талышинский Р. М., Французова Н. А., Торховский В. Н., Антонюк С. Н., Третьяков К. В. Каталитические превращения биоэтанола // *Вестник МИТХТ*. 2010. Т. 5, № 4. С. 77–86.
 9. Третьяков В. Ф., Масюткина Т. Н., Лермонтов А. С., Бурдейная Т. Н. Биоэтанол-сырьё для получения компонентов моторных топлив и нефтехимических продуктов // *Катализ в промышленности*. 2006. Т. 2, № 4. С. 12–17.

Образец для цитирования:

Кузьмина Р. И., Хорошилов И. И., Чеботарев С. А. Каталитическая конверсия этилового спирта на цеолитных катализаторах // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 165–169. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-165-169>

Catalytic Conversion of Ethyl Alcohol on Zeolite Catalysts

R. I. Kuz'mina, I. I. Khoroshilov, S. A. Chebotarev

Raisa I. Kuz'mina, <https://orcid.org/0000-0001-6850-4510>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, kuzminaraisa@mail.ru

Ilya I. Khoroshilov, <https://orcid.org/0000-0001-9492-245X>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, horoshilovilya93@mail.ru

Stanislav A. Chebotarev, <https://orcid.org/0000-0003-0610-6888>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, stasik203@yandex.ru

This article describes the possibility of using bioethanol as a substitute for conventional fuel from petroleum feedstocks. Bioethanol obtained by fermentation from biomass is considered not only as an analogue of gasoline or a fuel additive, but also as a source of raw materials for the production of olefins, aromatic hydrocarbons and gasoline range hydrocarbons by means of catalytic conversion. At present, it is believed that the conversion of ethanol on zeolites proceeds in several stages. The reaction mechanism includes dehydration of ethanol, oligomerization of the resulting ethylene, followed by cracking and aromatization of the resulting olefins or olefinic moieties. The optimal parameters for carrying out the ethanol conversion reaction are a temperature of 350–420 °C, a pressure of 0.1 to 10 MPa and a flow rate of 1–2 h⁻¹. With increasing pressure, the selectivity for liquid products increases. The domestic catalysts NH₄-CVM and Na-CVM, as well as the modified catalytic systems of 1%Gd/NH₄-CVM and 1%Gd/Na-CVM were studied. The investigations were carried out on a laboratory flow-type plant with a stationary catalyst bed, in the temperature range 350–500 °C. It has been experimentally established that a product with a high isoparaffin content and corresponding to the EURO-5 motor fuel standard is formed on NH₄-CVM catalysts and 1Gd/NH₄-CVM. The product obtained with Na-CVM catalysts and 1%Gd/Na-CVM due to the high content of aromatic hydrocarbons, including benzene, can be used to increase the octane number of motor-fuel.

Keywords: bioethanol, gasoline hydrocarbons, olefins, aromatic hydrocarbons, synthetic transport fuel, zeolite catalysts.

Cite this article as:

Kuz'mina R. I., Khoroshilov I. I., Chebotarev S. A. Catalytic Conversion of Ethyl Alcohol on Zeolite Catalysts. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 165–169 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-165-169>

References

1. Varfolomeev S. D., Moiseev I. I., Myasoedov B. F. Energonositeli iz vozobnovlyаемого syr'ya [Energy from renewable raw materials]. *Vestnik RAN*, 2009, vol. 79, no. 7, pp. 595–607 (in Russian).
2. Moiseev I. I., Plate H. A., Varfolomeev S. D. Al'ternativnye istochniki organicheskikh topliv [Alternative sources of organic fuels]. *Vestnik RAN*, 2006, vol. 76, no. 5, pp. 427–437 (in Russian).
3. Chernova N. I., Korobkova T. P., Kiseleva S. V. Biomassa kak istochnik energii [Biomass as a power source]. *Vestnik RAEN*, 2010, no. 1, pp. 54–60 (in Russian).
4. Tretyakov V. F., Makarfi Y. I., Talyshinsky R. M., Frantsuzova N. A., Tretyakov K. V. Catalytic conversion of bio-ethanol. Review. *Vestnik MITHT*, 2010, vol. 5, no. 4, pp. 5–22 (in Russian).
5. Karthikeyan K. R., Yong W. Ethanol conversion to hydrocarbons on HZSM-5: Effect of reaction conditions and Si/Al ratio on the product distributions. *Catalysis Today*, 2014, vol. 1, pp. 203–217.
6. Tretyakov V. F., Lermontov A. S., Makarfi Yu. I., Yakimova M. S., Frantsuzova N. A., Koval' L. M., Erofeev V. I. Motor Fuel Synthesis on the Base of Bioethanol. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*, 2008, no. 6, pp. 30–34 (in Russian).
7. Kuz'mina R. I., Pilipenko A. Y., Khoroshilov I. I., Frolov M. P. Ethanol Conversion on Zeolites. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2015, vol. 15, iss. 4, pp. 30–41 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2015-15-4-30-41
8. Tretyakov V. F., Makarfi Yu. I., Talyshinsky R. M., Frantsuzova N. A., Torhovskiy V. N., Antonuk S. N., Tretyakov K. V. Catalytic conversion of ethanol to hydrocarbons. *Vestnik MITHT*, 2010, vol. 5, no. 4, pp. 77–86 (in Russian).
9. Tretyakov V. F., Masyutina T. N., Lermontov A. S., Burdeynaya T. N. Bioethanol-syr'e dlya polucheniya komponentov motornyh topliv i neftekhimicheskikh produktov [Bioethanol-raw material for the production of motor fuel components and petrochemical products]. *Catalysis in industry*, 2006, vol. 2, no. 4, pp. 12–17 (in Russian).



БИОЛОГИЯ

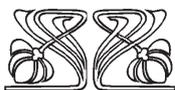
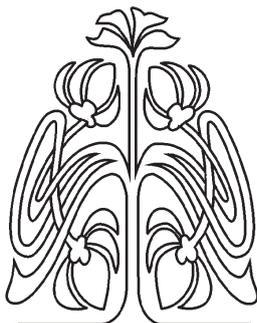
УДК 581.144

Особенности роста этиолированных растений в аспекте реализации донорно-акцепторных отношений

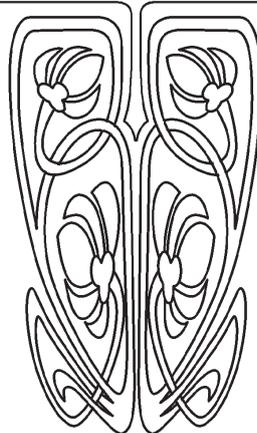
О. Ф. Шевлягина, В. В. Коробко

Шевлягина Олеся Федоровна, студент биологического факультета, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, oshevyagina@mail.ru

Коробко Валерия Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, v.v.korobko@mail.ru



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



Объектом исследования служили проростки яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. десяти сортов. Культивирование осуществлялось в климатоканере при температуре $18 \pm 1^\circ \text{C}$. В качестве контроля использованы растения, выращенные при фотопериоде день/ночь 16/8. Выявлены некоторые особенности роста и развития растений *Triticum aestivum* L. в условиях этиоляции. Установлено, что различия по длине корневой системы этиолированных и контрольных проростков определяются длиной корней верхнего яруса. Первый лист этиолированных растений характеризуется большей длиной и продолжительностью роста, при этом различия по длине листа контрольных и опытных растений определяются длиной влагалища. Установлено, что в отсутствие света длина 2–4 листьев десятидневных растений уменьшается на 24–34% по сравнению с контролем, длина пятого листа несущественно отличается, а шестого – превышает контрольные значения на 20–58%. Отсутствие света приводит к изменению функциональной активности конуса нарастания побега, что проявляется в изменении времени заложения шестого и седьмого листьев. Проведен анализ кривых скорости роста эпикотилия, coleoptилия, корней и первого листа. Установлено, что зависимость между изменением корнеобеспеченности этиолированных растений и скоростью роста корневой системы и coleoptилия имеет прямой характер; а скоростью роста эпикотилия, пластинки и влагалища первого листа – обратный.

Ключевые слова: этиоляция, световой фактор, морфогенез пшеницы, *Triticum aestivum* L.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-170-176>

Роль светового фактора исследовалась в различных аспектах физиологии растительного организма [1–3], тем не менее изучение его влияния на процессы регуляции и интеграции функциональных систем различных уровней организации является одной из приоритетных задач современной физиологии растений [4–6].

Особый интерес представляет изучение структурно-функциональных особенностей роста и развития растительных организмов в условиях этиоляции [7, 8], так как изучение закономерностей регуляции потоков пластических веществ в донорно-акцепторной системе растений в условиях ограничения производительности ассимиляционного аппарата имеет важнейшее значение для поиска путей повышения продуктивности сельскохозяйственно значимых растений [9, 10]. По мнению ряда авторов [11], части этиолированного растения можно рассматривать в качестве структурно-функ-



циональной единицы, способной к реализации возможной программы развития базовых физиологических ответных реакций на разные виды внешнего воздействия.

Материалы и методы

Исследования проводились на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского национального исследовательского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского. Объектом исследования служили проростки яровой мягкой пшеницы *Triticum aestivum* L. Для изучения влияния этиоляции на рост растений проводили посадку зерновок в полиэтиленовые емкости объемом 200 мл, заполненные вермикулитом. Культивирование осуществлялось в климатической камере при температуре $18 \pm 1^\circ \text{C}$ в абсолютной темноте. В качестве контроля использованы растения, выращенные при 16-часовом фотопериоде (день/ночь 16/8). На основании морфометрических данных рассчитывали абсолютную скорость роста зародышевой корневой системы, первого листа, coleoptили и эпикотиля по формуле $C = (L_2 - L_1) / (t_2 - t_1)$, где L_2 и L_1 – длина исследуемого органа или его части в моменты времени t_2 и t_1 [12]. Показатель корнеобеспеченности рас-

считывали как отношение абсолютно сухой массы корневой системы к абсолютно сухой массе побега, выраженное в относительных единицах [13].

Результаты исследований подвергались статистической обработке в табличном процессоре Excel пакета MS Office 2010.

Результаты и их обсуждение

Характер реализации донорно-акцепторных отношений в системе целого растения можно оценить по показателям накопления сухой массы. В условиях этиоляции значения абсолютно сухой массы побега и корня проростка снижаются, что вполне ожидаемо при отсутствии фотосинтетического процесса и развития растений за счет эндосперма зерновки. В рамках реализации поставленной цели представляет интерес изменение показателя корнеобеспеченности, который при наличии дефицита углеводов позволяет оценить их распределение между побегом и корневой системой.

Сравнительный анализ изменения корнеобеспеченности показал постепенное повышение данного показателя у этиолированных проростков по сравнению с контрольными растениями в период с 3-го по 10-й день вегетации (рис. 1).

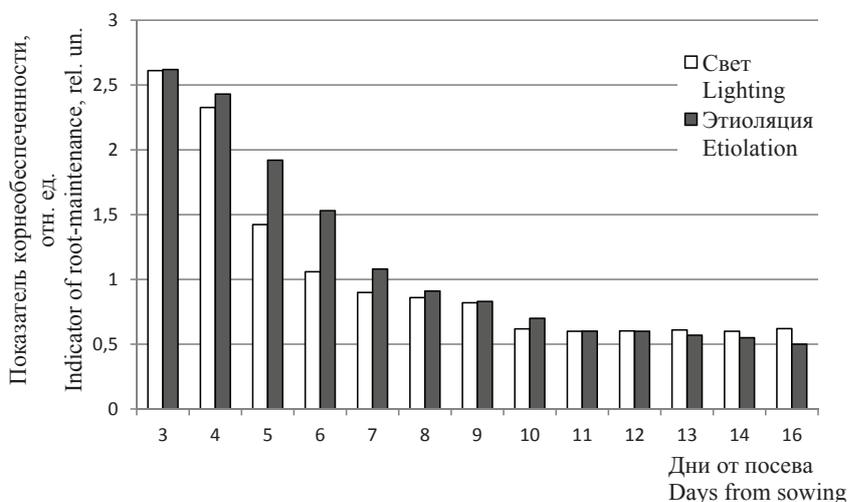


Рис. 1. Показатель корнеобеспеченности проростков яровой мягкой пшеницы сорта Саратовская 29

Fig. 1. Indicator of root-maintenance of spring wheat seedlings varieties Saratovskaya 29

У 3–6-дневных проростков разница между корнеобеспеченностью в опыте и контроле увеличивается постепенно. Так, на 4-й день вегетации корнеобеспеченность контрольных растений сорта Саратовская 29 составила 2,43 отн. ед., или 96% от показателя корнеобеспеченности этиолированных, а на 6-й день – 1,75, или 69%. В течение следующих трех суток корне-

обеспеченность проростков в условиях этиоляции снижается, достигая контрольных значений на 9-й день вегетации.

Сопоставление исследуемого показателя с динамикой роста подземных и надземных органов растения показало, что снижение корнеобеспеченности этиолированных растений сопровождается увеличением скорости роста



эпикотилия, пластинки и влагалища первого листа и снижением скорости роста корневой системы и coleoptilia (рис. 2, 3). Повышение показателя корнеобеспеченности этиолированных растений на 12% относительно контрольных значений на

10-й день эксперимента соответствует максимальным значениям скорости роста эпикотилия, пластинки и влагалища 1-го листа, повышению скорости роста корней верхнего яруса (см. рис. 2, 3).

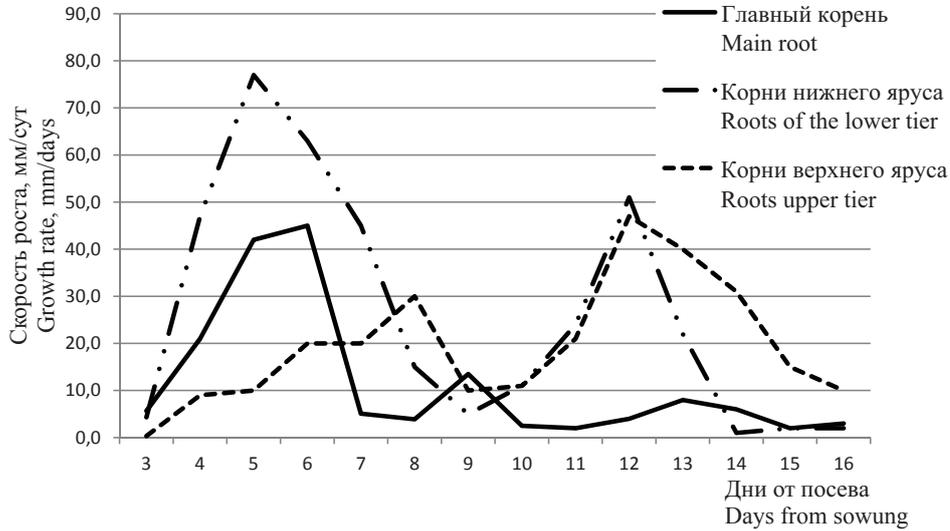


Рис. 2. Скорость роста корневой системы мягкой яровой пшеницы сорта Саратовская 29 в условиях этиоляции

Fig. 2. The growth rate of the root system of soft spring wheat varieties Saratovskaya 29 in conditions of etiolation

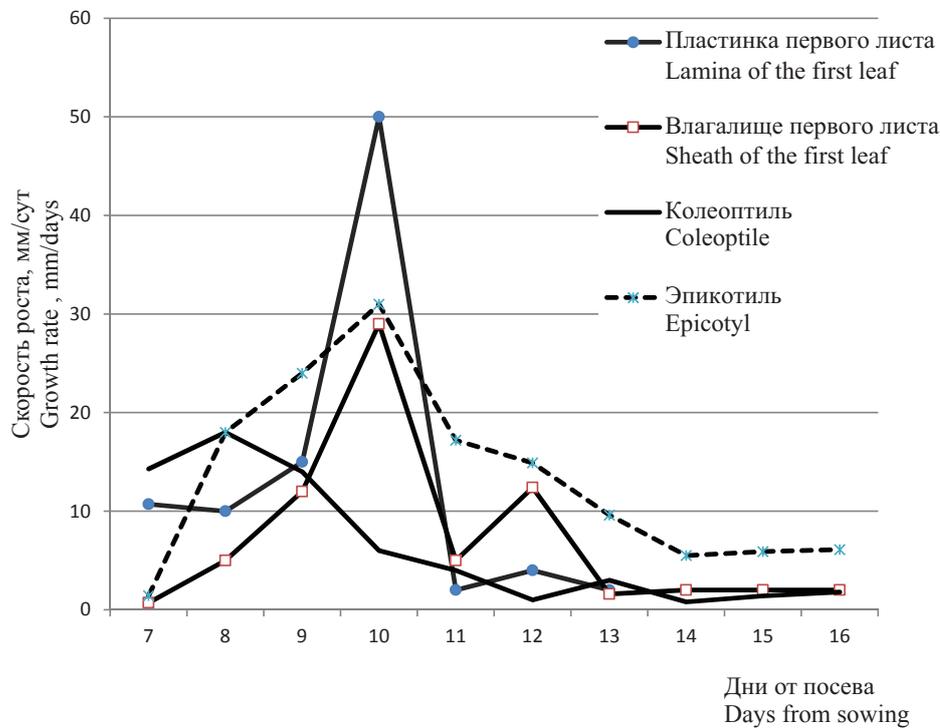


Рис. 3. Скорость роста побега мягкой яровой пшеницы сорта Саратовская 29 в условиях этиоляции

Fig. 3. Growth rate of the shoot of soft spring wheat varieties Saratovskaya 29 in conditions of etiolation



С целью исключения сортоспецифичности полученных результатов дополнительные вычисления показателя корнеобеспеченности были проведены на 9 сортах мягкой пшеницы (таблица). Исследование показало, что в

условиях этиоляции корнеобеспеченность 7-дневных проростков выше или не отличается от значений в контроле; 14-дневных (за исключением растений сорта Саррубра) – на 9–39% ниже.

Показатель корнеобеспеченности проростков, отн. ед.
Indicator of root-maintenance of seedlings, relative units

Название сорта Variety name	7-дневные проростки 7 day old seedlings		14-дневные проростки 14 day old seedlings	
	Свет Lighting	Этиоляция Etiolation	Свет Lighting	Этиоляция Etiolation
Саратовская 36 Saratovskaya 36	1,19	1,18	1,00	0,61
Альбидум 31 Albidum 31	0,70*	0,71*	0,68	0,59
Лютесценс 62 Lutescens 62	0,82	1,10	0,64	0,49
Юго-Восточная-2 Yugo-Vostochnaya-2	0,82	0,91	0,62	0,51
Прохоровка Prokhorovka	0,84	1,20	0,70	0,64
Фаворит Favorit	0,76	1,04	0,56	0,49
Саррубра Sarrubra	1,00*	1,10*	0,56*	0,55*
Лебедушка Lebedushka	1,12*	1,11*	0,76	0,61
Саратовская 52 Saratovskaya 52	0,58	0,91	0,51	0,43
Саратовская 29 Saratovskaya 29	0,89	1,10	0,60	0,55

Примечание. * – различия между вариантами эксперимента не достоверны при $p \leq 0,05$.
Note. * – differences between experiment variants are not significant at $p \leq 0,05$.

В течение первых двух недель роста в наибольшей степени отсутствие света отражается на морфометрических показателях эпикотиля и колеоптиля проростка – структур, рост которых, по общепринятому мнению, зависит от светового фактора. Как было отмечено в ряде работ [14,15], колеоптиль заканчивает рост в длину на 10-й день, а прекращение роста эпикотиля происходит в момент завершения роста влагалища 1-го листа, тогда как у этиолированных растений их рост продолжается и после окончания роста 1-го листа [11]. Наши исследования показали, что скорость роста эпикотиля в условиях этиоляции с 12-го дня вегетации проростка превышает аналогичные значения для колеоптиля, пластинки

и влагалища 1-го листа. На момент завершения эксперимента рост эпикотиля не окончен, скорость роста составила на 16-й день роста проростка 6,1 мм/сут. Скорость роста колеоптиля снижается постепенно начиная с 8-го до 12–13-го дня вегетации, затем колеблется в пределах 0,8–1,8 мм/сут (см. рис. 3).

Для сравнительной характеристики физиологических аспектов роста и развития тех или иных структур проростка информативными являются не только линейные размеры, но и значение скорости роста. Первый лист этиолированных растений всех изученных нами сортов характеризуется большей длиной по сравнению с контролем, что обусловлено изменением длины



влагалища; тогда как различие по длине листовых пластинок контрольных и опытных растений является статистически не достоверным. Установлено, что в отсутствие света длина 2-4-го листьев 10-дневных растений уменьшается на 24–34% по сравнению с контролем, длина 5-го листа несущественно отличается от контроля, а 6-го – превышает контрольные значения на 20–58%. Формирование 7-го листа наблюдалось у этиолированных проростков исследованных сортов (за исключением сорта Лебедушка), тогда как при культивировании в условиях освещения на 10-й день вегетации 7-й лист заложился только у проростков сорта Саррубра.

Анализ динамики роста влагалища 1-го листа показал, что у этиолированных растений кривая скорости роста имеет два максимума, которые приходятся на 10-й (29,0 мм/сут) и 12-й (12,4 мм/сут) дни вегетации (см. рис. 3). Скорость роста листового влагалища проростков, выращенных на свету, меняется незначительно, составляя 3,7–5,1 мм/сут в период с 7-го по 13-й день вегетации и 1 мм/сут на 14-й и 15-й. Первый лист этиолированных проростков достигает окончательной длины на 14-й день вегетации, что на двое суток позднее, чем в контроле.

Скорость роста корневой системы проростков характеризуется двумя максимумами. У контрольных растений первый из них приходится на 6-й день вегетации: абсолютная скорость роста главного корня составляет 34,4 мм/сут, корней нижнего яруса – 78, а верхнего – 54 мм/сут. У 5-дневных этиолированных проростков скорость роста корневой системы в целом составляет 129 мм/сут, при этом более высокие значения свойственны корням нижнего яруса – 77 мм/сут. Второго максимального значения скорость роста корневой системы контрольных и опытных растений достигает на 12-й день вегетации. При этом существенный вклад в повышение данного показателя вносят корни нижнего и верхнего ярусов, скорость роста которых составляет 47–51 мм/сут, тогда как скорость роста главного корня – 3 мм/сут. Таким образом, различия по длине корневой системы этиолированных и культивированных на свету проростков начиная с 10-го дня вегетации обусловлены длиной корней верхнего яруса.

Сопоставление кривых скорости роста корневой системы и надземной структуры побега в условиях этиоляции показало, что снижение скорости роста корневой системы на 8–9-й день вегетации сопровождается ускорением роста пластинки и влагалища первого листа и эпикотилия. На 10-й день наблюдается максимальное значение скорости роста листа (листовая пластинка – 50 мм/сут, влагалище – 29 мм/сут) и эпикотилия (31 мм/сут), при этом прирост корневой системы незначителен.

тинка – 50 мм/сут, влагалище – 29 мм/сут) и эпикотилия (31 мм/сут), при этом прирост корневой системы незначителен.

Заключение

На основании проведенного исследования выявлены некоторые особенности роста и развития растений *Triticum aestivum* L. в условиях этиоляции.

Условия культивирования проростков отразились на размерах и продолжительности роста первого листа. При этом различия по длине листа контрольных и опытных растений определяются длиной влагалища. Установлено, что в отсутствие света длина 2-4-го листьев 10-дневных растений уменьшается на 24–34% по сравнению с контролем, длина 5-го листа несущественно отличается от контроля, а 6-го – превышает контрольные значения на 20–58%. Отсутствие света приводит к изменению функциональной активности конуса нарастания побега, что проявляется в ускорении процесса формирования 6–7-х листьев. Продолжительность роста coleoptily и эпикотилия в условиях этиоляции увеличивается: эти структуры продолжают свой рост после прекращения роста 1-го листа. Различия по длине корневой системы этиолированных и выращенных на свету проростков определяются длиной корней верхнего яруса, тогда как сумма длины главного корня и корней нижнего яруса не имеет существенных различий.

Сравнение показателя корнеобеспеченности со скоростью роста корневой системы и надземных органов растений пшеницы показало, что зависимость между изменением корнеобеспеченности этиолированных растений и скоростью роста корней и coleoptily имеет прямой характер, а скоростью роста эпикотилия, пластинки и влагалища первого листа – обратный.

Таким образом, изучение структурных и функциональных взаимодействий корневой системы и побега при ограничении работы ассимиляционного аппарата вносит определенный вклад в изучение распределения ресурсов и процессов регуляции в донорно-акцепторной системе целого растения, что имеет важное значение для решения одной из важнейших задач физиологии растений – повышения продуктивности ценных сельскохозяйственных объектов.

Список литературы

1. Иванова Л. А., Иванов Л. А., Ронжина Д. А., Пьянков В. И. Изменение мезофилла листа растений разных функциональных типов при затенении // Физиология растений. 2008. Т. 55, № 2. С. 230–239.



2. Briggs W. R. Phototropism : Some history, some puzzles, and a look ahead // *Plant Physiol.* 2014. Vol. 164. P. 13–23.
3. Oguchi R., Hikosaka K., Hirose T. Does the photosynthetic Light-Acclimation Need Change in Leaf Anatomy? // *Plant Cell Environ.* 2003. Vol. 26. P. 505–512.
4. Шевлягина О. Ф., Коробко В. В. Влияние этиоляции на строение мезофилла и рост листа *Triticum aestivum* L. // *World science : problems and innovations* : сб. ст. XXII Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1. Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. С. 32–35.
5. Кузнецов В. В., Дмитриева Г. А. Физиология растений : в 2 т. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Юрайт, 2016. Т. 1. 437 с.
6. Цыбулько В. С. Анализ экспериментальной обоснованности основных теорий и гипотез биологической природы фотопериодизма // *Физиология и биохимия культурных растений.* 1997. Т. 29, № 4. С. 258–264.
7. Касаткин М. Ю., Степанов С. А., Странко А. М. Влияние этиоляции на спектральные характеристики тканей coleoptily и эпикотилья пшеницы // *Бюл. бот. сада Саратов. гос. ун-та.* 2017. Т. 15, № 1. С. 50–59.
8. Коробко В. В., Шевлягина О. Ф. Особенности роста корневой системы *Triticum aestivum* L. в условиях этиоляции // *Наука и образование : сохраняя прошлое, создаем будущее* : сб. ст. XVI Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1. Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение», 2018. С. 28–31.
9. Киризий Д. А. Углекислотный газообмен и перераспределение ассимилятов у фасоли при удалении генеративных органов // *Физиология и биохимия культурных растений.* 2000. Т. 32, № 2. С. 106–113.
10. Киризий Д. А. Влияние дефолиации затенения на фотосинтез и продуктивность в системе донорно-акцепторных отношений растительного организма // *Физиология и биохимия культурных растений.* 2003. Т. 35, № 2. С. 95–107.
11. Странко А. М., Касаткин М. Ю., Степанов С. А. Влияние света на морфогенез пшеницы // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2016. Т. 16, вып. 4. С. 411–414.
12. Williams R. F. The shoot apex and leaf growth: a study in quantitative biology. L. ; N. Y. : Cambridge University Press, 1975. 256 p.
13. Голуб Н. А. Параметры первичной корневой системы озимой пшеницы и возможности их использования в оценке сортов // *Физиология продуктивности и устойчивости зерновых культур* : сб. науч. тр. Краснодар : КНИСХ, 1988. С. 42–47.
14. Захарченко Н. А., Кумаков В. А. Продолжительность и последовательность периодов скрытого и видимого роста вегетативных органов побега яровой мягкой пшеницы // *Сельскохозяйственная биология.* 1998. № 1. С. 76–85.
15. Коробко В. В., Степанов С. А., Щеглова Е. К. Пластичность донорно-акцепторных отношений в онтогенезе побега пшеницы // *Регуляция роста, развития и продуктивности растений* : материалы II Междунар. науч. конф., г. Минск, 5–8 декабря 2001 г. Минск : Колорград, 2001. С. 101–102.

Образец для цитирования:

Шевлягина О. Ф., Коробко В. В. Особенности роста этиолированных растений в аспекте реализации донорно-акцепторных отношений // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2019. Т. 19, вып. 2. С. 170–176. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-170-176>

Some Features of Growth of Etiolated Plants in the Aspect of Implementation of Donor-Acceptor Relations

O. F. Shevlyagina, V. V. Korobko

Olesya F. Shevlyagina, <https://orcid.org/0000-0001-8415-4610>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, oshevlyagina@mail.ru

Valeria V. Korobko, <https://orcid.org/0000-0002-0444-8238>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, v.v.korobko@mail.ru

The object of the study was sprouts of spring soft wheat *Triticum aestivum* L. Cultivation was carried out in a climatic chamber at a temperature of $18 \pm 1^\circ \text{C}$. As a control, plants grown during the photoperiod day / night 16/8 were used. Some features of the growth and development of *Triticum aestivum* L. plants were revealed under etiolation conditions. It was established that differences in the length of the root system of etiolated and control seedlings are determined by the length of the roots of the upper tier. The first leaf of etiolated plants is characterized by a longer length and duration of growth. The differences in the length of the leaf control and experimental plants

are determined by the length of the leaf sheath. It was established that in the absence of light, the length of 2–4 leaves of ten-day plants is reduced by 24–34% compared to the control, the length of the fifth leaf is slightly different, and the sixth – exceeds the control values by 20–58%. The etiolation leads to a change in the functional activity of the apex of the shoot, which is manifested by a change in the initiation time of the sixth and seventh leaves. The analysis of the growth rates of epicotyl, coleoptile, roots and the first leaf has been carried out. It has been established that the relationship between changes of the root-maintenance of etiolated plants and the growth rate of the root system and the coleoptile has a direct character; and the growth rate of the epicotyl, the lamina and the sheath of the first leaf is the reverse.

Keywords: etiolation, light factor, wheat morphogenesis, *Triticum aestivum* L.

References

1. Ivanova L. A., Ivanov L. A., Ronzhina D. A., P'yankov V. I. The change in the leaf mesophyll of plants of different functional types in the shading. *Russian Journal of Plant Physiology*, 2008, vol. 55, no. 2, pp. 230–239 (in Russian).



2. Briggs W. R. Phototropism: Some history, some puzzles, and a look ahead. *Plant Physiology*, 2014, vol. 164, pp. 13–23. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.113.230573>.
3. Oguchi R., Hikosaka K., Hirose T. Does the photosynthetic Light-Acclimation Need Change in Leaf Anatomy? *Plant Cell Environ*, 2003, vol. 26, pp. 505–512.
4. Shevlyagina O. F., Korobko V. V. Influence of etiolation on mesophyll structure and leaf growth *Triticum aestivum* L. *World science: problems and innovations: a collection of articles of the XXII International Scientific and Practical Conference*. In 2 parts. Part 1. Penza, MTSNS “Nauka i Prosveshcheniye”, 2018, pp. 32–35 (in Russian).
5. Kuznetsov V. V., Dmitrieva G. A. *Plant Physiology*. In 2 vols. 4th ed., rev. and exp. Moscow, Yurayt Publ., 2016, vol. 1. 437 p. (in Russian).
6. Tsybul’ko B. C. Analysis of experimental validity of the basic theories and hypotheses of the biological nature of photoperiodism. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plant*, 1997, vol. 29, no. 4, pp. 258–264 (in Russian).
7. Kasatkin M. Yu., Stepanov S. A., Strapko A. M. The influence of etiolation on the spectral characteristics of the tissues of the epicotyl and coleoptile of wheat. *Bulletin of the Botanical Garden of Saratov State University*, 2017, vol. 15, no. 1, pp. 50–59 (in Russian).
8. Korobko V. V., Shevlyagina O. F. Features of root system growth of *Triticum aestivum* L. under the conditions of etiolation. *Nauka i obrazovanie: sokhranyaya proshloe, sozdayem budushee: sb. st. XVI Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 2 ch.* [Science and Education: Preserving the Past, Creating the Future: The Collection of Articles XVI International Scientific-Practical Conference]. In 2 parts. Part 1. Penza, MTSNS “Nauka i Prosveshcheniye”, 2018, pp. 28–31 (in Russian).
9. Kiriziy D. A. Carbon dioxide gas exchange and redistribution of assimilates in beans at removal of generative organs. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 2000, vol. 32, no. 2, pp. 106–113 (in Russian).
10. Kiriziy D. A. Influence of shading defoliation on photosynthesis and productivity in the system of donor-acceptor relations of plant organism. *Physiology and Biochemistry of Cultivated Plants*, 2003, vol. 35, no. 2, pp. 95–107 (in Russian).
11. Strapko A. M., Kasatkin M. Yu., Stepanov S. A. Light influence on morphogenesis wheat. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2016, vol. 16, iss. 4, pp. 411–414 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-4-411-414
12. Williams R. F. *The shoot apex and leaf growth: a study in quantitative biology*. London, New York, Cambridge University Press, 1975. 256 p.
13. Golub N. A. Parameters of the primary root system of winter wheat and the possibility of their use in the evaluation of varieties. In: *Physiology of Productivity and Stability of Grain Crops*. Collection of Proceedings. Krasnodar, KNISH, 1988, pp. 42–47 (in Russian).
14. Zaharchenko N. A., Kumakov V. A. Duration and sequence of periods for hidden and visible growth of vegetative organs of spring soft wheat escape. *Agricultural Biology*, 1998, no. 1, pp. 76–85 (in Russian).
15. Korobko V. V., Stepanov S. A., Shcheglova E. K. Plasticity of donor-acceptor relations in the ontogenesis of wheat escape. *Regulyatsiya rosta, razvitiya i produktivnosti rasteniy: materialy II Mezhdunar. nauch. konf.* [Regulation of Plant Growth, Development and Productivity: Proceedings of the II International Scientific Conference, Minsk, 5–8 December 2001]. Minsk, Kolorgrad Publ., 2001, pp. 101–102 (in Russian).

Cite this article as:

Shevlyagina O. F., Korobko V. V. Some Features of Growth of Etiolated Plants in the Aspect of Implementation of Donor-Acceptor Relations. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 170–176 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-170-176>



УДК 631.468.52

Таксономический состав напочвенных беспозвоночных и их соотношение в различных типах лиственных лесов в пределах Тобольского района Тюменской области



Н. В. Важенина

Важенина Наталья Викторовна, научный сотрудник группы экологии живых организмов, Тобольская комплексная научная станция Уральского отделения РАН, nataliavict@yandex.ru

На основе материалов учета беспозвоночных животных почвенными ловушками проведен анализ состава и пространственного распределения поверхностно-подстилочной мезофауны в лиственных лесах коренной террасы р. Иртыш. Учеты проводили в 2005–2010 гг. в трех типах леса – осинник, липняк и березняк, расположенных в пределах Тобольского района Тюменской области (южная тайга, Западная Сибирь). В результате в лесах выявлен 281 вид беспозвоночных, около 50% из которых приходилось на семейства Carabidae, Staphylinidae и Linyphiidae. Показатели видового богатства и динамической активности мезофауны снижались в ряду осинник – липняк – березняк. В осиннике наблюдалась наибольшая концентрация жуков-жужелиц (Carabidae), стафилинид (Staphylinidae) и сенокосцев (Oriliones), в липняке – пауков (Aranei), долгоносиков (Curculionidae), клопов (Heteroptera) и личинок двукрылых (Diptera), в березняке – мертвоедов (Silphidae) и дождевых червей (Lumbricidae). Доминирующий комплекс во всех лесах представляли жесткокрылые, общим доминантом выступал *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787). Наибольшее сходство видового состава, динамики и обилия отдельных групп напочвенной мезофауны в трех типах леса выявлено между осинником и липняком. Специфичность каждому сообществу придают виды, присутствие и относительное обилие которых связано с характером лесной подстилки, травяно-кустарничкового яруса и граничащими с лесами биотопами.

Ключевые слова: мезофауна, обилие, леса, коренная терраса, низовья Иртыша, южная тайга, Западная Сибирь.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-177-187>

Введение

Зональным типом растительности подзоны южной тайги Западной Сибири считаются темнохвойные леса. Лиственные леса преимущественно вторичные и являются производными зональных сообществ – это березовые, березово-осиновые группировки, спорадически липняки, расположенные на коренной террасе Иртыша [1].

Одними из самых распространенных объектов почвенно-зоологических исследований в лесных экосистемах, наряду с почвенной мезофауной, выступают напочвенные беспозвоночные (паукообразные, многоножки, жесткокрылые и др.) [2]. Эта группа животных обладает относительно большой численностью, достаточно бы-

стро реагирует на изменение условий обитания и удобна для определения основных средообразующих факторов сообществ [3–5].

В южно-таежных лесах в пределах бассейна нижнего течения Иртыша пространственно-биотопическое распределение напочвенной мезофауны изучено недостаточно. К настоящему времени наиболее подробно в этом плане рассмотрены экологические аспекты лесного комплекса жуков-жужелиц (Carabidae) [6]. Приводятся сведения о биотопическом распределении отдельных групп беспозвоночных в данном регионе [7–10], тогда как разнообразие и структурная организация сообществ наземных беспозвоночных в лесах в целом остаются нераскрытыми.

В этой связи особый интерес представляют лиственные леса подзоны, как известно, обладающие относительно высоким видовым разнообразием мезофауны по сравнению с зональными темнохвойными группировками [11, 12].

На коренной террасе Нижнего Иртыша лиственные формации представлены березняками, осинниками и липняками с примесью хвойных пород. Все три типа леса встречаются в пределах Тобольского района Тюменской области (южная тайга Западной Сибири). Поэтому проведение сравнительного анализа напочвенной мезофауны в разнотипных лесах в границах относительно небольшой территории с равным влиянием климатических факторов на сообщества определяет оригинальность данной работы.

Объектом исследования являлись наземные беспозвоночные, обитающие на поверхности почвы, в лесной подстилке и нижнем ярусе травостоя.

Цель работы заключалась в выявлении, а также сравнении качественного и количественного состава поверхностно-подстилочной мезофауны в трех типах лиственного леса, расположенных в пределах Тобольского района.

Материалы и методы

Исследования проводили в Тобольском районе Тюменской области (подзона южной тайги Западной Сибири). Для оценки основного разнообразия мезофауны лиственных лесов коренной



террасы Иртыша выбраны участки трех типов леса, различающихся древесными эдификаторами и напочвенным покровом.

1. Высокотравный осинник на поверхности коренной террасы (58°09, 219' с. ш., 68°29, 180' в. д.), представленный осиной с примесью березы и пихты. Сомкнутость крон 0,8. В подросте отмечены черемуха, пихта, сосна и липа, в подлеске – смородина, шиповник, жимолость, ива, рябина и калина. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса 50%, доминирует сныть обыкновенная. Подстилка мощностью 2 см.

2. Липняк злаково-разнотравный на коренном берегу р. Иртыш (58° 18, 219' с. ш., 68° 15, 689' в. д.). Лес представлен липой порослевой с единичной осиной в подросте и с участием жимолости, шиповника, черемухи, смородины в подлеске. Сомкнутость крон 0,8. В травяном покрове преобладают сныть обыкновенная и осока большехвостая, проективное покрытие 70%. Подстилка мощностью 3 см.

3. Березняк орляково-осочковый в предвершинной части пологого склона северной экспозиции коренной террасы (58° 10, 369' с. ш., 68° 16, 864' в. д.). Сомкнутость крон 0,5. В подросте единично встречается осина. Разреженный подлесок формируют шиповник, ива, крушина, свидина, боярышник, черемуха и рябина. Травяной покров – осока большехвостая и орляк сибирский (95% покрытия). Подстилка мощностью 3 см.

Учеты беспозвоночных проводили в вегетационные сезоны 2005–2010 гг. путем отлова почвенными ловушками [13]. На каждом участке устанавливали по 10 ловчих банок объемом 200 мл, на 1/3 заполненных 4%-ным раствором формалина. Ловушки размещали в линию на расстоянии 8–10 м друг от друга. Время экспозиции ловушек – с первой декады мая по вторую декаду сентября, выборка материала осуществлялась каждые 10 сут. Всего отработано около 4500 ловушко-суток (за исключением высохших и за-

литых дождевой водой банок) и собрано свыше 9 000 экземпляров беспозвоночных животных.

При оценке таксономического разнообразия группы Isopoda, Opiliones, Lepidoptera, Neuroptera рассматривались до отрядов, Diptera и Hymenoptera – до семейств, так как их видовая принадлежность к настоящему времени не определена. При анализе динамической плотности (экз./100 лов.-сут) учитывались личиночные и имагинальные стадии развития животных.

Доминирующими являются виды, относительное обилие которых превышает 5% от общего численного обилия беспозвоночных в сообществе.

Виды Coleoptera приведены согласно «Каталогу жесткокрылых Палеарктики» [14–16], Aranei – по работе С. Л. Есюнина и А. С. Степиной [9].

Для сравнительного анализа мезофауны лесных участков определен коэффициент фаунистического сходства Жаккара (с помощью программы Past v3.17) и индекс Бергера – Паркера [17].

Результаты и их обсуждение

Напочвенная мезофауна лиственных лесов исследуемого района была представлена 7 классами беспозвоночных животных: ракообразные (Crustacea), малощетинковые черви (Oligochaeta), брюхоногие моллюски (Gastropoda), паукообразные (Arachnidae), губоногие многоножки (Chilopoda), двупарноногие многоножки (Diplopoda) и насекомые (Insecta). Среди учтенных групп выявлен 281 вид из 69 семейств. Значительным числом видов отличались семейства жуков-жужелиц (Carabidae), стафилинид (Staphylinidae) – по 50 видов – и пауки-линейфииды (Linyphiidae) – 39 видов.

Наибольшее видовое богатство животных наблюдалось в осиннике, наименьшее – в березняке (табл. 1). По числу видов во всех лесах доминировали Carabidae (20–22%), Staphylinidae (12–21%) и Linyphiidae (10–18%).

Таблица 1 / Table 1

Таксономический состав напочвенных беспозвоночных лиственных лесов Тобольского района, число видов
Taxonomic composition of soil invertebrates in deciduous forests of Tobolsk district, number of species

Таксоны / Taxons	Осинник / Aspen forest	Липняк / Lime forest	Березняк / Birch forest
Gastropoda:	8	1	2
Arionidae	1	1	1
Hygromiidae	2	–	1
Gastropoda (прочие) /other	5	–	–
Oligochaeta, Lumbricidae	3	3	3



Окончание табл. 1 / End of table 1

Таксоны / Taxons	Осинник / Aspen forest	Липняк / Lime forest	Березняк / Birch forest
Arachnida, Aranei:	28	37	28
Gnaphosidae	–	2	–
Linyphiidae	18	22	18
Lycosidae	6	4	6
Tetragnathidae	1	2	1
Theridiidae	–	3	–
Thomisidae	2	2	2
Aranei (прочие) / other	1	2	1
Chilopoda:	3	3	2
Lithobiidae	2	2	2
Henicopidae	1	–	–
Geophilidae	–	1	–
Diplopoda, Polydesmidae	–	1	1
Insecta:	140	101	63
Coleoptera:	123	91	52
Carabidae	38	30	22
Staphylinidae	38	26	12
Silphidae	8	3	3
Curculionidae	5	8	5
Leiodidae	7	7	–
Elateridae	4	3	1
Scarabaeidae	–	1	1
Geotrupidae	1	1	–
Scirtidae	2	1	2
Lampyridae	1	1	–
Cantharidae	1	1	–
Nitidulidae	1	–	1
Cryptophagidae	1	1	–
Coccinellidae	2	2	–
Lathridiidae	1	1	1
Lagriidae	1	1	–
Chrysomelidae	4	2	2
Apionidae	2	1	1
Coleoptera (прочие) / other	6	1	1
Heteroptera:	8	6	7
Miridae	2	–	–
Lygaeidae	2	1	3
Acanthosomatidae	2	1	2
Pentatomidae	–	1	2
Heteroptera (прочие) / other	2	3	–
Cicadinea:	7	3	4
Aphrophoridae	3	1	1
Cicadellidae	4	2	3
Orthoptera, Tetrigidae	2	1	–
Всего видов / Total number of species	182	146	99



Лесные участки характеризовались достаточно низким коэффициентом фаунистического сходства по Жаккару (K_j): 0,26–0,31 (рис. 1). При этом наиболее высокий уровень сходства обнаружен между липняком и осинником, объединенным в один кластер с бутстрэп-коэффициентом до 48%. В первую очередь это связано со сходными почвенно-растительными условиями (состав подлеска и травяно-кустарничкового яруса) и относительно высоким разнообразием беспозвоночных в этих сообществах.

Максимальная динамическая плотность беспозвоночных (по среднеголетним показателям) выявлена в осиновом лесу, минимальная – в березовом (табл. 2). Наивысшие значения плотности определены для Carabidae (96,6 экз./100 лов.-сут), Staphylinidae (26,5 экз./100 лов.-сут), Silphidae (17,6 экз./100 лов.-сут) и Opiliones (12,3 экз./100 лов.-сут), учтенных в осиннике; для Curculionidae (29,5 экз./100 лов.-сут) и Aranei (17,5 экз./100 лов.-сут) – в липняке. Показатели среднеголетней активности остальных таксономических групп были ниже 10 экз./100 лов.-сут.

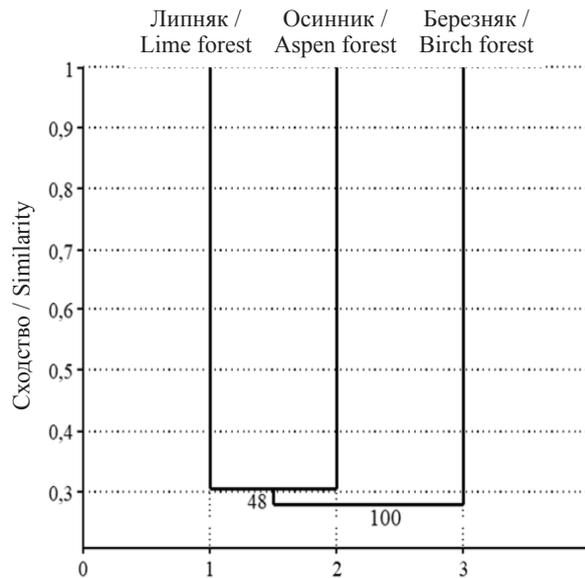


Рис. 1. Сходство видового состава напочвенной мезофауны лесных участков (коэффициент Жаккара)

Fig. 1. Similarity of species composition of soil mesofauna for forest plots (according to Jaccard coefficient)

Таблица 2 / Table 2

Динамическая плотность основных групп напочвенной мезофауны в изученных лесных участках, среднее ± ошибка, экз./100 лов.-сут

Dynamic density of main groups of soil mesofauna in studied forest areas, mean ± error, specimens per 100 trap-nights

Таксоны / Taxons	Осинник / Aspen forest	Липняк / Lime forest	Березняк / Birch forest
Aranei	13,5±8,3	17,5±7,5	7,3±3,7
Opiliones	12,3±16,8	4,7±2,9	2,8±2,2
Lithobiidae	3,8±2,0	3,3±1,4	1,5±0
Lumbricidae	2,2±1,2	1,9±0,7	4,8±0,4
Gastropoda	2,5±1,3	2,2±0,5	0,3±0,1
Coleoptera:	148,3±88,9	89,5±15,6	37,2±3,4
Carabidae, i+l	96,6±56,1	30,6±6,2	15,0±1,0
Staphylinidae, i	26,5±22,6	13,9±1,4	5,5±1,2
Silphidae, i+l	17,6±12,3	2,7±1,3	14,3±2,2
Curculionidae, i+l	0,5±0,3	29,5±10,4	1,1±0,2
Geotrupidae, i	2,5±2,8	8,2±3,4	–
Leiodidae, i	2,3±1,3	1,2±0,7	–
Coleoptera, прочие / other, i+l	2,3±0,2	3,4±0,3	1,3±0,2
Diptera, l	4,8±4,3	6,6±1,0	0,9±0,5
Cicadinea, i+l	1,9±0,8	1,7±0,1	1,2±0,6
Heteroptera, i+l	0,7±0,4	4,7±4,1	0,9±0,1
Lepidoptera, l	1,5±0,4	–	0,6±0,3
Прочие группы / Other groups	3,3±1,0	5,4±1,6	2,3±0,5
Bcero / Total	194,8±23,7	137,5±13,9	59,8±7,0

Примечание. Для насекомых приведены учитываемые стадии развития: i – имаго, l – личинка.

Note. For insects, considered developmental stages are given: i – imago, l – larva.



Наиболее многочисленной и разнообразной группой мезофауны являлись жесткокрылые (Coleoptera) с относительным обилием, не менее 60%, в каждом сообществе (рис. 2). Также можно выделить паукообразных (Opiliones и Aranei),

представляющих от 13 до 17% обилия. Доля участия остальных групп не превышала 10%. Выявленное соотношение обилия таксономических групп характерно для южно-таежных лесов Западной Сибири [11].

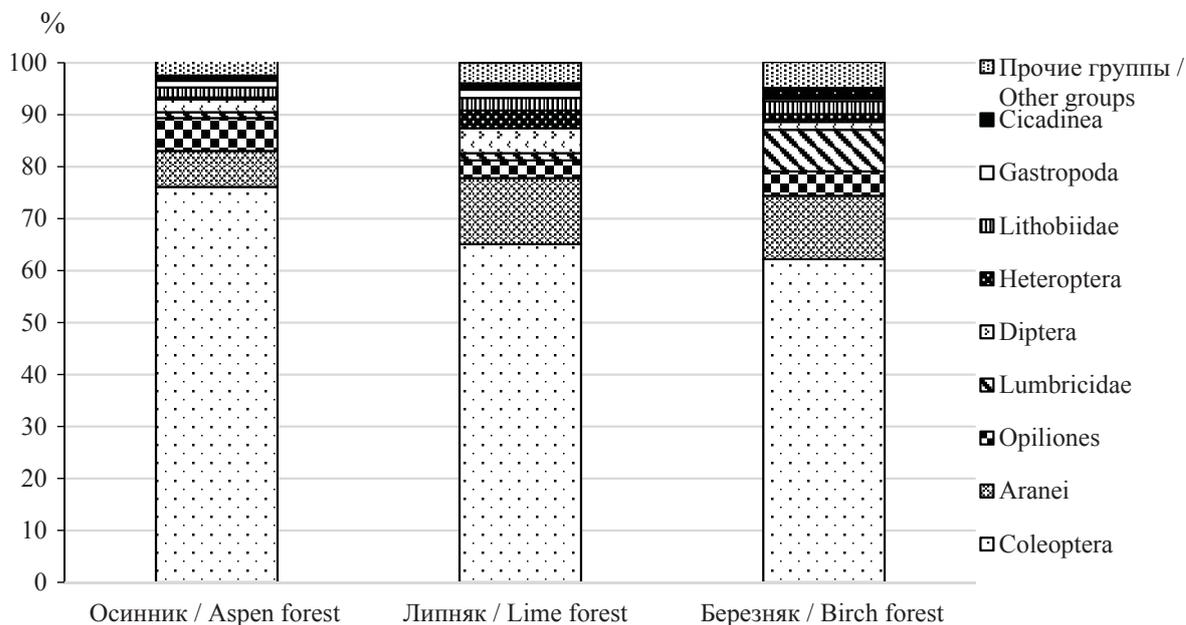


Рис. 2. Соотношение групп напочвенной мезофауны по численному обилию в лиственных лесах Тобольского района

Fig. 2. Ratio for groups of soil mesofauna on numerical abundance in deciduous forests of Tobolsk district

Состав и относительное обилие семейств жесткокрылых в изученных лесах представлены на рис. 3. В целом среди жуков преобладали

жужелицы (40–65%). Их максимальные видовое богатство (38 видов) и численность (96,6 экз./100 лов.-сут) выявлены в осиннике.

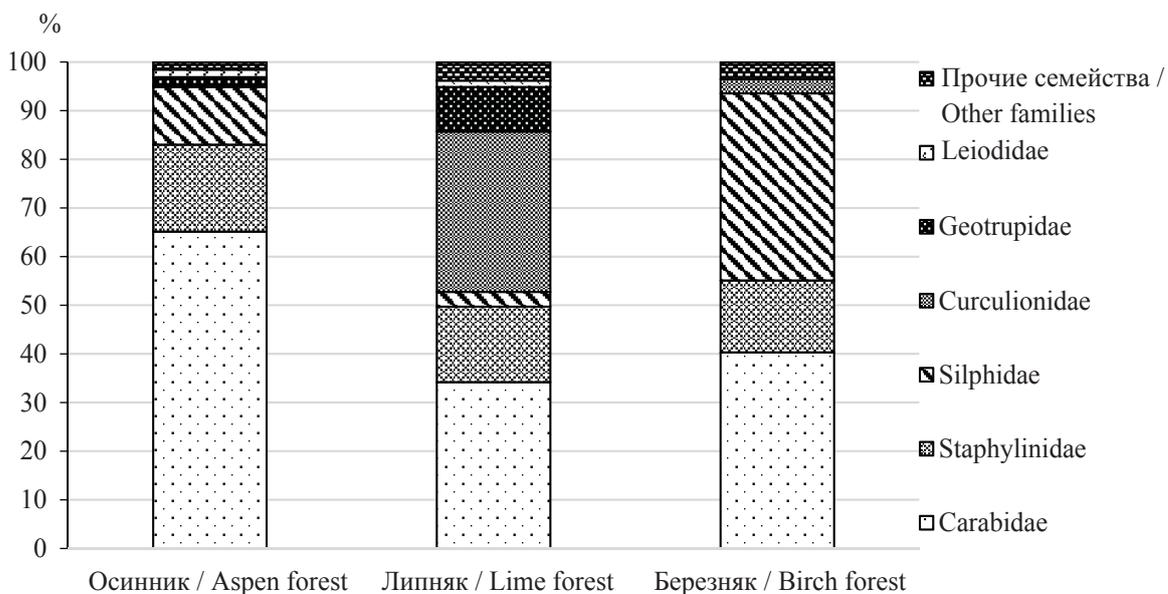


Рис. 3. Соотношение семейств жесткокрылых (Coleoptera) по численному обилию в лиственных лесах Тобольского района

Fig. 3. Ratio for families of beetles (Coleoptera) on numerical abundance in deciduous forests of Tobolsk district



Во всех трех местообитаниях наблюдалось 13 видов, из них *Carabus aeruginosus* Fisher von Waldheim, 1822, *Trechus secalis* (Paykull, 1790), *Pterostichus niger* (Schaller, 1783), *P. oblongopunctatus* (Fabricius, 1787) и *P. melanarius* (Illiger, 1798) значительно преобладали по численности и в сумме составляли от 12 до 30% динамической плотности животных на участках. Перечисленные виды считаются характерными элементами фауны зональных южно-таежных группировок Западной Сибири [6, 18].

Из общего состава жужелиц 14 видов встречены только в осиновом лесу, где наиболее многочисленными были *Carabus granulatus* Linnaeus, 1758, *Poecilus versicolor* (Sturm, 1824), *Calathus melanocephalus* (Linnaeus, 1758), *Synuchus vivalis* Illiger, 1798 и *Amara aulica* (Panzer, 1796). Из них лишь *C. granulatus* – лесной вид, предпочитающий лиственные и смешанные леса в пределах подзоны [6, 18]. Остальные перечисленные виды тяготеют к открытым травянистым биотопам и, скорее всего, являются мигрантами с пограничного с лесом злаково-разнотравного луга. Следует отметить, что только в пределах липового леса отмечалось 6 видов, в березняке – 3, при этом виды попадались в ловушки редко и нерегулярно.

Если жужелицы в лесах выступают основной группой активных напочвенных хищников, то стафилиниды (Staphylinidae) – господствующей группой хищников внутри растительных остатков и лесной подстилки. На долю этого семейства приходилось от 15 до 18% обилия жуков на участках (см. рис. 3). Максимальное разнообразие (38 видов) и динамическая плотность видов (26,5 экз./100 лов.-сут) наблюдались в осиннике (см. табл. 1, 2).

Среди зарегистрированных видов 7 являлись общими: *Tachinus marginellus* (Fabricius, 1781), *Geostiba circellaris* (Gravenhorst, 1806), *Acrotoma fungi* (Gravenhorst, 1806), *Xantholinus tricolor* (Fabricius, 1787), *Philonthus decorus* (Gravenhorst, 1802), *Staphylinus erythropterus* Linnaeus, 1758 и *Quedius fuliginosus* (Gravenhorst, 1802). Приведенные виды имеют широкое распространение не только в лесных, но и луговых сообществах на исследованной территории [7] и были наиболее многочисленны. Наибольшей уловистостью среди них (в среднем более 7 экз./100 лов.-сут) отличались виды *P. decorus* и *S. erythropterus*, совершающие активные вертикальные миграции между почвой и подстилкой и предпочитающие богатые разлагающейся органикой биотопы.

Ряд стафилинид отмечался в пределах лишь одного леса: в осиннике к таковому относилось 19 видов, в липняке – 10, в березняке – 1, при этом все они встречались редко.

Мертвоеды (Silphidae) отличались высокой активностью в осиннике и березняке (см. табл. 2). Кроме падали мертвоеды могут питаться гниющими растительными остатками и грибами, что, вероятно, определило максимальное обилие видов (38%) в березняке с богатой разлагающейся органикой подстилкой.

На всех участках присутствовали виды *Silpha carinata* Herbst, 1783, *Phosphuga atrata* (Linnaeus, 1758) и *Nicrophorus vespilloides* Herbst, 1783, достаточно распространенные в южно-таежных лесах [11], причем последний вид был самым массовым из них – до 13 экз./100 лов.-сут (осинник). Остальные виды отмечались только в осиннике: *Oiceoptoma thoracicum* (Linnaeus, 1758), *Nicrophorus investigator* Zetterstedt, 1824 и *N. vestigator* Herschel, 1807 – типично лесные обитатели; *Nicrophorus vespillo* (Linnaeus, 1758) и *Silpha obscura* Linnaeus, 1758 на изученной территории чаще встречаются в агроценозах [19] и, вероятнее всего, являлись пришлыми видами из пограничной с лесом разнотравной залежи. Также не исключено, что на показатели активности мертвоедов оказывали влияние мышевидные грызуны, попадавшие в ловушки.

Долгоносики (Curculionidae) были представлены 15 видами, большинство которых – фитофаги, редко учитываемые ловушками. На долю семейства приходилось до 33% обилия жуков на участке (см. рис. 3). Для трех сообществ отмечался только один общий вид *Brachysomus echinatus* (Bonsdorff, 1785) с максимальной численностью в липняке (не менее 17 экз./100 лов.-сут ежегодно), *B. echinatus* – детритофаг, обитатель лесной подстилки, тяготеющий к околоводным местообитаниям. Вероятно, близкое расположение леса к руслу реки определило высокую активность этого вида в сообществе (см. табл. 2).

Семейство навозники (Geotrupidae) включало лишь один типично лесной вид – копрофаг *Anoplotrupes stercorosus* (Hartmann in L. G. Scriba, 1791), отмеченный в осиннике и липняке. При этом в последнем он составлял до 9% от общего обилия жуков с уловистостью до 8,2 экз./100 лов.-сут. (см. табл. 2, рис. 3).

Лейодиды (Leiodidae) были представлены 9 видами, обитавшими в осиннике и липняке (см. табл. 1, 2) и составляющими не более 2% обилия жуков (см. рис. 2). Наибольшей активностью характеризовались мицетофаг *Amphicyllis globus* (Fabricius, 1792) и сапрофаг *Sciodrepoides watsoni* (Spense, 1813), выявленные в осиннике.

Остальные семейства жуков играли незначительную роль в напочвенном населении лесов и в целом составляли не более 1% обилия.



В лесах было обнаружено 62 вида пауков (Aranei) из 10 семейств (см. табл. 1). Более половины видов относилось к Linyphiidae – самому крупному семейству пауков в подзоне южной тайги Западной Сибири, широко представленному в лесных местообитаниях [9]. Также следует отметить семейство Lycosidae – около 25% видов. В составе остальных семейств выявлено не более 3 видов (7%).

Относительно высоким разнообразием и обилием пауки отмечались в липняке (см. табл. 1, 2, рис. 2), причем около 35% выявленных видов встречалось только в пределах данного участка. Из них по численности преобладал *Gonylidium rufipes* (Linnaeus, 1758) – вид, тяготеющий к пойменным лесам [9], что, вероятно, определило его концентрацию в лесу, расположенном на коренном берегу Иртыша.

Общими для трех участков являлись 8 видов из 3 семейств: Linyphiidae – *Allomengea scopigera* (Grube, 1859), *Gnathonarium dentatum* (Wider, 1834), *Macrargus rufus* (Wider, 1834), *Tenuiphantes nigriventris* (L. Koch, 1879); Thomisidae – *Ozyptila praticola* (L. Koch, 1837), *Xysticus ulmi* (Hahn, 1831); Lycosidae – *Pardosa lugubris* (Walckenaer, 1802), *Trochosa terricola* Thorell, 1856, максимальной численностью среди которых отличались пауки-волки (Lycosidae) – обитатели рыхлого листового опада, представленные наибольшим количеством (в среднем 3 экз./100 лов.-сут) в липняке с мощной подстилкой из листвы.

Сенокосцы (Opiliones) предпочитают высокоствольные леса и были наиболее активны в осиннике (см. табл. 2), где составляли до 6% обилия (см. рис. 2).

Во всех лесах отмечались дождевые черви (Lumbricidae), представленные 4 видами (см. табл. 1, 2) с наибольшим обилием (8%) в березняке (см. рис. 2). Березовый лес, обладая мощной богатой разлагающейся органикой подстилкой создает благоприятные условия для обитания червей. В ловушки, чаще всего, попадал подстилочный червь *Dendrodaena octaedra* (Savigny, 1826), наиболее массовый на участках (от 1,0 до 3,6 экз./100 лов.-сут).

Наибольшая концентрация личинок двукрылых (Diptera) наблюдалась в липняке (см. табл. 2, рис. 2), где основную долю определяли Sciaridae – 5 экз./100 лов.-сут, – представленные меньшим количеством в осиннике (3 экз./100 лов.-сут) и березняке (менее 1 экз./100 лов.-сут). Это типичные для умеренных широт обитатели лесной подстилки, питающиеся разлагающейся растительной органикой и мицелием.

Клопов (Heteroptera) отмечено 16 видов из 9 семейств. Их максимальные доля и разно-

образии наблюдались в липняке, минимальные – в осиннике (см. табл. 1, рис. 2). Относительно высокая уловистость клопов в липняке (см. табл. 2) определена активностью вида *Pyr-rhocoris apterus* Linnaeus, 1758 (до 2,3 экз./100 лов.-сут), часто встречающегося на урбанизированных территориях. Поэтому в лесу, расположенном в черте города и подверженном антропогенной нагрузке, вид концентрировался большими скоплениями в местах зимовок (пни, поваленные стволы деревьев, кострища).

Среди Chilopoda не менее 2% общего обилия беспозвоночных в сообществах представляли косянки (Lithobiidae). Виды *Lithobius curtipes* C. Koch, 1847 и *L. proximus* Sselivanoff, 1878 отмечались во всех биотопах и составляли не менее 3 экз./100 лов.-сут в осиннике и липняке. Из них *L. curtipes* считается самым распространенным и массовым в районе исследования, а обитание *L. proximus* ограничивается листовыми и таежными группировками, что в первую очередь связано с уровнем влажности среды [8].

Брюхоногие моллюски (Gastropoda) включали 8 видов из 7 семейств. Наибольшей заселенностью моллюсками отличался осинник (см. табл. 1, 2). Во всех сообществах встречался слизень *Arion sibiricus* Simroth, 1901 с максимальной уловистостью в липняке (до 2 экз./100 лов.-сут). К многочисленным также можно отнести вид *Lindholmomneme rhysotha* (Westerlund, 1876), выявленный в березняке, осиннике и наиболее массовый в последнем – более 1 экз./100 лов.-сут. Перечисленные виды широко распространены в листовых и смешанных лесах подзоны южной тайги [10].

Цикадовые (Cicadinea) попадались в ловушки нерегулярно, но при этом в среднем составляли до 1,9 экз./100 лов.-сут (осинник). Группа включала 9 видов из двух семейств, среди которых можно отметить виды *Philaenus spumarius* (Linnaeus, 1758) и *Streptanus aemulans* Kirschbaum, 1868 – общие для трех сообществ. Из них первый вид чаще всего встречается в высокоствольных лесных биотопах, второй приурочен к разнотравным лугам в районе исследования [20, 21].

Остальные учтенные группы принимали минимальное участие в комплексах напочвенных беспозвоночных лесных участков (не более 1% обилия).

За весь период исследования состав доминантов в сообществах варьировал от 3 до 8 видов, представленных жесткокрылыми. В целом по среднесезонным показателям численного обилия в лесных сообществах можно выделить как общие, так и специфичные виды – преобладающие только в пределах одного типа леса (табл. 3).



Таблица 3 / Table 3

Состав доминирующих видов жесткокрылых в лесных участках (% от общей численности мезофауны)
Composition of dominant coleoptera species in forest plots (% of total number of mesofauna)

Вид / Species	Осинник / Aspen forest	Липняк / Lime forest	Березняк / Birch forest
<i>Brachysomus echinatus</i> (Bonsdorff, 1785)	+	21	+
<i>Pterostichus melanarius</i> (Illiger, 1798)	12	+	3
<i>Pterostichus oblongopunctatus</i> (Fabricius, 1787)	10	8	5
<i>Pterostichus niger</i> (Schaller, 1783)	8	1	5
<i>Nicrophorus vespilloides</i> Herbst, 1783	7	+	+
<i>Anoplotrupes stercorosus</i> (Hartmann in L. G. Scriba, 1791)	1	6	-
<i>Carabus aeruginosus</i> Fisher von Waldheim, 1822	5	5	+
<i>Philonthus decorus</i> (Gravenhorst, 1802)	5	+	2
<i>Tachinus rufipes</i> (Linnaeus, 1758)	+	-	5
<i>Staphylinus erythropterus</i> Linnaeus, 1758	5	+	+

Примечание. – не найдены; + встречаются единично, жирным шрифтом выделены виды-доминанты.

Note. – not found, + single exemplars, dominant species are highlighted in bold.

К общим доминантам относился лишь один типично лесной вид *P. oblongopunctatus*, встречающийся в хвойных, лиственных и смешанных лесах от границ северной тайги до лесостепи Западно-Сибирской равнины [11, 20].

Специфичными доминантами в осиннике выступали стафилиниды *P. decorus*, *S. erythropterus* и мертвоед *N. vespilloides*, предпочитающие не только лиственные леса, но и разнотравные луга, поэтому преобладание этих видов в сообществе, вероятно, обусловлено его близким соседством с травянистой залежью.

В липняке выявлено два специфичных доминанта – долгоносик *B. echinatus* и навозник *G. stercorosus*; в березняке один – стафилинида *T. rufipes*. Эти виды считаются довольно обычными в районе исследования и приурочены к лиственным и смешанным лесам подзоны [20, 21].

Следует отметить, что доля участия *B. echinatus* в липняке составляла 21% при участии остальных видов беспозвоночных не более 8%, что определило самый высокий показатель доминирования Бергера – Паркера среди изученных участков – 0,26. Минимальный показатель доминирования 0,09 отмечался на полидоминантном участке березняка с низким видовым составом и достаточно ровным распределением обилия беспозвоночных.

Заключение

Напочвенные беспозвоночные изученных лиственных лесов коренной террасы Иртыша

в пределах Тобольского района Тюменской области представлены широким таксономическим разнообразием. По видовому составу, динамической плотности и обилию в лесах преобладали хищные группы беспозвоночных – жужелицы, стафилиниды и пауки.

Максимум видового разнообразия и динамической плотности беспозвоночных наблюдался в осиннике с примесью березы и пихты. Высокотравье, подстилка из листового опада и хвои, относительно близкое расположение к разнотравному суходольному лугу, вероятно, определили относительно высокую долю в этом сообществе жужелиц, стафилинид и сенокосцев, среди которых наряду с лесными встречались виды, характерные для открытых биотопов. В липняке, расположенном вблизи русла реки и обладающем мощной рыхлой листовой подстилкой, отмечалась наибольшая активность пауков, долгоносиков, клопов и личинок двукрылых. Березняк характеризовался обедненным видовым составом и самой низкой динамикой мезофауны. При этом быстро разлагаемая подстилка из березовой листвы определила здесь наибольшую значимость дождевых червей и мертвоедов. Состав доминантов представлен типичными южно-таежными лесными видами жесткокрылых с одним общим для всех участков видом – *Pterostichus oblongopunctatus* (F.).

Состав беспозвоночных в трех типах леса характеризуется низким коэффициентом сходства ($K_f < 31\%$). По качественным и количе-



ственным характеристикам мезофауны наибольшее сходство обнаружено между осинником и липняком, наиболее близких по почвенно-растительным условиям. Специфичность лесным комплексам напочвенных беспозвоночных придают виды, пространственное распределение которых обусловлено характером лесной подстилки, травяно-кустарничкового яруса и пограничными с лесами сообществами.

Благодарности

Автор выражает признательность коллегам С. П. Бухкало, Д. Е. Галичу, Е. В. Сергеевой (Тобольская комплексная научная станция УрО РАН) за помощь при сборе и первичной обработке материала.

Список литературы

1. Западная Сибирь / под ред. Г. Д. Рихтера. М. : Изд-во АН СССР, 1963. 498 с.
2. Тихомирова А. Л. Учет напочвенных беспозвоночных // Методы почвенно-зоологических исследований. М. : Наука, 1975. С. 73–85.
3. Бухкало С. П. Видовой состав наземных беспозвоночных тополево-чозениевых лесов экосистем северо-востока России // Рус. энтомол. журн. 2002. Т. 11, вып. 1. С. 101–110.
4. Анциферов А. Л., Бакулина Е. В. Лесная фауна герпетобиянтов и ее трансформация при вторичной сукцессии на вырубках // Вестник КГУ им. Н. А. Некрасова. 2014. № 3. С. 27–30.
5. Трошкова И. Ю., Трошков Н. Ю. Структура населения напочвенных беспозвоночных смешанных лесов Приокской террасы // Естественные и математические науки в современном мире. Новосибирск : Ассоциация науч. сотрудников «Сибирская академическая книга», 2014. № 15. С. 178–187.
6. Важенина (Алемасова) Н. В. Экология жужелиц (Coleoptera, Carabidae) лесов южной тайги Западной Сибири // Науч. вед-ти. Сер. Естеств. науки. 2013. № 10 (153), вып. 23. С. 77–82.
7. Бухкало С. П., Сергеева Е. В., Семенов В. Б. Фауна жуков-стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) центральной части южной тайги Западной Сибири // Евразият. энтомол. журн. 2012. Т. 11, № 4. С. 343–353.
8. Сергеева Е. В. Биотопическое распределение и численность губоногих многоножек (Chilopoda) в сообществах долины Иртыша в Западной Сибири // Евразият. энтомол. журн. 2013. Т. 12, № 6. С. 529–533.
9. Есюнин С. Л., Степина А. С. Фауна и биотопическое распределение пауков (Aranei) подзоны южной тайги Западной Сибири // Вестник Перм. ун-та. Биология. 2014. Вып. 4. С. 24–54.
10. Сергеева Е. В. Состав и распределение наземных моллюсков (Gastropoda, Pulmonata) в сообществах южной тайги Западной Сибири // Современные тенденции развития науки и технологий. 2016. № 2-1. С. 64–67.
11. Стриганова Б. Р., Порядина Н. М. Животное население почв бореальных лесов Западно-Сибирской равнины. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2005. 234 с.
12. Егунова М. Н., Безкоровайная И. Н. Особенности формирования мезофауны в 40-летних лесных культурах на старопашотной серой почве // Вестник КрасГАУ. Биол. науки. Почвоведение. 2015. № 6. С. 3–9.
13. Barber H. S. Traps for cave-inhabiting insect // J. Elisha Mitchell Science Soc. 1931. Vol. 46. P. 259–266.
14. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 1. Archostemata – Mухophaga – Aдеphaga / eds. I. Löbl, D. Löbl. Stenstrup : Apollo Books, 2003. 819 p.
15. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 2. Hydrophiloidea – Histeroidea – Staphylinidae / eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup : Apollo Books, 2004. 942 p.
16. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 8. Curculionidae II / eds. I. Löbl, A. Smetana. Leiden ; Boston : Brill, 2013. 700 p.
17. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М. : Наука. 1982. 284 с.
18. Стриганова Б. Р. Особенности биотопического распределения жужелиц (Coleoptera, Carabidae) в тайге Западной Сибири // Рус. энтомол. журн. 2001. Т. 10, вып. 3. С. 30–45.
19. Бухкало С. П., Алемасова Н. В., Сергеева Е. В. Фауна и зоогеографическая характеристика жужелиц (Coleoptera, Carabidae) центральной части южной тайги Западной Сибири // Евразият. энтомол. журн. 2010. Т. 9, вып. 4. С. 616–624.
20. Бухкало С. П., Галич Д. Е., Сергеева Е. В., Алемасова Н. В. Конспект фауны жуков южной тайги Западной Сибири (в бассейне нижнего Иртыша). М. : Т-во науч. изд. КМК, 2011. 267 с.
21. Бухкало С. П., Галич Д. Е., Сергеева Е. В., Важенина Н. В. Конспект фауны беспозвоночных южной тайги Западной Сибири (в бассейне нижнего Иртыша). М. : Т-во науч. изд. КМК, 2014. 189 с.

Образец для цитирования:

Важенина Н. В. Таксономический состав напочвенных беспозвоночных и их соотношение в различных типах лиственных лесов в пределах Тобольского района Тюменской области // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 177–187. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-177-187>



Taxonomic Composition of Ground Invertebrates and Their Ratio in Different Types of Deciduous Forests within Tobolsk District of Tyumen Region

N. V. Vazhenina

Natalia V. Vazhenina, Tobolsk Complex Scientific Station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 15 Osipova St., Tobolsk 626150, Russia, nataliavict@yandex.ru

The composition and spatial distribution of the surface & litter-dwelling mesofauna in leaved forests the indigenous terrace of the Irtysh river are analyzed on the basis materials of accounting for invertebrates by soil traps. The surveys were carried out in 2005–2010 in three types of forests – aspen forest, lime forest and birch forest, located within Tobolsk district of the Tyumen region (southern taiga, Western Siberia). As a result, 281 species of invertebrates were identified in forests, about 50% of which were in the families Carabidae, Staphylinidae and Linyphiidae. Indicators of species richness and the dynamic activity of mesofauna was reduced in a series of aspen forest – lime forest – birch forest. In aspen forest there has been the highest concentration of Carabidae, Staphylinidae and Opiliones, in lime forest – Aranei, Curculionidae, Heteroptera and larvae Diptera, in birch forest – Silphidae and Lumbricidae. Dominant complex in all forests was represented by Coleoptera, the common dominant was *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787). Greatest similarity of species composition, dynamics and abundance of individual groups of ground mesofauna in three types of forest was found between aspen forest and lime forest. Specificity of each community is given by, presence and relative abundance which is associated with the character of forest litter, grass-shrub layer and bordering forests biotopes.

Keywords: mesofauna, abundance, indigenous terrace, lower Irtysh River, southern taiga, southern taiga, Western Siberia.

Acknowledgements: *The author expresses his gratitude to his colleagues S. P. Bukhhalo, D. E. Galich, E. V. Sergeeva (Tobolsk complex scientific station of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences) for assistance in the collection and primary processing of the material.*

References

1. Zapadnaya Sibir' [Western Siberia]. Ed. G. D. Rikhter. Moscow, Izd-vo Academy of Sciences SSSR Publ., 1963. 498 p. (in Russian).
2. Tikhomirova A. L. Uchet napochvennykh bespozvonochnykh [Accounting for on soil invertebrates]. *Metody pochvenno-zoologicheskikh issledovaniy* [Methods of soil-zoological research]. Moscow : Nauka Publ., 1975, pp. 73–85 (in Russian).
3. Bukhhalo S. P. Vidovoi sostav nazemnykh bespozvonochnykh topolevo-chozenievyykh lesov ekosistem severovostoka Rossii [Species composition of terrestrial invertebrate poplar-chozen forest ecosystems of the North-East of Russia]. *Russkiy entomologicheskii zhurnal* [Russian Entomological Journal], 2002, vol. 11, iss. 1, pp. 101–110 (in Russian).
4. Antsiferov A. L., Bakulina E. V. Lesnaya fauna gerpetobiontov i ee transformatsiya pri vtorichnoi suksessii na vyrubkakh [Hylile herpetobionts fauna and its transformation at secondary succession on a glade]. *Vestnik KGU im. N.A. Nekrasova* [Vestnik of KSU N. A. Nekrasov], 2014, no. 3, pp. 27–30 (in Russian).
5. Troshkova I. Yu., Troshkov N. Yu. Struktura naseleniya napochvennykh bespozvonochnykh smeshannykh lesov Priokskoy terrasy [Opulation composition of ground invertebrates in mixed forests of Priokskaya terrace]. *Estestvennye i matematicheskie nauki v sovremennom mire* [Natural and mathematical sciences in the modern world]. Novosibirsk, Association of researchers "Siberian academic book" Publ., 2014, no. 15, pp. 178–187 (in Russian).
6. Vazhenina (Alemasova) N. V. Ekologiya zhuzhelits (Coleoptera, Carabidae) yuzhnoy taygi Zapadnoy Sibiri [Ecology of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in the forests of the southern taiga of Western Siberia]. *Nauch. ved-ti BelGU. Seriya: Estestv. nauki* [Scientific statements of BelSU. Series of natural sciences], 2013, no. 10 (153), iss. 23, pp. 77–82 (in Russian).
7. Bukhhalo S. P., Sergeeva E. V., Semenov V. B. Fauna zhukov-stafilinid (Coleoptera, Staphylinidae) tsentral'noy chasti yuzhnoy taygi Zapadnoy Sibiri [Rove-beetle fauna (Coleoptera, Staphylinidae) of the central part of the southern taiga in West Siberia, Russia]. *Evrziatskiy entomol. zhurn.* [Euroasian Entomological Journal], 2012, vol. 11, no. 4, pp. 343–353 (in Russian).
8. Sergeeva E. V. Biotopicheskoe raspredelenie i chislenost' gubonogikh mnogozhek (Chilopoda) v soobshchestvakh doliny Irtysha v Zapadnoy Sibiri [Biotopic distribution and number of centipedes (Chilopoda) in Irtysh valley of West Siberia, Russia]. *Evrziatskiy entomol. zhurn.* [Euroasian Entomological Journal], 2013, vol. 12, no. 6, pp. 529–533 (in Russian).
9. Esyunin S. L., Stepina A. S. Fauna i biotopicheskoe raspredelenie paukov (Aranei) podzony yuzhnoy taygi Zapadnoy Sibiri [The fauna and biotopic distribution of the spiders (Aranei) in the southern taiga subzone of the West Siberia]. *Vestn. Perm. un-ta. Biologiya* [Bulletin of Perm University. Biology], 2014, iss. 4, pp. 24–54 (in Russian).
10. Sergeeva E. V. Sostav i raspredelenie nazemnykh mollyuskov (Gastropoda, Pulmonata) v soobshchestvakh yuzhnoy taygi Zapadnoy Sibiri [Composition and distribution of terrestrial mollusks (Gastropoda, Pulmonata) in communities of the southern taiga of Western Siberia]. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i tekhnologii* [Modern trends in the development of science and technology], 2016, no. 2–1, pp. 64–67 (in Russian).
11. Striganova B. R., Poryadina N. M. Soil animal population in boreal forests of West-Siberian Plain. Moscow, KMK Scientific Press Ltd. Publ., 2005. 234 p. (in Russian).



12. Egunova M. N., Bezkorovaynaya I. N. Osobennosti formirovaniya mezofauny v 40-letnikh lesnykh kul'turakh na staropakhotnoy seroy pochve [The peculiarities of mesofauna formation in 40-year-old forest cultures on the oldarable grey soil]. *Vestnik KrasGAU. Biologicheskie nauki. Pochvovedenie* [Bulletin KrasGAU. Biological sciences. Soil science], 2015, no. 6, pp. 3–9 (in Russian).
13. Barber H. S. Traps for cave-inhabiting insect. *J. Elisha Mitchell Science Soc.*, 1931, vol. 46, pp. 259–266.
14. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 1. Archostemata – Myxophaga – Adephaga. Eds. I. Löbl, D. Löbl. Netherlands, Leiden Publ., 2017. 1443 p.
15. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 2. Hydrophiloidea – Histeroidea – Staphylinoidea. Eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup, Apollo Books Publ., 2004. 942 p.
16. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 8. Curculionoidea II. Eds. I. Löbl, A. Smetana. Leiden; Boston, Brill Publ., 2013. 700 p.
17. Pesenko Yu. A. *Printsipy i metody kolichestvennogo analiza v faunisticheskikh issledovaniyakh* [Principles and methods of quantitative analysis in faunistic studies]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 285 p. (in Russian).
18. Striganova B. R. Osobennosti biotopicheskogo raspredeleniya zhuzhelits (Coleoptera, Carabidae) v tayge Zapadnoy Sibiri [Peculiarities of the habitat distribution of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) in boreal forests of West Siberia]. *Russkiy entomol. zhurn.* [Russian Entomological Journal], 2001, vol. 10, iss. 3, pp. 30–45 (in Russian).
19. Bukhkalov S. P., Alemasova N. V., Sergeeva E. V. Fauna and zoogeographic analysis of the ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of the central part of the southern taiga in Western Siberia. *Evraziatskiy entomol. zhurn.* [Euroasian Entomological Journal], 2010, vol. 9, iss. 4, pp. 616–624 (in Russian).
20. Bukhkalov S. P., Galich D. E., Sergeeva E. V., Alemasova N. V. *Konspekt fauny zhukov yuzhnoy taygi Zapadnoy Sibiri (v bassejne nizhnego Irtysha)* [Summary of beetles' fauna in the southern taiga of Western Siberia (in basin of lower Irtysh)]. Moscow, KMK Scientific Press Ltd. Publ., 2011. 267 p. (in Russian).
21. Bukhkalov S. P., Galich D. E., Sergeeva E. V., Vazhenina N. V. *Konspekt fauny bespozvonochnykh yuzhnoy taygi Zapadnoy Sibiri (v bassejne nizhnego Irtysha)* [Summary of invertebrate fauna of the southern taiga Western Siberia (in basin of lower Irtysh)]. Moscow, KMK Scientific Press Ltd. Publ., 2014. 189 p. (in Russian).

Cite this article as:

Vazhenina N. V. Taxonomic Composition of Ground Invertebrates and Their Ratio in Different Types of Deciduous Forests within Tobolsk District of Tyumen Region. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 177–187 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-177-187>



УДК 595.76

Жесткокрылые (Insecta: Coleoptera), собранные в световые ловушки со сверхъяркими светодиодами на территории Краснодара

А. С. Сажнев, Е. Ю. Родионова

Сажнев Алексей Сергеевич, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории экологии водных беспозвоночных, Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанова РАН, п. Борок, Ярославская область, sazh@list.ru

Родионова Елена Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории химической коммуникации и массового разведения насекомых, Всероссийский научно-исследовательский институт биологической защиты растений (Краснодар), rigaey@gmail.com

Сбор осуществляли в июне–сентябре 2018 г. с помощью оригинальной световой ловушки в черте г. Краснодар. В статье приведен список 74 видов (1252 экз.) жесткокрылых из 15 семейств: Carabidae – 13 видов, Hydrophilidae – 12, Dytiscidae – 6, Elateridae – 6, Curculionidae – 4, Coccinellidae – 3, Heteroceridae – 2, Tenebrionidae – 2, Chrysomelidae – 2, Spercheidae, Scirtidae, Cantharidae, Bostrichidae, Anthicidae и Cerambycidae – по 1 виду. В сборе доминируют *Heterocerus obsoletus* – 497 экз. (39,7%), *Heterocerus fenestratus* – 233 (18,6%), *Berosus frontifoveatus* – 148 (11,8%) и *Berosus spinosus* – 135 (10,8%). Наивысший уровень постоянства (при $n = 31$) в пробах у *Heterocerus obsoletus* – 61,3%, *Berosus frontifoveatus* – 58,1%, *Berosus spinosus* – 51,6%, *Heterocerus fenestratus* – 41,9% и *Harmonia axyridis* – 38,7%. 6,8% видов в сборах составляют инвазионные *Cercyon laminatus*, *Harmonia axyridis*, *Trichoferus campestris*, *Megabruchidius dorsalis* и *Lignyodes bischoffi*. Два вида – *Cercyon laminatus* и *Lignyodes bischoffi* впервые приводятся для Краснодарского края. Максимальные результаты по численности были получены при ночных температурах +16–22° С, влажности 58–63% и скорости ветра 4,8–5,9 м/с в конце июня – начале июля.

Ключевые слова: жуки, световая ловушка, фауна, биоразнообразие, чужеродные виды.

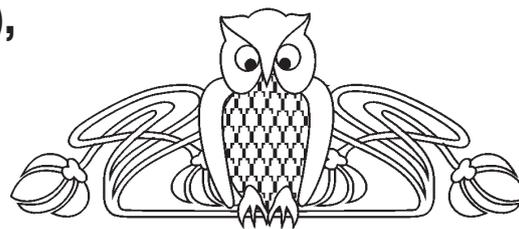
DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-188-195>

Введение

Использование световых ловушек разной конструкции является эффективным методом сбора энтомологического материала, в частности жесткокрылых насекомых [1]. Задачами настоящего исследования стала апробация световой ловушки-аппликатора в условиях экспериментального яблоневого сада при исследовании локальной фауны жесткокрылых, а также изучение ее (ловушки) селективности.

Материалы и методы

Сборы осуществляли в июне–сентябре 2018 г. (15.06.18–21.09.18) с помощью ориги-



нальной световой ловушки, разработанной в лаборатории фитосанитарного мониторинга, приборного и технического обеспечения Всероссийского научно-исследовательского института биологической защиты растений (ВНИИБЗР) [2]. Ловушка-аппликатор (рис. 1) содержит две взаимно перпендикулярные пластины с крышкой, светоизлучатель на основе сверхъярких светодиодов, расположенный по оси пересечения пластин, конус, прикрепленный к пластинам, и цилиндрический сосуд, к которому присоединен садок для сбора насекомых; оснащена солнечной батареей и датчиками освещения с фоточувствительными элементами.

Принцип действия: насекомые привлекаются излучением светодиодов, подлетают к ловушке, ударяются о пластиковые перпендикулярно расположенные пластины, обездвиживаются и падают через цилиндрический сосуд в садок.

Ловушку устанавливали на высоте 1–2 м над землей. В сумеречное время светодиоды на ловушке благодаря фоточувствительным элементам автоматически включались, а с рассветом выключались. Средняя продолжительность работы ловушки составила 6 часов в сутки (общая продолжительность за 31 календарный день – 186 часов). Обработана 31 проба.

Сбор энтомологического материала осуществляли на прилегающей территории ВНИИБЗР в черте г. Краснодар (45°02'56.5"N 38°52'22.1"E). Из окружающих биотопов можно выделить два основных типа – экспериментальный сад и водные объекты, представленные временными водоемами в понижении рельефа и искусственными рыбоводческими прудами середины ХХ в. В достаточной близости имеются сельскохозяйственные поля. С юго-восточной стороны в 600–1000 м от места сбора находится русло р. Кубань.

Ярусы древостоя в саду образованы яблоней домашней (*Malus domestica*) и черемухой (*Padus* sp.). Кустарниковый ярус состоит из дерна белого (*Cornus alba*), сирени обыкновенной (*Syringa vulgaris*), бирючины обыкновенной (*Ligustrum vulgare*) и ежевики обыкновенной (*Rubus*



Рис. 1. Ловушка-аппликатор: 1 – общий вид, 2 – детали строения, видны светодиоды, пластиковые пластины и воронка насекомоприемника

Fig. 1. Trap applicator: 1 – general view, 2 – details of the structure, visible LEDs, plastic plates and insect receiver funnel

vulgaris). В травяно-кустарничковом покрове господствуют хмель обыкновенный (*Humulus lupulus*), бузина травянистая (*Sambucus ebulus*), подмаренник цепкий (*Galium aparine*), вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*) и ежа обыкновенная (*Dactylis glomerata*).

Прибрежная растительность близ водных объектов в древесном ярусе представлена ивой вавилонской (*Salix babylonica*) и дубом черешчатым (*Quercus robur*). Подлесок состоит из дерна белого (*Cornus alba*) и ежевики обыкновенной (*Rubus vulgaris*). В травяно-кустарничковом покрове по берегам господствует тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), в удалении – ежа обыкновенная (*Dactylis glomerata*), бузина травянистая (*Sambucus ebulus*), звездчатка средняя (*Stellaria media*) и вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis*).

При анализе полученных данных по совокупности проб определяли видовое богатство, для чего применяли индекс видового богатства (d), основанный на учете числа видов в отдельных пробах к количеству особей [3]: $d = S/\sqrt{N}$, где S – число видов и N – число экз. в пробе.

Параллельно с этим применяли показатель видового разнообразия Маргалёфа [4]: $\alpha = (S - 1) / \ln N$, где S – число видов, N – число экз.

Фотографии общего вида ловушки сделаны вторым автором. Графики построены в программе Microsoft Excel.

Результаты и их обсуждение

В работе использована система Coleoptera, принятая на сайте Зоологического института РАН [5], названия видов даны в алфавитном порядке. Номенклатура видовых таксонов жесткокрылых приведена по новому палеарктическому каталогу [6–13].

Ниже приводится список видов жесткокрылых, собранных световой ловушкой. Для каждого таксона указаны даты сбора и число экземпляров в скобках (таблица).

Всего было отмечено 74 вида (1252 экз.) жесткокрылых из 15 семейств. Наиболее представленными в сборах оказались Carabidae (17,6%) и Hydrophilidae (16,2%). По количеству экземпляров среди семейств лидируют Heteroceridae – 730 экз. и Hydrophilidae – 322. На видовом уровне в сборах доминируют следующие таксоны: *Heterocerus obsoletus* – 497 экз. (39,7%), *Heterocerus fenestratus* – 233 (18,6%), *Berosus frontifoveatus* – 148 (11,8%) и *Berosus spinosus* – 135 (10,8%). Эти же виды наиболее часто привлекались на свет и попадали в ловушку (уровень постоянства). Так, вид *Heterocerus obsoletus* отмечен в 61,3% случаев ($n=31$), *Berosus frontifoveatus* – 58,1%, *Berosus spinosus* – 51,6%, *Heterocerus fenestratus* – 41,9% и *Harmonia axyridis* – 38,7%.

Индексы видового богатства ($d_{cp}=1,38$; $\alpha=10,23$) имеют довольно низкие показатели, что

**Жесткокрылые, собранные светоловушкой**
Beetles collected by a light trap

Таксон / Taxon	N (экз.)	%
Семейство Carabidae Latreille, 1802	23	1,8
1. <i>Bembidion (Philochthus) biguttatum</i> (Fabricius, 1779)	1	0,1
2. <i>Cylindera (Cylindera) germanica germanica</i> (Linnaeus, 1758)	1	0,1
3. <i>Chlaenius (Chlaeniellus) tristis tristis</i> (Schaller, 1783)	1	0,1
4. <i>Harpalus (Harpalus) latus</i> (Linnaeus, 1758)	1	0,1
5. <i>H. (Pseudoophonus) calceatus</i> (Duftschmid, 1812)	1	0,1
6. <i>H. (P.) griseus</i> (Panzer, 1796)	3	0,2
7. <i>H. (P.) rufipes</i> (De Geer, 1774)	4	0,3
8. <i>Lebia (Lebia) humeralis</i> Dejean, 1825	1	0,1
9. <i>Oodes gracilis</i> A. Villa & G.B. Villa, 1833	4	0,3
10. <i>Ophonus (Hesperophonus) azureus</i> (Fabricius, 1775)	1	0,1
11. <i>O. (Metophonus) laticollis</i> Mannerheim, 1825	2	0,2
12. <i>Stenolophus (Stenolophus) mixtus</i> (Herbst, 1784)	1	0,1
13. <i>S. (S.) teutonius</i> (Schrank, 1781)	2	0,2
Семейство Dytiscidae Leach, 1815	10	0,8
1. <i>Herophydrus musicus</i> (Klug, 1834)	1	0,1
2. <i>Hydaticus (Prodaticus) grammicus</i> (Germar, 1827)	3	0,2
3. <i>Hydrovatus cuspidatus</i> (Kunze, 1818)	1	0,1
4. <i>Hygrotus (Hygrotus) inaequalis</i> (Fabricius, 1777)	1	0,1
5. <i>Laccophilus hyalinus</i> (De Geer, 1774)	2	0,2
6. <i>L. poecilus</i> Klug, 1834	2	0,2
Семейство Hydrophilidae Latreille, 1802	322	25,7
1. <i>Anacaena limbata</i> (Fabricius, 1792)	1	0,1
2. <i>Berosus (Berosus) signaticollis</i> Charpentier, 1825	1	0,1
3. <i>B. (Enoplurus) frontifoveatus</i> Kuwert, 1888	148	11,8
4. <i>B. (E.) spinosus</i> (Steven, 1808)	135	10,8
5. <i>Cercyon (Cercyon) marinus</i> Thomson, 1853	1	0,1
6. <i>C. (Paracycreon) laminatus</i> Sharp, 1873	1	0,1
7. <i>Enochrus (Enochrus) melanocephalus</i> (Olivier, 1793)	6	0,5
8. <i>E. (Lumetus) bicolor</i> (Fabricius, 1792)	2	0,2
9. <i>E. (L.) fuscipennis</i> (Thomson, 1884)	15	1,2
10. <i>E. (L.) segmentinotatus</i> (Kuwert, 1888)	1	0,1
11. <i>E. (Methydrus) coarctatus</i> Gredler, 1863	1	0,1
12. <i>Hydrobius fuscipes</i> (Linnaeus, 1758)	10	0,8
Семейство Spercheidae Erichson, 1837	2	0,2
1. <i>Spercheus emarginatus</i> (Schaller, 1783)	2	0,2
Семейство Scirtidae Fleming, 1821	1	0,1
1. <i>Contacyphon laevipennis</i> (Tournier, 1868)	1	0,1
Семейство Heteroceridae MacLeay, 1825	730	58,3
1. <i>Heterocerus fenestratus</i> (Thunberg, 1784)	497	39,7
2. <i>H. obsoletus</i> Curtis, 1828	233	18,6



Окончание таблицы / End of table

Таксон / Taxon	N (экз.)	%
Семейство Elateridae Leach, 1815	22	1,8
1. <i>Agriotes (Agriotes) gurgistanus</i> (Falderman, 1835)	1	0,1
2. <i>A. (A.) tauricus</i> Heyden, 1882	8	0,6
3. <i>Athous (Haplathous) circassiensis</i> (Reitter, 1905)	4	0,3
4. <i>A. (Orthathous) bicolor</i> (Goeze, 1777)	1	0,1
5. <i>Haterumelater fulvago</i> (Marseul, 1868)	2	0,2
6. <i>Melanotus (Melanotus) fusciceps</i> Gyllenhal, 1817	6	0,5
Семейство Cantharidae Imhoff, 1856	34	2,7
1. <i>Rhagonycha (Rhagonycha) fulva</i> (Scopoli, 1763)	34	2,7
Семейство Bostrichidae Latreille, 1802	1	0,1
1. <i>Lichenophanes varius</i> (Illiger, 1801)	1	0,1
Семейство Coccinellidae Latreille, 1807	35	2,8
1. <i>Harmonia axyridis</i> (Pallas, 1773)	32	2,6
2. <i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	2	0,2
3. <i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758)	1	0,1
Семейство Anthicidae Curtis, 1830	1	0,1
1. <i>Hirticollis hispidus</i> (Rossi, 1792)	1	0,1
Семейство Tenebrionidae Latreille, 1802	11	0,9
1. <i>Lagria (Lagria) hirta</i> (Linnaeus, 1758)	1	0,1
2. <i>L. (L.) laticollis</i> Motschulsky, 1860	10	0,8
Семейство Cerambycidae Latreille, 1802	1	0,1
1. <i>Trichoferus campestris</i> (Faldermann, 1835)	1	0,1
Семейство Chrysomelidae Latreille, 1802	3	0,2
1. <i>Galerucella (Neogalerucella) lineola lineola</i> (Fabricius, 1781)	2	0,2
2. <i>Megabruchidius dorsalis</i> (Fåhræus, 1839)	1	0,1
Семейство Curculionidae Latreille, 1802	5	0,4
1. <i>Curculio (Curculio) glandium</i> Marsham, 1802	1	0,1
2. <i>Otiorhynchus (Pliadonus) brachialis</i> Boheman, 1843	2	0,2
3. <i>Otiorhynchus (Zelotomelus) erinaceus</i> Stierlin, 1876	1	0,1
4. <i>Lignyodes (Lignyodes) bischoffi</i> Blatchley, 1916	1	0,1
Всего / Total:	1252	100

обусловлено близостью агроландшафтов и нарушенностью окружающих биотопов, с которых в основном и был привлечен энтомологический материал. Это объясняет и высокий уровень присутствия (6,8%) в сборах инвазионных видов, таких как *Cercyon laminatus*, *Harmonia axyridis*, *Trichoferus campestris*, *Megabruchidius dorsalis* и *Lignyodes bischoffi*. С другой стороны, почти треть видового разнообразия (33,8%) и большая часть собранного материала (85,3%) принадлежит к водным и околоводным формам жесткокрылых, что связано с физико-географи-

ческими характеристиками района исследования и близостью р. Кубань.

Были рассмотрены данные по количеству экз. (N) в пробах в зависимости от показателей среды: ночной температуры воздуха (рис. 2), влажности (рис. 3) и скорости ветра (рис. 4).

За время летне-осеннего сезона наблюдается три пика численности привлеченных на свет жесткокрылых-фотоксенов, первый в конце июня – начале июля, второй в середине августа и третий – в конце августа – начале сентября. Максимальные результаты по численности были получены

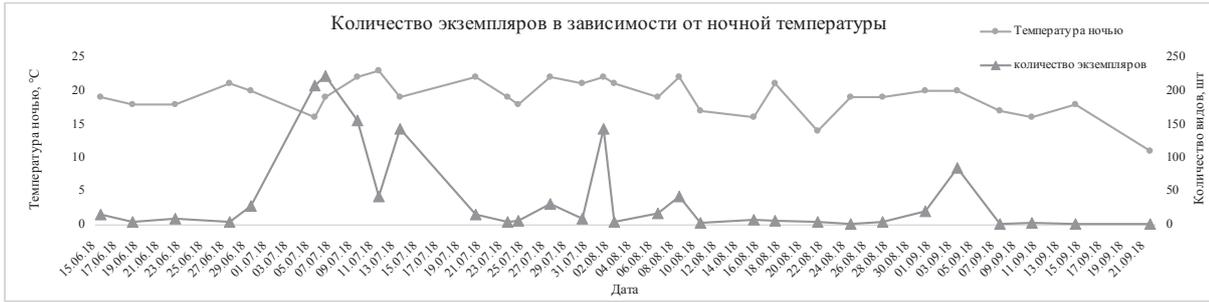


Рис. 2. Количество экз. (N) в зависимости от ночной температуры воздуха, °C
Fig. 2. The number of specimens (N) depending on night air temperature, °C



Рис. 3. Количество экз. (N) в зависимости от влажности воздуха, %
Fig. 3. The number of specimens (N) depending on humidity, %



Рис. 4. Количество экз. (N) в зависимости от скорости ветра, м/с
Fig. 4. The number of specimens (N) depending on wind speed, m/s

при ночных температурах +16–22°C, влажности 58–63% и скорости ветра 4,8–5,9 м/с.

Примечательно нахождение в сборах бескрылых видов, таких как *Otiorhynchus brachialis* и *Otiorhynchus erinaceus*, однако оба они могут быть отнесены к дендрофильным. Первый населяет равнинные и предгорные леса, отмечен на лещине, включен в Красную книгу Республики Адыгея [14]. Второй вид встречен на дубах (личное сообщение И. А. Забалуева). Из редких видов примечательны находки *Hydaticus grammicus* – вид включен в Красную книгу Краснодарского края, предпочитает постоянные стоячие водоемы с обильной растительностью на открытых ландшафтах. Встречается в небольших стоячих

водоемах, богатых органикой [15]. Довольно редок и *Lichenophanes varius*, обнаруженный в наших сборах.

В целом же в сборах представлены широко распространенные в европейской части России виды. Однако изученная фауна не лишена и своеобразия в виде южных и кавказских элементов, таких как *Herophydrus musicus*, *Hydrovatus cuspidatus*, *Laccophilus poecilus*, *Haterumelater fulvago*, *Otiorhynchus brachialis* и *Otiorhynchus erinaceus*.

Новыми для региона оказались находки *Cercyon laminatus* и *Lignyodes bischoffi* – оба вида являются чужеродными для европейской России [16].



Заключение

Исследования показали, что использование в энтомологических ловушках сверхъярких диодов для сбора жесткокрылых имеет неплохой потенциал, но, вероятно, уступает в уловистости другим моделям с ртутными и кварцевыми лампами [17–19], особенно с применением экрана для увеличения площади светового пятна [20, 21]. Немаловажную роль играет выбор мест для установки ловушек. Так, в черте города большое значение имеет наличие светового загрязнения, а в условиях нашего исследования – нарушенные биотопы и агроландшафты. Привлечение жесткокрылых с использованием сверхъярких диодов имеет невысокую селективность, большую часть в сборе составляют водные и околородные виды.

Благодарности

Авторы признательны за помощь в обработке материала Д. А. Касаткину (ФГУ «ВНИИКР», Ростов-на-Дону), И. А. Забалуеву (ИПЭЭ РАН, Москва), А. С. Просвиорову (МГУ). Работа первого автора выполнена в рамках госзадания № АААА-А17-117030310210-3.

Список литературы

1. Горностаев Г. Н. Введение в этологию насекомых-фотоксенов (лёт насекомых на искусственные источники света) // Этология насекомых. Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1984. С. 101–167.
2. Пат. 152224. Ловушка-аппликатор для насекомых / В. Т. Садковский, Ю. Г. Соколов, А. А. Пачкин, Ф. Ф. Худой, В. Я. Исмаилов, В. Н. Саламатин, С. А. Ермоленко (заявл. 10.05.2015).
3. Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. М. : Наука, 1982. 288 с.
4. Margalef R. Perspectives in ecological theory. Chicago : University Chicago Press, 1968. 111 p.
5. Список семейств жуков России с данными о числе видов. 2018. URL: <http://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/dbase1.htm> (дата обращения: 7.11.2018).
6. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 4. Elateroidea – Derodontoidea – Bostrichoidea. Lymexyloidea – Cleroidea – Cucujoidea / eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup : Apollo Books, 2007. 935 p.
7. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 5. Tenebrionoidea / eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup : Apollo Books, 2008. 670 p.
8. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 6. Chrysomeloidea / eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup : Apollo Books, 2010. 924 p.
9. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 7. Curculionoida I / eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup : Apollo Books, 2011. 373 p.
10. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 8. Curculionoida II / eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup : Brill, 2013. 700 p.
11. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 2/1. Revised and updated version. Hydrophiloidea – Staphylinoidea / eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup : Brill, 2015. 1702 p.
12. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 3/1. Revised and updated version. Scarabaeoidea, Scirtoidea, Dascilloidea, Buprestoidea, Byrrhoidea / eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup : Brill, 2016. 984 p.
13. Catalogue of Palaearctic Coleoptera. Vol. 1. Archostemata – Muxophaga – Adephaga. Revised and Updated Edition / eds. I. Löbl, D. Löbl. Stenstrup : Brill, 2017. 1443 p.
14. Давидьян Г. Э., Коротяев Б. А. Скосарь плечистый – *Otiorhynchus brachialis* Boheman, 1843 // Красная книга Республики Адыгея : Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения объекты животного и растительного мира : в 2 ч. 2-е изд. Майкоп : Качество, 2012. С. 315.
15. Шановалов М. И. Болотник яйцевидный – *Hydaticus grammicus* (Germar, 1830) // Красная книга Краснодарского края. Животные. 3-е изд. Краснодар : Адм. Краснодар. края, 2017. С. 205–206.
16. Каталог чужеродных видов жуков европейской части России. 2017. URL: <https://www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/rus/invascat.htm> (дата обращения: 7.11.2018).
17. Алексеев В. И., Шановал А. П. Жесткокрылые (Coleoptera), пойманные световой ловушкой на Куршской косе : материалы 2009 года // Тр. Мордовского гос. природного заповедника им. П. Г. Смидовича. 2011. Вып. 9. С. 4–19.
18. Алексеев В. И., Шановал А. П. Видовой и количественный состав жесткокрылых (Coleoptera), пойманных на свет в 2010 г. в национальном парке «Куршская коса» (Россия) // Тр. Мордовского гос. природного заповедника им. П. Г. Смидовича. 2012. Вып. 10. С. 196–211.
19. Алексеев В. И., Шановал А. П. Видовой и количественный состав жесткокрылых (Coleoptera), пойманных световой ловушкой на Куршской косе в 2011 году // Проблемы изучения и охраны природного и культурного наследия нац. парка «Куршская коса». 2012. Вып. 8. С. 37–55.
20. Цуриков М. Н. Структура комплекса жесткокрылых (Coleoptera, Insecta), прилетающих на источник света в заповеднике «Галичья гора» // Изв. РАН. Сер. Биологическая. 2011. № 3. С. 308–313.
21. Сажнев А. С. Жесткокрылые (Coleoptera), пойманные световой ловушкой на территории национального парка «Хвалынский» (Саратовская область) // Науч. тр. гос. природ. заповедника «Присурский». 2015. Т. 30, вып. 1. С. 222–225.



Образец для цитирования:

Сажнев А. С., Родионова Е. Ю. Жесткокрылые (Insecta: Coleoptera), собранные в световые ловушки со сверхъяркими светодиодами на территории Краснодар // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 188–195. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-188-195>

**The Beetles (Insecta: Coleoptera),
Collected by the Light Traps with Super Bright LEDs
on the Territory of Krasnodar**

A. S. Sazhnev, E. Yu. Rodionova

Alexey S. Sazhnev, <https://orcid.org/0000-0002-0907-5194>, Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, 14 Vavilova St., Borok 152742, Yaroslavl Province, Russia, sazh@list.ru

Elena Yu. Rodionova <https://orcid.org/0000-0001-5631-2204>, All-Russian Research Institute of Biological Plant Protection, 1, VNIIBZR St., Krasnodar 350039, Krasnodar region, Russia, rigaey@gmail.com

The collections were realized out in June – September 2018 using the original light trap within the city of Krasnodar. The article contains lists of 74 species (1252 specimens) of Coleopteran from 15 families: Carabidae – 13 species, Hydrophilidae – 12, Dytiscidae – 6, Elateridae – 6, Curculionidae – 4, Coccinellidae – 3, Heteroceridae – 2, Tenebrionidae – 2, Chrysomelidae – 2, Spercheidae, Scirtidae, Cantharidae, Bostrichidae, Anthicidae and Cerambycidae – in 1 species. *Heterocerus obsoletus* is dominant in the collections – 497 specimens (39.7%), *Heterocerus fenestratus* – 233 (18.6%), *Berosus frontifoveatus* – 148 (11.8%) and *Berosus spinosus* – 135 (10.8%). The highest level of consistency (with $n = 31$) in the samples of *Heterocerus obsoletus* is 61.3%, *Berosus frontifoveatus* – 58.1%, *Berosus spinosus* – 51.6%, *Heterocerus fenestratus* – 41.9% and *Harmonia axyridis* – 38.7%. 6.8% of the species in collections are invasive *Cercyon laminatus*, *Harmonia axyridis*, *Trichoferus campestris*, *Megabruchidius dorsalis* and *Lignyodes bischoffi*. Two species – *Cercyon laminatus* and *Lignyodes bischoffi* are first given for the Krasnodar Krai. Maximum results in abundance were obtained at night temperatures of +16–22°C, humidity – 58–63% and wind speed – 4.8–5.9 m/s in late June – early July.

Keywords: beetles, light trap, fauna, biodiversity, alien species.

Acknowledgments. The authors are grateful for the help in processing the material to D. A. Kasatkin (Quarantine Laboratory State Quarantine Committee, Rostov-on-Don), I. A. Zabaluev (Institute of Ecology and Evolution, Moscow), A. S. Prosvirov (MSU, Moscow). The studies of the first author were carried out under the framework of the Russian state research project No. AAAA-A17-117030310210-3.

Reference

1. Gornostaev G. N. Introduction to the ethology of insect photoxenes (insects flying to artificial light sources). In: *Ethology of Insects*. Leningrad, Nauka Publ., 1984, pp. 101–167 (in Russian).

2. Pat. 152224. Insect trap applicator. V. T. Sadkovsky, Yu. G. Sokolov, A. A. Pachkin, F. F. Hudoy, V. Ya. Ismailov, V. N. Salamatin, S. A. Ermolenko (stated 10.05.2015) (in Russian).

3. Pesenko Yu. A. *Principles and methods of quantitative analyses in faunistic studies*. Moscow, Nauka Publ., 1982. 288 p. (in Russian).

4. Margalef R. *Perspectives in ecological theory*. Chicago, University Chicago Press, 1968. 111 p.

5. *List of beetles families of Russia with data on the number of species*. 2018. Available at: <http://www.zin.ru/animalia/coleoptera/rus/dbase1.htm> (accessed 7 November 2018) (in Russian).

6. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. Vol. 4. Elateroidea-Derodontoidea – Bostrichoidea. Lymexyloidea – Cleroidea – Cucujoidea. Eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup, Apollo Books, 2007. 935 p.

7. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. Vol. 5. Tenebrionoidea. Eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup, Apollo Books, 2008. 670 p.

8. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. Vol. 6. Chrysomeloidea. Eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup, Apollo Books, 2010. 924 p.

9. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. Vol. 7. Curculionoidea I. Eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup, Apollo Books, 2011. 373 p.

10. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. Vol. 8. Curculionoidea II. Eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup, Brill, 2013. 700 p.

11. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. Vol. 2/1. Revised and updated version. Hydrophiloidea – Staphyloidea. Eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup, Brill, 2015. 1702 p.

12. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. Vol. 3/1. Revised and updated version. Scarabaeoidea, Scirtoidea, Dascilloidea, Buprestoidea, Byrrhoidea. Eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup, Brill, 2016. 984 p.

13. *Catalogue of Palaearctic Coleoptera*. Vol. 1. Archostemata – Myxophaga – Adepaga. Revised and Updated Edition. Eds. I. Löbl, D. Löbl. Stenstrup, Brill, 2017. 1443 p.

14. Davidyan G. E., Korotyaev B. A. Skosar plechisty – *Otiorynchus brachialis* Boheman, 1843. In: *The Red Book of the Republic of Adygea: Rare and endangered objects of fauna and flora: with 2 parts*. 2nd ed. Maikop, Kachestvo Publ., 2012, p. 315 (in Russian).

15. Shapovalov M. I. Bolotnik yaytsevidniy – *Hydaticus grammicus* (Germar, 1830). In: *Red Book of the Krasnodar Krai. Animals*. 3rd ed. Krasnodar, Adm. Krasnodar Kray, 2017, pp. 205–206 (in Russian).



16. *Catalog of alien species of beetles in the European part of Russia*. 2017. Available at: <https://www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/rus/invascat.htm> (accessed 7 November 2018) (in Russian).
17. Alekseev V. I., Shapoval A. P. Beetles (Coleoptera) caught by a light trap on the Curonian Spit: materials of 2009. *Tr. Mordovskogo gos. prirodnogo zapovednika im. P. G. Smidovicha* [Proceedings of the Mordovia State Nature Reserve named P. G. Smidovich], 2011, iss. 9, pp. 4–19 (in Russian).
18. Alekseev V. I., Shapoval A. P. Species and quantitative composition of beetles (Coleoptera) caught in 2010 in the Curonian Spit National Park (Russia). *Tr. Mordovskogo gos. prirodnogo zapovednika im. P. G. Smidovicha* [Proceedings of the Mordovia State Nature Reserve named P. G. Smidovich], 2012, iss. 10, pp. 196–211 (in Russian).
19. Alekseev V. I., Shapoval A. P. Species and quantitative composition of beetles (Coleoptera) caught by the light trap on the Curonian Spit in 2011. *Problemy izucheniya i okhrany prirodnogo i kul'turnogo naslediya nats. parka "Kurshskaya Roza"* [Problems of studying and protecting the natural and cultural heritage of the National Park "Curonian Spit"], 2012, iss. 8, pp. 37–55 (in Russian).
20. Tsurikov M. N. The structure of the beetle complex (Coleoptera, Insecta) arriving at the light source in the Nature Reserve "Galichya Gora". *Izv. RAN. Ser. Biologicheskaya* [News of the Russian Academy of Sciences. Ser. Biological], 2011, no. 3, pp. 308–313 (in Russian).
21. Sazhnev A. S. Beetles (Coleoptera), collected by the light trap in the territory of the National Park «Khvalynsky» (Saratov region). *Nauch. tr. gos. prirod. zapovednika "Prisurskiy"* [Scientific works of the State Nature Reserve "Prisurskiy"], 2015, vol. 30, iss. 1, pp. 222–225 (in Russian).

Cite this article as:

Sazhnev A. S., Rodionova E. Yu. The Beetles (Insecta: Coleoptera), Collected by the Light Traps with Super Bright LEDs on the Territory of Krasnodar. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 188–195 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-188-195>



УДК 581.92

Родовой спектр в анализе флоры Самаро-Ульяновского Поволжья

А. В. Иванова, Н. В. Костина, М. А. Аристова

Иванова Анастасия Викторовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории проблем фиторазнообразия, Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, astia621@yandex.ru

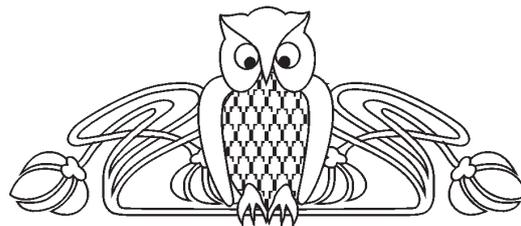
Костина Наталья Викторовна, доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории моделирования и управления экосистемами, Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, knva2009@yandex.ru

Аристова Маргарита Алексеевна, младший научный сотрудник лаборатории моделирования и управления экосистемами, Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти, margo.aristova2016@yandex.ru

Рассмотрение родového спектра флоры является одним из элементов общего анализа флоры изучаемой территории. Он позволяет выявить индивидуальные черты флор в большей степени, нежели анализ семейственного спектра. Изучение фито-разнообразия на уровне флор позволит в будущем прояснить закономерности ее территориального расположения. Самаро-Ульяновское Поволжье – территория, лежащая в пределах двух административных областей (Самарской и Ульяновской), – относится к Среднему Поволжью. Она весьма разнообразна по природным условиям. Родовые спектры рассматриваемых флор построены нами на основе совокупности флористических описаний, которые сгруппированы согласно принадлежности физико-географическим подразделениям (12 районам и 4 провинциям) по районированию А. В. Ступишина. Использовано около 400 флористических описаний. Флора Сокского возвышенно-равнинного лесостепного физико-географического района с грядово-увалистым рельефом рассматривается нами более подробно. Здесь рассмотрены пять пробных площадей, видовой состав высших сосудистых растений которых характеризует местные локальные особенности тех участков, на которых они описаны. Эти участки расположены в устьевой части реки Сок, ее среднем течении, у истоков, в северной и юго-восточной частях района. Ведущими родами для флоры территории Самаро-Ульяновского Поволжья предложено считать следующие: *Carex*, *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia*, *Astragalus*, а также род *Salix*. Показано, что первое место в родовом спектре определяется после 1000 видов во флористическом списке и занимает его род *Carex*. Родовой спектр (по сравнению с семейственным) позволяет более подробно выявлять индивидуальные черты изучаемых флор. Это проявляется как во взаимном расположении ведущих родов (за исключением первого места), так и в появлении в головной части спектра второстепенных родов. Показано, что на уровне родového спектра тип флоры определяется численностью родов *Astragalus* и *Potentilla*.

Ключевые слова: Самаро-Ульяновское Поволжье, родовой спектр флоры, ведущие роды, физико-географические районы, Сокский район, опорные флористические единицы.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-196-206>



Рассмотрение родového спектра флоры является традиционным. При этом указывается как общее число родов, так и ранжирование их по количеству видов. Это имеет значение при сравнительном анализе флор, так как позволяет выявить их индивидуальные черты, поскольку количественная представленность родов указывает на экологические особенности изучаемых флор. Сформировавшись при различных природных условиях, флоры будут отличаться видовым обилием ведущих родов, представители которых сохраняют определенную схожесть экологических потребностей и адаптацию к окружающей среде.

Распределение обилия видов в самых крупных родах флоры (так же как и семействах) по территории бывшего Советского Союза было изучено Л. И. Малышевым [1]. В этой же работе показана степень сходства изученных областей территории по семейственным и родовым спектрам. Отмечается, что «области больше сходны между собою по семейственным спектрам, нежели по родовым» [1, с. 37]. Следовательно, состав родového спектра (по сравнению с семейственным) способен более подробно выявить индивидуальные черты изучаемых флор. Особенно это касается флор, расположенных географически рядом – например, на территории одного района или соседних физико-географических районов одной провинции.

Инвентаризация видového состава флоры является первым этапом ее изучения. Накопленный в результате материал служит основой для дальнейших исследований, что является логическим продолжением накопления знаний о распределении видов растений по территории. Изучение фито-разнообразия на уровне флор позволяет выявить их индивидуальные черты, а затем, по мере накопления такого рода материала, прояснить закономерности их территориального расположения. Полученные данные также являются основой для разработки тактики и стратегии сохранения биоразнообразия с целью обеспечения устойчивого развития региона.

Материалы и методы

Самаро-Ульяновское Поволжье – территория, лежащая в пределах двух административных областей (Самарской и Ульяновской), – относится



ся к Среднему Поволжью. В указанных границах выделяются 15 физико-географических районов, 4 физико-географические провинции и две природные зоны – лесостепная и степная (рис. 1).

Каждый из районов характеризуется своими особенностями рельефа, геологического строения, почв, растительности и местных климатических условий [2].

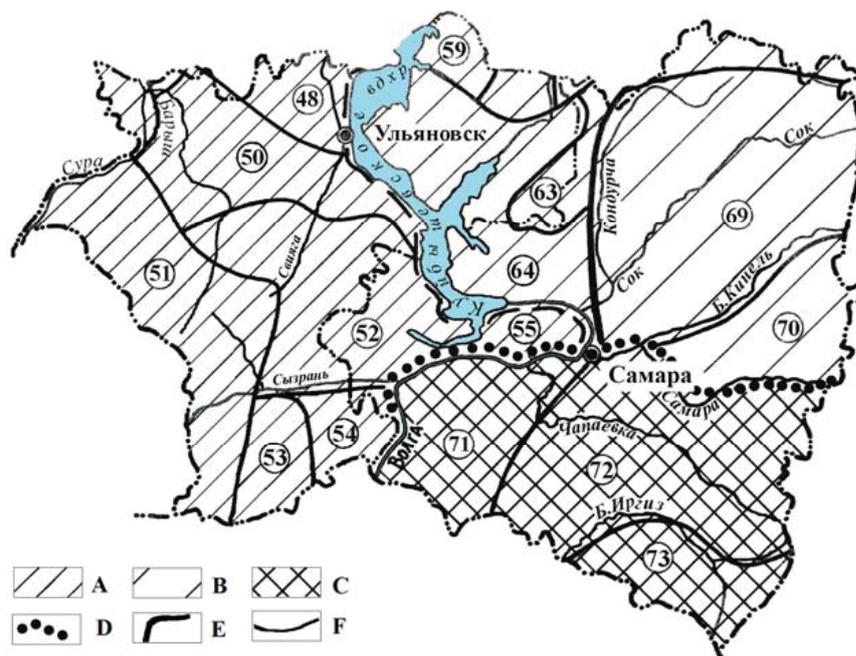


Рис. 1. Физико-географические районы Самаро-Ульяновского Поволжья (по: [2]): А – лесостепная провинция Предволжья; В – лесостепная провинция Заволжья; С – степная провинция Заволжья; D – граница физико-географических зон; E – граница физико-географических провинций; F – граница физико-географических районов. Цифры в кружках соответствуют номерам физико-географических районов (см. табл. 1)

Fig. 1. Physical-geographical areas of the Samara-Ulyanovsk Volga region (by: [2]): A – forest-steppe Province of Predvolzhye; B – forest-steppe Province of Zavolzhye; C – steppe Province of Zavolzhye; D – the border of physical-geographical areas; E – the border of physical-geographic provinces; F – the border of the physical-geographical regions. The numbers in the circles correspond to the numbers of physical-geographical areas in Table 1

Районирование А. А. Чибилева распространяется лишь на часть рассматриваемой территории, принадлежащей к Самаро-Ульяновскому Заволжью. Здесь выделяется две природные зоны – лесостепная и степная, – территория которых относится к 3 странам, 3 областям, 4 подобластям, 4 провинциям, 4 округам и 10 физико-географическим районам [3]. Таким образом, изучаемая территория весьма разнообразна по природным условиям.

Родовые спектры рассматриваемых флор были построены на основе совокупности флористических описаний, хранящихся в базе данных FD SUR [4]. Ее функциональные возможности позволяют получить автоматически объединенные списки по нескольким описаниям. Флористические описания были сгруппированы согласно принадлежности к физико-географиче-

ским подразделениям (районам и провинциям) по районированию А. В. Ступишина [2]. Всего было использовано около 400 флористических описаний, среди которых есть и опубликованные данные [5–11 и др.].

Основная масса флористических описаний собрана сотрудниками лаборатории фиторазнообразия ИЭВБ РАН за период полевых исследований с 2007 по 2018 г. Для составления каждого флористического описания на местности в выбранной географической точке закладывался базовый лагерь, из которого за время стоянки прокладывалось от одного до трех маршрутов длиной до 5–7 км с охватом максимального количества экотопов. Некоторые маршруты посещались несколько раз в разные годы и в разные сезоны года. Отдельные флористические описания выполнялись в течение всего полевого



сезона с ранней весны до поздней осени. Все это дало возможность выявить общую картину флористического разнообразия.

Флора Сокского возвышенно-равнинного лесостепного физико-географического района с грядово-увалистым рельефом рассматривалась более подробно. Этот район расположен в северо-западной части Самарской области и имеет площадь 12,6 тыс. кв. км [2], занимая 23,5% ее территории. Природные условия в различных его частях неодинаковы, что отражается и на особенностях флоры.

В геоморфологическом отношении Сокский физико-географический район (см. рис. 1, № 69) является частью провинции Высокого Заволжья и представляет собою волнистую возвышенную равнину, расчлененную глубокими и широкими речными долинами. Территория данного физико-географического района принадлежит к бассейнам двух рек – Сок и Большой Кинель. Большую часть занимает бассейн реки Сок [12], истоки которого и верховье реки расположены в Оренбургской области. Однако основная часть бассейна лежит в Самарской области.

Природные условия района достаточно разнообразны, и его части различаются по целому ряду экологических показателей.

Характер течения реки Сок меняется на ее протяжении. От истока до с. Камышла долина реки мало разработана, поймы почти нет и река течет в крутых коренных берегах. Ниже, до места впадения р. Сургут – одного из левых притоков – ширина русла увеличивается. Пойма также расширяется, местами сильно заболачивается. В устьевой части русло реки и пойма значительно расширяются. Местами пойма сильно заболочена, загнивается тальми водами. С поймой реки как с биотопом связан целый комплекс сообществ луговой растительности.

Почвы района характеризуются преобладанием черноземов, однако их подтипы распределены по территории также неравномерно. В северо-восточной части района распространены подтипы черноземов с содержанием гумуса выше 10%. Встречается здесь также чернозем выщелоченный среднегумусный, приуроченный, главным образом, к шлейфам восточных склонов. В юго-западной, более сухой и менее лесистой, преобладает чернозем обыкновенный. На поймах рек развиты черноземовидные аллювиальные почвы [2].

Климатические показатели разных частей рассматриваемого района также несколько различаются. Сумма активных температур уменьшается с севера на юг от 2500° до 2200°. Средне-

годовое количество осадков 400–450 мм. Гидротермический коэффициент увеличивается к северо-востоку от 0,7 (г. Самара) до 1,0 (с. Клявино) [2].

Степень расчлененности рельефа различных участков района также имеет свои особенности. Местность с наиболее расчлененным рельефом расположена на верхнем участке течения реки на северо-востоке района, куда заходят юго-западные отроги Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Здесь находится самая высокая на территории бассейна точка, высота которой составляет 380 м, и расположена она на водоразделе рек Сок и Кандыз. Средний участок бассейна реки Сок (в районе впадения левого притока р. Сургут) имеет более-менее равномерный рельеф, сюда попадают несколько водораздельных холмов с относительно плоскими вершинами. В пределах устьевого участка рельеф наиболее выровнен. Степень расчлененности рельефа обеспечивает большее разнообразие условий и, соответственно, большее количество экологических ниш. Юго-восток Сокского физико-географического района охватывает фрагмент северной части бассейна реки Б. Кинель. Территория Сокско-Кинельского междуречья характеризуется своими особенностями природных условий. Лесистость составляет 25% [13], что является одним из самых высоких показателей по области. Рельеф южного склона Сокско-Кинельского междуречья также сильно расчленен, отдельные возвышенности превосходят по высоте Сокские горы.

Для изучения флористического разнообразия Сокского физико-географического района рассмотрены пять пробных площадей (*X*, *N*, *Y*, *R* и *P*), видовой состав высших сосудистых растений которых характеризует местные локальные особенности тех участков, на которых они описаны. Эти пробные площади расположены в устьевой части реки Сок, ее среднем течении, у истоков, в северной и юго-восточной частях района (рис. 2). Обозначенные пробные площади было предложено рассматривать в качестве опорных единиц для изучения флоры физико-географического района [14]. Под опорной единицей флоры нами понимается минимальный ареал конкретной флоры, характеризующийся некоторым числом видов, зафиксированных на определенной площади. Он может выступать в качестве флористического «портрета» конкретной флоры, отражая ее основные черты. Было показано соответствие выбранных опорных единиц минимальным ареалам конкретной флоры [14].

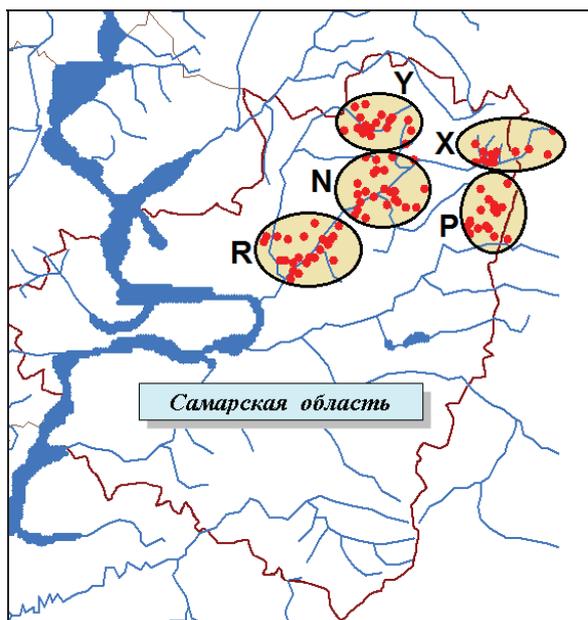


Рис. 2. Карта-схема месторасположения пробных площадей (опорных единиц) на территории Сокского района.

Точками обозначены места флористических описаний
 Fig. 2. Map of the location of sample plots (reference units) in the territory of the Soksky district. Dots mark the places of floristic descriptions

Результаты и их обсуждение

Рассматривая родовые спектры флор 12 физико-географических районов Самаро-Ульяновского Поволжья, можно отметить, что по аналогии с семейственным спектром однозначно не выделяется группа из какого-либо количества ведущих родов (табл. 1). Это подтверждает тезис о том, что родовой спектр более чувствителен к местным природным условиям, чем семейственный.

Результаты анализа частоты встречаемости родов в первой пятерке родовых спектров (см. табл. 1) показаны в табл. 2. Первые четыре позиции по частоте встречаемости можно считать принадлежащими к головной части родового спектра. Таким образом, назовем ведущими родами по рассматриваемой территории рода *Carex*, *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia*, *Salix* и *Astragalus*. Порядок же этих родов однозначно не устанавливается. В большинстве случаев лидирует род *Carex* в связи с большим отрывом от остальных по количеству видов. Так, на территории Самарской области насчитывается 60 видов осоки, 25 видов полыни, 32 – астрагала и 18 – лапчатки [15], т. е. осока в два раза опережает по численности практически все остальные роды, названные нами ведущими. Это объясняет лидирующее положение по количеству видов рода *Carex*.

Однако род *Carex* не во всех флорах районов находится на первом месте (табл. 1). Можно видеть, что районы представлены разным числом видов. Это зависит от различных причин (природные условия, степень изученности и пр.). Если мы применяем понятие «флора», а не говорим о просто списке видов, зафиксированных на какой-либо (даже достаточно большой) территории, то в определенных экологических условиях параметры этой структуры должны быть тоже определенными. Очевидно, что если в большинстве физико-географических районов род *Carex*, несмотря на различие природных условий, о которых упоминалось ранее, все же расположен на первом месте, следовательно, можно считать, что этот признак характерен для всех рассматриваемых флор. При этом физико-географический район рассматривается как территория, экологическая емкость которой ориентировочно достаточная для целой флоры в понимании А. И. Толмачева [16].

Подтверждает указанный факт анализ родовых спектров физико-географических провинций (табл. 3). Каждая из этих рассмотренных территорий также характеризуется своеобразием природных условий, однако, в отличие от районов, более общего порядка. Количество видов здесь превышает 1000 в каждой выборке. Род *Carex* в каждой из них расположен на первом месте.

Род *Carex* доминирует по числу видов на территории, имеющей и больший географический охват: такая ситуация отмечается для территории Волго-Уральского региона [17], в Рязанской области [18], а также в Татарстане [19].

Из остальных названных ведущих родов таковыми здесь остаются *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia* и *Astragalus*. Род *Salix* оказывается в спектре ниже. Его представители в подавляющем большинстве занимают околоводные биотопы. Виды же четырех перечисленных родов имеют более разнообразную экологию, поэтому для выявления полного видового списка необходимо обследование больших территорий, что достигается объединением видовых списков по физико-географическим районам в общий список провинции, поэтому род *Salix* все же можно назвать ведущим.

Последовательность других ведущих родов, а также второстепенных по численности, отражает индивидуальные особенности рассматриваемых физико-географических подразделений. Например, во флоре степной провинции Низменного и Сыртового Заволжья 2-е и 3-е места занимают соответственно роды *Astragalus* и *Artemisia* (табл. 4), что говорит о более ксерофитных условиях степной зоны.



Таблица 1 / Table 1

Головные части родовых спектров флор физико-географических районов Самаро-Ульяновского Поволжья
The head parts of the generic spectra for the floras of the Physical-geographical regions of the Samara-Ulyanovsk Volga region

№	48	50	51	52	54	55	64	69	70	71	72	73
	Число видов / Number of species											
	1078	954	792	1002	766	995	1256	1170	839	828	717	757
	Число родов / Number of genus											
	487	428	389	426	366	432	507	475	403	392	323	339
1	<i>Car.</i>	<i>Car.</i>	<i>Car.</i>	<i>Car.</i>	<i>Art.</i>	<i>Car.</i>	<i>Car.</i>	<i>Car.</i>	<i>Car.</i>	<i>Car.</i>	<i>Art.</i>	<i>Astr.</i>
2	<i>Gal.</i>	<i>Art.</i> <i>Astr.</i>	<i>Astr.</i>	<i>Gal.</i>	<i>Astr.</i> <i>Gal.</i>	<i>Viola</i>	<i>Gal.</i>	<i>Gal.</i>	<i>Salix</i>	<i>Art.</i>	<i>Astr.</i> <i>Pot.</i>	<i>Art.</i>
3	<i>Art.</i>	<i>Gal.</i> <i>Pot.</i>	<i>Junc.</i> <i>Pot.</i> <i>Viola</i> <i>Art.</i>	<i>Viola</i>	<i>Car.</i>	<i>Gal.</i> <i>Art.</i>	<i>Pot.</i>	<i>Pot.</i>	<i>Astr.</i> <i>Art.</i>	<i>Gal.</i>	<i>Salix</i>	<i>Pot.</i>
4	<i>Ver.</i>	<i>Cent.</i> <i>Ver.</i>	<i>Gal.</i> <i>Cam.</i> <i>Poa</i> <i>Salix</i>	<i>Salix</i>	<i>Salix</i> <i>Pot.</i>	<i>Pot.</i> <i>Astr.</i>	<i>Art.</i>	<i>Ast.</i>	<i>Pot.</i>	<i>Cent.</i> <i>Pot.</i> <i>Salix</i>	<i>Gal.</i> <i>Car.</i>	<i>Car.</i> <i>All.</i>
5	<i>Salix</i> <i>Vicia</i>	<i>Junc.</i> <i>Cirs.</i> <i>Camp.</i> <i>Viola</i> <i>Vicia</i>	<i>Ver.</i> <i>Cent.</i>	<i>Astr.</i> <i>Pot.</i>	<i>Camp.</i> <i>Euph.</i> <i>Vicia</i> <i>Ver.</i> <i>Poa</i>	<i>Salix</i>	<i>Ver.</i>	<i>Viola</i> <i>Art.</i>	<i>Gal.</i>	<i>Viola</i> <i>Astr.</i>	<i>Poa</i> <i>Cent.</i> <i>Potm.</i>	<i>Atr.</i> <i>Salix</i>

Примечание. Физико-географические районы (номера районов соответствуют показанным номерам на карте (рис. 1): 48 – Средне-Свияжский; 50 – Корсунско-Сенгилеевский; 51 – Инзенский; 52 – Свияго-Усинский; 54 – Южно-Сызранский; 55 – Жигулевский; 64 – Мелекесско-Ставропольский; 69 – Сокский; 70 – Самаро-Кинельский; 71 – Чагринский; 72 – Сыртовский; 73 – Иргизский. Сокращения: *All.* – *Allium*, *Art.* – *Artemisia*, *Astr.* – *Astragalus*, *Atr.* – *Atriplex*, *Camp.* – *Campanula*, *Car.* – *Carex*, *Cent.* – *Centaurea*, *Cirs.* – *Cirsium*, *Gal.* – *Galium*, *Euph.* – *Euphorbia*, *Junc.* – *Juncus*, *Potm.* – *Potamogeton*, *Pot.* – *Potentilla*, *Ver.* – *Veronica*

Note. Physical-geographical areas (numbers of areas correspond to the numbers shown on the map Fig. 1: 48 – Middle Sviyazhsky; 50 – Korsunsko-Sengileevsky; 51 – Inzensky; 52 – Sviyago-Usinsky; 54 – South Syzransky; 55 – Zhigulevsky; 64 – Melekessko-Stavropol; 69 – Soksky; 70 – Samara-Kinelsky; 71 – Chagrinsky; 72 – Syrtovy; 73 – Irgizsky. Abbreviations: *All.* – *Allium*, *Art.* – *Artemisia*, *Astr.* – *Astragalus*, *Atr.* – *Atriplex*, *Camp.* – *Campanula*, *Car.* – *Carex*, *Cent.* – *Centaurea*, *Cirs.* – *Cirsium*, *Gal.* – *Galium*, *Euph.* – *Euphorbia*, *Junc.* – *Juncus*, *Potm.* – *Potamogeton*, *Pot.* – *Potentilla*, *Ver.* – *Veronica*

Таблица 2 / Table 2

Частота встречаемости родов флор физико-географических районов Самаро-Ульяновского Поволжья в первой пятёрке родовых спектров
Frequency of occurrence for floras genera in physiographic areas of the Samara-Ulyanovsk Volga region in the top five of the generic spectra

Род / Genus	Частота встречаемости / Frequency of Occurrence
<i>Carex</i>	12
<i>Potentilla</i> , <i>Artemisia</i> , <i>Galium</i>	11
<i>Astragalus</i>	10
<i>Salix</i>	9
<i>Viola</i>	6
<i>Veronica</i>	5
<i>Centaurea</i>	4
<i>Campanula</i> , <i>Vicia</i> , <i>Poa</i>	3
<i>Juncus</i>	2
<i>Allium</i> , <i>Potamogeton</i> , <i>Atriplex</i> , <i>Cirsium</i> , <i>Euphorbia</i>	1



Таблица 3 / Table 3

Головные части родовых спектров флор физико-географических провинций Самаро-Ульяновского Поволжья
The head parts of the generic spectra of the floras in the physiographic provinces
of the Samara-Ulyanovsk Volga region

№	Лесостепная провинция Приволжской возвышенности / Forest-steppe province of the Volga Upland	Лесостепная провинция Низменного Заволжья / Forest-steppe province of the Nizmennoye Zavolzh'ye	Лесостепная провинция Высокого Заволжья / Forest-steppe province of the Vysokoye Zavolzh'ye	Степная провинция Низменного и Сыртового Заволжья / Steppe province of the Nizmennoye and Syrtovoye Zavolzh'ye
	Число видов / Number of species			
	1478	1258	1249	1108
1	<i>Carex</i>	<i>Carex</i>	<i>Carex</i>	<i>Carex</i>
2	<i>Viola</i> <i>Astragalus</i> <i>Galium</i>	<i>Galium</i>	<i>Galium</i>	<i>Astragalus</i>
3	<i>Potentilla</i>	<i>Artemisia</i> <i>Potentilla</i>	<i>Potentilla</i>	<i>Artemisia</i>
4	<i>Artemisia</i>	<i>Salix</i> <i>Veronica</i>	<i>Astragalus</i>	<i>Galium</i>
5	<i>Veronica</i>	<i>Potamogeton</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Potentilla</i>
6	<i>Salix</i>	<i>Juncus</i>	<i>Viola</i>	<i>Centaurea</i>

Таблица 4 / Table 4

Головные части родовых спектров флор пяти опорных единиц и Сокского физико-географического района
The head parts of the generic spectra of the floras in the five reference units
and the Soksky district physiographic region

№	Y	X	N	R	P	Сокский район
	Число видов / Number of species					
	670	745	784	715	682	1170
Число родов / Number of genus						
	323	356	362	351	337	475
Десять ведущих родов / Ten leading genus						
1	<i>Carex</i>	<i>Carex</i>	<i>Astragalus</i> <i>Galium</i>	<i>Carex</i>	<i>Galium</i>	<i>Carex</i>
2	<i>Galium</i>	<i>Galium</i>		<i>Astragalus</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Galium</i>
3	<i>Potentilla</i>	<i>Potentilla</i>	<i>Carex</i>	<i>Galium</i>	<i>Potentilla</i>	<i>Potentilla</i>
4	<i>Artemisia</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Potentilla</i>	<i>Carex</i>	<i>Astragalus</i>
5	<i>Astragalus</i>	<i>Viola</i>	<i>Potentilla</i>	<i>Artemisia</i>	<i>Astragalus</i>	<i>Viola</i>
6	<i>Salix</i> <i>Viola</i>	<i>Astragalus</i>	<i>Salix</i> <i>Viola</i>	<i>Salix</i> <i>Viola</i>	<i>Euphorbia</i> <i>Centaurea</i>	<i>Artemisia</i>
7		<i>Salix</i>				<i>Veronica</i>
8	<i>Campanula</i>	<i>Campanula</i>	<i>Campanula</i>	<i>Plantago</i> <i>Campanula</i> <i>Poa</i> <i>Veronica</i>	<i>Viola</i> <i>Salix</i>	<i>Veronica</i>
9	<i>Centaurea</i>	<i>Campanula</i>				<i>Centaurea</i>
10	<i>Lathyrus</i> <i>Geranium</i> <i>Vicia</i>	<i>Euphorbia</i> <i>Cirsium</i> <i>Veronica</i>	<i>Plantago</i> <i>Vicia</i>			<i>Euphorbia</i> <i>Campanula</i>

Род *Potentilla* занимает лишь пятую позицию. У провинций лесостепной зоны этот род расположен выше в спектре. Род *Galium* также опускается ниже по спектру, в то время как в районах лесостепной зоны он занимает нередко и вторую позицию.

В спектре провинции Приволжской возвышенности одним из ведущих можно считать род *Viola*. Особенно заметна его роль на территории

Самарской Луки (55 район, см. рис. 1) и района, расположенного восточнее (52 район, см. рис. 1).

Родовой спектр лесостепной провинции Низменного Заволжья отличается отсутствием в первой пятерке рода *Astragalus*, что соответствует слабой позиции здесь семейства Fabaceae. Очевидно, роды *Veronica* и *Potamogeton* оказываются в головной части спектра по этой же причине, а не благодаря своей многочисленности.



Для выявления роли некоторых родов проанализированы родовые спектры отдельных семейств, в состав которых они входят. Из всей совокупности семейств изучаемой территории рассмотрены спектры семейств Fabaceae и Rosaceae. Одно из этих двух семейств является третьим членом семейственного спектра каждого из 12 физико-географических районов и определяет тип флоры территории по Хохрякову [20]. Смена третьего члена семейственного спектра указывает на смену экологических условий, в которых сформирована флора, поэтому является важным показателем для ее характеристики.

Очевидно, что самыми крупными родами семейств Fabaceae и Rosaceae являются *Astragalus* и *Potentilla*. Можно сказать, что действительно именно они большей частью определяют положение «своего» семейства в спектре. Соотнося семейственные и родовые спектры представленных на рис. 3 физико-географических районов, можно сказать, что многочисленность *Astragalus* определяет семейство Fabaceae на третье место в спектре. Безусловно, многочисленность Fabaceae задается несколькими родами, в первую очередь это *Vicia*, *Lathyrus* и *Medicago*, причем в степной зоне выше доля *Medicago*, а в лесостепной – *Lathyrus* (см. рис. 3). Роль рода *Vicia* в лесостепной зоне также повышается, но все же род *Astragalus* остается самым многочисленным в семействе Fabaceae. Там, где этот род теряет своих представителей, происходит смена типов флоры.

Rosaceae – тип флоры, характерный для некоторых районов рассматриваемой территории [21]. Многочисленность этого семейства связана большей частью с представителями рода *Potentilla*. Можно видеть, что в различных рассмотренных районах (см. рис. 3) этот род находится на первом месте по численности как в степной зоне, так и в лесостепной. При этом в степной зоне отрыв по численности представителей этого рода более существенный (Иргизский район). Остальные роды имеют существенный вес только в совокупности. Следует упомянуть лишь род *Alchemilla*. Именно этот род обеспечивает многочисленность семейства Rosaceae в более северной относительно Самарской области флоре [18, 19]. Род *Alchemilla* в ее спектрах содержит больше видов, чем *Potentilla*. Во флоре рассматриваемых районов существенный вклад рода *Alchemilla* наблюдается в Свято-Усинском районе, принадлежащем к Приволжской возвышенности, где выпадает больше осадков по сравнению с Самарским Заволжьем.

Сокский физико-географический район

Более локальные, местные природные условия отражает состав родовых спектров выделен-

ных нами ранее опорных флористических единиц (см. рис. 2). Состав их семейственных спектров был изучен нами ранее [22]. Отмечалась высокая степень схожести состава рассмотренных семейственных спектров, особенно их головных частей.

Головные части родовых спектров изучаемых флор представлены в табл. 4. Совпадения по каким-либо позициям, аналогичного при сравнении семейственных спектров, в данном случае не наблюдается. У рассматриваемых флор даже первое место в спектре занимают разные роды. Первую позицию занимает чаще всего род *Carex*, на что указывалось и ранее.

Ведущими родами, занимающими первые позиции в родовом спектре для территории Сокского района, могут считаться следующие: *Carex*, *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia* и *Astragalus*.

Можно видеть, что, в отличие от всех рассматриваемых флор, для опорной единицы *N* в родовом спектре характерно доминирование рода *Astragalus*. Это объясняет повышенную активность семейства бобовых, о чем упоминал еще К. Клаус, изучая в свое время окрестности с. Сергиевск и именуя указанную флору «флорой бобовую» [23].

Для опорной единицы *R* также характерно высокое положение в спектре рода *Astragalus*. Этот факт объясняет большую схожесть флор опорных единиц *N* и *R* по сравнению с остальными. Территория опорной единицы *R* не входит в «Сергиевскую» флору в понимании К. Клауса [23], она расположена юго-западнее, однако эти единицы имеют общие флористические черты.

Территории флор опорных единиц *Y* и *X* расположены северо-восточнее, для них нами ранее отмечалась большая активность семейства Rosaceae. Очевидно, в родовом спектре это прослеживается по многочисленности рода *Potentilla*, который у данных опорных единиц многочисленнее рода *Astragalus*. На территории Сокского района род *Alchemilla* отмечался нами лишь в северной части (опорная единица *Y*) в количестве 4 видов. Таким образом, на территории Сокского района многочисленность семейства Rosaceae определяет именно род *Potentilla*. Однако тип флоры территории определяется всей совокупностью родов соответствующих семейств. Поэтому, несмотря на расположение родов *Potentilla* и *Astragalus* в спектре Сокского района, флора его все же Fabaceae-типа.

Анализ родов, расположенных в спектре ниже, очевидно, будет менее информативным в силу того, что производится сравнение не полных флор, а их минимальных ареалов, содержащих лишь основную часть видов.

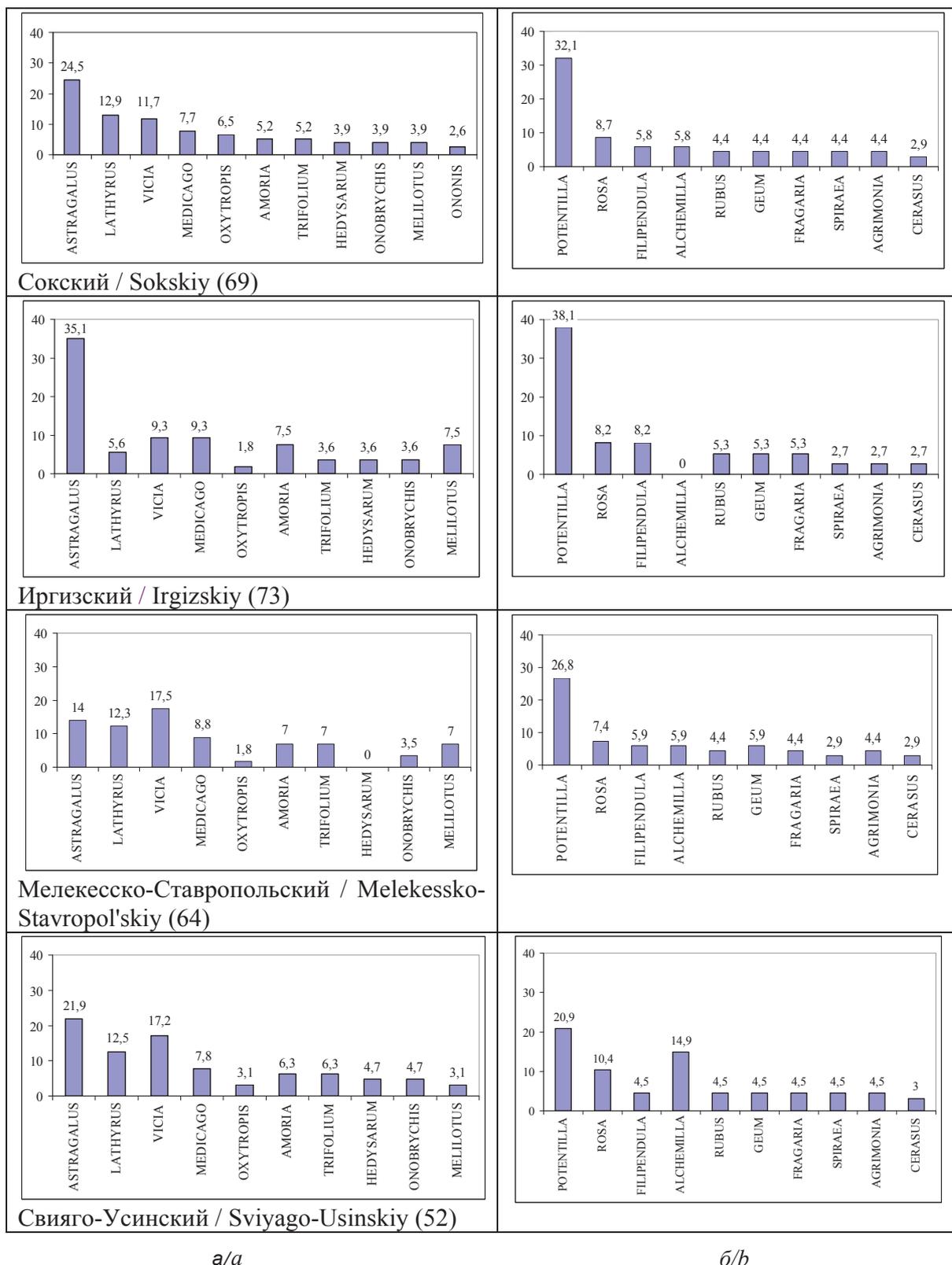


Рис. 3. Головные части родовых спектров семейств Fabaceae (а) и Rosaceae (б) некоторых физико-географических районов Самаро-Ульяновского Поволжья. Цифрами указан процент видов рода в семействе соответствующего района
 Fig. 3. The head parts of the generic spectra for the Fabaceae (a) and Rosaceae (b) families in certain Physical-geographical regions of the Samara-Ulyanovsk Volga region. The numbers indicate the percentage of species of the genus in the family of the corresponding area



Заключение

Таким образом, ведущими родами для флоры территории Самаро-Ульяновского Поволжья могут считаться *Carex*, *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia*, *Astragalus*, а также род *Salix*. Первое место в родовом спектре определяется после 1000 видов во флористическом списке, и занимает его род *Carex*. Родовой спектр (по сравнению с семейственным) способен более подробно выявлять индивидуальные черты изучаемых флор. Это проявляется как во взаимном расположении ведущих родов (за исключением первого места), так и в появлении в головной части спектра второстепенных родов.

Соотнося семейственные и родовые спектры физико-географических районов, можно сказать, что многочисленность *Astragalus* определяет положение в спектре семейства Fabaceae. Многочисленность семейства Rosaceae связана большей частью с представителями рода *Potentilla*. Показано, что на уровне родового спектра тип флоры определяется численностью родов *Astragalus* и *Potentilla*.

Благодарности

Работа выполнена в соответствии с Программой фундаментальных научных исследований государственных академий наук согласно тематическому плану Института экологии Волжского бассейна РАН по темам с регистрационными номерами в ЕГИСУ НИОКТР АААА-А17-117112040039-7 и АААА-А17-117112040040-3.

Список литературы

1. Малышев Л. И. Флористические спектры Советского Союза // История флоры и растительности Евразии. Л. : Изд-во Наука, 1972. С. 17–40.
2. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / под ред. А. В. Ступишина. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1964. 173 с.
3. Чибилев А. А., Дебело П. В. Ландшафты Урало-Каспийского региона. Оренбург : Ин-т степи УрО РАН, Печатный дом «Димур», 2006. 264 с.
4. Костина М. А. База данных «Флористические описания локальных участков Самарской и Ульяновской областей» (FD SUR): информационная основа, структура данных, алгоритмы обработки и результаты использования // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. 2015. Т. 24, № 2. С. 161–172.
5. Саксонов С. В., Раков Н. С., Сенатор С. А. Ботанические экскурсии летом 2008 по Самарскому Заволжью // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. 2013. Т. 22, № 2. С. 98–114.
6. Сенатор С. А., Саксонов С. В., Васюков В. М., Раков Н. С., Дронин Г. В., Иванова А. В., Новикова Л. А. XIV Экспедиция-конференция Института экологии Волжского бассейна РАН, посвященная 100-летию Русского ботанического общества. Ч. 1. Самарская область // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. 2016. Т. 25, № 3. С. 53–93.
7. Сенатор С. А., Саксонов С. В., Васюков В. М., Раков Н. С., Дронин Г. В., Иванова А. В., Новикова Л. А. XIV Экспедиция-конференция Института экологии Волжского бассейна РАН, посвященная 100-летию Русского ботанического общества. Ч. 2. Ульяновская область // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. 2016. Т. 25, № 3. С. 94–122.
8. Сенатор С. А., Саксонов С. В., Васюков В. М., Иванова А. В., Калмыкова О. Г., Кин Н. О., Князев М. С., Письмаркина Е. В. XVI Экспедиция-конференция лаборатории проблем фиторазнообразия Института экологии Волжского бассейна РАН // Самарская Лука : проблемы региональной и глобальной экологии. 2018. Т. 27, № 3. С. 67–97.
9. Кузовенко О. А., Корчиков Е. С., Попова Д. С. Раритетные виды растений, лишайников и чешуекрылых памятника природы «Урочище Мулин дол» (Большечерниговский район Самарской области) // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2012. Т. 14, № 1 (8). С. 2151–2154.
10. Кузовенко О. А., Плаксина Т. И. «Урочище Грызль» – уникальный степной памятник природы Самарской области // Вестник СамГУ. 2009. № 8 (74). С. 170–199.
11. Кузовенко О. А., Плаксина Т. И. «Урочище Грызль» – уникальный степной памятник природы Самарской области // Вестник СамГУ. 2010. № 2 (76). С. 178–202.
12. Кузнецова Р. С. Бассейн реки Сок : общая характеристика притоков // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2014. Т. 16, № 5. С. 36–42.
13. Атлас земель Самарской области / гл. ред. Л. Н. Порошина. М. : Федеральная служба геодезии и картографии России, 2002. 100 с.
14. Иванова А. В., Костина Н. В. Выявление площади минимум-ареала конкретной флоры с учетом антропогенной трансформации территории // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2015. Т. 17, № 4. С. 77–80.
15. Саксонов С. В., Сенатор С. А. Путеводитель по Самарской флоре (1851–2011). Флоры Волжского бассейна. Т. 1. Тольятти : Кассандра, 2012. 512 с.
16. Толмачев А. И. Введение в географию растений. Л. : ЛГУ, 1974. 244 с.
17. Плаксина Т. И. Конспект флоры Волго-Уральского региона. Самара : Самарский университет, 2001. 388 с.
18. Казакова М. В. Флора Рязанской области. Рязань : Русское слово, 2004. 388 с.
19. Сосудистые растения Татарстана. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2000. 496 с.
20. Хохряков А. П. Таксономические спектры и их роль в сравнительной флористике // Бот. журн. 2000. Т. 85, № 5. С. 1–11.
21. Иванова А. В., Костина Н. В., Розенберг Г. С., Саксонов С. В. Семейственные спектры флор территории Волжского бассейна // Бот. журн. 2016. Т. 101, № 9. С. 1042–1055.
22. Иванова А. В. Минимум-ареалы конкретных флор как основа для определения флористической структуры территории // Изв. Уфим. науч. центра РАН. 2017. № 3. С. 77–82.
23. Клаус К. Флоры местные и приволжских стран. СПб. : Типография Императ. Академии наук, 1852. 312 с.



Образец для цитирования:

Иванова А. В., Костина Н. В., Аристова М. А. Родовой спектр в анализе флоры Самаро-Ульяновского Поволжья // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 196–206. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-196-206>

Generic Spectrum in the Analysis of Flora in Samara-Ulyanovsk Volga Region

A. V. Ivanova, N. V. Kostina, M. A. Aristova

Anastasia V. Ivanova, <https://orcid.org/0000-0003-2467-546X>, Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, 10 Komzin St., Togliatti 445003, Russia, nastia621@yandex.ru

Natalia V. Kostina, <https://orcid.org/0000-0002-8666-2130>, Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, 10 Komzin St., Togliatti 445003, Russia, knva2009@yandex.ru

Margarita A. Aristova, <https://orcid.org/0000-0001-6389-8485>, Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS, 10 Komzin St., Togliatti 445003, Russia, margokostina@yandex.ru

Consideration of the generic spectrum of flora is one of the elements of a general analysis of the flora of the study area. It allows to identify individual traits to a greater extent than the analysis of the family spectrum. The study of phytodiversity at the level of floras will allow in the future to clarify the patterns of their territorial location. Samara-Ulyanovsk Volga region is the territory within two administrative regions (Samara and Ulyanovsk) belongs to the Middle Volga region. It is very diverse in natural conditions. The generic spectra of the floras under consideration were constructed on the basis of a set of floristic descriptions which are grouped according to their affiliation to the physical-geographical units (12 districts and 4 provinces) according to the regionalization of A. V. Stupishin. We used about 400 floristic descriptions. Flora of the Sokskiy subalpine forest-steppe physiographic region with ridge relief is considered in more detail. This paper considers five sample plots, the species composition of higher vascular plants which characterizes the local features of the areas in which they are described. These sites are located in the mouth of the Sok River, middle course, at the source, in the northern part of the district and the southeast part. The leading genera for the flora of the territory of Samara-Ulyanovsk Volga region are the following: *Carex*, *Galium*, *Potentilla*, *Artemisia*, *Astragalus*, and the genus *Salix*. It is shown that the first place in the generic spectrum is determined after 1000 species in the floristic list and is occupied by the genus *Carex*. The generic spectrum (in comparison with the family one) is able to reveal in more detail the individual features of the studied floras. This is manifested both in the mutual arrangement of the leading genera (with the exception of the first place) and in the appearance at the head of the spectrum of secondary genera. It was shown that at the level of the generic spectrum, the type of flora is determined by the number of the *Astragalus* and *Potentilla* genera.

Keywords: Samara-Ulyanovsk Volga region, generic spectrum of flora, leading genus, physiographic areas, Sokskiy district, supporting floristic units.

Acknowledgments: The study was carried out within the framework of the topics of the Institute of Ecology of the Volga River Basin RAS AAAA-A17-117112040040-3 and AAAA-A17-117112040039-7.

References

1. Malyshev L. I. Floristicheskie spektry Sovetskogo Soyuz [Floral spectra of the Soviet Union]. In: *Istoriya flory i rastitel'nosti Evrazii* [History of flora and vegetation of Eurasia]. Leningrad, Nauka Publ., 1972, pp. 17–40 (in Russian).
2. Fiziko-geograficheskoe rayonirovanie Srednego Povolzh'ya [Physical and geographical zoning of the Middle Volga region]. Kazan', Izd-vo Kazan. un-ta, 1964. 173 p. (in Russian).
3. Chibilev A. A., Debelo P. V. Landshafty Uralo-Kaspiyskogo regiona [Landscapes of the Ural-Caspian region]. Orenburg, Institut stepi UrO RAN, Pechatnyj dom «Dimur», 2006. 264 p. (in Russian).
4. Kostina M. A. Database “Floristic descriptions of local areas of Samara and Ulyanovsk regions “(FDSUR): information basis, data structure, processing algorithms and results of use. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, 2015, vol. 24, no. 2, pp. 161–172 (in Russian).
5. Saksonov S. V., Rakov N. S., Senator S. A. Botanical excursions in the summer of 2008 in the Samara Region. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, 2013, vol. 22, no. 2, pp. 98–114 (in Russian).
6. Senator S. A., Saksonov S. V., Vasyukov V. M., Rakov N. S., Dronin G. V., Ivanova A. V., Novikova L. A. XIV Expedition-conference of the Institute of ecology of the Volga basin RAS, dedicated to the 100th anniversary of the Russian Botanical Society. Part 1. Samara Region. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 53–93 (in Russian).
7. Senator S. A., Saksonov S. V., Vasyukov V. M., Rakov N. S., Dronin G. V., Ivanova A. V., Novikova L. A. XIV Expedition-conference of the Institute of ecology of the Volga basin RAS, dedicated to the 100th anniversary of the Russian Botanical society. Part 2. Ulyanovsk region. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, 2016, vol. 25, no. 3, pp. 94–122 (in Russian).
8. Senator S. A., Saksonov S. V., Vasyukov V. M., Ivanova A. V., Kalmykova O. G., Kin N. O., Knyazev M. S., Pis'markina E. V. XVI Expedition-conference of the laboratory of problems of phyto-diversity of the Institute of ecology of the Volga basin RAS. *Samarskaya Luka: problems of regional and global ecology*, 2018, vol. 27, no. 3, pp. 67–97 (in Russian).
9. Kuzovenko O. A., Korchikov E. S., Popova D. S. Rare species of plants, lichens, Lepidoptera and the natural monument “the Tract Moulin Dol” (bol'shechernigovskaya district of Samara region). *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian academy of Sciences*, 2012, vol. 14, no. 1 (8), pp. 2151–2154 (in Russian).



10. Kuzovenko O. A., Plaksina T. I. "The tract Gryzlov" – a unique steppe nature monument of Samara region. *Vestnik of Samara State University*, 2009, no. 8 (74), pp. 170–199 (in Russian).
11. Kuzovenko O. A., Plaksina T. I. "The tract Gryzlov" – a unique steppe nature monument of Samara region. *Vestnik of Samara State University*, 2010, no. 2 (76), pp. 178–202 (in Russian).
12. Kuznecova R. S. Sok river basin: General characteristics of tributaries. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian academy of Sciences*, 2014, vol. 16, no. 5, pp. 36–42 (in Russian).
13. *Atlas zemel' Samarskoy oblasti*. Gl. red. L. N. Poroshina [Atlas of lands of Samara region]. Moscow, Federal'naya sluzhba geodezii i kartografii Rossii, 2002. 100 p. (in Russian).
14. Ivanova A. V., Kostina N. V. Identification of the minimum area of specific flora taking into account the anthropogenic transformation of the territory. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian academy of Sciences*, 2015, vol. 17, no. 4, pp. 77–80 (in Russian).
15. Saksonov S. V., Senator S. A. *Putevoditel' po Samarskoj flore (1851–2011). Flory Volzhskogo bassejna* [Guide to the flora of Samara (1851–2011). Flora of the Volga basin]. Vol. 1. Tol'yatti, Cassandra Publ., 2012. 512 p. (in Russian).
16. Tolmachev A. I. *Vvedenie v geografiju rasteniy* [Introduction to plant geography]. Leningrad, LGU, 1974. 244 p. (in Russian).
17. Plaksina T. I. *Konspekt flory Volgo-Ural'skogo regiona*. [Summary of flora of the Volga-Ural region]. Samara, Samarskiy universitet, 2001. 388 p. (in Russian).
18. Kazakova M. V. *Flora Ryazanskoj oblasti* [Flora of Ryazan region]. Ryazan', Russkoe slovo Publ., 2004. 388 p. (in Russian).
19. *Sosudistye rasteniya Tatarstana* [Vascular plants of Tatarstan]. Kazan', Izd-vo Kazan. un-ta, 2000. 496 p. (in Russian).
20. Hohryakov A. P. Taxonomic spectra and their role in comparative floristry. *Botanicheskiy Zhurnal*, 2000, vol. 85, no. 5, pp. 1–11 (in Russian).
21. Ivanova A. V., Kostina N. V., Rozenberg G. S., Saksonov S. V. Family spectra of the Volga basin flora. *Botanicheskiy Zhurnal*, 2016, vol. 101, no. 9, pp. 1042–1055 (in Russian).
22. Ivanova A. V. Minimum-areas of specific flora as a basis for determining the floristic structure of the territory. *Proceedings of the RAS Ufa Scientific Centre*, 2017, no. 3, pp. 77–82 (in Russian).
23. Klaus K. *Flory mestnye i privolzhsikh stran* [Flora of local and the Volga countries]. St. Petersburg, Tipografiya Imperat. Akademii nauk, 1852. 312 p. (in Russian).

Cite this article as:

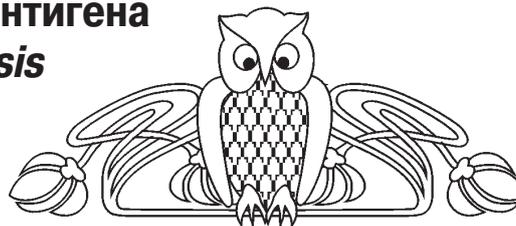
Ivanova A. V., Kostina N. V., Aristova M. A. Generic Spectrum in the Analysis of Flora in Samara-Ulyanovsk Volga Region. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 196–206 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-196-206>



УДК 579.61

Влияние химической структуры О-антигена разных подвидов *Francisella tularensis* на иммунологические реакции

А. А. Горбатов, Г. М. Титарева, Т. Б. Кравченко, Р. З. Шайхутдинова, В. Н. Герасимов, А. Н. Мокриевич, В. В. Фирстова



Горбатов Алексей Александрович, научный сотрудник отдела иммунобиохимии патогенных микроорганизмов, Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Московская обл., Серпуховский р-н, п. Оболенск, gorbатов1986@mail.ru

Титарева Галина Михайловна, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела особо опасных инфекций, Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Московская обл., Серпуховский р-н, п. Оболенск, titarevag@mail.ru

Кравченко Татьяна Борисовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела особо опасных инфекций, Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Московская обл., Серпуховский р-н, п. Оболенск, kravchenko@obolensk.org

Шайхутдинова Рима Завдатовна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела особо опасных инфекций, Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Московская обл., Серпуховский р-н, п. Оболенск, shaikhutdinova@yandex.ru

Герасимов Владимир Николаевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник отдела дезинфектологии, Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Московская обл., Серпуховский р-н, п. Оболенск, ilcvngerasimov@obolensk.org

Мокриевич Александр Николаевич, доктор медицинских наук, главный научный сотрудник отдела особо опасных инфекций, Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Московская обл., Серпуховский р-н, п. Оболенск, mokrievich@obolensk.org

Фирстова Виктория Валерьевна, доктор биологических наук, главный научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии, Государственный научный центр прикладной микробиологии и биотехнологии, Московская обл., Серпуховский р-н, п. Оболенск, firstova@obolensk.org

Наибольшую диагностическую значимость при туляремии играют антитела против липополисахарида (ЛПС). Ранее было показано, что специфические антитела, появляющиеся в сыворотке крови лабораторных животных, зараженных вирулентными штаммами, и людей, переболевших туляремией, могут связываться как с ЛПС *Francisella tularensis*, так и с ЛПС *Francisella novicida*, в то время как при вакцинации специфические антитела к ЛПС *F. novicida* отсутствуют. Целью работы являлось изучение влияния строения О-антигена липополисахарида *F. tularensis* разных подвидов на иммунологические реакции со специфическими антителами. Ис-

пользовали метод выделения из ЛПС различных штаммов *F. tularensis* по Westphal с модификациями, мягкий кислотный гидролиз и метод негативного контрастирования при электронной микроскопии. Определено соотношение гидрофильной и гидрофобной составляющих молекул ЛПС, выделенных из штаммов различных подвидов. Выявлена корреляция размера капсульного вещества, определенного электронной микроскопией, с соотношением гидрофильной и гидрофобной частей в препаратах ЛПС, полученных из этих же штаммов. Показано, что у вирулентных штаммов *F. tularensis* толщина капсулы и соотношение гидрофильной и гидрофобной частей были выше, чем аналогичные параметры у вакцинного штамма 15 НИИЭГ. Получены данные, свидетельствующие о наличии капсулы у штамма *F. novicida*. Предложена гипотеза, объясняющая наличие перекрестного реагирования сывороток людей и животных, инфицированных вирулентными штаммами, с ЛПС *F. tularensis* и ЛПС *F. novicida*.

Ключевые слова: *Francisella tularensis*, *Francisella novicida*, липополисахарид, О-антиген, капсула, специфические антитела.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-207-215>

Введение

Туляремия – природно-очаговая инфекция, вызываемая бактериями *Francisella tularensis*, по своей эпидемиологической значимости относящаяся к особо опасным из-за высокой инфекционности для человека. Существование довольно большого количества природных очагов этого заболевания на территории РФ требует применения современных серологических методов диагностики при мониторинге заболеваемости среди потенциальных источников туляремии (грызунов), а также при обследовании вакцинированных и заболевших людей.

Фундаментальной проблемой диагностики инфекционных заболеваний является поиск высокоспецифичных и диагностически значимых антигенов. Известно, что основную роль в гуморальном иммунитете при туляремии играют антитела против липополисахарида (ЛПС) [1, 2]. Химическая структура туляремийного ЛПС и его антигенных детерминант, являющихся центрами взаимодействия со специфическими антителами, привлекает внимание исследователей [3, 4]. Одной из особенностей туляремийного ЛПС является биологическая инертность очищенных препаратов вне зависимости от вирулентности штаммов возбудителя.



Как и у большинства других грамотрицательных бактерий, ЛПС природных штаммов *F. tularensis* состоит из О-полисахарида (О-антигена), присоединенного к липиду А через олигосахарид кора (S-форма ЛПС) [5, 6]. Как правило, антигенные детерминанты расположены на О-полисахаридах, по которым и определяется принадлежность микроорганизма к определенным серотипам. Длина повторяющихся звеньев в полисахаридных цепях О-антигена варьирует в очень широких пределах, что может оказывать влияние на спектр вырабатываемых в процессе инфекции антител.

Ранее было показано [7], что специфические антитела, появляющиеся при инфекционном процессе у лабораторных животных и у переболевших туляремией людей, могут взаимодействовать как с ЛПС *F. tularensis*, так и с ЛПС *F. novicida*, в то время как при вакцинном процессе вырабатываются антитела, взаимодействующие только с ЛПС *F. tularensis* при отсутствии антител к ЛПС *F. novicida*.

Целью наших исследований было изучение влияния строения О-антигена липополисахарида *F. tularensis* разных подвидов на иммунологические реакции со специфическими антителами сывороток инфицированных и иммунизированных людей и животных.

Материалы и методы

Бактериальные штаммы. В работе использовали штаммы из Государственной коллекции «ГКПМ-Оболенск»: вакцинный штамм *F. tularensis* subsp. *holarctica* 15 НИИЭГ в S- и R- формах; вирулентные штаммы различных подвидов: *F. tularensis* 503 и A-1045 subsp. *holarctica*; *F. tularensis* 554, 120 и A-678 subsp. *mediasiatica*; *F. tularensis* Schu и B-399 subsp. *tularensis*; *F. tularensis* subsp. *novicida* Utah112.

Условия культивирования. Штаммы *F. tularensis* выращивали при температуре 37° С на плотной питательной среде для культивирования туляремийного микроба ФТА. Состав ФТА: 3,8% эритрит-агар, 1% высушенная кровь крупного рогатого скота, 1% глюкоза, 0,05% цистеин, 0,0025% тиамин хлорид, рН 7,2 (ФБУН ГНЦ ПМБ, п. Оболенск, Московская обл.).

Получение сывороток крыс. Крыс линии Wistar иммунизировали подкожно вакцинным штаммом *F. tularensis* 15 НИИЭГ (subsp. *holarctica*) и заражали вирулентными штаммами *F. tularensis* 503 (subsp. *holarctica*), *F. tularensis* A-678 (subsp. *mediasiatica*), *F. tularensis* Schu (subsp. *tularensis*) и *F. tularensis* Utah112 (subsp. *novicida*). На 21-е сутки у животных проводили

забор крови для получения сыворотки. Содержание и манипуляции с животными осуществляли в виварии, соответствующем требованиям GAC (Good Animal Care) и протоколу ВП-2017/6 комитета по биоэтике ГНЦ прикладной микробиологии и биотехнологии.

Методы выделения ЛПС. Выделение ЛПС проводили методом экстракции по Westphal (1965) с модификациями. Модификация метода заключалась в добавлении стадии переосаждения 3-кратным объемом этилового спирта диализованной водной фазы, содержащей экстрагированные водорастворимые компоненты. Полученные после центрифугирования водно-спиртовой суспензии осадки растворяли в воде и обрабатывали последовательно ферментами: ДНК-азой, РНК-азой и протеиназой К для освобождения от примесей нуклеиновых кислот и белков [8]. Необходимо отметить, что в водную фазу после экстрагирования водно-фенольным раствором переходят все водорастворимые компоненты, к которым, кроме ЛПС, относятся и свободные полисахариды, и нуклеиновые кислоты, и белки. Если содержание двух последних компонентов удастся снизить обработкой ферментами ДНК-азой, РНК-азой, протеиназой К с последующим диализом, то свободные полисахариды, возможно, составляющие капсулу, выделяются совместно с ЛПС. Обработанные ферментами растворы после окончания диализа лиофилизировали.

Мягкая кислотная деградация ЛПС. Препараты ЛПС изучаемых штаммов гидролизовали 2% водным раствором уксусной кислоты при температуре 100° С в течение 4 ч для разрыва кислотолабильной кетозидной связи между кором и липидом А. Нерастворимый в воде осадок липида А осаждали центрифугированием (13 000 g, 20 мин) и лиофильно высушивали. Водорастворимую фракцию из штаммов *F. tularensis* различных подвидов subsp. *tularensis* (Schu), subsp. *holarctica* (15 НИИЭГ, 503), subsp. *mediasiatica* (678) и subsp. *novicida* (Utah112) также лиофильно высушивали.

Дот- и иммуноблоттинг проводили по стандартным методикам с использованием для детекции связанных с мембранами антител конъюгатов вторичных иммуноглобулинов к IgG человека и крысы с пероксидазой хрена (Sigma, США) в рабочих разведениях согласно инструкции производителя.

Электронная микроскопия. Агаровую культуру *F. tularensis* суспендировали в 1–2 мл 2,5% фиксатора на основе глутарового альдегида (рН 7,5–8,5) и доводили до концентрации, равной 5×10^9 м.к./мл. На сетку с обращенной вверх



пленкой-подложкой наносили 1 каплю обеззараженной взвеси микроорганизмов. Для негативного контрастирования использовали 1–2% раствор натриевой соли фосфорно-вольфрамовой кислоты, 1–2% раствор уранилацетата, раствор ацетата и молибдата аммония. Просмотр клеток проводили на микроскопе FEI Tecnai G2 Spirit BioTWIN (разрешающая способность 70 Å, рабочее напряжение 120 кВ). Обработку изображений осуществляли с помощью программы Tecnai Imaging Analysis.

Результаты и их обсуждение

Известно, что макромолекула ЛПС может быть условно разделена на три домена. Липид А – гидрофобная часть молекулы. К нему ковалентно присоединяется коровая часть, которая соединена с полимером из повторяющихся углеводных остатков, называемым О-полисахаридом, или О-антигеном. Липид А является своего рода «якорем», закрепляющим молекулы ЛПС в мембране за счет гидрофобных взаимодействий

друг с другом и с фосфолипидным слоем [9–13]. У *F. tularensis*, как и у большинства грамотрицательных бактерий, липид А представляет собой фосфорилированный дисахарид, состоящий из двух остатков D-глюкозамина, ацилированный четырьмя жирнокислотными остатками [14]. Как правило, антигенные детерминанты расположены на О-полисахариде, который и обуславливает иммунологическую индивидуальность серотипов, штаммов, подвидов. Спектр вырабатываемых макроорганизмом антител зависит от структуры и длины О-антигена.

Нами была проведена работа по получению очищенных препаратов ЛПС из бактериальных клеток вакцинных и, что особенно важно, вирулентных штаммов *F. tularensis* различных подвидов (*tularensis*, *holarctica*, *mediasiatica* и *novicida*) по Westphal с модификациями [8]. Изучение полученных препаратов методом электрофореза с последующим окрашиванием ионами серебра не выявило картину, характерную для S-форм ЛПС (рис. 1).

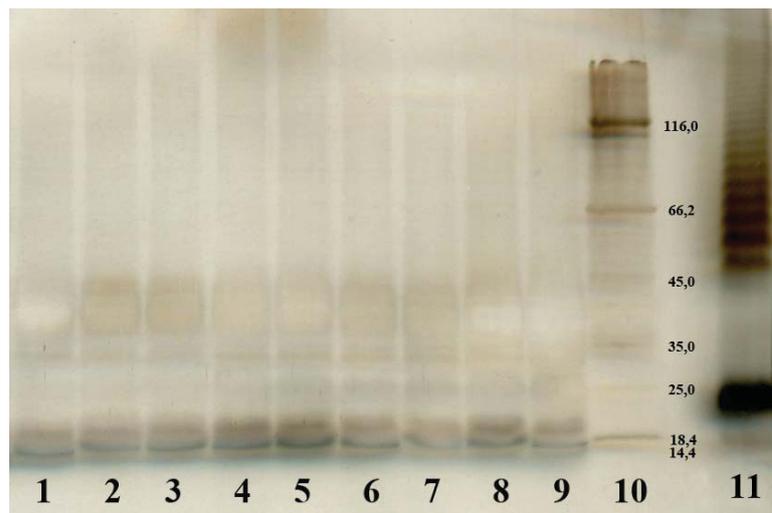


Рис. 1. Электрофоретическое разделение препаратов ЛПС *F. tularensis* различных подвидов, выделенных микрометодом, обработанных протеиназой К; окрашивание ионами серебра: ssp. *holarctica*: 1 – 15 НИИЭГ, 2 – 503, 3 – А-1045; ssp. *tularensis*: 4 – Schu, 5 – В-399; ssp. *mediasiatica*: 6 – 554, 7 – 120, 8 – А-678; ssp. *novicida*: 9 – Utah112; 10 – маркер молекулярных весов (Fermentas #0431); 11 – ЛПС *E. coli*

Fig. 1. Electrophoretic separation of LPS *F. tularensis* preparations of various subspecies, isolated by micromethod, treated with proteinase K; silver ion staining: ssp. *holarctica*: 1 – 15 НИИЭГ, 2 – 503, 3 – А-1045; ssp. *tularensis*: 4 – Schu, 5 – В-399; ssp. *mediasiatica*: 6 – 554, 7 – 120, 8 – А-678; ssp. *novicida*: 9 – Utah112; 10 – molecular weight marker (Fermentas #0431); 11 – LPS *E. coli*

Действительно, особенностью туляремийного ЛПС является плохая выявляемость на электрофо-реграммах при окрашивании ионами серебра [15]. Возможно, это связано со структурными особенностями ЛПС *F. tularensis*, в котором в основном

присутствуют гексозы, которые на предшествующей стадии окисления слабо окисляются иодной кислотой и, соответственно, слабо связываются с ионами серебра, которые не восстанавливаются при дальнейшей реакции с формальдегидом.



Для определения иммунологически активных центров связывания эпитопов молекулы ЛПС со специфическими антителами методом иммуноблота нам необходимо было получить сыворотки животных, зараженных штаммами различных подвидов *F. tularensis* – *tularensis*, *holarctica*, *mediasiatica* и *novicida*. Учитывая высокую чувствительность к туляремии лабораторных мышей и морских свинок, мы использовали крыс линии Wistar, поскольку только от этих малочувствительных к туляремии животных можно получить сыворотку после заражения вирулентными штаммами различных подвидов без предварительной иммунизации. Полученные сыворотки использовали для

проведения дот- и иммуноблоттинга с препаратами ЛПС различных подвидов *F. tularensis*. Сыворотки, полученные от крыс, зараженных вирулентными штаммами всех подвидов, реагировали с ЛПС, выделенными из штаммов разных подвидов, примерно одинаково, выявляя характерную для S-формы ЛПС «лестницу» при отсутствии неспецифического взаимодействия с ЛПС *E. coli* и достаточно явно взаимодействуя с O-полисахаридной частью ЛПС *F. novicida* (рис. 2).

Интересные результаты были получены при исследовании сывороток, иммунизированных и инфицированных крыс методом дот-блот анализа. Результаты представлены на рис. 3.

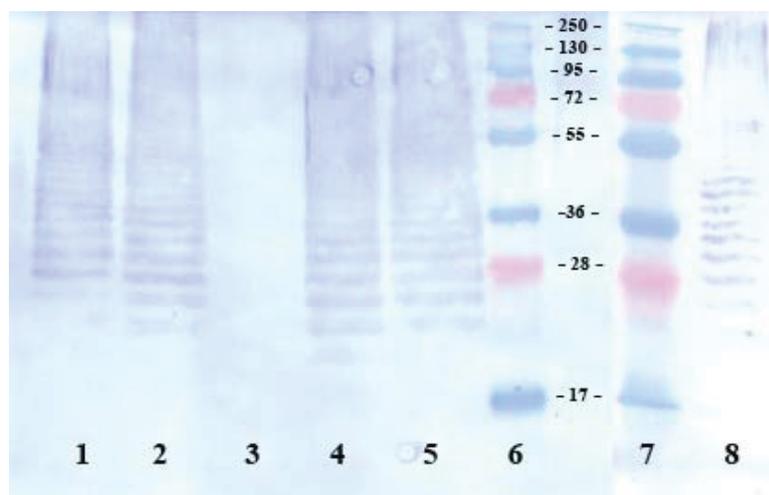


Рис. 2. Иммуноблот препаратов ЛПС, выделенных из бактериальных клеток *F. tularensis* различных подвидов, с сывороткой крысы линии Wistar, зараженной вирулентным штаммом *F. tularensis* A-678 (ssp. *mediasiatica*): 1 – *F. tularensis* 15 НИИЭГ; 2 – *F. tularensis* 503; 3 – *E. coli*; 4 – *F. tularensis* Schu; 5 – *F. tularensis* 678; 6, 7 – маркеры молекулярной массы (Thermo #26619); 8 – *F. novicida* Utah112

Fig. 2. Immunoblot of LPS preparations isolated from bacterial cells of *F. tularensis* of various subspecies, with Wistar rat serum infected with the virulent strain of *F. tularensis* A-678 (ssp. *mediasiatica*): 1 – *F. tularensis* 15 NIEG, 2 – *F. tularensis* 503, 3 – *E. coli*; 4 – *F. tularensis* Schu; 5 – *F. tularensis* A-678; 6, 7 – molecular weight marker (Thermo #26619); 8 – *F. novicida* Utah112

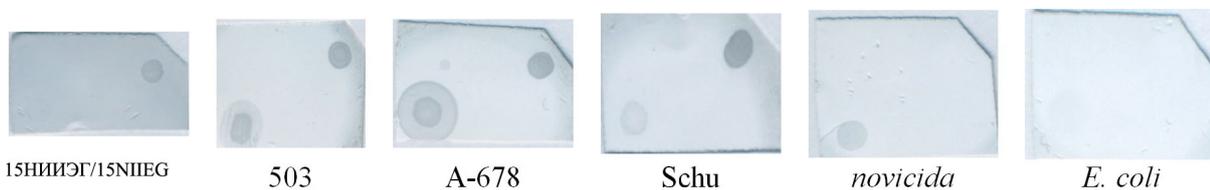


Рис. 3. Результаты дот-блота с сыворотками крыс после вакцинации (1×10^8 м.к./крысу) штаммом 15 НИИЭГ или заражения вирулентными штаммами *F. tularensis* различных подвидов (1×10^5 м.к./крысу). В качестве отрицательного контроля использована сыворотка крысы, зараженной (1×10^8 м.к./крысу) *E. coli*. В левом нижнем углу нанесен препарат ЛПС *F. novicida* Utah112, в правом верхнем – препарат ЛПС *F. tularensis* 15 НИИЭГ

Fig. 3. Results of dot blot with sera of rats after vaccination (dose 1×10^8 CFU/rat) with strain 15 NIEG or infection with different subtypes by the virulent strains of *F. tularensis* (dose 1×10^5 CFU/rat). Serum of the rat infected of *E. coli* (dose 1×10^8 CFU/rat) was used as a negative control. LPS *F. novicida* Utah112 is applied in the lower left corner, and LPS *F. tularensis* 15 NIEG is applied in the upper right



Результаты дот-блотинга подтверждают результаты иммуноблотов (данные не приведены) и согласуются с результатами Павлович [7, 16], свидетельствуя о наличии специфических антител к ЛПС *F. tularensis* и к ЛПС *F. novicida* при заражении вирулентными штаммами, в то время как при вакцинном процессе антитела к ЛПС *F. novicida* не выявляются.

Как отмечено выше, в последние годы исследователи уделяют пристальное внимание капсуле туляремиального микроба [3, 4, 17]. В самых ранних работах по туляремии описан феномен диссоциации культуры вакцинного штамма 15 НИИЭГ на голубые и серые колонии, который отражает существование у туляремиального микроба капсульных и бескапсульных форм [18, 19]. До настоящего времени структура капсулы полностью не изучена и поэтому по-прежнему привлекает

внимание исследователей [20, 21]. Известно, что наличие капсулы и ее толщина влияют на вирулентность штаммов. Гены, ответственные за формирование капсулы, обнаружены у всех подвидов *F. tularensis*, в том числе и *F. novicida* [4, 22].

Исходя из предположения, что при выделении ЛПС по методу Westphal в водном растворе совместно с молекулами ЛПС попутно происходит и выделение капсульных углеводов, мы решили определить массовое соотношение гидрофобной (липид А) и гидрофильной (углеводной) части в каждом полученном образце. Для этого препаративные количества ЛПС, выделенные из штаммов различных подвидов, были подвергнуты мягкому кислотному гидролизу и определены массы углеводной части и липида А, а также их соотношение. Результаты приведены в таблице.

Результаты мягкого кислотного гидролиза липополисахаридов клеточной стенки бактериальных клеток *F. tularensis* различных подвидов*
Results of mild acid hydrolysis of the lipopolysaccharides of the cell wall of *F. tularensis* bacterial cells of various subspecies*

Штаммы <i>F. tularensis</i> , (метод выделения по Westphal) / Strains of <i>F. tularensis</i> , (isolation of LPS according to the Westphal's method)	Подвид / Subspecies	Масса проб для кислотного гидролиза, мг / Weight of samples for acid hydrolysis, mg	Масса углеводной части ЛПС, мг / Weight of carbohydrate moiety of LPS, mg	Масса липида А, мг / Lipid A mass, mg	Время появления осадка, мин / Time appearance of the sediment, min	Отношение углеводной части к липиду А / The ratio of carbohydrate part lipid A
15 НИИЭГ	<i>holarctica</i>	70	0,0385	0,0333	30	1,2
503	<i>holarctica</i>	70	0,0504	0,0190	40	2,7
A-678	<i>mediasiatica</i>	70	0,0432	0,0258	60	1,7
Schu	<i>tularensis</i>	70	0,0506	0,0169	105	3,0
Utah112	<i>novicida</i>	25	0,0159	0,0090	105	1,8

Примечание. *Приведены данные одного из трех независимых экспериментов.
 Note. *The data of one of three independent experiments are given.

Интересно отметить, что для наиболее вирулентного из выбранных штамма Schu подвида *tularensis* соотношение массы углеводной части и массы липида А было равно 3, т. е. на одну гидрофильную часть, основой которой является О-антиген, приходится в 3 раза меньше массы липида А. Для штамма 503 голарктического подвида это соотношение составляет 2,7; для штамма 678 среднеазиатского подвида и для штамма Utah112 *F. novicida* соотношение гидрофильной и гидрофобной частей составляет, соответственно, 1,7 и 1,8, а наименьшим, равным 1,2, это соотношение оказалось у вакцинного штамма 15 НИИЭГ.

Учитывая, что О-антиген представляет собой повторяющийся тетрасахарид известной химической структуры, можно предположить, что в

вирулентных штаммах 503, 678 и Schu и в штамме Utah112 (subsp. *novicida*) количество повторов структурной единицы О-антигена больше, чем в О-антигене вакцинного штамма 15 НИИЭГ. Возможно, такое превалирование гидрофильной части в О-антигене у вирулентных штаммов обуславливает и наибольшую толщину капсульного вещества при условии приблизительно равных размеров бактериальной клетки у разных подвидов, а для вакцинного штамма 15 НИИЭГ характерно малое количество повторов структурной единицы О-антигена и, как следствие, уменьшение толщины капсулы.

Особый интерес представляет результат мягкого кислотного гидролиза штамма *F. novicida* Utah112 – для него соотношение гидрофильной и гидрофобной частей составляет 1,8, что ставит



его в один ряд с природным штаммом 678 среднеазиатского подвида. Мы не нашли в литературе данных о наличии у *F. novicida* капсулы, хотя, как упоминалось ранее, гены, ответственные за синтез капсулы, аналогичные генам штамма Schu и LVS, у него присутствуют [4].

Чтобы проверить гипотезу о наличии капсулы у штамма *F. novicida* Utah112, для анализа

внешних морфологических структур микробных клеток *F. tularensis* разных подвидов была использована электронная микроскопия – метод негативного контрастирования, позволяющий проводить морфологический и морфометрический скрининг микробной популяции.

Полученные электронные микрофотографии представлены на рис. 4.

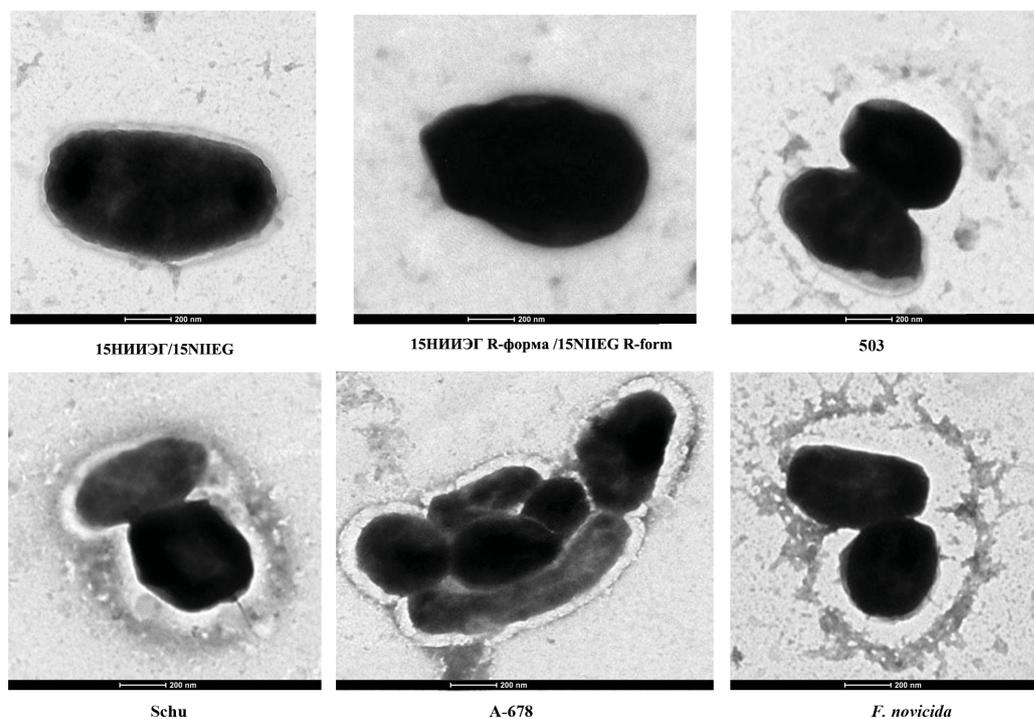


Рис. 4. Электронно-микроскопическое изображение негативно-контрастированных бактериальных клеток *F. tularensis* различных подвидов. Увеличение: 15 НИИЭГ и 15 НИИЭГ R-форма – $\times 24\,000$; 503, Schu, A-678 и *F. novicida* – $\times 18\,000$

Fig. 4. Electron-microscopic image of negatively-contrasted bacterial cells of *F. tularensis* of various subspecies. 15 NIEG and 15 NIEG R-form magnification is $\times 24\,000$; 503, Schu, A-678 and *F. novicida* magnification is $\times 18\,000$

Анализ электронно-микроскопических изображений бактериальных клеток штаммов разных подвидов показал, что клетки всех изучаемых штаммов, кроме R-формы вакцинного штамма, окружены капсульным веществом. Капсульное вещество у штамма 15 НИИЭГ при контрастировании изображения видно очень слабо, среди всех изученных штаммов толщина капсулы наименьшая и составляет $50\div 100$ нм. У вирулентных штаммов 503 subsp. *holarctica*, A-678 subsp. *mediasiatica* и наиболее вирулентного штамма Schu subsp. *tularensis* толщина капсулы составила $150\div 250$ нм. Следует отметить, что на подготовленных для электронной микроскопии препаратах бактериальных клеток штамма Schu наблюдали большой процент клеток, у которых капсула отсутствовала, и это позволило нам пред-

положить, что для данного штамма характерно быстрое сдувание капсулы, а наличие капсулы на вирулентных штаммах более выражено на молодых делящихся клетках. Интересно, что для клеток штамма *F. novicida* Utah112 толщина капсулы не отличалась от толщины капсулы вирулентных штаммов и составляла также, по нашим данным, $150\div 250$ нм (см. рис. 4). Наши результаты по анализу толщины капсулы, определенной методом электронной микроскопии, и анализу соотношений гидрофильной и гидрофобной частей молекул, выделенных ЛПС из штаммов различных подвидов, позволили выявить корреляцию между этими двумя показателями (см. таблицу) и сделать предположение, что толщина капсулы туляремийного микроба может быть обусловлена большей длиной О-полисахаридных цепей.



В исследованиях, касающихся изучения липополисахарида туляремийного микроба, являющегося основным антигенным компонентом его клеточной стенки, мы опирались на результаты зарубежных исследователей о его структуре [4–6, 14]. Особенностью туляремийного ЛПС являются биологическая инертность очищенных препаратов, преобладание свободного липида А, наличие в нем только четырех длинных жирнокислотных остатков, а в коре только одного Kdo [23, 24]. Кроме того, в последние годы исследователи большое внимание уделяют капсуле, которая, как считается, представляет собой полисахарид, идентичный О-антигену [3, 4].

По данным Gunn (2007) [14], химическая структура О-антигена липополисахарида голарктического, среднеазиатского и неарктического подвидов представляет собой повторяющийся тетрасахарид, который соединен с β -D-QuiNAc и β -DQui4NFm. Структура О-антигена *F. novicida* также представляет собой повторяющийся тетрасахарид, однако имеет некоторые отличия в составе сахаров: вместо β -DQui4NFm имеется еще один остаток α -D-GalNAcAN, а вместо β -D-QuiNAc – остаток β -DQui2NAc4NAc [14].

Предполагая, что О-антиген является основной составляющей капсульного вещества, а именно его толщиной определяется вирулентность штаммов [3, 4], мы выделили ЛПС из штаммов бактериальных клеток *F. tularensis* различных подвидов (*tularensis*, *holarctica*, *mediasiatica* и *novicida*) методом Westphal с модификациями и провели сравнительный анализ полученных препаратов.

При соотнесении результатов определения толщины капсулы методом электронной микроскопии и данных о соотношении гидрофильной и гидрофобной частей выделенных препаратов ЛПС из штаммов различных подвидов выявлена взаимосвязь этих двух показателей и сделано предположение о том, что толщина капсулы туляремийного микроба коррелирует с величиной соотношения гидрофильной и гидрофобной частей ЛПС – чем оно выше, тем толще наблюдаемое капсульное вещество, следовательно, наибольшая толщина капсулы у вирулентного штамма может быть обусловлена наибольшей длиной О-полисахаридных цепей в молекуле ЛПС.

Наши результаты исследований по штамму Utah112 *F. novicida* свидетельствуют, что этот штамм обладает капсулой, которая выявляется методом электронной микроскопии, а соотношение гидрофильной и гидрофобной частей приближено к значениям, характерным для вирулентных штаммов.

Вероятно, большое число повторяющихся звеньев, составляющих структурную единицу О-антигена ЛПС вирулентных штаммов, об-

условливает большую толщину капсулы по отношению к вакцинному штамму 15 НИИЭГ и, как следствие, появление большего разнообразия эпитопов для связывания антител, которые могут реагировать не только с ЛПС из штаммов подвидов *holarctica*, *mediasiatica* и *tularensis*, но и с несколько отличающимся по структуре ЛПС *F. novicida*. Именно намного меньшая, по сравнению с вирулентными штаммами, толщина капсулы вакцинного штамма 15 НИИЭГ может лежать в основе того, что после вакцинации в сыворотке вакцинированных людей и животных антитела, которые связываются с ЛПС *F. novicida*, не выявляются.

Благодарности

Работа выполнена в рамках отраслевой программы Роспотребнадзора.

Список литературы

1. Cowley S. C., Elkins K. L. Immunity to *Francisella* // *Frontiers in Microbiology*. 2011. Vol. 2. P. 1–20.
2. Fulop M., Manchee R., Titball R. Role of lipopolysaccharide and a major outer membrane protein from *Francisella tularensis* in the induction of immunity against tularemia // *Vaccine*. 1995. Vol. 13. P. 1220–1225.
3. Apicella M. A., Post D. M., Fowler A. C., Jones B. D., Rasmussen J. A., Hunt J. R., Gibson B. W. Identification, characterization and immunogenicity of an O-antigen capsular polysaccharide of *Francisella tularensis* // *PLoS ONE*. 2010. Vol. 5(7). e11060.
4. Rowe H. M., Huntley J. F. From the outside-in: The *Francisella tularensis* envelope and virulence // *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*. 2015. Vol. 5. P. 94. DOI: 10.3389/fcimb.2015.00094
5. Vinogradov E. V., Perry M. B., Conlan J. W. Structural analysis of *Francisella tularensis* lipopolysaccharide // *Eur. J. Biochem.* 2002. Vol. 269, № 24. P. 6112–6118. DOI: 10.1046/j.1432-1033.2002.03321.x
6. Vinogradov E. V., Shashkov A. S., Knirel Y. A., Kochetkov N. K., Tochtamysheva N. V., Averin S. F., Goncharova O. V., Khlebnikov V. S. Structure of the O-antigen of *Francisella tularensis* strain 15 // *Carbohydr. Res.* 1991. Vol. 214. P. 289–297. DOI: 10.1016/0008-6215(91)80036-M
7. Аронова Н. В., Павлович Н. В. Фазовые вариации липополисахарида возбудителя туляремии при инфекции и иммунизации человека // *ЖМЭИ*. 2005. Вып. 4. С. 8–12.
8. Westphal O., Jann K. Bacterial lipopolysaccharides. Extraction with phenol-water and further applications of the procedure // *Methods in Carbohydrate Chemistry*. 1965. Vol. 5. P. 83–91.
9. Galanos C., Luderitz O., Westphal O. A new method for the extraction of R lipopolysaccharides // *Eur. J. Biochem.* 1969. Vol. 9. P. 245–249.
10. Morrison L. J., Parker W. R., Holden D. D., Henderson J. C., Boll J. M., Trent M. S., Brodbelt J. S. UVlipID: A UVPD-based hierarchical approach for *de novo* characterization of lipid A structures // *Analyt. Chem.* 2016. Vol. 88, № 3. P. 1812–1820. DOI: 10.1021/acs.analchem.5b04098



11. Raetz C. R., Guan Z., Ingram B. O., Six D. A., Song F., Wang X., Zhao J. Discovery of new biosynthetic pathways: the lipid A story // *J. Lipid Res.* 2009. Vol. 50. P. 103–108. DOI: 10.1194/jlr.R800060-JLR200
12. Raetz C. R., Reynolds C. M., Trent M. S., Bishop R. E. Lipid A modification systems in gram-negative bacteria // *Ann. Rev. Biochem.* 2007. Vol. 76. P. 295–329.
13. Raetz C. R., Whitfield C. Lipopolysaccharide endotoxins // *Ann. Rev. Biochem.* 2002. Vol. 71. P. 635–700.
14. Gunn J. S., Ernst R. K. The structure and function of *Francisella* lipopolysaccharide // *Annals of the New York Academy of Sciences.* 2007. Vol. 1105. P. 202–218. DOI: 10.1196/annals.1409.006
15. Tsai C. M., Frash C. E. A sensitive silverstain for detecting lipopolysaccharides in polyacrylamide gels // *Anal. Biochem.* 1982. Vol. 119. P. 115–119.
16. Аронова Н. В., Павлович Н. В. Использование препаратов липополисахарида *Francisella tularensis* в точечном твердофазном иммуноферментном анализе // *ЖМЭИ.* 2000. Вып. 5. С. 75–78.
17. Barker J. H., Kaufman J. W., Apicella M. A., Weiss J. P. Evidence suggesting that *Francisella tularensis* O-antigen capsule contains a lipid A-like molecule that is structurally distinct from the more abundant free lipid A // *PLoS ONE.* 2016. Vol. 11, № 6. e0157842. DOI: 10.1371/journal.pone.0157842
18. Олсуфьев Н. Г. Таксономия, микробиология и лабораторная диагностика возбудителя туляремии. М. : Медицина, 1975. 192 с.
19. Олсуфьев Н. Г., Руднев Г. П. Туляремия. М. : Медгиз, 1960. 459 с.
20. Soni S., Ernst R. K., Muszyński A., Mohapatra N. P., Perry M. B., Vinogradov E. V., Carlson R. W., Gunn J. S. *Francisella tularensis* blue-gray phase variation involves structural modifications of lipopolysaccharide O-antigen, core and lipid A and affects intramacrophage survival and vaccine efficacy // *Frontiers in Microbiology.* 2010. Vol. 1. P. 129. DOI: 10.3389/fmicb.2010.00129
21. Sorokin V. M., Pavlovich N. V., Prozorova L. A. *Francisella tularensis* resistance to bactericidal action of normal human serum // *FEMS Immunol. Med. Microbiol.* 1996. Vol. 13. P. 249–252.
22. Kingry L. C., Petersen M. Comparative review of *Francisella tularensis* and *Francisella novicida* // *J. Front. Cell Infect. Microbiol.* 2014. Vol. 4. P. 35. DOI: 10.3389/fcimb.2014.00035
23. Okan N. A., Kasper D. L. The atypical lipopolysaccharide of *Francisella* // *Carbohydr. Res.* 2013. Vol. 378. P. 79–83. DOI: 10.1016/j.carres.2013.06.01
24. Wang X., Ribeiro A. A., Guan Z., McGrath S. C., Cotter R. J., Raetz C. R. Structure and biosynthesis of free lipid A molecules that replace lipopolysaccharide in *Francisella tularensis* subsp. *novicida* // *Biochemistry.* 2006. Vol. 45, № 48. P. 14427–14440. DOI: 10.1021/bi061767s

Образец для цитирования:

Горбатов А. А., Титарева Г. М., Кравченко Т. Б., Шайхутдинова П. З., Герасимов В. Н., Мокриевич А. Н., Фирстова В. В. Влияние химической структуры О-антигена разных подвидов *Francisella tularensis* на иммунологические реакции // *Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология.* 2019. Т. 19, вып. 2. С. 207–215. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-207-215>

Effect of the O-Antigen Chemical Structure in Different Subspecies of *Francisella Tularensis* on Immunological Reactions

A. A. Gorbatov, G. M. Titareva, T. B. Kravchenko, R. Z. Shaykhutdinova, V. N. Gerasimov, A. N. Mokrievich, V. V. Firstova

Alexey A. Gorbatov, <https://orcid.org/0000-0002-0799-893X>, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Obolensk, Serpukhov district, Moscow region 142279, Russia, gorbatov1986@mail.ru

Galina M. Titareva, <https://orcid.org/0000-0001-9478-5563>, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Obolensk, Serpukhov district, Moscow region 142279, Russia, titarevag@mail.ru

Tatyana B. Kravchenko, <https://orcid.org/0000-0002-4681-1787>, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Obolensk, Serpukhov district, Moscow region 142279, Russia, kravchenko@obolensk.org

Rima Z. Shaykhutdinova, <https://orcid.org/0000-0002-6985-6822>, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Obolensk, Serpukhov district, Moscow region 142279, Russia, shaikhutdinova@yandex.ru

Vladimir N. Gerasimov, <https://orcid.org/0000-0002-0473-7785>, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Obolensk, Serpukhov district, Moscow region 142279, Russia, ilvngerasimov@obolensk.org

Alexander N. Mokrievich, <https://orcid.org/0000-0003-3675-8780>, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Obolensk, Serpukhov district, Moscow region 142279, Russia, mokrievich@obolensk.org

Victoria V. Firstova, <https://orcid.org/0000-0002-9898-9894>, State Research Center for Applied Microbiology and Biotechnology, Obolensk, Serpukhov district, Moscow region 142279, Russia, firstova@obolensk.org

The greatest diagnostic significance for tularemia is played by antibodies against lipopolysaccharide (LPS). Previously, it has been shown that specific antibodies that appear in the blood serum of laboratory animals infected with virulent strains and people who have recovered from tularemia can bind both to LPS *Francisella tularensis* and to LPS *Francisella novicida*, while after the vaccination specific antibodies to LPS *F. novicida* are absent. The aim of this work was to investigate the effect of the structure of the O-antigen of lipopolysaccharide *F. tularensis* of various subspecies on immunological reactions with specific antibodies. The method to isolate LPS from the various *F. tularensis* strains according to Westphal with modifications was used, and mild acid hydrolysis, and a method of negative contrast in carrying out electron microscopy were used. The ratio of hydrophilic and hydrophobic components of LPS molecules isolated from strains of various subspecies is determined. Correlation of the size of a capsular substance, determined by electron microscopy, with the ratio of hydrophilic and hydrophobic parts in LPS preparations obtained from the same strains was found. It was shown that in virulent strains of *F. tularensis* the capsule thickness and the ratio of the hydrophilic and hydrophobic parts were higher than those of the



vaccine strain 15 NIEG. Data indicating the presence of a capsule in *F. novicida* strain were obtained. A hypothesis is proposed that explains the cross-reacting of the sera of humans and animals infected with virulent strains, and with *F. tularensis* LPS, and with *F. novicida* LPS.

Keywords: *Francisella tularensis*, *Francisella novicida*, lipopolysaccharide, O-antigen, capsule, specific antibodies.

Acknowledgements: *This work was carried out within the framework of the industry program of Rospotrebnadzor.*

Reference

- Cowley S. C., Elkins K. L. Immunity to *Francisella*. *Frontiers in Microbiology*, 2011, vol. 2, pp. 1–20.
- Fulop M., Manchee R., Titball R. Role of lipopolysaccharide and a major outer membrane protein from *Francisella tularensis* in the induction of immunity against tularemia. *Vaccine*, 1995, vol. 13, pp. 1220–1225.
- Apicella M. A., Post D. M., Fowler A. C., Jones B. D., Rasmussen J. A., Hunt J. R., Gibson B. W. Identification, characterization and immunogenicity of an O-antigen capsular polysaccharide of *Francisella tularensis*. *PLoS ONE*, 2010, vol. 5 (7), e11060.
- Rowe H. M., Huntley J. F. From the outside-in: The *Francisella tularensis* envelope and virulence. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 2015, vol. 5, pp. 94. DOI:10.3389/fcimb.2015.00094
- Vinogradov E. V., Perry M. B., Conlan J. W. Structural analysis of *Francisella tularensis* lipopolysaccharide. *Eur. J. Biochem.*, 2002, vol. 269, no. 24, pp. 6112–6118. DOI:10.1046/j.1432-1033.2002.03321.x
- Vinogradov E. V., Shashkov A. S., Knirel Y. A., Kochetkov N. K., Tochtamysheva N. V., Averin S. F., Goncharova O. V., Khlebnikov V. S. Structure of the O-antigen of *Francisella tularensis* strain 15. *Carbohydr. Res.*, 1991, vol. 214, pp. 289–297. DOI:10.1016/0008-6215(91)80036-M
- Aronova N. V., Pavlovich N. V. Phase variations of lipopolysaccharide tularemia pathogen during human infection and immunization. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*, 2005, iss. 4, pp. 8–12 (in Russian).
- Westphal O., Jann K. Bacterial lipopolysaccharides. Extraction with phenol-water and further applications of the procedure. *Methods in Carbohydrate Chemistry*, 1965, vol. 5, pp. 83–91.
- Galanos C., Luderitz O., Westphal O. A new method for the extraction of R lipopolysaccharides. *Eur. J. Biochem.*, 1969, vol. 9, pp. 245–249.
- Morrison L. J., Parker W. R., Holden D. D., Henderson J. C., Boll J. M., Trent M. S., Brodbelt J. S. UVLPiD: A UVPD-based hierarchical approach for *de novo* characterization of lipid A structures. *Analyt. Chem.*, 2016, vol. 88, no. 3, pp.1812–1820. DOI:10.1021/acs.analchem.5b04098
- Raetz C. R., Guan Z., Ingram B. O., Six D. A., Song F., Wang X., Zha J. Discovery of new biosynthetic pathways: the lipid A story. *J. Lipid Res.*, 2009, vol. 50, pp. 103–108. DOI: 10.1194/jlr.R800060-JLR200
- Raetz C. R., Reynolds C. M., Trent M. S., Bishop R. E. Lipid A modification systems in gram-negative bacteria. *Ann. Rev. Biochem.*, 2007, vol. 76, pp.295–329.
- Raetz C. R., Whitfield C. Lipopolysaccharide endotoxins. *Ann. Rev. Biochem.*, 2002, vol. 71, pp. 635–700.
- Gunn J. S., Ernst R. K. The structure and function of *Francisella* lipopolysaccharid. *Ann. of the New York Academy of Sciences*, 2007, vol. 1105, pp. 202–218. DOI:10.1196/annals.1409.006
- Tsai C. M., Frash C. E. A sensitive silverstain for detecting lipopolysaccharides in polyacrylamide gels. *Anal. Biochem.*, 1982, vol. 119, pp. 115–119.
- Aronova N. V., Pavlovich N. V. Use of lipopolysaccharide preparations *Francisella tularensis* in point solid-state enzyme immunoassay. *Journal of Microbiology, Epidemiology and Immunobiology*, 2000, vol. 5, pp. 75–78 (in Russian).
- Barker J. H., Kaufman J. W., Apicella M. A., Weiss J. P. Evidence suggesting that *Francisella tularensis* O-antigen capsule contains a lipid A-like molecule that is structurally distinct from the more abundant free lipid A. *PLoS ONE*, 2016, vol.11, iss. 6, e0157842. DOI: 10.1371/journal.pone.0157842
- Olsuf'ev N. G. *Taksonomiya, mikrobiologiya i laboratornaya diagnostika vozбудitel'nykh tulyaremiy* [Taxonomy, microbiology and laboratory diagnosis of the causative agent of tularemia]. Moscow, Meditsina Publ., 1975. 192 p. (in Russian).
- Olsuf'ev N. G., Rudnev G. P. *Tulyaremiya* [Tularemia]. Moscow, Medgiz Publ., 1960. 459 p. (in Russian).
- Soni S., Ernst R. K., Muszyński A., Mohapatra N. P., Perry M. B., Vinogradov E. V., Carlson R. W., Gunn J. S. *Francisella tularensis* blue-gray phase variation involves structural modifications of lipopolysaccharide O-antigen, core and lipid A and affects intramacrophage survival and vaccine efficacy. *Frontiers in Microbiology*, 2010, vol. 1, pp. 129. DOI: 10.3389/fmicb.2010.00129
- Sorokin V. M., Pavlovich N. V., Prozorova L. A. *Francisella tularensis* resistance to bactericidal action of normal human serum. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.*, 1996, vol. 13, pp. 249–252.
- Kingry L. C., Petersen M. Comparative review of *Francisella tularensis* and *Francisella novicida*. *J. Front Cell Infect. Microbiol.*, 2014, vol. 4, pp. 35. DOI: 4:35.10.3389/fcimb.2014.00035
- Okan N. A., Kasper D. L. The atypical lipopolysaccharide of *Francisella*. *Carbohydr. Res.*, 2013, vol. 378, pp. 79–83. DOI: 10.1016/j.carres.2013.06.01
- Wang X., Ribeiro A. A., Guan Z., McGrath S. C., Cotter R. J., Raetz C. R. Structure and biosynthesis of free lipid A molecules that replace lipopolysaccharide in *Francisella tularensis* subsp. *novicida*. *Biochemistry*, 2006, vol. 45, no. 48, pp. 14427–14440. DOI: 10.1021/bi061767s

Cite this article as:

Gorbatov A. A., Titareva G. M., Kravchenko T. B., Shaykhtudinova R. Z., Gerasimov V. N., Mokrievich A. N., Firstova V. V. Effect of the O-Antigen Chemical Structure in Different Subspecies of *Francisella Tularensis* on Immunological Reactions. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 207–215 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-207-215>



УДК 615.322:547.458

Биологическая активность полисахаридсодержащих экстрактов, выделенных из плодов боярышника обыкновенного разной степени зрелости



Е. А. Лаксаева, В. В. Давыдов, И. А. Кяримов,
Е. А. Кухтенкова, В. В. Арушанова, Е. А. Злобина

Лаксаева Елена Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры общей и фармацевтической химии, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, elenalaksaeva@mail.ru

Давыдов Виктор Викторович, доктор медицинских наук, профессор, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, elenalaksaeva@mail.ru

Кяримов Ибрагим Ашраф-оглы, студент 4-го курса педиатрического факультета, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, ibragim55551@yandex.ru

Кухтенкова Елизавета Андреевна, студент 2-го курса лечебного факультета, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, kuhta1199@gmail.com

Арушанова Виктория Вячеславовна, студент 4-го курса педиатрического факультета, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, viktoriagarushanova@mail.ru

Злобина Елизавета Андреевна, студент 2-го курса лечебного факультета, Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова, elizabethzlobina@mail.ru

Плоды боярышника обыкновенного (*Crataegus gusoxyacantha* L.), а также его листья, цветки имеют сложный состав. В них выявлены водорастворимый полисахаридный комплекс, флавоноиды и сапонины и другие биологически активные соединения. Как следствие, препараты, изготовленные из растительного сырья боярышника, обладают высокой биологической активностью. Широкое применение в медицине находит жидкий экстракт из плодов, настойка цветков боярышника. Эти лекарственные средства применяются при сердечно-сосудистых заболеваниях, оказывают седативное и гипотензивное действие. Вызывает интерес роль отдельных групп веществ, содержащихся в плодах боярышника обыкновенного, в формировании выраженной биологической активности. Одной из таких групп являются полисахариды. Исследования последних лет показали, что полисахариды растений обладают широким спектром биологической активности и находят применение в медицине и ветеринарии. В ходе исследования получены новые данные, свидетельствующие о том, что полисахаридсодержащие экстракты (ПСЭ), выделенные из плодов боярышника обыкновенного (*Crataegus gusoxyacantha* L.) разной степени зрелости, при энтеральном введении животным усиливают эритропоз, увеличивая количество эритроцитов и гемоглобина в крови экспериментальных животных (крыс), повышают их физическую работоспособность и устойчивость к гипобарической гипоксии. При этом выход ПСЭ из незрелых (зеленых) плодов в 1,74 раза больше, чем из зрелых. В статье приводятся

данные о том, что биологическая активность ПСЭ, выделенных из незрелых плодов боярышника, по ряду показателей выше, чем биологическая активность ПСЭ, выделенных из зрелых плодов.

Ключевые слова: полисахаридсодержащие экстракты, лабораторные крысы, показатели крови, устойчивость к гипоксии, физическая работоспособность.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-216-222>

Плоды боярышника обыкновенного (*Crataegus gusoxyacantha* L.), а также его листья и цветки имеют сложный состав [1, 2]. В них выявлены водорастворимый полисахаридный комплекс, сапонины, флавоноиды, органические кислоты (виннокаменная, лимонная, аскорбиновая), сахара, витамины (каротин) и др. Как следствие, препараты, изготовленные из растительного сырья боярышника, обладают высокой биологической активностью. Широкое применение в медицине находят жидкий экстракт из плодов и настойка цветков боярышника. Эти лекарственные средства применяются при сердечно-сосудистых заболеваниях, оказывают седативное и гипотензивное действие.

Вызывает интерес роль отдельных групп веществ, содержащихся в плодах боярышника обыкновенного, в формировании выраженной биологической активности. Одной из таких групп являются полисахариды.

Исследования последних лет показали, что полисахариды растений обладают широким спектром биологической активности и находят применение как вспомогательные вещества в приготовлении различных лекарственных форм в медицине. Установлено, что полисахариды, не оказывая побочного действия на организм, активируют ряд ферментных систем клеток, положительно влияют на обмен веществ и процессы гемопоза, активируют функции иммунной системы как здоровых животных, так и животных с различными видами экспериментальной патологии, стимулируют физическую работоспособность и увеличивают массу мышечной ткани у животных [3–11].

Все это открывает широкие возможности для создания на их базе новых препаратов, стимулирующих адаптационные резервы организма.



В этой связи поиск новых растительных источников, богатых полисахаридами, обладающих высокой биологической активностью, – одно из приоритетных направлений научных исследований.

В незрелых плодах растений полисахаридов значительно больше, чем в зрелых, так как в процессе созревания происходит их гидролиз до более простых сахаров. Однако в литературе не представлено сведений о биологической активности полисахаридов, выделенных из незрелых плодов растений, в том числе боярышника обыкновенного.

Целью исследования являлось сравнение биологической активности полисахаридсодержащих экстрактов, выделенных из незрелых и зрелых плодов боярышника обыкновенного, при энтеральном их введении лабораторным крысам.

Материалы и методы

Полисахаридсодержащий экстракт выделяли из воздушно-сухих, предварительно очищенных и измельченных зеленых и зрелых плодов боярышника обыкновенного. Навеску сырья массой 10 г помещали в круглодонную колбу, заливали 200 мл 1%-ного щавелевокислого аммония и экстрагировали на кипящей водяной бане в течение 1,5 ч, после чего смесь отфильтровывали, фильтрат упаривали и осаждали полуторным объемом 96%-ного этилового спирта. Через 30 мин осадок отделяли фильтрованием, а затем промывали 96%-ным этиловым спиртом, ацетоном и смесью спирта и эфира. Выделенный ПСЭ высушивали в вакууме в течение 12 ч над P_2O_5 и измельчали.

Исследования проведены на 30 крысах-самцах линии Вистар массой 220–260 г, содержащихся в конвенциональных условиях вивария и получавших стандартный рацион и воду *ad libitum*.

Все животные, задействованные в эксперименте, были разделены на три группы по 10 крыс в каждой: 1-я группа – контроль (интактные животные, получавшие физиологический раствор), 2-я группа – крысы, получавшие ПСЭ спелых плодов боярышника, 3-я группа – крысы, получавшие ПСЭ зеленых плодов боярышника.

Препарат с массовой долей ПСЭ 10% вводили лабораторным крысам 1 раз в сутки энтерально в дозе 0,1 г/кг массы тела. Доза препарата, применяемая в исследовании, выбиралась в связи с имеющимися в литературе данными [7–9]. ПСЭ вводили в течение 30 сут, при этом все животные имели свободный доступ к пище (полнорационному гранулированному комбикорму) и воде.

На 1-, 15-, 30-, 37-е сутки после начала введения препарата у животных контрольной группы и животных, получавших ПСЭ, брали для исследования кровь для определения количества эритроцитов, лейкоцитов, лимфоцитов, моноцитов, уровня гемоглобина.

Массу тела животного оценивали после введения ПСЭ на 1-, 7-, 14-, 21-, 30-е сутки опыта. Физическую работоспособность исследовали на модели «плавательного» теста [10] до введения ПСЭ на 1-, 10-, 20-, 30-, 37-е сутки опыта.

Устойчивость к гипобарической гипоксической гипоксии определяли на 1-, 14-, 30-, 37-е сутки. Гипобарическая гипоксия моделировалась путем понижения парциального давления кислорода во вдыхаемом воздухе в условиях разреженной атмосферы. Моделирование острой гипобарической гипоксии для крыс осуществлялось в аппарате Комовского при снижении атмосферного давления до 152 мм рт. ст., что соответствует высоте 11–12 тыс. м над уровнем моря. С момента когда у животных появлялись судороги во избежание их гибели постепенно давление повышали до исходного уровня.

Все экспериментальные данные подвергнуты математической обработке с привлечением методов вариационной статистики для малых выборок. Статистическая обработка проводилась с помощью модулей систем Microsoft Excel Stadia 7.1/prof.10. Различия сравниваемых средних величин считались достоверными при уровне значимости $P_d < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Полисахаридсодержащий экстракт боярышника обыкновенного представляет собой аморфное вещество от бежевого до коричневого цвета, растворимое в воде с образованием коллоидного раствора, обладающего поверхностно-активными свойствами. Выход ПСЭ из высушенных до постоянной массы зеленых плодов составлял 19,07%, а из зрелых – 10,96%. В ранее проведенных исследованиях было установлено, что в составе ПСЭ, выделенного из растительного сырья указанным выше методом, основную долю представлял уроновый ангидрид, и это позволило сделать заключение о том, что изучаемый ПСЭ является разновидностью пектинов [12–14].

При введении ПСЭ, выделенного из плодов боярышника, количество эритроцитов в крови подопытных животных возрастало (табл. 1). При этом стимуляция эритропоэза на 30-е сутки после начала эксперимента под влиянием полисахаридов, выделенных из зеленых



плодов, была сопоставимой со стимуляцией эритропоэза, вызванной ПСЭ из зрелых плодов. Более того, под влиянием ПСЭ, выделенного из

незрелых плодов, эффект стимуляции эритропоэза сохранился и в последствии (37-е сутки) (см. табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Изменение содержания эритроцитов ($\times 10^{12}/л$) после введения ПСЭ, выделенного из плодов боярышника разной степени зрелости
Changes in the content of red blood cells ($\times 10^{12}/л$) after the introduction of PSE, isolated from hawthorn fruits of various degrees of maturity

Группа сравнения / Comparison group	Сутки проведения эксперимента / Day of the experiment			
	1-е	15-е	30-е	37-е
1-я	7,09 \pm 0,23	7,08 \pm 0,26	7,11 \pm 0,17	7,05 \pm 0,17
2-я	7,41 \pm 0,29	7,74 \pm 0,43	8,43 \pm 0,43*	7,84 \pm 0,32*
3-я	7,49 \pm 0,48	7,55 \pm 0,32	8,65 \pm 0,47*	8,33 \pm 0,41*

Примечание. * $Pd < 0,05$ по отношению к контрольной группе; $M \pm m$ – средняя величина показателя и ее вероятная ошибка.

Note. * $Pd < 0.05$ relative to the control group; $M \pm m$ – the average value of the indicator and its probable error.

Аналогичные изменения под влиянием ПСЭ, выделенного из плодов боярышника, нами были выявлены при изучении уровня гемоглобина у экспериментальных животных (табл. 2). Следует

отметить, что биологическая активность по этому показателю у ПСЭ, выделенного из зеленых плодов, оказалась даже несколько выше, чем у ПСЭ, выделенного из зрелых плодов.

Таблица 2 / Table 2

Изменение уровня гемоглобина (г/л) после введения ПСЭ, выделенного из плодов боярышника разной степени зрелости ($M \pm m$)
Change in the level of hemoglobin (g/l) after the introduction of PSE isolated from hawthorn fruits of various degrees of maturity

Группа сравнения / Comparison group	Сутки проведения эксперимента / Day of the experiment			
	1-е	15-е	30-е	37-е
1-я	138,7 \pm 0,93	140 \pm 2,95	142,1 \pm 2,25	139,6 \pm 3,86
2-я	139,4 \pm 1,25	145,2 \pm 2,36	150,8 \pm 3,28*	161,5 \pm 4,76*
3-я	139,4 \pm 1,02	145,5 \pm 3,84	154,8 \pm 4,54*	167,4 \pm 8,79*

Примечание. *См. табл. 1 / Note. *See table 1.

Исследование состава «белой» крови не выявило статистически значимого влияния

ПСЭ на ее состав у экспериментальных животных (табл. 3).

Таблица 3 / Table 3

Изменения клеточного состава «белой» крови у крыс после введения ПСЭ, выделенного из плодов боярышника разной степени зрелости
Changes in the cellular composition of the “white” blood of rats, after the introduction of PSE isolated from hawthorn fruits of various degrees of maturity

Клеточный состав / Cellular composition	Контроль / Control			ПСЭ, выделенный из плодов / PSE isolated from fruits					
				незрелых / immature			спелых / ripe		
	Сутки проведения эксперимента / Day of the experiment								
	1-е	30-е	3е	1-е	30-е	37-е	1-е	30-е	37-е
Лимфоциты / Lymphocytes, %	69 \pm 0,31	69,3 \pm 0,76	69,65 \pm 0,40	69,3 \pm 0,82	72,36 \pm 0,93*	71,63 \pm 1,17	69,5 \pm 0,75	69,73 \pm 0,50	68,8 \pm 0,93
Моноциты / Monocytes, %	2,5 \pm 0,15	2,6 \pm 0,31	2,93 \pm 0,30	2,6 \pm 0,42	2,85 \pm 0,20	2,95 \pm 0,13	2,93 \pm 0,39	2,83 \pm 0,22	3,2 \pm 0,43
Лейкоциты, $\times 10^9/л$ / Leukocytes, $\times 10^9/л$	11,6 \pm 0,4	11,98 \pm 0,44	11,82 \pm 0,31	11,58 \pm 0,35	11,98 \pm 0,44	11,82 \pm 0,31	11,52 \pm 0,32	11,4 \pm 0,45	11,4 \pm 0,51

Примечание. *См. табл. 1 / Note. *See table 1.



В ходе исследований у животных из сравниваемых групп в равной степени постепенно увеличивалась масса тела. Достоверных раз-

личий по этому показателю на всех этапах эксперимента животных из сравниваемых групп выявлено не было (табл. 4).

Таблица 4 / Table 4

Изменение массы тела животных при введении ПСЭ, выделенного из плодов боярышника разной степени зрелости
Change in body weight of animals after the introduction of PSE, isolated from hawthorn fruits of various degrees of maturity

Группа сравнения / Comparison group	Сутки проведения эксперимента / Day of the experiment				
	1-е	7-е	14-е	21-е	30-е
1-я	294,3±20,3	308,8±20,3	322±22,23	328,9±28,8	352,9±29,8
2-я	303,4±12,1	316,1±14,0	327,2±15,1	340,5±16,9	358,7±17,8
3-я	291,0±15,3	308,1±15,6	318±15,86	336,9±18,3	358±19,56

В условиях моделирования гипобарической гипоксической гипоксии у животных, получавших ПСЭ, выделенный из плодов боярышника, формировалась повышенная резистентность к гипоксии уже на 14-е сутки (табл. 5), причем у животных, получавших ПСЭ, выделенный из незрелых плодов боярышника, указанный показатель имел тенденцию более значительного роста по сравнению с животными из 2-й группы. Уровень данного показателя у

контрольных животных имел незначительную, по сравнению с опытными животными (группы 2 и 3), тенденцию к росту, связанную с включением адаптационных механизмов и тренировкой организма (см. табл. 5). Последствие наблюдалось и на 37-е сутки у животных из всех сравниваемых групп. Однако у животных, получавших ПСЭ, резистентность к гипоксии увеличивалась на большую величину, чем у животных из контрольной группы (см. табл. 5).

Таблица 5 / Table 5

Устойчивость к гипоксии животных, получавших ПСЭ, выделенный из плодов боярышника разной степени зрелости
Resistance to hypoxia of animals treated with PSE, isolated from hawthorn fruits of various degrees of maturity

Группа сравнения / Comparison group	Сутки проведения эксперимента / Day of the experiment			
	1-е	14-е	30-е	37-е
	Время, с ($M \pm m$) / Time, s			
1-я	148,5±14,64	193,8±12,73	267,1±19,55	295,4±18,52
2-я	177,2±20,30	287,7±22,79*	443,8±39,5*	447,5±26,8*
3-я	161,5±15,85	298±17,38*	483±30,49*	510±29,25*

Примечание. *См. табл. 1 / Note. *See table 1.

Под действием ПСЭ, выделенного из плодов боярышника, у подопытных крыс повышает-

ся выносливость и физическая работоспособность (табл. 6). Это отражается в статистически

Таблица 6 / Table 6

Время плавания животных, получавших ПСЭ, выделенного из плодов боярышника разной степени зрелости
Swimming time of animals treated with PSE, isolated from hawthorn fruits of various degrees of maturity

Группа сравнения / Comparison group	Сутки проведения эксперимента / Day of the experiment				
	1-е	10-е	20-е	30-е	37-е
	Время плавания, с $M \pm m$ / Time, s				
1-я	14,58±1,44	15,37±1,43	15,54±1,26	25,3±1,52	25,4±1,41
2-я	13,83±1,62	22,31±2,58*	25,44±2,34*	41,9±5,23*	38,6±3,77*
3-я	13,24±1,66	26,39±3,19*	29,58±3,41*	44,1±4,08*	40,4±3,76*

Примечание. *См. табл. 1 / Note. *See table 1.



достоверном увеличении времени плавания животных с грузом 0,1 массы тела и достижении своего максимального значения на 30-е сутки эксперимента. При этом физическая работоспособность животных, получавших ПСЭ, выделенный из незрелых плодов боярышника, существенно не отличалась от физической работоспособности животных, получавших ПСЭ, выделенный из зрелых плодов. Физическая работоспособность животных из контрольной группы также повышалась под влиянием тренировок в ходе эксперимента, но это повышение было статистически менее выраженным по сравнению с животными из опытных групп.

Результаты и их обсуждение

Обсуждая возможные механизмы влияния ПСЭ, выделенного из плодов боярышника, на показатели крови лабораторных животных, следует отметить, что основную долю ПСЭ, по данным из литературы, составляют пектины. Пектины в желудочно-кишечном тракте не подвергаются гидролизу, и поэтому моносахара, являющиеся составной частью полисахаридов, не всасываются и не попадают во внутреннюю среду организма. Согласно литературным данным, пектины являются питательной средой для сапрофитов и способствуют их развитию в кишечнике [7]. Продукты жизнедеятельности сапрофитов характеризуются высокой биологической активностью, обладая в том числе способностью активировать эритропоэз и гемопоэз. Повышение уровня эритроцитов и гемоглобина в крови увеличивает кислородную емкость крови, что, на наш взгляд, и приводит к повышению физической работоспособности животных и их резистентности к гипобарической гипоксической гипоксии. Обращают на себя внимание факты высокой биологической активности не только ПСЭ, выделенного из зрелых плодов боярышника, но и ПСЭ, выделенного из незрелых плодов. Учитывая представленные в статье данные о том, что выход ПСЭ из зеленых плодов боярышника практически в два раза выше, чем из зрелых плодов, можно сделать вывод, что незрелые плоды боярышника обыкновенного могут использоваться в качестве растительного сырья для получения полисахаридов, обладающих высокой биологической активностью.

Выводы

1. Энтеральное введение ПСЭ, выделенного из плодов боярышника, повышает физическую работоспособность и устойчивость к гипоксии лабораторных крыс, что свидетельствует о повышении их адаптационных резервов.

2. Энтеральное введение ПСЭ, выделенного из плодов боярышника, лабораторным животным увеличивает количество эритроцитов и уровень гемоглобина крови, что косвенно свидетельствует о повышении кислородной емкости крови и является одним из наиболее вероятных механизмов повышения неспецифических адаптационных резервов организма животных.

3. ПСЭ, выделенный из незрелых плодов боярышника обыкновенного, обладает выраженной биологической активностью, что позволяет рассматривать данное растительное сырье в качестве источника БАВ.

Список литературы

1. Государственная Фармакопея СССР. 11-е изд. М. : Медицина, 1990. Вып. 2. 400 с.
2. *Омариева Л. В., Истригова Т. А.* Боярышники Дагестана – ценный источник биологически активных веществ // Науч. журн. КубГАУ. 2016. Т. 116, № 2. С. 2–11.
3. *Хотимченко М. Ю.* Сорбционные свойства и фармакологическая активность некрахмальных полисахаридов : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Владивосток, 2011. 46 с.
4. *Грудева-Попова Ж. Г., Цветкова Т. З.* Экспериментальное изучение влияния пектиновых веществ на неспецифическую защиту организма // Клин. лаб. диагностика. 1999. № 3. С. 15–18.
5. *Сергеев А. В., Ревазова Е. С., Денисова С. И.* Иммуномодулирующая и противоопухолевая активность полисахаридов растительного происхождения // Бюл. эксперимент. биологии и медицины. 1985. Т. 100, № 12. С. 741–743.
6. *Лавренова Г. Ю.* Влияние некоторых растительных полисахаридов на коагулянтную активность крови животных // Фармакология и токсикология. 1986. Т. 49, № 4. С. 38–40.
7. *Лаксаева Е. А.* Зависимость накопления плодами обыкновенной ирги биологически активных веществ от экологической ситуации и их влияние на состояние животных : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Балашиха, 2011. 24 с.
8. *Сычев И. А., Порядин Г. В., Смирнов В. М.* Влияние полисахаридов донника желтого на мембраны клеток крови при перекисном окислении // Рос. мед.-биол. вестн. им. акад. И. П. Павлова. 2006. № 4. С. 49–54.
9. *Сычев И. А., Смирнов В. М., Порядин Г. В.* Действие полисахаридов донника желтого на систему кроветворения в норме и при патологии // Рос. мед.-биол. вестн. им. акад. И. П. Павлова. 2007. № 1. С. 50–58.
10. *Сычев И. А., Лаксаева Е. А.* Влияние полисахарида ирги обыкновенной на кровь здоровых животных // Рос. мед.-биол. вестн. им. акад. И. П. Павлова. 2010. № 3. С. 155–162.



11. Ерзылева Т. В. Влияние растительных полисахаридов на кровь и кроветворение в норме и при патологии // Наука молодых (Egreditio Juvenium). 2015. № 3. С. 97–102.
12. Василенко Ю. К., Кайшева Н. Ш., Компанцев В. А. Сорбционные свойства пектиновых препаратов // Хим.-фарм. журн. 1993. Т. 27, № 11. С. 44–46.
13. Михеева Л. А., Тры А. В. Выделение пектина из растительного сырья и изучение его некоторых химических свойств // Вестн. ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2013. № 2. С. 53–56.
14. Ефремов А. А., Кондратьев Т. А. Выделение пектина из нетрадиционного сырья и применение его в кондитерском производстве // Химия растительного сырья. 2008. № 4. С. 181–186.

Образец для цитирования:

Лаксаева Е. А., Давыдов В. В., Кяримов И. А., Кухтенкова Е. А., Арушанова В. В., Злобина Е. А. Биологическая активность полисахаридсодержащих экстрактов, выделенных из плодов боярышника обыкновенного разной степени зрелости // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 216–222. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-216-222>

Polysaccharidebased Biological Activity of Extracts Isolated from Fruits of *Crataegus Monogyna* of Varying Degrees of Maturity

E. A. Laksaeva, V. V. Davydov, I. A. Kyarimov,
E. A. Kukhtenkova, V. V. Arushanova, E. A. Zlobina

Elena A. Laksaeva, <https://orcid.org/0000-0003-4477-5812>, Ryazan State Medical University academician I. P. Pavlov, 9 Visokovoltnaya St., Ryazan 390026, Russia, elenalaksaeva@mail.ru

Victor V. Davydov, <https://orcid.org/0000-0001-6479-7504>, Ryazan State Medical University academician I. P. Pavlov, 9 Visokovoltnaya St., Ryazan 390026, Russia,

Ibrahim A. Kyarimov, Ryazan State Medical University academician I. P. Pavlov, 9 Visokovoltnaya St., Ryazan 390026, Russia, ibragim555551@yandex.ru

Elizaveta A. Kukhtenkova, Ryazan State Medical University academician I. P. Pavlov, 9 Visokovoltnaya St., Ryazan 390026, Russia, kuhta1199@gmail.com

Viktoria V. Arushanova, Ryazan State Medical University academician I. P. Pavlov, 9 Visokovoltnaya St., Ryazan 390026, Russia, viktoriaarushanova@mail.ru

Elizaveta A. Zlobina, Ryazan State Medical University academician I. P. Pavlov, 9 Visokovoltnaya St., Ryazan 390026, Russia, elizabethzlobina@mail.ru

The fruits of midland hawthorn (*Crataegus gusoxyacantha* L.), as well as leaves and flowers have a complex composition. A water-soluble polysaccharide complex, flavonoids and saponins, and other biologically active compounds were revealed in them. Consequently, preparations made from the vegetable material of hawthorn have a high biological activity. A liquid extract of fruits and a tincture of hawthorn flowers, are widely used in medicine. These drugs are used for cardiovascular diseases, have a sedative and hypotensive effect. The role of separate groups of substances contained in the fruits of hawthorn in the formation of such a marked biological activity is of interest. One of such groups is polysaccharides. Recent studies have shown that plant polysaccharides have a wide range of biological activities and are used in medicine and veterinary. In this study, new data have been revealed, indicating

that fruits extracted from midland hawthorn (*Crataegus gusoxyacantha* L.) of various degrees of ripeness in case of enteral administration in animals strengthen erythropoiesis, increasing the amount of erythrocytes and of hemoglobin in the blood of experimental animals (rats), increase their physical performance and resistance to hypobaric hypoxic hypoxia. At the same time, the output of polysaccharide from unripe (green) fruits is 1.74 times higher than that of ripe ones. The article contains data that the biological activity of the (PCE) extracted from unripe hawthorn fruits in a number of indices is higher than the biological activity of the PCE extracted from ripe hawthorn fruits.

Keywords: polysaccharide-containing extracts, laboratory rats, blood indices, resistance to hypoxia, physical performance.

References

1. Gosudarstvennaya Farmakopeya SSSR [USSR State Pharmacopoeia]. 11-e izd. Moscow, Meditsina Publ., 1990, iss. 2. 400 p. (in Russian).
2. Omarieva L. V., Isrigova T. A. Hawthorn Dagestan is a valuable source of biologically active substances. *Nauchnyj zhurnal KubGAU* [Scientific Journal of Kub SAV], 2016, vol. 116, no. 2, pp. 2–11 (in Russian).
3. Khotimchenko M. Y. *Sorbcionnye svoystva i farmakologicheskaya aktivnost' nekrahmal'nyh polisaharidov* [Sorptions properties and pharmacological activity of non-starch polysaccharides]. Thesis Diss. Doct. Sci. (Med.). Vladivostok, 2011. 46 p. (in Russian).
4. Grudeva-Popova J. G., Cvetkova T. Experimental study of the effect of pectin substances on the nonspecific protection of the body. *Klinich. lab. diagnostika* [Russian Clinical Laboratory Diagnostics], 1999, no. 3, pp. 15–18 (in Russian).
5. Sergeev V. A., Revazova E. S., Denisova S. I. Immunomodulating and anti-tumor activity of plant polysaccharides. *Byulleten' ehksperimental'noy biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine], 1985, vol. 100, no. 12, pp. 741–743 (in Russian).
6. Lavrenova G. Y. The influence of some plant polysaccharides on the blood coagulant activity of animals. *Farmakologiya i Toxicologiya*, 1986, vol. 49, no. 4, pp. 38–40 (in Russian).



7. Laksaeva E. A. *Zavisimost' nakopleniya plodami obyknovennoy irgi biologicheskii aktivnykh veshchestv ot ekologicheskoy situatsii i ikh vliyanie na sostoyanie zhivotnykh* [The dependence of the accumulation of the fruits of the Amelanchier ovalis Medik. biologically active substances from the ecological situation and their impact on the state of animals]. Thesis Diss. Cand. Sci. (Biol.). Balashikha, 2011. 24 p. (in Russian).
8. Sychev I. A., Poryadin G. V., Smirnov V. M. The effect of polysaccharides clover yellow on the membrane of blood cells during peroxidation. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik im. akad. I. P. Pavlova* [I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald], 2006, no. 4, pp. 49–54 (in Russian).
9. Sychev I. A., Smirnov V. M., Ordin G. V. The effect of polysaccharides clover yellow on the hematopoietic system in health and disease. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik im. akad. I. P. Pavlova* [I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald], 2007, no. 1, pp. 50–58 (in Russian).
10. Sychev I. A., Laksaeva E. A. The effect of the polysaccharide of Amelanchier ovalis Medik on the blood of healthy animals. *Rossiyskiy mediko-biologicheskii vestnik im. akad. I. P. Pavlova* [I. P. Pavlov Russian Medical Biological Herald], 2010, no. 3, pp. 155–162 (in Russian).
11. Ersilia T. V. Effect of plant polysaccharides on blood and blood formation in normal and pathological conditions. *Nauka molodyh* [Eruditio Juvenium], 2015, no. 3, pp. 97–102 (in Russian).
12. Vasilenko Yu. K., Kaisheva N. Sh., Komantsev V. A. Sorption properties of pectin preparations. *Himiko-farmaceuticheskiy zhurnal* [Pharmaceutical Chemistry Journal], 1993, vol. 27, no. 11, pp. 44–46 (in Russian).
13. Miheeva L. A., Try A. V. Isolation of pectin from vegetable raw materials and the study of its certain chemical properties. *Vestnik VGU. Seriya: Himiya. Biologiya. Farmaciya* [Proceedings of Voronezh State University. Ser. Chemistry. Biology. Pharmacy], 2013, no. 2, pp. 53–56 (in Russian).
14. Efremov A. A., Kondratuc T. A. Isolation of pectin from unconventional raw materials and its use in the confectionery industry. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Vegetable Raw Materials], 2008, no. 4, pp. 181–186 (in Russian).

Cite this article as:

Laksaeva E. A., Davydov V. V., Kyarimov I. A., Kukhtenkova E. A., Arushanova V. V., Zlobina E. A. Polysaccharidebased Biological Activity of Extracts Isolated from Fruits of Crataegus Monogyna of Varying Degrees of Maturity. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 216–222 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-216-222>



ЭКОЛОГИЯ

УДК 595.44+574.9

Зоогеографический анализ аранеофауны степных участков Ульяновской области с данными по расширению ареалов некоторых видов

Ю. Г. Алексеенко

Алексеенко Юрий Григорьевич, аспирант кафедры биологии и химии, Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова, spider1979@mail.ru

Проанализированы типы ареалов пауков степных участков Ульяновской области. Значительная их часть относится к палеарктическим (229 видов). Среди них доминируют транспалеарктические (63 вида), западно-центрально-палеарктические (50 видов) и западно-палеарктические (40 видов). Среди пауков с европейско-сибирскими ареалами доминируют европейские, а среди средиземноморских – пауки с западно-центрально-средиземноморскими ареалами. *Heterotrichoncus pusillus* (Miller, 1958) и *Syedra apetlonensis* Wunderlich, 1992 впервые приводятся для территории России; *Alopecosa psammophila* Buchar, 2001 впервые отмечается для европейской части России. Впервые приводятся для (Среднего) Поволжья *Euplognatha serratosignata* (L. Koch 1879), *Lasaeola prona* (Menge, 1868), *Aculepeira armida* (Audouin, 1826), *Gnaphosa mongolica* Simon, 1895, *Pisaura novicia* (L. Koch, 1878), *Caspicosa manytchensis* Ponomarev, 2007, *Xysticus marmoratus* Thorell, 1875, *Agelena orientalis* C. L. Koch, 1837, *Mecynargus foveatus* (Dahl, 1912), *Zelotes potanini* Schenkel, 1963 и *Heriaeus melloteei* Simon, 1886. Впервые приводятся для Ульяновской области *Ira terrena* (L. Koch, 1879), *Trichonoides striganovae* Tanasevitch et Piterkina, 2012, *Erigonoplus jarmilae* (Miller, 1943) и *Improphantes geniculatus* (Kulczycki, 1898).

Ключевые слова: аранеофауна, зоогеография, фаунистика, Ульяновская область.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-223-228>

Введение

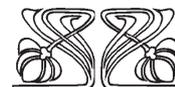
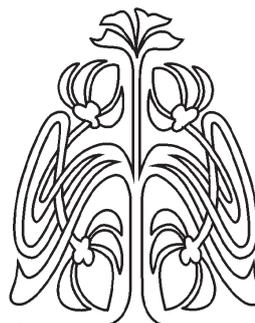
Данная работа посвящена анализу ареалов пауков, собранных нами на степных участках Приволжской возвышенности, ограниченной правобережной частью Ульяновской области. Особое внимание уделено видам, впервые здесь обнаруженным, часто в значительном отрыве от своего основного ареала.

В настоящее время общее количество видов пауков, обитающих на территории Ульяновской области, составляет 436 видов [1]. Аранеофауна обследованных степных участков на территории области включает в себя 271 вид из 121 рода и 24 семейств [2–6].

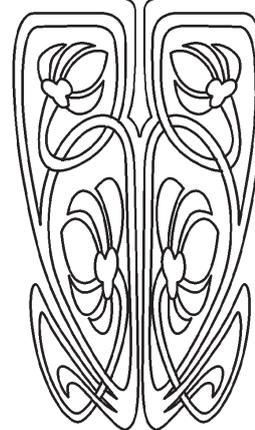
Материалы и методы

В основу классификации ареалов положена система К. Б. Городкова [7], согласно которой любой ареал можно описать через три составляющих: широтная (зональная приуроченность), долготная (с запада на восток) и высотная (вертикальная, снизу вверх). Однако последний вектор в нашем случае не учитывается, так как он используется для характеристики ареалов горных видов.

Был проанализирован материал, собранный и определенный автором в период с 2010 по 2012 г. на территории Павловского, Старокулаткинского, Радищевского, Николаевского, Новоспасского,



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





Маинского и Сенгилеевского районов Ульяновской области [2–6] и насчитывающий 16 574 экземпляра пауков, из них половозрелых – 10 178 экземпляров. Некоторые ювенильные особи до 2011 г. включительно определялись до вида при помощи метода генетического баркодинга в рамках проекта «BOLD» («Barcoding of life data»), реализуемого на базе Университета Гуэльфа (The University of Guelph, Ontario, Canada). Секвенированию и последующей амплификации подверглись 1235 экземпляров пауков. Данные по распространению видов взяты из работ [8–14] и специально в видовых очерках не цитируются, кроме принципиально важных.

Результаты и их обсуждение

В ходе исследования нами были выделены 16 групп ареалов, разделяемых на космополитные,

голарктические и палеарктические. Последние, в свою очередь, делятся на широкопалеарктические, евросиберские, древнесредиземноморские [15]. К голарктическим ареалам отнесены циркумголарктические, субциркумголарктические, транспалеарктическо-западно-неарктические, неарктическо-западно-палеарктические, восточно-неарктическо-палеарктические. Широкопалеарктические ареалы включают в себя транспалеарктические, амфипалеарктические, западно-центрально-палеарктические, центрально-восточно-палеарктические и западно-палеарктические. Евросиберские объединяют трансевросиберские, восточноевропейско-сибирские, европейские ареалы. Древнесредиземноморские объединяют трансдревнесредиземноморские, западно-центрально-средиземноморские и казахстанские ареалы (таблица).

Зоогеографическая структура исследуемой аранеофауны
Zoogeographic structure of the studied araneofauna

Ареал, группа / Area, group	Количество видов / Number of species	% от общего числа видов / % of the total number of species	% от числа видов в группе ареалов / % of the number of species in the group of areas
Космополитные ареалы / Cosmopolitan areas	2	0,7	–
Голарктические ареалы / Holarctic areas	37	13,8	100
Трансголарктическая группа / Trans-Holarctic group	5	1,8	13,5
Циркумголарктическая группа / Circum-Holarctic group	23	8,6	62,2
Субциркумголарктическая группа / Subcircum-Holarctic group	3	1,1	8,1
Транспалеарктическо-западно-неарктическая группа / Transpalaeartic-Westnearctic group	2	0,7	5,4
Неарктическо-западно-палеарктическая группа / Nearctic-Westpalaeartic group	1	0,4	2,7
Восточно-неарктическо-палеарктическая группа / Eastnearctic-Palaeartic group	3	1,1	8,1
Палеарктические ареалы / Palaeartic group	229	85,4	
Широкопалеарктические ареалы / Wide Palaeartic group	162	60,4	100
Транспалеарктическая группа / Transpalaeartic group	63	23,5	39,4
Амфипалеарктическая группа / Amphipalaeartic group	7	2,6	4,2
Западно-центрально-палеарктическая группа / West-Centralpalaeartic group	50	18,6	30,7
Центрально-восточно-палеарктическая группа / Central-Eastpalaeartic group	2	0,7	1,1
Западно-палеарктическая группа / Westpalaeartic group	40	15	24,6
Евросиберские ареалы / Euro-Siberian areals	33	12,3	100
Трансевросиберская группа / Trans-Euro-Siberian group	11	4,1	33,3
Восточноевропейско-сибирская группа / Westeuropean-Siberian group	1	0,7	3
Европейская группа / European group	21	7,8	63,7
Средиземноморские ареалы / Mediterranean areas	34	12,7	100
Трансдревнесредиземноморская группа / Trans-Old-Mediterranean group	3	1,1	8,8
Казахстанская группа / Kazakhstan group	14	5,2	41,2
Западно-центрально-древнесредиземноморская группа / West-Central-Old-Mediterranean group	17	6,3	50



Значительная часть ареалов найденных нами видов (229 видов) относится к палеарктическим. Среди них доминируют транспалеарктические (63 вида), западно-центрально-палеарктические (50 видов) и западно-палеарктические (40 видов). Среди пауков с европейско-сибирскими ареалами доминируют европейские, а среди средиземноморских – пауки с западно-центрально-средиземноморскими ареалами.

Проведенные исследования уточняют границы ареалов ряда видов, ареалы которых захватывают различные части Палеарктики. Так, обновлена северная граница распространения для следующих видов по семействам.

1. THERIDIIDAE: *Enoplognatha serratosignata* (L. Koch 1879) – транспалеарктический лесостепной вид. В Европе известен из Норвегии, Швейцарии, Германии, Чехии, Словакии, Венгрии и Украины (Луганская обл.); в Азии – из Казахстана. В России приведен из Ростовской, Оренбургской, Красноярской областей, Республики Тыва, центральной Якутии, Хабаровского и Приморского краев. Впервые приводится для Поволжья.

2. THERIDIIDAE: *Lasaeola prona* (Menge, 1868) – европейско-древнесредиземноморский лесостепной вид. В Европе известен из Австрии, Бельгии, с Британских островов, из Болгарии, Чехии, Дании, Эстонии, Финляндии, Франции, Германии, Греции, Венгрии, Италии, Испании, Латвии, Литвы, Польши, Словакии, Швеции, Швейцарии, Нидерландов, Украины. На территории России: Калининградская область, Русская Равнина (Ростовская область), Средний Урал (Пермская область), Республика Тыва, горы Южной Сибири (до Б. Хехцира). Впервые приводится для Среднего Поволжья.

3. ARANEIDAE: *Aculepeira armida* (Audouin 1826) – палеарктический лесостепной вид. Известен из Южной Европы (от Португалии до Балкан), Украины (Закарпатье, Луганская обл.), Казахстана. В России вид известен из Белгородской, Ростовской, Саратовской, Астраханской и Оренбургской областей, а также из Забайкалья и Крымского полуострова. Впервые приводится для Ульяновской области.

4. LYCOSIDAE: *Alopecosa psammophila* Vucsaar, 2001 – восточноевропейский дизъюнктивный степной вид. В Европе известен из Чехии, Словакии, Венгрии, Румынии. На территории России отмечался только из степей Оренбургской области и на территории Саратовской области [16]. Впервые приводится для Ульяновской области.

5. GNAPHOSIDAE: *Gnaphosa mongolica* Simon, 1895 – древнесредиземноморско-восточнопалеарктический степной вид. В Европе известен из степей Венгрии, Румынии, Украины (Херсон-

ская, Днепропетровская, Донецкая, Луганская области), в Азии – из Казахстана и Кыргызстана. На территории России обнаружен в Ростовской области, Ставропольском, Приморском краях, республиках Тува, Бурятия, Калмыкия, Северная Осетия. Впервые приводится для Поволжья.

6. PISAURIDAE: *Pisaura novicia* (L. Koch, 1878) – средиземноморско-центральноазиатский степной вид. В Европе известен из Италии, Греции, Болгарии, Украины. На территории России отмечен в Белгородской, Ростовской, Волгоградской областях, Краснодарском крае, республиках Абхазия, Дагестан, Северная Осетия, Карачаево-Черкесия. Также отмечен в Туркменистане, Казахстане, Узбекистане. Впервые приводится для Среднего Поволжья.

7. LINYPHIIDAE: *Ipa terrena* (L. Koch, 1879) – восточноевропейско-западносибирский степной вид, известен из южных регионов Восточной Европы и Южной Сибири. Впервые приводится для Ульяновской области.

8. LINYPHIIDAE: *Trichoncoides striganovae* Tanasevitch et Piterkina, 2012. Вид описан совсем недавно из Западного Казахстана (Джаныбек) и Волгоградской области (озеро Эльтон) [17], где был найден в полупустынных и степных растительных сообществах. Впервые приводится для Ульяновской области.

9. LYCOSIDAE: *Caspicosa manytchensis* Ponomarev, 2007. Вид описан из Ростовской области [18]. Впервые приводится для Среднего Поволжья.

Для некоторых видов границы ареалов продвинулись на северо-восток.

1. THOMISIDAE: *Xysticus marmoratus* Thorell, 1875 – восточноевропейско-казахстанский степной вид. Известен из южных регионов Восточной Европы, Украины, на территории России отмечен в Саратовской, Волгоградской, Ростовской областях. Впервые приводится для Ульяновской области.

2. LINYPHIIDAE: *Erigonoplus jarmilae* (Miller, 1943) – довольно редкий вид, известный из Центральной Европы: Албании, Австрии, Чехии и Словакии. В России отмечен лишь на Кавказе [19] и в Предкавказье [20]. Впервые приводится для Среднего Поволжья.

3. LINYPHIIDAE: *Improphantes geniculatus* (Kulczycki, 1898) – европейский вид, частью ареала заходит в Восточный Казахстан. На Русской равнине ранее был известен лишь из южных областей [21]. Впервые приводится для Среднего Поволжья

4. AGELENIDAE: *Agelena orientalis* C. L. Koch, 1837 – средиземноморско-центральноазиатский



степной вид. В Европе известен из Италии, Греции, Македонии, Болгарии, Румынии. В Азии – из Казахстана, Кыргызстана. Данные по южно-европейской части России ошибочны. Крым до настоящего времени считался самой северной точкой распространения этого вида [22]. Впервые приводится для Среднего Поволжья.

Для ряда видов границы ареалов продвинулись на восток.

1. LINYPHIDAE: *Heterotrichoncus pusillus* (Miller, 1958) – вид описан из степей Чехии [23], позже найден в Австрии, Франции, Испании и Албании. В Европе чрезвычайно редок и встречается в степных биотопах в травостое и под камнями. Впервые приводится для России.

2. LINYPHIDAE: *Mecynargus foveatus* (Dahl, 1912) – европейский вид, недавно впервые отмечен для фауны России – в Карелии [24] – и высокогорий Кавказа [25]. Впервые приводится для Среднего Поволжья.

3. LINYPHIDAE: *Syedra apetonensis* Wunderlich, 1992 – вид, описанный из Австрии [26] и позднее найденный в Словакии [27], впервые приводится для территории России.

Границы ареалов продвинулись на северо-запад для:

1. GNAPHOSIDAE: *Zelotes potanini* Schenkel, 1963 – центрально-восточно-палеарктический степной вид. Известен из Восточного Казахстана, на территории России встречается в республиках Башкортостан, Тыва, Якутия. Впервые приводится для Среднего Поволжья.

2. THOMISIDAE: *Heriaeus melloteei* Simon, 1886 – транспалеарктический степной вид. На территории России обнаружен в Оренбургской, Пермской, Челябинской областях, Башкирии и Якутии. Впервые приводится для Среднего Поволжья.

Заключение

Таким образом, в исследуемой фауне четко выделяются два фаунистических комплекса – западный и восточный. Фауна западного комплекса составлена преимущественно широкоареальными видами, одинаково хорошо осваивающими как степные, так и бореальные и даже тундровые ландшафты. Вероятно, в связи с отступлением лесов в конце третичного периода и с появлением в миоцене крупных степных сообществ на исследуемой территории эти виды приспособились к жизни в более засушливых степных биотопах. Напротив, группировка восточного комплекса весьма богата специфическими степными элементами, которые и составляют ядро степной фауны с основной частью ареала, лежащей в Азии и юго-восточной Европе.

Список литературы

1. Кузьмин Е. А. Аранеофауна (Arachnida : Aranei) Ульяновской области: прошлое, настоящее и будущее // Природа Симбирского Поволжья : сб. науч. тр. Ульяновск, 2015. Вып. 16. С. 123–130.
2. Алексеенко Ю. Г. Пауки как индикаторы основных типов Засызранских степей // Поволжский экол. журн. Саратов, 2013. № 3. С. 346–353.
3. Алексеенко Ю. Г. К фауне пауков (Arachnida : Aranei). Новые и интересные находки из Ульяновской области // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология, 2013. Т. 13, вып. 3. С. 77–80.
4. Алексеенко Ю. Г., Кузьмин Е. А. Заметки по аранеофауне Ульяновской области (Arachnida : Aranei). Новые фаунистические находки // Природа Симбирского Поволжья : сб. науч. тр. Ульяновск, 2010. Вып. 11. С. 99–103.
5. Алексеенко Ю. Г., Кузьмин Е. А. Новые виды пауков (Arachnida: Aranei) для Ульяновской области // Природа Симбирского Поволжья : сб. науч. тр. Ульяновск, 2012. Вып. 13. С. 112–116.
6. Кузьмин Е. А., Алексеенко Ю. Г. Добавления к списку пауков (Arachnida: Aranei) Ульяновской области // Природа Симбирского Поволжья : сб. науч. тр. Ульяновск, 2011. Вып. 12. С. 169–178.
7. Городков К. Б. Типы ареалов насекомых тундры и лесных зон европейской части СССР // Ареалы насекомых Европейской части СССР. Л.: Наука, Ленингр. отд-ние, 1984. С. 2–21.
8. Polchaninova N. Yu., Prokopenko E. V. Spider catalogue of the Left-bank Ukraine // Arthropoda Selecta. Supplement № 2. Moscow : KMK Scientific Press Ltd., 2013. 268 p.
9. World Spider Catalog. 2018. World Spider Catalog, version 19.5. Natural History Museum Bern. URL: <https://wsc.nmbe.ch/> (дата обращения: 02.09.2018).
10. Helsdingen P. J. van. Araneae // Fauna Europaea version 2018.1. URL: <http://www.european-arachnology.org> (дата обращения: 02.09.2018).
11. Mikhailov K. G. The spiders (Arachnida: Aranei) of Russia and adjacent countries: a non-annotated checklist // Arthropoda Selecta. Supplement № 3. Moscow : KMK Scientific Press Ltd., 2013. 262 p.
12. Eshunin S. L., Tuneva T. K., Farzaliyeva G. Sh. Remarks on the Ural spider fauna (Arachnida: Aranei). 12. Spiders of the steppe zone of Orenburg Region // Arthropoda Selecta. 2007. Vol. 16, № 1. P. 43–63.
13. Олигер Т. И. Пауки Юго-Восточного Приладожья // Тр. С.-Петербург. о-ва естествоиспытателей. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010. Сер. 4. Т. 89. 340 с.
14. Logunov D. V., Koponen S. Spiders of Tuva, South Siberia. Magadan : IBPN FEB RAS, 2000. 252 p.
15. Есюнин С. Л., Марусик Ю. М. Опыт ареалогии пауков Урала и Приуралья // Вестник Перм. ун-та. Биология. 2011. № 1. С. 32–36.
16. Ткачѳв А. Ю., Мартыновченко Ф. А. Промежуточные итоги исследования аранеофауны (Arachnida, Aranei)



- природного парка «Дьяковский лес» (Саратовская область) // Антропогенная трансформация природной среды : науч. чтения памяти Н. Ф. Реймерса и Ф. Р. Штильмарка. Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 2011. С.130–135.
17. *Tanasevitch A. V., Piterkina T. V.* A new *Trichoncoides* Denis, 1950 (Aranei: Linyphiidae) from a semi-desert in the Caspian lowland // *Rus. Entomol. J.* 2012. Vol. 21. P. 189–196.
 18. *Пономарёв А. В.* Новые таксоны пауков (Aranei) с юга России и из Западного Казахстана // *Кавказ. энтомол. бюл.* 2007. Т. 3, № 2. С. 87–95.
 19. *Танасевич А. В.* Пауки семейства Linyphiidae фауны Кавказа (Arachnida, Aranei) // *Фауна наземных беспозвоночных Кавказа*. М. : Наука, 1990. С. 5–114.
 20. *Сейфулина П. Р.* Аранеофауна (Arachnida, Araneae) агроландшафтов Подмосковья и Прикубанской равнины // *Энтомологическое обозрение*. 2008. Т. 87, № 3. P. 692–705.
 21. *Танасевич А. В., Алексеенко Ю. Г.* К фауне пауков семейства Linyphiidae (Aranei) меловых степей Русской равнины // *Кавказ. энтомол. бюл.* 2012. Т. 8, № 2. С. 193–198.
 22. *Kovblyuk M. M., Kstrygina Z. A.* On two closely related funnel-web spider species, *Agelena orientalis* C. L. Koch, 1837, and *A. labyrinthica* (Clerck, 1757) (Aranei: Agelenidae) // *Arthropoda Selecta*. 2011. Vol. 20, № 4. P. 273–282.
 23. *Miller F.* Drei neue Spinnenarten aus den mährischen Steppengebieten // *Věstník Československé Zoologické Společnosti v Praze*. 1958. Vol. 22. P. 148–155.
 24. *Камаев И. О.* К фауне и экологии пауков (Aranei) болотных экосистем северо-запада Карелии (Костомукшский заповедник) // *Актуальные проблемы экологии и эволюции в исследованиях молодых ученых : материалы конф. молодых сотрудников и аспирантов ИПЭЭ РАН (Москва, 10–11 апреля 2008 г.)*. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2008. С. 153–159.
 25. *Tanasevitch A. V.* On synonymy of linyphiid spiders of the Russian fauna (Arachnida: Aranei: Linyphiidae). 2 // *Arthropoda Selecta*. 2011. Vol. 20, № 2. P. 129–143.
 26. *Wunderlich J.* Eine bisher unbekannte Spinnen-Art der Gattung *Syedra* Simon aus Europa (Arachnida : Araneae : Linyphiidae) // *Entomologische Zeitschrift, Frankfurt a/M*, 1992. Vol. 102. P. 280–285.
 27. *Kristofik J., Sustek Z., Gajdos P.* Arthropods in nests of the Sand Martin (*Riparia riparia* Linnaeus, 1758) in South Slovakia // *Biologia. Bratislava*, 1994. Vol. 49, № 5. P. 683–690.

Образец для цитирования:

Алексеенко Ю. Г. Зоогеографический анализ аранеофауны степных участков Ульяновской области с данными по расширению ареалов некоторых видов // *Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология*. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 223–228. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-223-228>

Zoogeographical Analysis of Araneofauna of Steppous Plots of the Ulyanovsk Region with Data on Area Expanding of Several Species

Yu. G. Alekseenko

Yury G. Alekseenko, <https://orcid.org/0000-0003-2133-4352>, Ulyanovsk State Pedagogical University, 4 Ploschad stoletiya so dnya rozhdeniya V. I. Lenina, Ulyanovsk 432700, Russia, spider1979@mail.ru

Areal types are analyzed for spiders of stepped plots of the Ulyanovsk Region. Most of them belong to the Palaearctic ones (229 species). Trans-palaearctic (63 species), western-central-palaearctic (50) and west palaearctic (40) areas are dominant. European eras are dominant among European-Siberian type, and west-central-Mediterranean dominate among the Mediterranean type. *Heterotrichoncus pusillus* (Miller, 1958) and *Syedra appetlonensis* Wunderlich, 1992 are noted for Russia for the first time; *Alopecosa psammophila* Buchar, 2001 is for the first time found from the European Russia. The following species are firstly noted from the (Middle) Volga Region: *Enoplognatha serratosignata* (L. Koch 1879), *Lasaeola prona* (Menge, 1868), *Aculepeira armida* (Audouin, 1826), *Gnaphosa mongolica* Simon, 1895, *Pisaura novicia* (L. Koch, 1878), *Caspicosa manytchensis* Ponomarev, 2007, *Xysticus marmoratus* Thorell, 1875, *Agelena orientalis* C. L. Koch, 1837, *Mecynargus foveatus* (Dahl, 1912), *Zelotes potanini* Schenkel, 1963 and *Heriaeus melloteei* Simon, 1886 whereas *Ipa terrena* (L. Koch, 1879), *Trichoncoides striganovae* Tanasevitch et Piter-

kina, 2012, *Erigonoplus jarmilae* (Miller, 1943) and *Improphantes geniculatus* (Kulczycki, 1898) are listed for the first time from the Ulyanovsk Region.

Keywords: Aranei, araneofauna, zoogeography, faunistics, Ulyanovsk Region.

References

1. Kuz'min E. A. Araneofauna (Arachnida: Aranei) Ulyanovskoy oblasti: proshloe, nastoyastchee i budustchee [Araneofauna (Arachnida: Aranei) of the Ulyanovsk region: past, present and future]. *Priroda Simbirskogo Povolzhia* [The Nature of Simbirsk Volga Region]. Ulyanovsk, 2015, iss. 16, pp. 123–130 (in Russian).
2. Alexeenko Yu. G. Spiders as indicators of main types of Trans-Syzran steppes. *Povolzhsky Journal of Ecology*, Saratov, 2013, no. 3, pp. 346–353 (in Russian).
3. Alexeenko Yu. G. To a fauna of spiders (Arachnida: Aranei). New and rare findings from Ulyanovsk Region. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2013, vol. 13, iss. 3, pp. 77–80 (in Russian).
4. Alexeenko Yu. G., Kuz'min E. A. Zametki po araneofaune Ulyanovskoy oblasti (Arachnida: Aranei). Novye faunisticheskie nakhodki [Notes on the araneofauna of the Ulyanovsk region (Arachnida: Aranei). New faunal finds]. *Priroda Simbirskogo Povolzhia* [The Nature of Simbirsk Volga Region]. Ulyanovsk. 2010, no. 11, pp. 99–103 (in Russian).



5. Alexeenko Yu. G., Kuz'min E. A. Novye vidy paukov (Arachnida: Aranei) dlya Ulyanovskoy oblasti [New species of spiders (Arachnida: Aranei) for the Ulyanovsk Region]. *Priroda Simbirskogo Povolzhia* [The Nature of Simbirsk Volga Region]. Ulyanovsk, 2012, no. 13, pp. 112–116 (in Russian).
6. Kuz'min E. A., Alexeenko Yu. G. Dobavleniya k spisku paukov (Arachnida: Aranei) Ulyanovskoy oblasti [Additions to the list of spiders (Arachnida: Aranei) of the Ulyanovsk region]. *Priroda Simbirskogo Povolzhia* [The Nature of Simbirsk Volga Region]. Ulyanovsk, 2011, no. 12, pp. 169–178 (in Russian).
7. Gorodkov K. B. Tipy arealov nasekomykh tundry i lesnykh zon evropeiskoy chasti SSSR [Types of insect habitats of tundra and forest areas of the European part of the USSR]. In: *Arealy nasekomykh evropeiskoy chasti SSSR* [Areas of insects of the European part of the USSR]. Leningrad, Nauka Publ., 1984, pp. 2–21 (in Russian).
8. Polchaninova N. Yu., Prokopenko E. V. Spider catalogue of the Left-bank Ukraine. *Arthropoda Selecta. Supplement No. 2*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2013. 268 p.
9. *World Spider Catalog. 2018*. World Spider Catalog, version 19.5. Natural History Museum Bern. Available at: <https://wsc.nmbe.ch/> (accessed 2 September 2018).
10. Helsdingen P. J. van. Araneae. In: *Fauna Europaea version 2018.1*. Available at: <http://www.european-arachnology.org> (accessed 2 September 2018).
11. Mikhailov K. G. *The spiders (Arachnida: Aranei) of Russia and adjacent countries: a non-annotated checklist*. *Arthropoda Selecta. Supplement No. 3*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2013. 262 p.
12. Eshyunin S. L., Tuneva T. K., Farzalieva G. Sh. Remarks on the Ural spider fauna (Arachnida: Aranei). 12. Spiders of the steppe zone of Orenburg Region. *Arthropoda Selecta*, 2007, vol. 16, no. 1, pp. 43–63.
13. Oligier T. I. Pauki Yugo-Vostochnogo Priladozhiya [Spiders of the South-Eastern Priladozhiya]. *Trudy Sankt-Peterburg. obshchestva estestvoispytateley* [Proceedings of the St. Petersburg society of naturalists]. St. Petersburg, 2010, Ser. 4, vol. 89. 340 p. (in Russian).
14. Logunov D. V., Koponen S. *Spiders of Tuva, South Siberia*. Magadan, IBPN FEB RAS, 2000. 252 p.
15. Eshyunin S. L., Marusik Yu. M. Arealogy experience for the Urals and Cis-Ural. *Vestnik Permskogo Universiteta. Biology* [Bulletin of Perm University. Biology], 2011, no. 1, pp. 32–36 (in Russian).
16. Tkachev A. Yu., Martynovchenko F. A. Promezhutochnye itogi issledovaniya araneofauny (Arachnida, Aranei) prirodnoi parka "D'yakovskiy les" (Saratovskaya oblast) [Intermediate results of the study of araneofauna (Arachnida, Aranei) Natural Park "D'yakovskiy Forest"]. In: *Anthropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy: nauchnye chteniya pamyati N. F. Reimersa i F. R. Stihlmarka* [Anthropogenic transformation of the natural environment: scientific readings in memory of N. F. Reimers and F. R. Stihlmark]. Perm', Izd-vo Perm. un-ta, 2011, pp. 130–135 (in Russian).
17. Tanasevitch A. V., Piterkina T. V. A new Trichoncoides Denis, 1950 (Aranei: Linyphiidae) from a semi-desert in the Caspian lowland. *Russian Entomol. J.*, 2012, vol. 21, pp. 189–196.
18. Ponomarev A. V. New spider taxa (Aranei) from south Russia and Western Kazakhstan. *Caucasian Entomological Bulletin*, 2007, vol. 3, no. 2, pp. 87–95 (in Russian).
19. Tanasevich A. V. Linyphiidae spiders of the Caucasus (Arachnida, Aranei). In: *Fauna nazemnykh bespozvochnykh Kavkaza* [Fauna of terrestrial invertebrates of the Caucasus]. Moscow, Nauka Publ., 1990, pp. 5–114 (in Russian).
20. Seyfullina R. R. Araneofauna (Arachnida, Araneae) of agrolandscapes of Moscow Regions and Cis-Cuban plain. *Entomologicheskoe Obozrenie* [Entomological Review]. 2008, vol. 87, no. 3, pp. 692–705 (in Russian).
21. Tanasevich A. V., Alexeenko Yu. G. To a spider fauna of the Linyphiidae (Aranei) of the carbonate steppes of the Russian plain. *Caucasian Entomological Bulletin*, 2012, vol. 8, no. 2, pp. 193–198 (in Russian).
22. Kovblyuk M. M., Kastrygina Z. A. On two closely related funnel-web spider species, *Agelena orientalis* C. L. Koch, 1837, and *A. labyrinthica* (Clerck, 1757) (Aranei: Agelenidae). *Arthropoda Selecta*, 2011, vol. 20, no. 4, pp. 273–282.
23. Miller F. Drei neue Spinnenarten aus den mährischen Steppengebieten. *Věstník Československé Zoologické Společnosti v Praze*, 1958, vol. 22, pp. 148–155.
24. Kmaev I. O. K faune i ekologii paukov (Aranei) bolotnykh ecosystem severo-zapada Karelii (Kostomukshsky zapovednik) [To the fauna and ecology of spiders (Aranei) wetland ecosystems of the north-west of Karelia (Kostomuksha reserve)]. In: *Aktualnye problemy ekologii i evolutsii v issledovaniyakh molodykh uchenykh* [Actual problems of ecology and evolution in studies of young scientists]. (Moscow, 10–11 April 2008). Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2008, pp. 153–159 (in Russian).
25. Tanasevitch A. V. On synonymy of linyphiid spiders of the Russian fauna (Arachnida: Aranei: Linyphiidae). 2. *Arthropoda Selecta*, 2011, vol. 20, no. 2, pp. 129–143.
26. Wunderlich J. Eine bisher unbekannte Spinnen-Art der Gattung Syedra Simon aus Europa (Arachnida: Araneae: Linyphiidae). *Entomologische Zeitschrift*, Frankfurt am Main, 1992, vol. 102, pp. 280–285.
27. Kristofik J., Sustek Z., Gajdos P. Arthropods in nests of the Sand Martin (*Riparia riparia* Linnaeus, 1758) in South Slovakia. *Biologia*. Bratislava, 1994, vol. 49, no. 5, pp. 683–690.

Cite this article as:

Alekseenko Yu. G. Zoogeographical Analysis of Araneofauna of Steppous Plots of the Ulyanovsk Region with Data on Area Expanding of Several Species. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 223–228 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-223-228>



ХРОНИКА

УДК 378.4 (470.44-25) (09)/1945/

110 лет зоологической кафедре Саратовского государственного университета

Г. В. Шляхтин

Шляхтин Геннадий Викторович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой морфологии и экологии животных биологического факультета, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, genvic41@mail.ru

Показана история становления и развития зоологических кафедр СГУ – от создания первой кафедры зоологии при открытии университета в 1909 г. до современного периода. В историческом аспекте рассматривается роль заведующих кафедрами и их сотрудников в формировании учебного и научного процесса, оснащении кафедр необходимым оборудованием, создании Зоологического музея; освещаются результаты научной и учебной деятельности современной кафедры морфологии и экологии животных.

Ключевые слова: кафедра зоологии, история, современный период, СГУ.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-229-241>

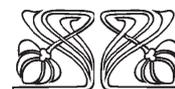
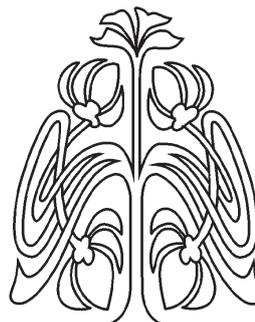
Предисловие

*В будущее мы входим,
оглядываясь на прошлое.*

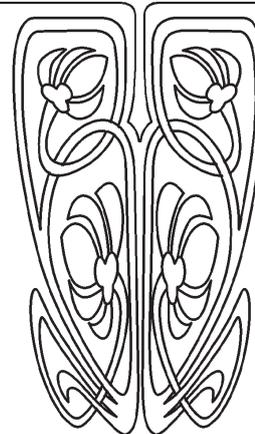
Поль Валери

В 2019 г. исполняется 110 лет со дня основания кафедры зоологии в Саратовском Императорском Николаевском университете. Между 1909–2019 гг. стоит тире, вмещающее целую эпоху жизни факультета и его кафедр, судьбы сотрудников, особенно тяжелые в годы предвоенных репрессий и последствий сессии ВАСХНИЛ 1948 г., самоотверженный и увлеченный их труд по созданию основ зоологического образования, оснащению оборудованием учебного и научного процесса, приобретению, изготовлению и сохранению уникальных зоологических экспонатов. Нашими предшественниками был создан лучший в Поволжье университетский Зоологический музей, собрана коллекция представителей фауны разных континентов. В стремительном потоке современной жизни мы иногда забываем о наших «корнях», о людях, которые стояли у истоков современного образования и российской науки и во многом определяли перспективы их дальнейшего развития.

Французский писатель Анатоль Франс (1844–1924) говорил: «Будущее в настоящем, но будущее – и в прошлом». Эти мудрые слова и о том, что современники должны чтить память сотрудников зоологических кафедр. Именно первые профессора и преподаватели разрабатывали лекции по общим и специальным курсам, писали учебники и учебно-методические пособия, обучали студентов работе с микроскопом, составляли планы проведения учебно-полевых практик. Учебно-вспомогательный персонал готовил необходимый



ПРИЛОЖЕНИЯ





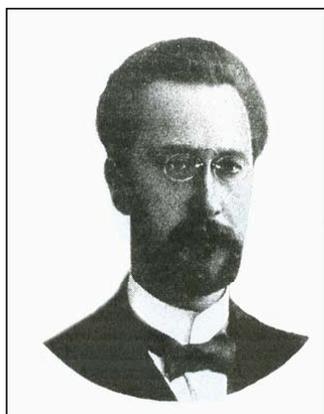
демонстрационный материал, собирал животных региональной фауны для практических занятий малого и большого практикума по зоологии, учебно-полевой практики. Многие основы чтения лекций и проведения практических лабораторных занятий сохраняются в общих чертах и в наше время.

Источники информации

В основу данной статьи положены немногочисленные публикации по истории Саратовского университета [1–4], а также материалы Саратовского краеведческого музея и архива СГУ, воспоминания ныне живущих бывших сотрудников факультета. К сожалению, не удалось найти многих необходимых данных, чтобы одинаково

полно представить историю развития зоологических кафедр за весь период их существования. Сменилось не одно поколение, и трудно найти материалы о многих ученых, которые определяли развитие зоологического образования и историю развития зоологических исследований по многочисленным отраслям. По-настоящему, не осталось коллег, работавших до 1960-х гг., мало сохранилось воспоминаний и фотографий прошедших лет. Щемящее душу эмоциональное волнение вызвало знакомство с пожелтевшими страницами личных дел сотрудников кафедр. Оцифровка фотографий заведующих кафедрами выполнена доцентами кафедры морфологии и экологии животных А. В. Беляченко и Е. Ю. Мосоловой.

Заведующие кафедрами



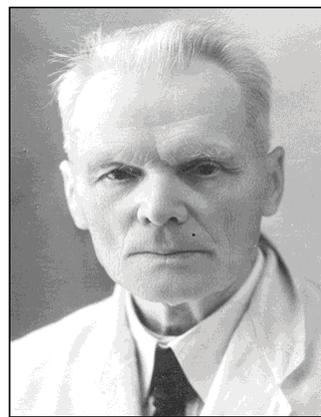
Биурков Борис Ионович
Кафедра зоологии (1909–1917)
Кафедра зоологии
позвоночных (1917–1923)



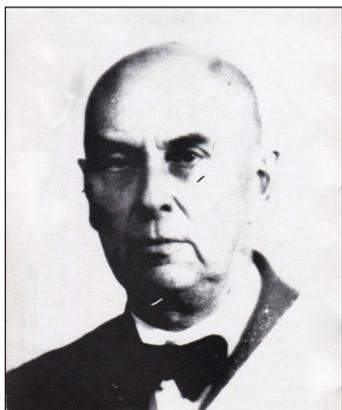
**Волчанецкий Илья
Борисович**
Кафедра зоологии (1931–1935)



**Фенюк Борис
Константинович**
Кафедра зоологии
позвоночных (1935–1944)



**Елпатьевский Владимир
Сергеевич**
Кафедра зоологии
беспозвоночных (1917–1923)
Кафедра зоологии позвоночных
(1944–1957)



**Морозов Александр
Васильевич**
Кафедра ихтиологии
и гидробиологии (1941–1955)
Кафедра зоологии
безпозвоночных (1955–1962)



**Константинов
Александр Степанович**
Кафедра зоологии
безпозвоночных (1962–1972)



**Денисов Виктор
Порфирьевич**
Кафедра зоологии
безпозвоночных (1972–1974)



**Ипатьева Галина
Васильевна**
Кафедра зоологии
безпозвоночных (1975–1980)



**Ларина Нина
Ивановна**
Кафедра зоологии
позвоночных (1957–1988)



Шляхтин Геннадий Викторович
Кафедра зоологии
безпозвоночных (1980–1988)
Кафедра морфологии
и экологии животных
(с 1988 по настоящее время)



Страницы истории зоологических кафедр (1909–1988 гг.)

Саратовский государственный университет в 1909 г. открылся в составе лишь одного медицинского факультета с семью кафедрами, в числе которых была и кафедра зоологии, стоящая у истоков современной кафедры морфологии и экологии животных. Воссоздать детально историю формирования и развития зоологических кафедр университета в формате данной статьи не представляется возможным, поэтому будут освещены лишь основные этапы становления зоологических кафедр.

В 1909 г., до возведения собственных корпусов, университет размещался в Фельдшерской школе Санитарного общества на углу улиц Никольской и Б. Сергиевской (ныне улицы Радищева и Чернышевского). Это было красивое краснокирпичное двухэтажное здание, недавно построенное по проекту архитектора А. М. Салько. К началу занятий кабинеты, аудитории и лаборатории были хорошо оборудованы, что вызывало восхищение у гостей и жителей Саратова, побывавших в дни торжественного открытия университета. Например, профессор М. В. Казанский, посетивший в то время Саратовский университет, писал: «... красивый парадный вход, актовый зал, профессорская комната, аудитории, кабинеты: ботанический, зоологический, химический и физиологический – производят прекрасное впечатление: чистота, простор, масса света, прекрасная обстановка...»

Кафедру зоологии в 1909 г., в период начального становления зоологической науки в университете, возглавил профессор Борис Ионович Бируков, приглашенный из Санкт-Петербурга. Он очень быстро добился больших успехов в подборе ближайших сотрудников и постановке учебно-научного процесса в молодом Саратовском университете. За короткий срок им был подготовлен к началу учебного года общий курс зоологии со сравнительной анатомией и паразитологией для студентов-медиков.

Много сил Борис Ионович потратил на организацию и обустройство научной зоологической лаборатории и зоологического музея. Кафедра помещалась в двух больших комнатах первого этажа старого здания университета. В большой комнате располагался музей, в другой – лаборатория. Именно при нем начали формироваться коллекции зоологического музея: первые экспонаты беспозвоночных, включающие около 1000 экземпляров тропических бабочек и жуков, были подарены университету в дни его открытия купечеством Саратовской губернии.

В штате кафедры был препаратор Лаас, который изготовил многие чучела и скелеты животных, тщательно хранящиеся до настоящего времени в Зоологическом музее в специальных шкафах, изготовленных в то время.

Для преподавания зоологии и других дисциплин университетом было закуплено самое современное по тем временам оборудование, в основном за рубежом у таких известных фирм, как «Карл Цейс», «Франц Гугерсгорф», «Сименс и Галька». Б. И. Бируков лично участвовал в составлении заказов, помогал размещать закупленное оборудование в отведенных помещениях. Инвентарь лаборатории и музея пополнялся частично выпиской из-за границы, частью же собственными средствами. Все это позволяло довольно хорошо обставить демонстрационную часть читаемого курса. Для ведения практических занятий зоологическая лаборатория располагала достаточным количеством учебных микроскопов, инструментов для анатомирования и проч. В лаборатории имелись несколько больших исследовательских микроскопов, микротомы, микроспектрофотометр Энгельмана и ряд приборов, позволявших персоналу кафедры вести довольно сложную по методике экспериментальную работу. Библиотека кафедры насчитывала около 800 книг – различных руководств для проведения лабораторных занятий, некоторых специальных журналов, многотомных зоологических изданий.

За время работы в Саратовском университете Б. И. Бируков завершал начатое еще в Москве исследование пигментов. В результате был создан и сдан в печать научный труд «Наблюдения и опыты над изменениями окраски у животных», который в 1913 г. в Варшавском университете был защищен в качестве диссертации на степень доктора зоологии. В дальнейшем ученый продолжал экспериментальное исследование пигментации и газообмена рыбок-макроподов, палочников и других животных и обрабатывал материал по хроматофорам головоногих моллюсков. Им также был написан и издан учебник по зоологии для медиков «Краткий курс зоологии и сравнительной анатомии (со включением паразитологии)» (Изв. Саратов. ун-та. 1918. Медфак. 296 с.)

В 1917 г. в Саратовском университете открываются другие факультеты, в том числе физико-математический с естественным отделением. При этом кафедра зоологии медицинского факультета переходит в состав естественного отделения, но сохраняет по-прежнему обслуживание медицинского факультета

В этот же период, в 1917 г., в университете создаются две кафедры зоологической направ-



ленности – зоологии позвоночных (заведующий Б. И. Бируков) и зоологии беспозвоночных во главе с доктором зоологии Владимиром Сергеевичем Елпатъевским, который проработал в этой должности до 1925 г. Обе кафедры в это время размещались в новом здании университета (II корпус), занимая там половину третьего этажа (10 комнат).

Новую кафедру зоологии беспозвоночных начали оборудовать в тяжелое время Гражданской войны, и ее инвентарь, кроме эпидиаскопа Лейтца и специальных лабораторных столов, состоял преимущественно из случайных приобретений. Позже были получены 18 учебных микроскопов. В последующие годы на этих двух кафедрах читались курсы общей зоологии для «естественников» и отдельно для медиков.

Имущество кафедры зоологии беспозвоночных в это время пополнилось рядом импортных аппаратов и приборов (микротом, лампа для микроскопирования, фотоаппарат с принадлежностями и проч.). В 1926–1929 гг. работами Камыш-Самарской экспедиции была добыта значительная коллекция птиц и млекопитающих Нижнего Поволжья и Казахстана, которая легла в основу научной коллекции Зоологического музея. Для хранения коллекций были заказаны специальные шкафы по образцу Американского музея естественной истории (Нью-Йорк). В этих шкафах до настоящего времени хранятся многие коллекции Зоологического музея СГУ.

Затем в 1923 г. обе кафедры были объединены в одну – кафедру зоологии, которую в 1927 г. возглавил энтомолог профессор Владимир Петрович Поспелов, а в 1930 г. – орнитолог доцент Илья Борисович Волчанецкий. В. П. Поспелов впоследствии стал известным советским энтомологом, академиком АН УССР (1939). Основные его научные исследования были посвящены общей и экспериментальной энтомологии; он открыл явление имагинальной диапаузы и впервые установил факт бесплодия у чешуекрылых и его связь с экологией.

В 1931 г. происходит реорганизация университета. Из его состава выделяются медицинский и педагогический факультеты, став самостоятельными институтами (Саратовский государственный медицинский институт и Саратовский государственный педагогический институт). На базе прежнего университета организуется новый биологический факультет. Заведующим кафедрой зоологии остается профессор И. Б. Волчанецкий. С его именем в Саратовском университете связаны начало формирования орнитологической научной коллекции и значительный рост орнитологических исследований в регионе. Одной из наиболее ранних его работ следует считать сообщение о

природе окрестностей г. Саратова, явившееся результатом исследования орнитофауны Саратовского края, начатого в 1922 г. Наиболее детально И. Б. Волчанецким проанализированы сроки и пути пролета птиц в окрестностях областного центра. В 1924 г. начата работа по изучению закономерностей рисунка и окраски оперения птиц.

В 1936 г. вновь возрождается самостоятельная кафедра зоологии беспозвоночных под руководством профессора Дмитрия Николаевича Засухина. К сожалению, в 1937 г. он был осужден, сослан и вернулся к научной работе лишь в 1946 г., после полной реабилитации. Его научная деятельность была связана с изучением фауны и биологии иксодовых клещей. Он одним из первых выдвинул гипотезу о том, что основными хозяевами пироплазмид являются клещи.

В 1938–1940 гг. кафедрой зоологии беспозвоночных заведовал Владимир Яковлевич Шиперович. В период с 1924 по 1936 г. он совершил ряд экспедиций в Поволжье и Западную Сибирь. Изучал вредителей лесного хозяйства, апробировал методы борьбы с ними; работал в степных лесничествах с целью разработки хозяйственных мероприятий против массового распространения сосновых пилильщиков, исследовал распространение майского хруща и методы борьбы с его личинками, занимался разработкой мероприятий по защите лесов от вредителей. В. Я. Шиперович является одним из авторов первого учебника для вузов: *Лесная энтомология* / М. Н. Римский-Корсаков, А. В. Яцентковский, В. И. Гусев, В. Я. Шиперович, И. И. Полубояринов. Л. : Гослесбумиздат, 1935. 486 с.; а также учебника для высшей школы – *Лесная зоология*. М. : Лестехиздат, 1936. 202 с.

В феврале 1940 г. заведующим кафедрой зоологии беспозвоночных по конкурсу был избран Леонид Захарович Захаров, который руководил ею до 1955 г. Несмотря на тяжелые военные годы, Л. З. Захарову удалось 27 апреля 1944 г. защитить докторскую диссертацию на тему: «Био-экологические основы системы мероприятий по ликвидации Кубано-Приазовского гнездилища азиатской саранчи». Л. З. Захаров является одним из основоположников изучения экологии и методов борьбы с азиатской саранчой и саранчовыми в Поволжском регионе, на Северном Кавказе и в Западном Казахстане.

В 1940 г. в университете была организована третья кафедра зоологической направленности – ихтиологии и гидробиологии – во главе с профессором Александром Васильевичем Морозовым. В течение многих лет кафедра под руководством А. В. Морозова занималась разработкой методов



изучения роста рыб, исследовалась биология судака, экология и систематика сельди-черноспинки. В ходе работы над темой «Биологические основы реконструкции ихтиофауны р. Волги в пределах Сталинградского водохранилища» изучалось состояние ихтиофауны и рыболовства будущего водохранилища (от г. Куйбышева до Сталинграда).

В годы Великой Отечественной войны кафедра под руководством А. В. Морозова продолжала работу в Саратове в тяжелых условиях прифронтового города. Занятия в университете продолжались нередко в нетопленных помещениях и без освещения. Александр Васильевич создал на кафедре аквариальную лабораторию и приобрел оборудование для экспедиционных работ, в том числе две моторные лодки-гулянки, которые использовались для научных и учебных целей до 2003 г. За время пребывания в университете профессор А. В. Морозов читал курсы «Общая гидробиология», «Общая ихтиология», «Рыбы и рыбный промысел в СССР» «Биометрия», проводил специальные семинары и практикумы. А. В. Морозов является крупным ученым в области гидробиологии и ихтиологии, одним из немногих в то время в Союзе владеющим в совершенстве вариационно-статистическим методом. В 1955 г. произошло слияние этой кафедры с кафедрой зоологии беспозвоночных, которую А. В. Морозов возглавлял до 1962 г.

С 1962 по 1972 г. кафедрой зоологии беспозвоночных руководил профессор Александр Степанович Константинов. В эти годы в структурном подразделении окончательно утверждается гидробиологическое направление; с 1970 г. периодически выпускаются «Труды комплексной экспедиции Саратовского университета по изучению Волгоградского и Саратовского водохранилищ»; в 1977 г. издается коллективная монография «Волгоградское водохранилище: население, биологическое продуцирование и самоочищение». Профессором А. С. Константиновым издается учебник «Общая гидробиология» (в 1969 г. первое издание, в 1972 г. – второе).

В 1972–1974 гг. кафедрой зоологии беспозвоночных заведовал доцент Виктор Порфирьевич Денисов, с 1975 по 1980 г. – доцент Галина Васильевна Ипатьева, а в 1980 г. кафедру возглавил доцент Геннадий Викторович Шляхтин. В эти годы продолжались исследования по важнейшим темам, включенным в координационный план НИР АН СССР: «Закономерности развития продукционных процессов в пресноводных водоемах в условиях сельскохозяйственного и промышленного воздействия», «Изучение связи между жизнедеятельностью гидробионтов и

качеством воды», «Основные закономерности биологического круговорота и продуктивности водных экосистем», а также «Изучение структуры зооценозов Волгоградского водохранилища с целью их рационального использования». По результатам проведенных исследований издаются два выпуска сборника – «Экология и охрана природы в Нижнем Поволжье» и «Структура сообществ и природные связи в мелководной зоне Волгоградского водохранилища».

Обе зоологические кафедры – беспозвоночных и позвоночных животных – развивались параллельно при тесном взаимодействии одна с другой. Кафедру зоологии позвоночных в 1935 г. возглавил Борис Константинович Фенюк, руководивший ею до 1944 г. За это время он приложил немало усилий для пополнения экспозиции Зоологического музея экспонатами региональной фауны. Им было опубликовано 86 научных работ, посвященных главным образом экологии грызунов. Ряд публикаций был связан с оценкой влияния хозяйственной деятельности человека на численность мышевидных грызунов и сусликов. В 1951 г. Б. К. Фенюк стал лауреатом Сталинской премии третьей степени. Часть денежной премии он передал своей супруге – директору университетской библиотеки Вере Александровне Артисевич на строительство Научной библиотеки университета. Его работа «Перспективы борьбы с чумой в будущем» (1968) вышла отдельной книгой на английском языке, изданной Всемирной организацией здравоохранения. Б. К. Фенюк свободно владел немецким языком, разговаривал на нем и переводил, хорошо знал латынь, широко использовал литературу на английском и французском языках.

В 1944 г., после работы в Баку, В. С. Елпатьевский вновь вернулся в Саратовский университет, где принял заведование кафедрой зоологии позвоночных. Исследовательскую работу кафедры он направил на изучение фауны Саратовской области, а позднее – фауны ползающих лесонасаждений и углубленное изучение экологии грызунов – вредителей лесного и сельского хозяйства. Всегда живо откликаясь на все новое и прогрессивное в науке, Владимир Сергеевич в свои последние годы интересовался развитием биофизики и отдавал много сил новому для университета делу – подготовке на биологическом факультете аспирантов-биофизиков.

С 1957 г. после смерти профессора В. С. Елпатьевского заведующим кафедрой зоологии позвоночных была избрана доцент Нина Ивановна Ларина, которая в 1962 г. защитила диссертацию на соискание ученой степени доктора биоло-



гических наук по межвидовой гибридизации близкородственных мышей. Под ее руководством коллективом кафедры был проведен глубокий экологический и зоогеографический анализ фауны птиц и млекопитающих Саратовской, Пензенской и Ульяновской областей и при этом даны практические рекомендации, связанные с использованием промысловых животных, охраной полезных и ограничением распространения и численности вредных млекопитающих. С 1974 г. на кафедре зоологии позвоночных началась работа по изучению акустических сигналов грызунов – сусликов и их гибридов, сурков (доцент С. Н. Семихатова). Эти исследования внесли существенный вклад в малоизученную область биоакустики – сигнализацию грызунов открытых пространств. С 1975 г. на кафедре начались исследования по эволюции и кариосистематике млекопитающих (доцент А. Н. Белянин).

С 1981 по 1985 г. кафедра зоологии позвоночных вела научно-исследовательскую работу по координационному плану АН СССР по проблеме биологических основ освоения, реконструкции и охраны животного мира. Особое внимание уделялось разработке методов контроля, прогнозирования и охраны водных и наземных биологических систем Саратовского Заволжья в условиях орошения. С 1986 г. кафедра зоологии позвоночных приступила к работе над темой «Комплексное изучение функционирования надорганизменных биологических систем в околородных экосистемах при антропогенном воздействии». Проводилось изучение популяций млекопитающих и птиц в островных экосистемах верхней зоны Волгоградского водохранилища; началась работа по изучению редких и исчезающих видов позвоночных животных Саратовской области.

Современные зоологи университета преклоняются перед своими предшественниками за высочайший профессионализм и энтузиазм в работе заведующих зоологическими кафедрами и их сотрудников, их стойкостью в перенесении различных невзгод и неудобств, за нестареющие основы методов зоологического образования студентов. Особую благодарность необходимо выразить заведующим зоологическими кафедрами и их сотрудникам за созданный уникальный в Поволжье университетский Зоологический музей, за титанический труд по сохранению его коллекций, которые трижды «переезжали» в новые помещения (в 1917 г. из старого здания университета на ул. Радищева в новый 2-й корпус СГУ, в 1931 г. в школу № 12 и в 1953 г. в 5-й корпус СГУ).

Современный период: кафедра морфологии и экологии животных (с 1988 г. по настоящее время)

В 1988 г. кафедры зоологии позвоночных и зоологии беспозвоночных были объединены в одну – кафедру морфологии и экологии животных. Заведующим кафедрой становится профессор Г. В. Шляхтин. Научные направления сотрудников бывших кафедр сохраняются, но объединяются в две общие кафедральные темы:

1. Изучение фауны Саратовской области и сопредельных территорий. Выявление редких и исчезающих видов беспозвоночных и позвоночных животных и разработка рекомендаций по их сохранению.

2. Исследование воздействия природных и антропогенных факторов на биологические системы разного уровня организации – организменного, популяционно-видового, экосистемного. В исследованиях по этим темам принимают участие все сотрудники, аспиранты и специализирующиеся на кафедре студенты.

В 1988–1990 гг. на кафедре был создан известный в стране крупный научный коллектив по изучению фауны беспозвоночных и позвоночных животных севера Нижнего Поволжья и воздействия природных и антропогенных факторов на биологические системы разного уровня организации. Сотрудники и студенты обновленной кафедры проводили широкомасштабные исследования по экологическому состоянию Волгоградского водохранилища, разрабатывали стратегию стабилизации островных и экотонных систем р. Волги и малых рек; большое внимание уделяется решению экологических проблем Волжского бассейна (Н. И. Ларина, Г. В. Шляхтин, А. Н. Белянин, Е. В. Каширская, Г. П. Кондратьев, А. В. Беляченко).

С 1989 г. кафедра работала по теме «Оценка, учет и прогнозирование животных ресурсов Нижнего Поволжья». Координирующим и перспективным центром такой работы стала созданная при кафедре научно-исследовательская лаборатория экологического кадастра. Были разработаны принципы ведения экологического кадастра наземных позвоночных, проведено экспедиционное исследование фауны наземных позвоночных в Правобережье и Левобережье Саратовской области (Г. В. Шляхтин, С. Н. Семихатова, А. Н. Белянин). Были также разработаны и переданы в Саратовский областной комитет по охране природы рекомендации по увеличению численности и сохранению генофонда дрофы, стерха и журавля-красавки. (Г. В. Шляхтин, А. Н. Белянин, М. Л. Опарин).



В 1989–2003 гг. по заданию Министерства обороны РФ на кафедре впервые в мире началось исследование влияния особо опасных токсических веществ на природные биологические объекты и их ответных реакций на воздействие отравляющих веществ (ОВ). Подобные исследования до этого были проведены только для некоторых видов лабораторных животных. Научно-исследовательская работа проводилась в 50-километровой зоне вокруг предполагаемого строительства объекта по уничтожению химического оружия (УХО) в пгт. Горный, где расположено хранилище ОВ кожно-нарывного действия. На данной территории было проведено изучение стартового состояния экосистем и их компонентов. По результатам этой работы был составлен экологический паспорт, в котором дана детальная характеристика почв, воды, воздуха, растительного и животного мира и отражены тенденции их естественного развития. Было установлено, что существенный вклад в экологическую обстановку данной территории вносит «антропогенный груз» прошлого антропогенного воздействия, особенно ощутимый для окрестностей пгт. Горный.

Было выявлено превышение ПДК по некоторым приоритетным загрязнителям (сере, хлорид-ионам, пестицидам, оксиду углерода и др.) за исключением мышьяка (основного компонента люизита). Изучение фонового состояния фито- и зооценоза в зоне вокруг пгт. Горный позволило установить, что в настоящее время происходит быстрая локальная смена природных комплексов, вызванная антропогенными факторами. Здесь практически не встречаются ненарушенные степные участки. На их месте сформировался новый техногенный ландшафт, особенностью которого является уменьшение видового состава зооценоза. Например, в результате многочисленных и разнообразных антропогенных нарушений здесь исчезло 40% видов позвоночных животных из ранее отмечаемых в данном районе.

Важнейшим этапом в обеспечении экологической безопасности вокруг пгт. Горный явились задача организовать 12 стационарных пунктов экологического мониторинга и экспериментальное лабораторное моделирование воздействия ОВ и продуктов их переработки на животных. Была выполнена серия токсикологических опытов с водными и наземными животными разных систематических групп, отловленных в природных местах их обитания: были отобраны виды с разным типом дыхания, отличающиеся размерами тела и степенью проницаемости покровов, имеющие различные поведенческие реакции, входящие в состав различных экосистем и занимающие

специфические места обитания. Испытания проводили в условиях, максимально приближенных к естественным. Животные подвергались воздействию люизита в концентрации, которая может возникнуть при нарушениях технологического процесса терминала по уничтожению ОВ, в том числе при аварийных ситуациях [5, 6]. В 1992–1993 гг. проводилась космическая съемка модельных участков, подвергающихся воздействию отравляющих веществ, а на основании спектрального анализа были разработаны критерии выявления особо патогенных территорий.

В 1994–1996 гг. на конкурсной основе было получено два всероссийских гранта по программе «Университеты России»: «Мониторинг и биоиндикация токсических веществ в водных и наземных экосистемах мест хранения и уничтожения химического оружия» и «Пространственно-временная динамика экотонных систем “вода – суша” в условиях антропогенного воздействия». В 1996–1997 гг. профессор Г. В. Шляхтин и доцент А. В. Беляченко выиграли грант Госкомвуза по программе «Фундаментальные проблемы окружающей среды и экологии человека» «Прогноз изменения при строительстве и функционировании объектов по уничтожению химического оружия (на примере пгт. Горный Саратовской области)».

В 1990–2010-х гг. гидробиологические исследования на кафедре были связаны с разработкой методов экологического оздоровления и способов активации процессов естественного самоочищения вод малых рек Саратовской области (Е. В. Каширская, Ю. В. Малинина). Разрабатывались методы интегральной оценки качества воды на основе биотестирования и биоиндикации, изучалась экологическая структура маргинальных участков речного биоценоза, пространственно-временная организация сообществ микрозообентоса, популяций амфибий, птиц и млекопитающих (Г. В. Шляхтин, Е. В. Каширская, В. В. Потапов, Г. П. Кондратьев, А. В. Беляченко, М. В. Ермохин, Н. Н. Якушев, Ю. В. Малинина). Изучение млекопитающих на кафедре проводилось по нескольким направлениям – исследовались особенности микроэволюции в изолированных популяциях грызунов (А. В. Беляченко, Г. В. Шляхтин), адаптивные особенности млекопитающих в условиях антропогенного воздействия (С. Н. Семихатова), их кариосистематика и филогения (А. Н. Белянин, К. А. Сонин).

Орнитологическое направление в эти годы было связано с изучением орнитокомплексов различных ландшафтов, редких и исчезающих видов птиц Саратовской области (Л. А. Лебедева,



Е. В. Завьялов, Е. Ю. Мосолова, А. В. Беляченко, Е. И. Саранцева, В. В. Пискунов, Т. Н. Давиденко, Н. Н. Якушев, Ю. Ю. Лобачев). Изучались птицы урбанизированных ландшафтов (Е. В. Завьялов, В. Г. Табачишин, Г. В. Шляхтин). В результате проведенных орнитологических исследований опубликованы учебно-методические пособие «Фауна птиц Саратовской области» [7], монографии «Фауна птиц урбанизированных ландшафтов» [8] и «Птицы Саратова: состав, охрана и экологическое значение» [9].

В 1997–1998 гг. сотрудники и студенты участвовали в исследованиях по проекту региональной научно-технической программы «Перспективные подходы к решению проблем экологической безопасности Нижнего Поволжья в связи с разработкой и эксплуатацией нефтегазовых месторождений с высоким содержанием сероводорода». В 1997–1998 гг. было проведено экспедиционное исследование состояния биоты в районах электромагнитного воздействия. С 1996 г. по настоящее время проводится экспедиционное исследование по выделению ключевых орнитологических территорий Саратовской области (доцент А. В. Беляченко).

В 1995–1996 гг. коллектив кафедры активно работал над первым изданием Красной книги Саратовской области [10]. В результате многочисленных экспедиционных исследований сотрудниками кафедры были выявлены 155 редких и исчезающих видов животных и разработана стратегия их охраны. 2006 г. ознаменовался выходом в свет дополненного и переработанного второго издания Красной книги Саратовской области [11], на страницах которого приведены категория и статус охраны, описания, сведения о распространении и местообитании, лимитирующих факторах, принятых и необходимых мерах по охране 235 видов животных. Сведения о распространении редких и исчезающих таксонов представлены в виде картосхем, построенных на основе международной системы UTM (проекция Меркатора). В настоящее время под научным руководством Г. В. Шляхтина готовится 3-е издание региональной Красной книги, в котором будут помещены очерки о 246 редких и исчезающих видах представителей фауны Саратовской области.

Сотрудники кафедры активно участвуют в разработке международных биологических программ. Полученные профессором Е. В. Завьяловым и его учениками материалы использовались при подготовке немецкого многотомного орнитологического издания «Beiträge zur Naturkunde Niedersachsens» и реализации немецко-голланд-

ского проекта по подготовке к изданию определителя птиц по перьям «Tracks and signs to the Birds of Britain and Europe».

В 1996 г. доцент А. В. Беляченко выиграл грант правительства Нидерландов по программе Bird Life International «Ключевые орнитологические территории». В 1996–1997 гг. коллектив кафедры во главе с профессором Г. В. Шляхтиным выиграл грант Европейского фонда образования по программе трансевропейского сотрудничества в области высшего образования Tempus Tacis, целью которого являлось развитие и внедрение единой междисциплинарной образовательной программы подготовки специалистов в области охраны окружающей среды. По этой программе профессор Г. В. Шляхтин, доценты В. В. Аникин, Е. В. Завьялов в 1997 г. прошли стажировку в Великобритании (Солфордский университет), профессор Г. В. Шляхтин и доцент В. В. Аникин в Голландии (Маастрихтский институт здоровья) и Швеции (Линкопинский университет). В 1997 г. доцент А. В. Беляченко участвовал в российско-американской программе «Экологическое образование – шаг в будущее» и прошел стажировку в США.

В 2011 г. прошла стажировка профессоров факультета Г. В. Шляхтина и В. В. Аникина в Канаде в Институте биоразнообразия штата Онтарио. В ходе стажировки также были проведены консультации с директором Института биоразнообразия Полом Гербертом о тесном сотрудничестве в области изучения генетического разнообразия растений и животных мира. В этом же году в период командировки Г. В. Шляхтина в Колорадский университет устанавливаются тесные связи в области изучения живых биологических систем.

Ежегодно сотрудники кафедры, аспиранты и студенты публикуют от 70 до 100 научных работ. Например, за последние 10 лет было опубликовано 847 работ, в том числе 21 монография, 16 учебно-методических пособий, 170 статей в журналах из перечня ВАК РФ. Всего за время существования кафедры морфологии и экологии животных было опубликовано 33 монографии и 42 учебно-методических пособия, 3 из которых с грифом Минвуза РФ и 8 – с грифом УМО. В 2008 г. победителем областного конкурса «Лучшие книги 2007 года» в номинации «Научная и научно-популярная литература» дипломом 1-й степени была награждена коллективная монография в пяти книгах «Птицы севера Нижнего Поволжья» (авторы Е. В. Завьялов, Г. В. Шляхтин и др.) [12–16]. Важным достижением кафедры явились публикация 2-го издания «Энциклопедии



Саратовского края» [17, 18], в котором раздел «Биология» был написан учеными кафедры и факультета, а также активное участие в уникальных изданиях «Особо охраняемые природные территории Саратовской области» [19] и «Учебно-краеведческий атлас Саратовской области» [20].

Важным событием в жизни кафедры является непосредственное участие в создании журналов, включенных в перечень ВАК РФ. В 2006 г. при непосредственном участии кафедры совместно с Институтом проблем эволюции и экологии РАН был основан «Поволжский экологический журнал» (зам. главного редактора Г. В. Шляхтин). К достоинствам этого журнала следует отнести то, что с 2011 г. его избранные статьи стали переводятся в США на английский язык. В 2007 г. совместно с Зоологическим институтом РАН организован журнал «Современная герпетология» (зам. главного редактора Г. В. Шляхтин). Это единственный в России журнал, посвященный амфибиям и рептилиям. Кроме этих журналов на кафедре ежегодно издается периодический сборник научных работ «Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье» под редакцией докторов биологических наук В. В. Аникина и Н. В. Попова.

Кафедра была инициатором и организатором проведения более чем 20 республиканских с международным участием и региональных научных конференций и симпозиумов, в том числе региональной конференции «Экологические проблемы Волги» (1989); 2-й Всероссийской конференции «Влияние антропогенных факторов на структурные преобразования органов, тканей, клеток человека и животных» (1993), научно-технической конференции «Проблемы экологической безопасности Нижнего Поволжья в связи с разработкой и эксплуатацией нефтегазовых месторождений с высоким содержанием сероводорода» (1996), научно-практической конференции «Электромагнитная безопасность. Проблемы и пути решения» (2000), международного совещания «Биоресурсы и биоразнообразие экосистем Поволжья: прошлое, настоящее, будущее» (2005), 1-, 2- и 3-й Международных научных конференций «Проблемы изучения краевых структур биоценозов» (1997, 2008, 2012).

Важным направлением в работе кафедры является подготовка высококвалифицированных специалистов – докторов и кандидатов наук. За годы существования кафедры сотрудниками было защищено 2 докторские В. В. Аникиным (2002) и Е. В. Завьяловым (2005), а также 9 кандидатских диссертаций (доценты А. В. Беляченко, М. В. Ермохин, М. Ю. Воронин, Е. Ю. Мосолова,

Т. В. Перевозникова, Е. Ю. Мельников, В. Г. Табачишин, А. Ю. Филипьев, Н. Н. Якушев). Всего под руководством сотрудников кафедры было защищено 9 докторских и 49 кандидатских диссертаций. Под руководством профессора Г. В. Шляхтина на кафедре подготовлено и защищено 9 диссертаций на соискание ученой степени доктора биологических наук (О. В. Игнатов (2000), В. В. Аникин (2002), С. А. Коннова (2003), И. В. Батлуцкая (2004), Е. В. Завьялов (2005), О. И. Тихомирова (2005), В. А. Шашуловский (2006), Е. Е. Морозова (2008), А. В. Емельянов (2013)) и 32 кандидатские диссертации. Профессор Е. В. Завьялов был руководителем 3 кандидатских диссертаций, профессор В. В. Аникин – 7, доцент А. В. Беляченко – 4, доцент М. В. Ермохин – 3.

Преподаватели кафедры обеспечивают на биологическом факультете большее число общих курсов: «Зоология беспозвоночных» (В. В. Аникин, М. В. Ермохин), «Зоология позвоночных» (А. В. Беляченко), «Гистология» (Т. В. Перевозникова), «Биология человека» (Т. В. Перевозникова), «Биология размножения и развития» (В. В. Аникин), «Общая экология» (М. Ю. Воронин), «Учение о биосфере» (М. В. Ермохин). Разнообразен и спектр специальных курсов и практикумов, отражающих современный уровень биологических исследований: «Стратегия и тактика сохранения биоразнообразия» (В. В. Аникин), «Основы изучения и сохранения биоразнообразия» (Г. В. Шляхтин), «Современные проблемы биоценологии» (А. В. Беляченко), «Основные типы наземных и водных экосистем» (М. В. Ермохин, Е. Ю. Мельников), «Динамика и устойчивость экосистем» (Е. Ю. Мосолова), «Межвидовые отношения в экосистемах» (А. В. Беляченко, Е. Ю. Мельников), «Популяционная экология» (Г. В. Шляхтин), «Индикаторы устойчивого развития экосистем» (М. В. Ермохин, Е. Ю. Мосолова), «Адаптогенез трансформированных экосистем» (М. Ю. Воронин, Е. Ю. Мосолова), «Проблемы современной биологии» (А. В. Беляченко). Читаются также общие курсы на психологическом («Анатомия и эволюция нервной системы» – А. В. Беляченко), географическом («Учение о биосфере» – М. В. Ермохин, «Биоразнообразие» – Е. Ю. Мельников, «Биогеография» – Е. Ю. Мельников), историческом («Естественно-научные методы в туризме» – Е. Ю. Мельников) факультетах. Каждый год на кафедре специализируются 10–12 бакалавров и магистров дневного отделения биологического факультета, а также 5–6 студентов педагогического отделения. За время своего существования кафедра выпустила свыше 600 специалистов.



На протяжении всех лет существования кафедры большое внимание уделялось организации выездной учебно-полевой практики по зоологии. Практику по зоологии позвоночных на протяжении многих лет организовывала доцент С. Н. Семихатова на р. Медведица в Лысогорском районе в окрестностях с. Новые Пески. До 1995 г. основным местом практики являлся один из волжских островов в районе с. Шумейка. Здесь проходили практику по зоологии беспозвоночных и зоологии позвоночных студенты дневного, вечернего и заочного отделений. В 1995 г. в качестве стационара было арендовано «заброшенное» здание земской больницы с. Дьяковка Краснокутского района, расположенной на берегу р. Еруслан в Дьяковском лесу. На этой базе могли проходить практику не более 25–30 студентов. В настоящее время кафедра располагает двумя стационарами для проведения полевой практики – в Хвалынском национальном парке и в спортивно-оздоровительном лагере СГУ на острове Чардым. Ежегодно на данных базах проходят учебно-полевую и производственную практику 50–60 студентов. Кроме того, ежегодно организуется практика в виде экспедиций на волжские острова, в долины рек Медведицы, Хопра, Терешки, Иргиза, Еруслана, в заволжские степи, природный парк «Кумысная поляна», в окрестностях г. Саратова. В результате полевых сборов во время практики ежегодно пополняются научные и учебные фонды Зоологического музея СГУ, включенного в 2011 г. в Реестр зоологических коллекций мира (Biodiversity Collection Index). Руководителями практики являются профессор В. В. Аникин, доценты А. В. Беляченко, М. В. Ермохин, Е. Ю. Мельников, Т. В. Перевозникова, М. Ю. Воронин.

Кафедра поддерживает многолетние творческие связи с МГУ, Институтом проблем эволюции и экологии РАН, Зоологическим институтом РАН, Институтом экологии Волжского бассейна РАН, Институтом экологии растений и животных УО РАН, Московским, Санкт-Петербургским, Казанским, Мордовским, Самарским, Тамбовским, Пензенским, Астраханским, Калмыцким, Кубанским, Ульяновским и другими научными и учебными центрами страны и зарубежными коллективами (Германия, Канада, Абхазия, Англия и др.).

За последние годы сотрудники кафедры получили различные награды и почетные звания. В 2002 г. профессору Г. В. Шляхтину было присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки Российской Федерации» (Указ Президента Российской Федерации В. В. Путина от 29.07.2002 г.); этом же году он был избран действительным членом Российской академии есте-

ственных наук. Звание Соросовского профессора получил Г. В. Шляхтин, Соросовского доцента – Е. В. Завьялов и В. В. Аникин, Соросовского аспиранта – Ю. А. Малинина и Н. Н. Якушев, Соросовского студента – А. А. Лобанов, О. В. Синичкина, Ю. Ю. Лобачев. Г. В. Шляхтин в 2001 г. награжден Золотой медалью Американского библиографического института как выдающийся ученый мира. В 2007 г. решением Ученого совета СГУ за большие заслуги в развитии научных исследований и вузовского образования Г. В. Шляхтину присвоено почетное звание «Почетный профессор Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского»; в 2013 г. он был избран почетным доктором Института экологии Волжского бассейна РАН. В 2007 г. Российской академией естествознания ему присвоено почетное звание «Заслуженный деятель науки и образования». В 2010 г. награжден орденом Дружбы (Указ Президента Российской Федерации Д. А. Медведева от 22 января 2010 г.); в 2011 г. избран членом-корреспондентом Российской академии естествознания. Профессора кафедры Г. В. Шляхтин (2018) и В. В. Аникин (2016) стали лауреатами премии «Высота». Все сотрудники кафедры в разное время награждались почетными грамотами и отмечались благодарностями губернатора области, Министерства природных ресурсов и экологии, Министерства образования Саратовской области.

Современный этап в развитии научных направлений кафедры связан с изучением влияния глобального изменения климата и его последствий на природные экосистемы и их составляющие комплексы, так как на рубеже веков эта проблема для человечества и всего живого на планете стала особенно актуальной. Коллектив кафедры начал исследовать генезис и основные направления антропогенной трансформации биоразнообразия природных комплексов Нижнего Поволжья в условиях глобального изменения климата. Продолжается исследование миграции соколообразных, голубеобразных, совообразных и ракшеобразных птиц Саратовской области на основе анализа данных кольцевания и визуальных наблюдений; ведется работа по ревизии таксономического статуса насекомых, амфибий, пресмыкающихся, птиц и млекопитающих Саратовской области и Нижнего Поволжья. Проводится количественное исследование роли гетеротопных, околородных и амфибиотических животных в формировании потоков вещества и энергии между водными и наземными экосистемами в долине р. Медведицы; изучаются фауногенез и зоогеография насекомых в Палеарктике; проводится молекулярно-генетическое исследование ДНК животных.



В настоящее время штат кафедры включает двух докторов биологических наук, профессоров (Г. В. Шляхтин, В. В. Аникин), 6 доцентов (А. В. Беляченко, М. В. Ермохин, Т. В. Первозникова, М. Ю. Воронин, Е. В. Мельников, Е. Ю. Мосолова). На кафедре обучаются 4 аспиранта; учебно-вспомогательный персонал составляет 5 штатных единиц.

Список литературы

1. Саратовский государственный университет имени Чернышевского : сборник материалов по истории СГУ и его кафедр. Саратов : Кр. печатник, 1935. 83 с.
2. Аврус А. И., Гапоненков А. А., Данилов В. Н. История Саратовского университета. 1909–2009 : в 2 т. Т. 1. 1909–1945. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. 296 с.
3. Мякишев А. П. История Саратовского университета. 1909–2009 : в 2 т. Т. 2. 1945–2009. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. 348 с.
4. Артисевич В. А. Одинаковых судеб не бывает. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. 240 с.
5. Шляхтин Г. В., Корякин Ю. Н., Хохоев Т. Х., Рембовский В. Р., Аникин В. В., Завьялов Е. В., Рябова Т. П., Туровцев В. Д., Кудрич Л. А. Методическое обеспечение комплекса исследований по воздействию кожно-нарывных отравляющих веществ на биоту // Рос. хим. журн. 1995. Т. 39, № 4. С. 107–111.
6. Шляхтин Г. В., Холстов В. И., Чернова Р. К., Климентьев Ю. А., Лисовой В. А., Рябова Т. П., Завьялов Е. В., Аникин В. В. Модель экологического прогноза экосистем в районах хранения и уничтожения химического оружия // Рос. хим. журн. 1995. Т. 39, № 4. С. 111–113.
7. Завьялов Е. В., Шляхтин Г. В., Капранова Т. А., Лобанов А. В., Табачишин В. Г. Фауна птиц Саратовской области : Отр. Воробьинообразные – Passeriformes (Сем. Славковые – Sylviidae, Мухоловковые – Muscicapidae). Саратов : Изд-во ГосУНЦ «Колледж», 1996. 182 с.
8. Шляхтин Г. В., Завьялов Е. В., Табачишин В. Г. Птицы Саратова и его окрестностей : состав, охрана и экологическое значение. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1999. 123 с.
9. Табачишин В. Г., Завьялов Е. В., Шляхтин Г. В., Макаров В. З. Фауна птиц урбанизированных ландшафтов. Черновцы : Б. и., 1997. 152 с.
10. Красная книга Саратовской области : Растения, грибы, лишайники. Животные. Саратов : Детская книга, 1996. 264 с.
11. Красная книга Саратовской области : Грибы. Лишайники. Растения. Животные. 2-е изд. Саратов : Изд-во Торг.-пром. палаты Саратов. обл., 2006. 528 с.
12. Завьялов Е. В., Шляхтин Г. В., Табачишин В. Г., Якушев Н. Н., Хрустов И. А. Птицы севера Нижнего Поволжья. Кн. 1. История изучения, общая характеристика и состав орнитофауны. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2005. 294 с.
13. Завьялов Е. В., Шляхтин Г. В., Табачишин В. Г., Якушев Н. Н., Хрустов И. А., Мосолова Е. Ю. Птицы севера Нижнего Поволжья. Кн. 2. Состав орнитофауны. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2005. 320 с.
14. Завьялов Е. В., Шляхтин Г. В., Табачишин В. Г., Якушев Н. Н., Мосолова Е. Ю., Угольников К. В. Птицы севера Нижнего Поволжья. Кн. 3. Состав орнитофауны. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2007. 328 с.
15. Завьялов Е. В., Шляхтин Г. В., Табачишин В. Г., Якушев Н. Н., Мосолова Е. Ю., Угольников К. В. Птицы севера Нижнего Поволжья. Кн. 4. Состав орнитофауны. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2009. 248 с.
16. Завьялов Е. В., Мосолова Е. Ю., Табачишин В. Г., Шляхтин Г. В., Якушев Н. Н. Птицы севера Нижнего Поволжья. Кн. 5. Состав орнитофауны. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. 360 с.
17. Энциклопедия Саратовского края (в очерках, событиях, фактах, именах). Саратов : Приволж. изд-во, 2002. 687 с.
18. Энциклопедия Саратовского края (в очерках, событиях, фактах, именах). 2-е изд., перераб. Саратов : Приволж. изд-во, 2011. 444 с.
19. Особо охраняемые природные территории Саратовской области. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. 300 с.
20. 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.: ил.

Образец для цитирования:

Шляхтин Г. В. 110 лет зоологической кафедре Саратовского государственного университета // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 229–241. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-229-241>

110 years of Zoological Department of Saratov State University

G. V. Shlyakhtin

Gennady V. Shlyakhtin, <https://orcid.org/0000-0002-6005-5340>, Saratov State University, 83 Astrahanskaya St., Saratov 410012, Russia, genvic41@mail.ru

The paper shows the history of formation and development of Zoological departments of the Saratov State University – from

the creation of the first Department of Zoology at the opening of the University in 1909 to the modern period. The role of the heads of department and their employees in the formation of the educational and scientific process, providing the departments with the necessary equipment and establishing of the Zoological Museum is considered in historical aspect. The results of scientific and educational activity of the modern department of animal morphology and ecology are reported.

Keywords: Department of Zoology, history, modern period, Saratov State University.



References

1. *Saratovskiy gosudarstvennyy universitet imeni Chernyshevskogo: sbornik materialov po istorii SGU i ego kafedr* [Saratov State University named after Chernyshevsky: Collection of materials on the history of SSU and its department]. Saratov, Krasnyy Pechatnik Publ., 1953. 83 p. (in Russian).
2. Avrus A. I., Gaponenkov A. A., Danilov V. N. *Istoriya Saratovskogo universiteta. 1909–2009: v 2 t. T. 1. 1909–1945* [History of Saratov University. 1909–1945. In 2 vols. Vol. 1]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2009. 296 p. (in Russian).
3. Myakshev A. P. *Istoriya Saratovskogo universiteta. 1909–2009: v 2 t. T. 2. 1945–2009* [History of Saratov University. 1909–2009. In 2 vols. Vol. 2]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2009. 348 p. (in Russian).
4. Artisevich V. A. *Odinakovyh sudeb ne byvaet* [The same destiny does not happen]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2009. 240 p. (in Russian).
5. Shlyakhtin G. V., Koryakin Yu. N., Khokhlov T. Kh., Rembovsky V. R., Anikin V. V., Zavyalov E. V., Ryabova T. P., Turovtsev V. D., Kudrich L. A. Metodicheskoe obespechenie kompleksa issledovaniy po vozdeystviyu kozhno-naryvnykh otravlyayuschikh veschestv na biotu [Methodological support of a complex of studies on the effects of bio-blistering toxic substances on biota]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian Chemical Journal], 1995, vol. 39, no. 4, pp. 107–111 (in Russian).
6. Shlyakhtin G. V., Kholstov V. I., Chernova R. K., Kliment'ev Yu. A., Lisovoy V. A., Ryabova T. P., Zavyalov E. V., Anikin V. V. Model' ekologicheskogo prognoza ekosistem v rajonah hraneniya i unichtozheniya himicheskogo oruzhiya [Model of ecological forecast of ecosystems in the areas of storage and destruction of chemical weapons]. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal* [Russian Chemical Journal], 1995, vol. 39, no. 4, pp. 111–113 (in Russian).
7. Zavyalov E. V., Shlyakhtin G. V., Kapranova T. A., Lobanov A. V., Tabachishin V. G. *Fauna ptits Saratovskoy oblasti: Otryad Vorob'inoobraznye – Passeriformes (Semeystvo – Slavkovye, Muholovkovye)* [Fauna of birds of the Saratov region: Passeriformes (Sylviidae, Muscicapidae)]. Saratov, Kolledzh Publ., 1996. 182 p. (in Russian).
8. Shlyakhtin G. V., Zavyalov E. V., Tabachishin V. G. *Ptitsy Saratova i ego okrestnostey: sostav, ohrana i ekologicheskoe znachenie* [Birds of Saratov and its surroundings: composition, protection and environmental significance]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 1999. 123 p. (in Russian).
9. Tabachishin V. G., Zavyalov E. V., Shlyakhtin G. V., Makarov V. Z. *Fauna ptits urbanizirovannykh landshaftov* [The fauna of birds of urbanized landscapes]. Chernivtsi, 1997. 152 p. (in Russian).
10. *Krasnaya kniga Saratovskoy oblasti: Rasteniya, griby, lishayniki. Zhivotnye* [The Red Book of the Saratov Region: Plants, fungi, lichens. Animals]. Komitet okhrany okruzhayushey sredy i prirod. resursov Saratov. obl. Saratov, Detskaya kniga Publ., 1996. 264 p. (in Russian).
11. *Krasnaya kniga Saratovskoy oblasti: Griby. Rasteniya. Lishayniki. Zhivotnye* [The Red Book of the Saratov Region: Plants, fungi, lichens. Animals]. Komitet okhrany okruzhayushey sredy i prirodopol'zovaniya Saratov. obl. Saratov, Izd-vo Torgovo-promyshlennoy palaty Saratov. obl., 2006. 528 p. (in Russian).
12. Zavyalov E. V., Shlyakhtin G. V., Tabachishin V. G., Yakushev N. N., Khrustov I. A. *Ptitsy severa Nizhnego Povolzh'ya. Kniga 1. Istoriya izucheniya, obshchaya kharakteristika i sostav ornitofauny* [Birds of the north of the Lower Volga. Book 1. The history of the study, general characteristics and composition of avifauna]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2005. 294 p. (in Russian).
13. Zavyalov E. V., Shlyakhtin G. V., Tabachishin V. G., Yakushev N. N., Khrustov I. A., Mosolova E. Yu. *Ptitsy severa Nizhnego Povolzh'ya. Kniga 2. Sostav ornitofauny* [Birds of the north of the Lower Volga. Book 2. Composition of avifauna]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2005. 320 p. (in Russian).
14. Zavyalov E. V., Shlyakhtin G. V., Tabachishin V. G., Yakushev N. N., Mosolova E. Yu., Ugolnikov K. V. *Ptitsy severa Nizhnego Povolzh'ya. Kniga 3. Sostav ornitofauny* [Birds of the north of the Lower Volga. Book 3. Composition of avifauna]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2007. 328 p. (in Russian).
15. Zavyalov E. V., Shlyakhtin G. V., Tabachishin V. G., Yakushev N. N., Mosolova E. Yu., Ugolnikov K. V. *Ptitsy severa Nizhnego Povolzh'ya. Kniga 4. Sostav ornitofauny* [Birds of the north of the Lower Volga. Book 4. Composition of avifauna]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2009. 248 p. (in Russian).
16. Zavyalov E. V., Mosolova E. Yu., Tabachishin V. G., Shlyakhtin G. V., Yakushev N. N. *Ptitsy severa Nizhnego Povolzh'ya. Kniga 5. Sostav ornitofauny* [Birds of the north of the Lower Volga. Book 5. Composition of avifauna]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2011. 360 p. (in Russian).
17. *Entsiklopediya Saratovskogo kraya (v ocherkakh, sobyitiyakh, faktakh, imenakh)* [Encyclopedia of the Saratov Territory (in essays, events, facts, names)]. Saratov, Privolzhskoe izdatel'stvo, 2002. 687 p. (in Russian).
18. *Entsiklopediya Saratovskogo kraya (v ocherkakh, sobyitiyakh, faktakh, imenakh)* [Encyclopedia of the Saratov Territory (in essays, events, facts, names)]. 2-e izd., pererab. Saratov, Privolzhskoe izdatel'stvo, 2002. 687 p. (in Russian).
19. *Osobo okhranyaemye prirodnye territorii Saratovskoy oblasti* [Specially Protected Natural Territories of the Saratov Region]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2008. 300 p. (in Russian).
20. *Uchebno-kraevedcheskiy atlas Saratovskoy oblasti* [Educational Atlas of the Saratov Region] / V. V. Anikin, E. V. Akif'eva, A. N. Afanas'eva [i dr.]; gl. red. A. N. Chumachenko, otv. red. V. Z. Makarov. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2013. 144 p. (in Russian).

Cite this article as:

Shlyakhtin G. V. 110 years of Zoological Department of Saratov State University. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 229–241 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-229-241>



УДК 58

110 лет ботанической кафедре Саратовского государственного университета

В. А. Болдырев

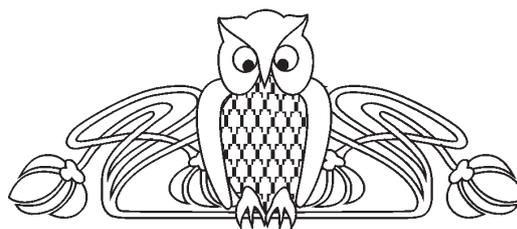
Болдырев Владимир Александрович, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники и экологии, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, boldyrev52@bk.ru

В статье приводятся сведения об истории ботанической кафедры, открытой одновременно с основанием Саратовского университета в 1909 году. Освещается роль заведующих кафедрой А. А. Гордягина, А. М. Левшина, Д. Е. Янишевского, А. Д. Фурсаева, Н. П. Авдулова, А. А. Чигуряевой, Т. П. Рябовой, А. О. Тарасова, В. А. Болдырева в становлении кафедры и развитии научных направлений. Освещены роль сотрудников кафедры в создании гербария СГУ (SARAT), а также его современное состояние и значение в научной и учебной работе кафедры. Охарактеризован современный штатный состав кафедры. Показаны главные научные достижения сотрудников кафедры в научной и учебной деятельности. Отражена роль сотрудников кафедры в подготовке специалистов высшей квалификации для Саратовского университета и других научных и учебных учреждений России. Представлены основные научные направления, развиваемые на кафедре: флористика, лишенология, гербарное дело, морфология и анатомия растений, экология растений, почвенные банки семян, охрана растений, популяции растений, фитоценология, охрана растительности, биологическое разнообразие, структура и функционирование наземных и водных экосистем, разработка интерактивных методов обучения.

Ключевые слова: ботаническая кафедра Саратовского университета, заведующие кафедрой, профессорско-преподавательский состав, гербарий СГУ (SARAT), научные направления.

DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-242-248>

Кафедра ботаники и экологии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского начиналась как кафедра ботаники, открытая одновременно с основанием университета в 1909 году. Поскольку для организации кафедры ботаники в Саратове тогда не было кадров, на должность заведующего из Казанского университета был приглашен Андрей Яковлевич Гордягин (1909–1914), будущий член-корреспондент АН СССР. Он и последующие заведующие кафедрой ботаники профессора Александр Михайлович Левшин (1914–1916), Дмитрий Ерастович Янишевский (1916–1931) во многом определили главную тенденцию в работе – изучение флоры и растительности юго-востока Европейской России – территории, где проходят границы лесостепной, степной и полупустынной природных зон.



Видное место в реализации этой главной тенденции принадлежит ученику А. Я. Гордягина профессору Д. Е. Янишевскому, возглавлявшему кафедру морфологии и систематики растений (новое название кафедры ботаники) как самостоятельную структурную единицу в 1923–1931 гг. Исследовательская работа Д. Е. Янишевского касалась вопросов изучения флоры и растительности Саратовской, Самарской и других областей. Им был собран богатый гербарий, описаны новые для науки виды растений, опубликованы работы по биологии многих представителей флоры юго-востока.

С 1931 по 1937 г. кафедрой заведовал Александр Дмитриевич Фурсаев. Весной 1937 г. кафедра была разделена на две – геоботаники (заведующий А. Д. Фурсаев) и морфологии и систематики растений (заведующий Николай Павлович Авдулов). Научные интересы последнего были связаны с разработкой кариологической систематики растений. Однако уже осенью того же года вновь произошло объединение этих кафедр в одну под прежним названием – морфологии и систематики растений. Заведовал ею до 1961 г. А. Д. Фурсаев. Он сосредоточил работу сотрудников кафедры на всестороннем изучении флоры и растительности юго-востока Европейской России с широким применением экологических, геоботанических и палинологических исследований. Особое внимание им было уделено изучению флоры и растительности пойм Нижней Волги и других рек юго-востока. Были установлены закономерности формирования растительных ассоциаций в связи с продолжительностью и интенсивностью пойменного процесса, составлена геоботаническая карта значительной части Волго-Ахтубинской поймы, открыты два новых эндемичных вида. Результаты исследования обобщены им в докторской диссертации «К познанию флоры и растительности долины Нижней Волги» в 1942 г. В период руководства кафедрой А. Д. Фурсаевым исследовались степи Саратовской области (А. О. Тарасов), донские степи (А. Д. Фурсаев, М. П. Кирсанов), растительность Прикаспийской низменности (И. И. Худяков), леса Саратовского Правобережья (А. Д. Фурсаев, К. Г. Ланина,



Л. А. Антонова, Т. Б. Протоклитова), реликтовый Дьяковский (Салтовский) лес (И. И. Худяков), искусственные и естественные лиманы (А. Д. Фурсаев, Н. Я. Хвалина, И. Б. Миловидова), пойменная растительность рек Волги, Урала, Хопра, Большого и Малого Иргиза, Большого и Малого Узенья и др., растительность эродированных территорий (Р. Д. Иванова). О. Н. Комирная проводила систематическое изучение грибной флоры Саратовской области. И. И. Худяков изучал вопрос об использовании растительного покрова как индикатора литологического состава и возраста горных пород, глубины залегания и химического состава грунтовых вод в аридных условиях.

Научные исследования сотрудников кафедр имели не только теоретическую, но и прикладную направленность. Так, А. Д. Фурсаев, Е. В. Беляков и В. В. Фофанов изучали содержание дубильных веществ в ивах, произрастающих в поймах р. Волги. Была исследована засоренность обрабатываемых территорий поймы р. Волги, обследованы пастбища Саратовского Правобережья и предложены мероприятия по их улучшению (А. О. Тарасов). Выявлена медоносная флора поймы р. Волги (А. Д. Фурсаев), изучены биологические и экологические особенности ценного кормового злака мятлика луковичного (А. К. Климова) и др.

В этот период особое место в научно-исследовательской работе кафедры занимало изучение развития растительного покрова юго-востока Европейской части России в третичном периоде. В ходе исследования ценный материал был получен методом споро-пыльцевого анализа, основателем которого в Саратовском университете была Анастасия Андреевна Чигуряева. Еще в довоенное время она применила этот метод для изучения толщ торфа, а в дальнейшем и более древних отложений. Пристальное внимание ею было обращено на изучение третичных отложений Южного Предуралья. Этот материал и стал предметом докторской диссертации А. А. Чигуряевой «Этапы развития растительности Южного Предуралья в третичном периоде на основании изучения спор и пыльцы», защищенной ею в 1951 г. Результаты этого исследования позволили достаточно четко расчленить третичный период по растительному покрову, установив непосредственную связь растительности этого периода с растительностью четвертичного периода.

В годы руководства кафедрой морфологии и систематики растений и палинологической лабораторией (1961–1986) А. А. Чигуряевой получило широкое развитие палинологическое направле-

ние, целью которого являются реконструкция флористических особенностей прошлых периодов существования разных территорий и выявление современной палинологической обстановки. В это же время были установлены тесные научно-производственные связи с Всесоюзным аэрогеологическим трестом, Сибирским НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Башкирским филиалом АН СССР и др. В этот период были выполнены и защищены кандидатские диссертации В. С. Дайковским, И. Г. Колосковой, Т. П. Рябовой, А. П. Забалуевым и др. Результаты этих исследований использованы для реконструкции флоры и растительности разных территорий, выяснения палеографической обстановки, определения возраста и стратиграфии горных пород. В 1971 г. доцент кафедры Александр Осипович Тарасов защитил докторскую диссертацию «Генезис флоры и зональной растительности Южного Заволжья» и в 1973 г. возглавил кафедру геоботаники и почвоведения, которая впоследствии была переименована в кафедру экологии.

В связи с острой необходимостью рационального использования растительных ресурсов и в целях предотвращения утраты генофонда на кафедре развернулась работа по инвентаризации флоры Саратовской области. Результаты этой работы – коллективные монографии «Конспект флоры Саратовской области», «Флора Саратовской области», книги «Растения Саратовской области, подлежащие охране», «Охраняемые растения Саратовской области» и многочисленные статьи. После объединения кафедр экологии (заведующий кафедрой доктор биологических наук, профессор А. О. Тарасов) и морфологии и систематики растений (заведующий кафедрой кандидат биологических наук, доцент Тамара Петровна Рябова) возникла новая кафедра экологии и систематики растений, руководители которой с 1986 по 1988 и с 1989 по 1998 г. Т. П. Рябова и с 1988 по 1889 г. А. О. Тарасов. В этот период сотрудники кафедры продолжали работу по инвентаризации флоры Саратовской области, изучению антропогенной трансформации флоры и исследованию воздействия химических отравляющих веществ на фитообъекты. Палинологические исследования в основном были направлены на выявление закономерностей возникновения и развития аллергенных заболеваний, морфологии современной пыльцы и изучение некоторых других вопросов.

В 1980-е –1990-е гг. преподаватели и сотрудники кафедры под руководством профессора А. О. Тарасова исследовали растительность засоленных местообитаний Нижнего Поволжья



(С. И. Гребенюк), растительность и почвы Приволжской возвышенности (В. А. Болдырев), изменение почвенных свойств в зоне подтопления Волгоградского водохранилища (Л. М. Болтова), агроценоз (А. Б. Семенова), растительность вырубок (В. С. Сукачев) и оврагов (А. Н. Глухов), водную растительность (Е. М. Синицына) и др. Совместно с сотрудниками отдела флоры и растительности Ботанического сада Саратовского университета проведено исследование флоры, растительности и почв разных участков Нижнего Поволжья. В 1985 г. В. А. Болдырев и В. И. Горин защитили кандидатские диссертации, а в 1995 г. В. А. Болдырев защитил докторскую диссертацию «Лесные почвы и растительность южной части Приволжской возвышенности».

В 1998 г. заведующим кафедрой был избран доктор биологических наук, профессор Владимир Александрович Болдырев. В 1999 г. кафедра экологии и систематики растений переименована в кафедру ботаники и экологии.

М. А. Березуцкий защитил докторскую диссертацию «Антропогенная трансформация флоры южной части Приволжской возвышенности» в 2000 г.

В разные годы подготовили и защитили кандидатские диссертации следующие преподаватели и сотрудники кафедры: В. В. Пискунов (1998), О. В. Костецкий (2000), С. А. Невский (2001), М. В. Степанов (2002), О. Н. Торгашкова (2002), Т. Н. Давиденко (2005), О. Н. Давиденко (2006), О. В. Седова (2007), К. Г. Грищенко (2008), Е. А. Архипова (2009), А. А. Беляченко (2009), М. В. Синицына (2013), Е. С. Шишкина (2013), О. В. Чеботарева (2014), М. Ш. Минжал (2019), М. В. Лаврентьев (2019). На кафедре под руководством В. А. Болдырева были подготовлены и защищены докторские диссертации доцентом Калмыцкого государственного университета Людмилой Халгаевной Сангаджиевой (2006) и доцентом Пензенского государственного университета Любовью Александровной Новиковой (2012). Ряд преподавателей вузов и сотрудников научных организаций России обучались в аспирантуре на кафедре и защитили кандидатские диссертации: М. А. Силкин (2001), А. Ю. Кудрявцев (2003), М. А. Ревякин (2003), М. А. Козаченко (2005), Ц. Д. Даваева (2009), В. Д. Шелест (2014), Е. В. Степина (2015). В настоящее время подготовила к защите кандидатскую диссертацию Е. А. Козырева.

Ю. И. Буланый защитил докторскую диссертацию «Флора Саратовской области» в 2010 г.

Особое место в работе кафедры ботаники и экологии занимает гербарий СГУ име-

ни Н. Г. Чернышевского. Гербарий основан Д. Е. Янишевским в 1909 г. одновременно с образованием кафедры ботаники. В последующие годы он пополнялся в основном преподавателями кафедры Д. Е. Янишевским, Е. В. Беляковым, В. Н. Черновым, В. В. Фофановым. Начиная с 50-х гг. XX в. организовывалось много экспедиций по районам Саратовской области, из которых также привозился гербарий. Имеются многочисленные сборы из окрестностей г. Саратова, Саратовской, Астраханской, Волгоградской, Самарской, Пензенской, Оренбургской, Ульяновской областей и других регионов России, а также из ближнего зарубежья. В гербарии хранятся именные коллекции известных отечественных ученых А. Я. Гордягина, Д. Е. Янишевского, М. Г. Попова, А. Д. Фурсаева и др. В настоящее время гербарий СГУ является крупнейшей гербарной коллекцией (более 100 000 тысяч образцов) на территории Нижнего Поволжья, состоит в международном Союзе гербариев мира, зарегистрирован в международной базе данных The Index Herbariorum и ему присвоен акроним SARAT. Коллекция активно пополняется сборами сотрудников, аспирантов и студентов кафедры ботаники и экологии. В 2004 г. в связи со вхождением Саратовского педагогического института в состав СГУ произошло объединение кафедры ботаники и экологии СГУ и кафедры ботаники пединститута. Гербарий педагогического института вошел в состав гербария СГУ как отдел с сохранением акронима SARP. Отделом разработок и внедрения информационных систем управления Вычислительного центра СГУ в 2004 г. была разработана и успешно внедрена электронная информационная система «Гербарий». Эта база данных позволяет получить необходимую информацию о гербарных образцах, хранящихся в коллекции, а именно о семействе, роде, виде, месте нахождения (страна, регион, населенный пункт – если возможно), местообитании, дате сбора, изображение растения, сведения о людях, собравших и определивших растение, количестве экземпляров, информацию о публикациях, отделе гербария, в котором размещен тот или иной гербарный лист. В дальнейшем в связи с возникшей необходимостью оптимизации работы с электронной базой данных в программе MS Access 2010 инженером кафедры Е. А. Козыревой была создана новая база данных, успешно функционирующая в настоящее время и включающая всю ранее внесенную информацию.

В последнее десятилетие гербарий активно посещают ученые из разных научных учрежде-



ний и учебных заведений России, ближнего и дальнего зарубежья. Постоянным стало посещение гербария школьниками города Саратова и области. Многие современные крупные сводки по флоре России написаны с использованием данных гербария СГУ [1–9]. Только в последнее десятилетие по материалам гербария СГУ опубликовано более 30 научных работ. Успешная деятельность гербария в настоящее время является во многом результатом многолетнего труда его заведующего кандидата биологических наук, доцента Е. А. Архиповой. ЮНЕСКО признала гербарий Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского национальным достоянием России. Соответствующий сертификат был вручен представителю вуза на Всероссийской с международным участием научной конференции «Ботанические коллекции – национальное достояние России», проходившей в Пензе в феврале 2015 г.

В настоящее время штатный состав кафедры следующий.

Заведующий кафедрой – доктор биологических наук, профессор Владимир Александрович Болдырев. На кафедре работают доктор биологических наук, доцент Юрий Иванович Буланый, кандидаты биологических наук, доценты Екатерина Александровна Архипова, Ольга Николаевна Давиденко, Татьяна Николаевна Давиденко, Олег Владимирович Костецкий, Сергей Александрович Невский, Владимир Валериевич Пискунов, Оксана Владимировна Седова, Михаил Владимирович Степанов, Ольга Николаевна Торгашкова, ассистент Минжал Мезхер Шейбь Минжал, инженеры Михаил Васильевич Лаврентьев, Елена Алексеевна Козырева, Оксана Дмитриевна Бохина и др.

Преподаватели и сотрудники кафедры много сил и времени потратили на исследование редких и исчезающих видов грибов, лишайников и растений Саратовской области, что позволило совместно с биологами из других научных учреждений и учебных заведений Саратова и области подготовить и издать Красную книгу Саратовской области [1, 2]. В настоящее время опубликован список редких и исчезающих видов цветковых растений [10], водорослей, мохообразных, папоротникообразных, голосеменных растений [11], грибов и лишайников [12], которые необходимо внести в очередное издание Красной книги Саратовской области.

Функционирование кафедры было бы невозможным без подчас незаметной, но незаменимой работы лаборантов и инженеров кафедры

Е. А. Козыревой, М. В. Лаврентьева, О. Д. Бохиной и др., обеспечивающих проведение разнообразных лекционных, семинарских и практических занятий, полевой практики. Лаборантский состав был всегда резервом для пополнения штата преподавателей кафедры, а многие из них, занимающие в настоящее время ведущее положение, начинали свой трудовой путь с должности лаборанта.

Высокий уровень квалификации и разнообразие научных интересов сотрудников кафедры позволяют в настоящее время проводить научные исследования по следующим основным направлениям:

- флористика,
- лишенология,
- гербарное дело,
- морфология и анатомия растений,
- экология растений,
- почвенные банки семян,
- охрана растений,
- популяции растений,
- фитоценология,
- охрана растительности,
- биологическое разнообразие,
- структура и функционирование наземных и водных экосистем,
- разработка интерактивных методов обучения.

Сотрудники кафедры принимали активное участие во многих крупных научных проектах [13–21].

В настоящее время на кафедре обучаются аспиранты по двум специальностям: 03.02.01 – Ботаника (биологические науки) и 03.02.08 – Экология (биологические науки).

Главной задачей организации учебной и научной деятельности на кафедре в настоящее время является баланс между разными научными направлениями, позволяющими обучать студентов и аспирантов по основным ботаническим и экологическим дисциплинам.

Список литературы

1. Красная книга Саратовской области: Растения, грибы, лишайники. Животные / Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов Саратов. обл. Саратов : Детская книга, 1996. 264 с.
2. Красная книга Саратовской области : Грибы. Растения. Лишайники. Животные / Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратов. обл. Саратов : Изд-во Торгово-промышленной палаты Саратов. обл., 2006. 528 с.



3. Еленевский А. Г., Радыгина В. И., Буланый Ю. И. Растения Саратовского Правобережья (конспект флоры). Саратов : Изд-во Саратов. пед. ин-та, 2000. 102 с.
4. Еленевский А. Г., Радыгина В. И., Буланый Ю. И. Определитель сосудистых растений Саратовской области (Правобережье Волги). М. : Изд-во МПГУ, 2001. 278 с.
5. Еленевский А. Г., Буланый Ю. И., Радыгина В. И. Конспект флоры Саратовской области. Саратов : ИЦ «Наука», 2008. 232 с.
6. Клинова Г. Ю. Обзор папоротников и хвощей Нижнего Поволжья // Бюл. Глав. бот. сада. 2005. № 189. С. 104–129.
7. Флора Нижнего Поволжья / А. К. Скворцов (отв. ред.). М. : Т-во науч. изд. КМК, 2006. Т. 1. 435 с.
8. Архипова Е. А., Березуцкий М. А., Болдырев В. А., Буланая М. В., Буланый Ю. И., Костецкий О. В., Маевский В. В., Панин А. В., Протоклитова Т. Б., Решетникова Т. Б., Серова Л. А., Степанов М. В., Стуков В. И., Худякова Л. П., Черепанова Л. А., Шилова И. В. Виды грибов, лишайников и растений, рекомендуемые для внесения во второе издание Красной книги Саратовской области // Поволжский экологический журн. 2006. Вып. спец. С. 18–28.
9. Пименов М. Г., Остроумова Т. А. Зонтичные (Umbrelliferae) России. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2012. 477 с.
10. Архипова Е. А., Болдырев В. А., Буланая М. В., Буланый Ю. И., Гребенюк С. И., Давиденко О. Н., Давиденко Т. Н., Костецкий О. В., Лаврентьев М. В., Маевский В. В., Невский С. А., Панин А. В., Решетникова Т. Б., Седова О. В., Степанов М. В., Стуков В. И., Худякова Л. П., Шевченко Е. Н., Шилова И. В. Виды цветковых растений, рекомендуемые для внесения в третье издание Красной книги Саратовской области // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16, вып. 3. С. 303–309. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-3-303-309
11. Архипова Е. А., Болдырев В. А., Буланый Ю. И., Давиденко О. Н., Козырева Е. А., Лаврентьев М. В., Решетникова Т. Б., Степанов М. В. Виды водорослей, мохообразных, папоротникообразных и голосеменных растений, рекомендуемые для внесения в третье издание Красной книги Саратовской области // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16, вып. 3. С. 301–303. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-3-301-303
12. Болдырев В. А., Козырева Е. А., Костецкий О. В. Редкие и исчезающие виды грибов и лишайников, рекомендуемые для внесения в третье издание Красной книги Саратовской области // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16, вып. 3. С. 299–301. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-3-299-301
13. Биоразнообразие и охрана природы в Саратовской области : эколого-просветительская серия для населения : в 4 кн. Кн. 3. Растительность / В. А. Болдырев, С. А. Невский, О. Н. Давиденко [и др.]. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. 240 с.
14. Гришин П. Н., Кравченко В. В., Болдырев В. А. Почвы Саратовской области, их происхождение, состав и агрохимические свойства. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2011. 176 с.
15. Почвы заповедников и национальных парков Российской Федерации / Е. В. Абакумов, А. Б. Александрова, В. А. Андроханов, О. А. Анциферова, Е. А. Архипова, А. Б. Ахтырцев, Е. В. Бажкова, О. В. Бакин, М. А. Баламирзоев, С. Н. Балыкин, П. Е. Баранцев, В. Ш. Баркан, О. Н. Бахмет, В. П. Белобров, О. И. Белякова, М. В. Бобровский, Ю. М. Богомолова, В. А. Болдырев, Р. Д. Бояркин, Л. И. Брехова и др. / Ин-т экологического почвоведения Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова, Ин-т проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Институт фундаментальных проблем биологии РАН, Научный совет по почвоведению РАН. М. : НИИ-Природа – Фонд «Инфосфера», 2012. 478 с.
16. 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.: ил.
17. Горин В., Болдырев В. Расширение шкал Л. Г. Раменского. Дополнение шкал данными по экологии видов флоры Саратовской области. Saarbrücken, Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. 62 p.
18. Болдырев В., Синуцына М., Седова О. Флора малых искусственных водоемов Саратовской области. Saarbrücken, Deutschland : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 169 p.
19. Архипова Е. А. Фитоценотический состав и структура лесной растительности национального парка «Хвалынский». Саратов : Амирит, 2018. 164 с.
20. Козырева Е. А. Лишайники национального парка «Хвалынский». Саратов : Амирит, 2018. 76 с.
21. Зеленая книга Саратовской области : нуждающиеся в охране растительные сообщества / О. Н. Давиденко, С. А. Невский, Т. Н. Давиденко, А. А. Беляченко, С. И. Гребенюк, Т. М. Лысенко, Л. А. Серова, Ю. К. Фомкин, Л. П. Худякова, Г. Ф. Сулейманова. Саратов : Амирит, 2018. 133 с.

Образец для цитирования:

Болдырев В. А. 110 лет ботанической кафедре Саратовского государственного университета // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 2. С. 242–248. DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-242-248>



110 years of Botanical Department of Saratov State University

V. A. Boldyrev

Vladimir A. Boldyrev, <https://orcid.org/0000-0002-3323-0537>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, boldyrev52@bk.ru

The article provides information about the history of the Botanical Department, which was opened simultaneously with the foundation of the Saratov University in 1909. The role of such heads of Department as A. A. Gordyagin, A. M. Levshin, D. E. Yanishevsky, A. D. Fursaev, N. P. Avdulov, A. A. Chiguryaeva, T. P. Ryabova, A. O. Tarasov, V. A. Boldyrev in the development of the Department and scientific research is highlighted. The role of the Department's employees in the formation of the herbarium of SSU is observed. Current status and importance of the herbarium of SSU (SARAT) in the scientific and educational work of the Department are noticed. The modern staff of the Department is characterized. The main scientific achievements of the Department staff in scientific and educational activities are shown. The role of the Department staff in the training of highly qualified specialists for the Saratov University and other scientific and educational institutions of Russia is reflected. The main scientific directions developed at the Department such as floristics, lichenology, herbarium, plant morphology and anatomy, plant ecology, soil seed banks, plant protection, plant populations, phytocenology, vegetation protection, biological diversity, structure and functioning of terrestrial and aquatic ecosystems, development of interactive teaching methods are presented.

Keywords: Botanical Department of SSU, Department heads, faculty, SSU herbarium (SARAT), research areas.

References

1. *Krasnaya kniga Saratovskoy oblasti: Rasteniya, griby, lishayniki. Zhivotnye* [The Red Book of the Saratov Region: Plants, fungi, lichens. Animals]. Komitet ohrany okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov Sarat. obl. Saratov, Detskaya kniga Publ., 1996. 264 p. (in Russian).
2. *Krasnaya kniga Saratovskoy oblasti: Griby. Rasteniya. Lishayniki. Zhivotnye* [The Red Book of the Saratov Region: Plants, fungi, lichens. Animals]. Komitet ohrany okruzhayushchey sredy i prirodopol'zovaniya Saratov. obl. Saratov, Izd-vo Torgovo-promyshlennoy palaty Saratov. obl., 2006. 528 p. (in Russian).
3. Elenevskiy A. G., Radygina V. I., Bulanny Yu. I. *Rasteniya Saratovskogo Pravoberezh'ya (konspekt flory)* [Plants of the Saratov Right Bank (flora outline)]. Saratov, Izd-vo Sarat. ped. in-ta, 2000. 102 p. (in Russian).
4. Elenevskiy A. G., Radygina V. I., Bulanny Yu. I. *Opredelitel' sosudistyh rasteniy Saratovskoy oblasti (Pravoberezh'e Volgi)* [The determinant of vascular plants of the Saratov region (right bank of the Volga)]. Moscow, Izd-vo MPGU, 2001. 278 p. (in Russian).
5. Elenevskiy A. G., Bulanny Yu. I., Radygina V. I. *Konspekt flory Saratovskoy oblasti* [Summary of the flora of the Saratov region]. Saratov, ITs "Nauka" Publ., 2008. 232 p. (in Russian).
6. Klinkova G. Yu. *Obzor paprotnikov i hvoshchej Nizhnego Povolzh'ya* [Overview of ferns and horsetails of the Lower Volga]. *Byulleten' Glavnogo botanicheskogo sada* [Bulletin of the Main Botanical Garden], 2005, no. 189, pp. 104–129 (in Russian).
7. *Flora Nizhnego Povolzh'ya* [Flora of the Lower Volga]. Moscow, T-vo nauch. izd. KMK, 2006, vol. 1. 435 p. (in Russian).
8. Arhipova E. A., Berezuckiy M. A., Boldyrev V. A., Bulanaya M. V., Bulanny Yu. I., Kosteckiy O. V., Maevskiy V. V., Panin A. V., Protoklitova T. B., Reshetnikova T. B., Serova L. A., Stepanov M. V., Stukov V. I., Hudyakova L. P., Cherepanova L. A., Shilova I. V. *Vidy gribov, lishajnikov i rastenij, rekomenduemye dlya vneseniya vo vtoroe izdanie Krasnoj knigi Saratovskoy oblasti* [Types of fungus, lichens and plants, recommended for inclusion in the second edition of the Red Book of the Saratov region]. *Povolzhskij ekologicheskij zhurn.* [Volga Region Ecological Journal], 2006, vyp. spec., pp. 18–28 (in Russian).
9. Pimenov M. G., Ostroumova T. A. *Zontichnye (Umbrelliferae) Rossii* [Apiaceae (Umbrelliferae) of Russia]. Moscow, T-vo nauch. izd. KMK, 2012. 477 p. (in Russian).
10. Arhipova E. A., Boldyrev V. A., Bulanaya M. V., Bulanny Yu. I., Grebenyuk S. I., Davidenko O. N., Davidenko T. N., Kosteckiy O. V., Lavrent'ev M. V., Maevskiy V. V., Nevskiy S. A., Panin A. V., Reshetnikova T. B., Sedova O. V., Stepanov M. V., Stukov V. I., Hudyakova L. P., Shevchenko E. N., Shilova I. V. *Flowering Plant Species to Be Included Into the Third Edition of the Red Book of Saratov Region. Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2016, vol. 16, iss. 3, pp. 303–309 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-3-303-309
11. Arhipova E. A., Boldyrev V. A., Bulanny Yu. I., Davidenko O. N., Kozyreva E. A., Lavrent'ev M. V., Reshetnikova T. B., Stepanov M. V. *Algae, Mossy, Pteridophytes and Gymnosperm Plant Species to Be Included Into the Third Edition of the Red Book of Saratov Region. Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2016, vol. 16, iss. 3, pp. 301–303. DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-3-301-303 (in Russian).
12. Boldyrev V. A., Kozyreva E. A., Kosteckiy O. V. *Rare and Disappearing Fungus and Lichens Species to Be Included Into the Third Edition of the Red Book of Saratov Region. Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2016, vol. 16, iss. 3, pp. 299–301 (in Russian). DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-3-299-301
13. *Bioraznoobrazie i ohrana prirody v Saratovskoy oblasti: ekologo-prosvetitel'skaya seriya dlya naseleniya: v 4 kn.* [Biodiversity and nature conservation in the Saratov region: environmental education series for the population] Kn. 3. *Rastitel'nost' / V. A. Boldyrev, S. A. Nevskiy, O. N. Davidenko* [i dr.]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2011. 240 p. (in Russian).
14. Grishin P. N., Kravchenko V. V., Boldyrev V. A. *Pochvy Saratovskoy oblasti, ih proiskhozhdenie, sostav i agrohimiicheskie svoystva* [Soils of the Saratov region, their origin, composition and agrochemical properties]. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2011. 176 p. (in Russian).



15. *Pochvy zapovednikov i nacional'nyh parkov Rossiyskoy Federatsii* [Soils of reserves and national parks of the Russian Federation]. Abakumov E. V., Aleksandrova A. B., Androhanov V. A., Anciferova O. A., Arhipova E. A., Ahtyrcev A. B., Bazhkova E. V., Bakin O. V., Balamirzoev M. A., Balykin S. N., Barancev P. E., Barkan V. Sh., Bahmet O. N., Belobrov V. P., Belyakova O. I., Bobrovskiy M. V., Bogomolova Yu. M., Boldyrev V. A., Boyarkin R. D., Brekhova L. I. [i dr.]. / Institut ekologicheskogo pochvovedeniya Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta im. M. V. Lomonosova, Institut problem ekologii i evolyucii im. A. N. Severcova RAN, Institut fundamental'nyh problem biologii RAN, Nauchnyy sovet po pochvovedeniyu RAN. Moscow, NIA-Priroda – Fond «Infosfera» Publ., 2012. 478 p. (in Russian).
16. *Uchebno-kraevedcheskij atlas Saratovskoj oblasti* [Educational Atlas of the Saratov Region] / V. V. Anikin, E. V. Akif'eva, A. N. Afanas'eva [i dr.]; gl. red. A. N. Chumachenko, otv. red. V. Z. Makarov. Saratov, Izd-vo Sarat. un-ta, 2013. 144 p. (in Russian).
17. Gorin V., Boldyrev V. *Rasshirenje shkal L. G. Ramenskogo. Dopolnenie shkal dannymi po ekologii vidov flory Saratovskoj oblasti* [Expansion of Ramensky scales. Addition of scales with data on the ecology of flora species of the Saratov region]. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrüchen, Deutschland, 2013. 62 p. (in Russian).
18. Boldyrev V., Sinicyna M., Sedova O. *Flora malyh iskusstvennyh vodoemov Saratovskoj oblasti* [Flora of small artificial reservoirs of the Saratov region]. LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrüchen, Deutschland, 2014. 169 p. (in Russian).
19. Arhipova E. A. *Fitocenoticheskij sostav i struktura lesnoj rastitel'nosti nacional'nogo parka "Hvalynskij"* [Phytocenotic composition and structure of forest vegetation of the national park «Khvalynsky»]. Saratov, Amirit Publ., 2018. 164 p. (in Russian).
20. Kozyreva E. A. *Lishajniki nacional'nogo parka "Hvalynskij"* [Lichens of the Khvalynsky National Park]. Saratov, Amirit Publ., 2018. 76 p. (in Russian).
21. *Zelenaya kniga Saratovskoj oblasti: nuzhdayushchiesya v ohrane rastitel'nye soobshchestva* [Green Book of the Saratov Region: plant communities in need of protection] / Davidenko O. N., Nevskij S. A., Davidenko T. N., Belyachenko A. A., Grebenyuk S. I., Lysenko T. M., Serova L. A., Fomkin Yu. K., Hudyakova L. P., Suleymanova G. F. Saratov, Amirit Publ., 2018. 133 p. (in Russian).

Cite this article as:

Boldyrev V. A. 110 years of Botanical Department of Saratov State University. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Chemistry. Biology. Ecology*, 2019, vol. 19, iss. 2, pp. 242–248 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2019-19-2-242-248>
