



СОДЕРЖАНИЕ

Научный отдел

Химия

Родина А. А., Хуршудян Г. Н., Бискуп П. В., Решетов В. А., Парфенов Ю. А.

Влияние окислителя на кинетику процесса гелеобразования растительного масла для восстановления заводненных кабелей связи

5

Навотный О. И., Решетов В. А., Тиховский Д. А., Ромаденкина С. Б.

Получение новых видов асфальтосмолистых олигомеров для применения в качестве изоляционных материалов в системе магистральных газонефтепроводов

11

Цикин А. М., Монахова Ю. Б., Бурашникова М. М., Муштакова С. П.

Рентгенофлуоресцентный анализ систем серебро–кадмий и никель–кобальт хемометрическими алгоритмами метода независимых компонент

16

Кузьмина Р. И., Игнатъев С. В. Превращения n-гексана и стабильного гидрогенизата на поверхности высокомолекулярных цеолитных систем

22

Матикенова А. А., Кривенько А. П. Превращения азолоцикланодигопиримидинов под действием окислителей

29

Чернова Р. К., Селифонова Е. И., Евсеева О. С., Доронин С. Ю.,

Алешкина О. Ю., Загоровская Т. М. Диффузия цефазолина через мембраны кожи человека

33

Кожевников Н. В., Гольдфейн М. Д., Кожевникова Н. И. Особенности образования акрилатных латексов при эмульсионной полимеризации в отсутствие эмульгатора

38

Биология

Блюднева Е. А., Крицкая Т. А., Кашин А. С., Кириллова И. М.

Сохранение видов и сортов растений в коллекции *in vitro* Ботанического сада Саратовского госуниверситета

48

Кушнерук М. А., Славкина Е. А., Старичкова Н. И., Антонюк Л. П.

Особенности выживания ризобактерии *Azospirillum brasilense* Sp245 в жидкой культуре при больших сроках хранения

54

Степанов С. А., Сигнаевский В. Д., Коробко В. В., Касаткин М. Ю.

Рост и развитие стебля яровой мягкой пшеницы сортов саратовской селекции

59

Косюкова О. В., Петрова Н. А., Степанов М. В. Изменчивость некоторых морфологических параметров прострела раскрытого и прострела лугового

64

Архипова Е. А., Болдырев В. А., Волков Ю. В., Милкин А. А.,

Остроумова Т. А. Материалы для Красной книги Саратовской области:

семейство Зонтичные (Ariaceae) (на основании фондов гербария СГУ (SARAT, SARP))

70

Кашин А. С., Кочанова И. С., Лисицкая Н. М., Угольников Е. В.,

Полякова Ю. А. Частота апомиксиса и половая структура в популяциях *Antennaria dioica* европейской части России

74

Юдакова О. И., Тырнов В. С. Реализация предпосылок к полиэмбрионии у апомиктичных видов мятликов

81

Экология

Гребенников К. А., Аникин В. В.

Экологическая структура фауны коротконадкрылых жуков семейства (Coleoptera, Staphylinidae) Нижнего Поволжья

89

Давиденко О. Н. Новые для Саратовской области ассоциации галофитной растительности

95

Невский С. А. О необходимости придания природоохранного статуса урочищу «Дальнее» Саратовской области

98

Шляхтин Г. В., Аникин В. В., Беляченко А. В., Мосолова Е. Ю.,

Табачишин В. Г. Современное состояние биоразнообразия животного мира Саратовской области

103

Торгашкова О. Н., Воловик Н. С., Опарина А. В., Левина Е. С.

Оценка экологического состояния реки Волги в окрестностях Саратова

113

Сведения об авторах

Решением Президиума ВАК Министерства образования и науки РФ журнал включен в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых рекомендуется публикация основных результатов диссертационных исследований на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций. Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № 77-7185 от 30 января 2001 года

Индекс издания по каталогу ОАО Агентства «Роспечать» 36013, раздел 26 «Природа. Мир животных и растений». Журнал выходит 4 раза в год

Заведующий редакцией

Бучко Ирина Юрьевна

Редактор

Митенёва Елена Анатольевна

Художник

Соколов Дмитрий Валерьевич

Редактор-стилист

Степанова Наталия Ивановна

Верстка

Ковалева Наталья Владимировна

Технический редактор

Ковалева Наталья Владимировна

Корректор

Крылова Елена Борисовна

Адрес редакции:

410012, Саратов, ул. Астраханская, 83
Издательство Саратовского университета
Тел.: (845-2) 52-26-89, 52-26-85

Подписано в печать 25.03.2014.

Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 14,41(15,5).

Тираж 500 экз. Заказ 8.

Отпечатано в типографии
Издательства Саратовского
университета

© Саратовский государственный
университет, 2014



ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

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

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

Статья должна быть аккуратно оформлена и тщательно отредактирована.

Последовательность предоставления материала:

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

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

Требования к аннотации и библиографическому списку:

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

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

Образцы оформления различных источников приведены вместе со стилевым файлом в правилах для авторов по адресу: <http://www.sgu.ru/journal/izvestiya/chem>.

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: ihbe-sgu@yandex.ru; 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, 83, биологический факультет, ответственному секретарю журнала «Известия Саратовского университета. Серия Химия. Биология. Экология».

CONTENTS

Scientific Part

Chemistry

- Rodina A. A., Khurshudian G. N., Biskup P. V., Reshetov V. A., Parfyonov Yu. A.**
Oxidizer's Influence on the Kinetics of Gelation of Vegetable Oil for the Recovery of Waterflood Cable Communications 5
- Navotnyi O. I., Reshetov V. A., Tikhovskiy D. A., Romadenkina S. B.**
Production of New Sorts of Asphalt-resinous Oligomers for Application as Insulants in a System of Gas & Oil Mains 11
- Tsikin A. M., Monakhova Yu. B., Burashnikova M. M., Mushtakova S. P.**
X-Ray Fluorescence Analysis of Silver–Cadmium and Nickel–Cobalt Systems by Chemometric Algorithms of Independent Component Method 16
- Kuzmia R. I., Ignatyev S. V.**
Transformation of n-hexane and Stable Section of Hydrogenated Feed on the Surface of High-zeolite Systems 22
- Matikenova A. A., Kriven'ko A. P.**
Transformations of Azolocyclopyrimidines from Oxidant 29
- Chernova R. K., Selifonova E. I., Evseeva O. S., Doronin S. Yu., Aleshkina O. Yu., Zagorovskaya T. M.**
Cefazolin Diffusion Through Membranes of Human Skin 33
- Kozhevnikov N. V., Goldfein M. D., Kozhevnikova N. I.**
Some Peculiarities of Formation of Acrylate Latexes by Emulsifier-free Emulsion Polymerization 38

Biology

- Bludneva E. A., Kritckaia T. A., Kashin A. S., Kirillova I. M.**
Conservation of Plant Species and Cultivars in Botanical Garden Saratov State University *in vitro* Collection 48
- Kushneruk M. A., Slavkina E. A., Starichkova N. I., Antonyuk L. P.**
Features of the Rhizobacterium *Azospirillum brasilense* Sp245 Long-term Survival in Liquid Culture 54
- Stepanov S. A., Signaevskiy V. D., Korobko V. V., Kasatkin M. Yu.**
Growth and Development of the Stem of Spring Soft Wheat Cultivars of the Saratov Selection 59
- Kosjukova O. V., Petrova N. A., Stepanov M. V.**
Variability of Some Morphological Parameters of Plants in Populations of *Pulsatilla Patens* and *Pulsatilla Pratensis* 64
- Arkipova E. A., Boldyrev V. A., Volkov Yu. V., Milkin A. A., Ostroumova T. A.**
Materials for Red Book of Saratov Region: Apiaceae (Based Funds Herbarium SSU (SARAT, SARP)) 70
- Kashin A. S., Kochanova I. S., Lysytskaya N. M., Ugolnikova E. V., Polyakova Yu. A.**
Frequency of Apomixis and Sex Structure of Sexual *Antennaria Dioica* in European Russia 74
- Yudakova O. I., Tyrnov V. S.**
Realization of the Prerequisites to Polyembryony in Apomictic *Poa L.* 81

Ecology

- Grebennikov K. A., Anikin V. V.**
Ecological Structure of the Fauna of Rove Beetles (Coleoptera, Staphylinidae) in the Lower Volga Region 89
- Davidenko O. N.**
New Associations of Halophytic Vegetation in Saratov Region 95
- Nevskiy S. A.**
About Necessity of Conferment Conservation Status to the Natural Boundary «Dalnee» 98
- Shlyakhtin G. V., Anikin V. V., Belyachenko A. V., Mosolova E. Yu., Tabachishin V. G.**
Current Status of the Animal World Biodiversity in the Saratov Region 103
- Torgashkova O. N., Volovik N. S., Oparina A. V., Levina E. S.**
Assessment of the Ecological State of the River Volga in the Vicinity of Saratov 113

Information about the Authors

117



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА «ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ»

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

Стальмахов Андрей Всеволодович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

Ответственный секретарь

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

Члены редакционной коллегии:

Бабков Лев Михайлович, доктор физ.-мат. наук, профессор (Саратов, Россия)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL «IZVESTIYA SARATOVSKOGO UNIVERSITETA. NEW SERIES»

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

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

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

Members of the Editorial Board:

Babkov L. M. (Saratov, Russia)

Balash O. S. (Saratov, Russia)

Buchko I. Yu. (Saratov, Russia)

Danilov V. N. (Saratov, Russia)

Ivchenkov S. G. (Saratov, Russia)

Kossovich L. Yu. (Saratov, Russia)

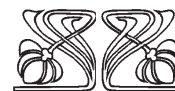
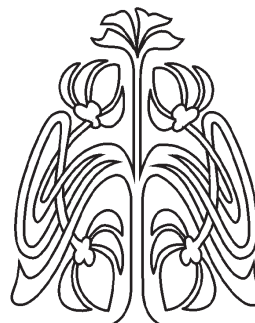
Makarov V. Z. (Saratov, Russia)

Prozorov V. V. (Saratov, Russia)

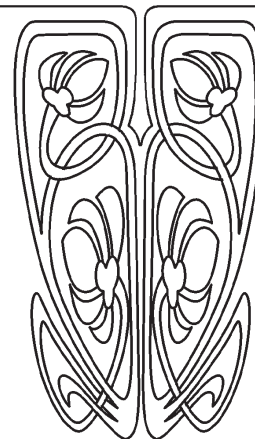
Ustyantsev V. B. (Saratov, Russia)

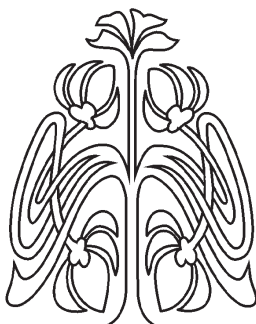
Shamionov R. M. (Saratov, Russia)

Shlyakhtin G. V. (Saratov, Russia)



РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ





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

Главный редактор

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

Заместитель главного редактора

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

Ответственный секретарь

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



Члены редакционной коллегии:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



**РЕДАКЦИОННАЯ
КОЛЛЕГИЯ**

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

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

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

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

Members of the Editorial Board:

Anikin V. V. (Saratov, Russia)

Boldyrev V. A. (Saratov, Russia)

Gribov L. A. (Moscow, Russia)

Kashin A. S. (Saratov, Russia)

Konnova S. A. (Saratov, Russia)

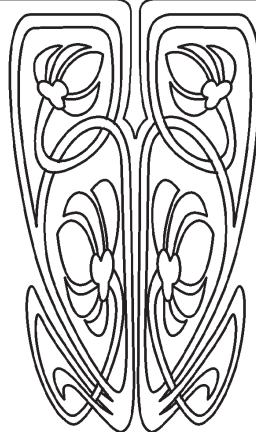
Kuzmina R. I. (Saratov, Russia)

Mushtakova S. P. (Saratov, Russia)

Rozenberg G. S. (Toliatty, Russia)

Chernova R. K. (Saratov, Russia)

Shipovskay A. B. (Saratov, Russia)





ХИМИЯ

УДК 536.5.08

ВЛИЯНИЕ ОКИСЛИТЕЛЯ НА КИНЕТИКУ ПРОЦЕССА ГЕЛООБРАЗОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЗАВОДНЕННЫХ КАБЕЛЕЙ СВЯЗИ

А. А. Родина¹, Г. Н. Хуршудян¹, П. В. Бискуп¹,
В. А. Решетов¹, Ю. А. Парфенов²

¹Саратовский государственный университет

²Ленинградский отраслевой ЦНИИ связи, Санкт-Петербург

E-mail: rodina.ania2014@yandex.ru

Найден состав новых гидрофобных заполнителей на основе доступного растительного масла, предназначенного для восстановления повреждённых кабелей связи с полиэтиленовой изоляцией медных жил и полиэтиленовой оболочкой типа ТПП. Определены эксплуатационные параметры, такие как условная вязкость, диэлектрические показатели, химическая инертность заполнителей к компонентам кабеля.

Ключевые слова: жидкий гидрофобный заполнитель, кабели связи, диэлектрические показатели, герметизация сердечника кабеля, подсолнечное масло, совместимость комплектующих элементов кабеля.

Oxidizer's Influence on the Kinetics of Gelation of Vegetable Oil for the Recovery of Waterflood Cable Communications

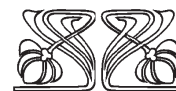
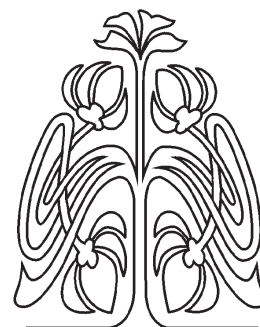
A. A. Rodina, G. N. Khurshudian, P. V. Biskup,
V. A. Reshetov, Yu. A. Parfyonov

New composition of hydrophobic filler based on available vegetable oil was found. It's purposed to recover damaged communication cables with polyethylene isolation of copper wires and polyethylene TPP hull. Operating parameters such as relative viscosity, dielectric properties, chemical inertness to the components of filler cable were defined.

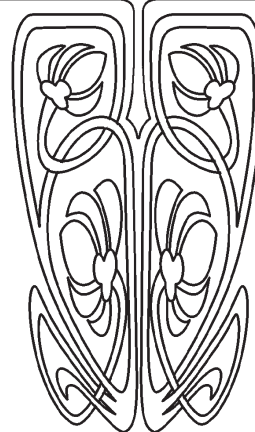
Key words: liquid hydrophobic filler, communication cables, dielectric properties, sealing the core of the cable, vegetable oil, sunflower-seed oil, compatibility of components cable elements.

На городских и сельских телефонных сетях в настоящее время широко применяются многопарные телефонные кабели с полиэтиленовой изоляцией жил и полиэтиленовой оболочкой типа ТПП (Т – телефонный, П – полиэтиленовая изоляция жил кабеля, П – полиэтиленовая изоляция оболочки) [1].

Один из характерных видов повреждений – нарушение герметичности муфт и оболочек кабелей. Это приводит к тому, что влага попадает в сердечник кабеля и распространяется по нему на значительные расстояния (по крайней мере, от колодца до колодца). В результате ухудшаются электрические характеристики линии: уве-



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





личивается рабочая емкость цепей, понижается сопротивление изоляции, повышается рабочее затухание и уменьшается переходное затухание между цепями [2].

Радикальным средством, обеспечивающим стабильность электрических характеристик, является герметизация сердечника замкнутого кабеля жидким гидрофобным наполнителем (ЖГЗ). В процессе закачки ЖГЗ в сердечник кабеля влага, находящаяся в кабеле, вытесняется, а все пустоты сердечника кабеля заполняются ЖГЗ, наполнитель полимеризуется (приобретает медообразную консистенцию). При этом диэлектрические характеристики цепей заполненного кабеля, такие как сопротивление изоляции жил, параметры влияния, восстанавливаются до существующих норм, рабочая емкость увеличивается на 10–15%, т.е. достигает значений кабелей с гидрофобным наполнением типа ТПП [3, 4].

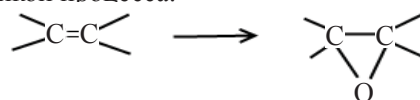
Целью работы является экспериментальный поиск и определение эксплуатационных показателей новых жидких гидрофобных наполнителей (ГФЗ) на основе растительного масла, предназначенных для восстановления повреждённых (замокших) кабелей связи с полиэтиленовой изоляцией медных жил и полиэтиленовой оболочкой типа ТПП.

В качестве реакционноспособного агента было выбрано подсолнечное масло (ПМ). В ходе эксперимента были рассмотрены и другие растительные масла, такие как хлопковое, рапсовое, репейное, горчичное, льняное.

В качестве отвердителя выбран полиэтиленполиамин, представляющий собой смесь соединений, содержащих фрагменты $[-C_2H_4NH-]_n$, где $n = 2-6$ (низкомолекулярный ПЭПА), который является недорогим и менее токсичным по сравнению с полиизоцианатом. Модификатором процесса изменения (регулируемого) вязкости растительного масла являлась перекись водорода (H_2O_2) – «зеленый» окислитель, который называют «восходящей химической звездой» и «идеальным окислителем», так как единственным образующимся из него побочным продуктом является вода, а по процентному содержанию кислорода в молекуле перексид водорода стоит на втором месте после молекулярного кислорода.

Свойства растительных масел определяются главным образом составом и содержанием жирных кислот, которые в своей структуре содержат активные функциональные группы, такие как двойная связь, карбоксильные, гидроксильные группы.

Путем эпексидирования двойные связи полидиенов можно превращать в термически устойчивые оксирановые циклы, которые играют положительную роль в процессе гелирования (полимеризации) растительных масел с модифицированными добавками, что позволило управлять кинетикой процесса.



Высокие диэлектрические показатели гидрофобного наполнителя должны обеспечивать хорошую изоляцию жил для сокращения электрических потерь и обеспечения требуемого качества связи. Таким образом, электрические характеристики цепей заполненного кабеля должны восстанавливаться до существующих норм.

Смешение выбранных компонентов должно происходить непосредственно перед началом закачки наполнителя в кабель. Концентрация перекиси водорода 3 масс%. Взаимодействие реагентов проводят в мольном соотношении подсолнечное масло: перекись водорода = 1:3 при температуре 20–25 °С в течение 3 ч. Условная вязкость по ЛВ-2 должна оставаться практически неизменной в течение двух-трех суток и не превышать на тот момент 43 секунд (не более 21 секунды по ВЗ-4). Поэтому важен не только факт гелеобразования системы при действии отвердителя, но и определенное значение условной вязкости ГФЗ в процессе гелирования.

Вместе с тем крайне важна химическая инертность гидрофобного наполнителя к комплектующим элементам кабеля, а также степень совместимости наполнителя с полиэтиленовой изоляцией, которая определяется величиной её набухания.

На рис. 1 изображен процесс гелирования подсолнечного масла с отвердителем (ПЭПА 10%) (кривая 1) и модифицированного перекисью водорода подсолнечного масла с отвердителем в количестве 3, 6, 10% (кривые 2, 3, 4) в координатах: условная вязкость по ЛВ-2 в минутах и время гелирования в сутках.

Кинетика процесса увеличения условной вязкости по времени подсолнечного масла и отвердителя идет очень быстро, в частности, составляет 1–2 суток, что не соответствует техническим требованиям.

Для модифицированного подсолнечного масла с 3%, 10% отвердителя время гелирования составляет от 5 до 7 суток, что соответствует требованиям.

Для того чтобы определить наличие функциональных групп, был проведен ИК-спектро-

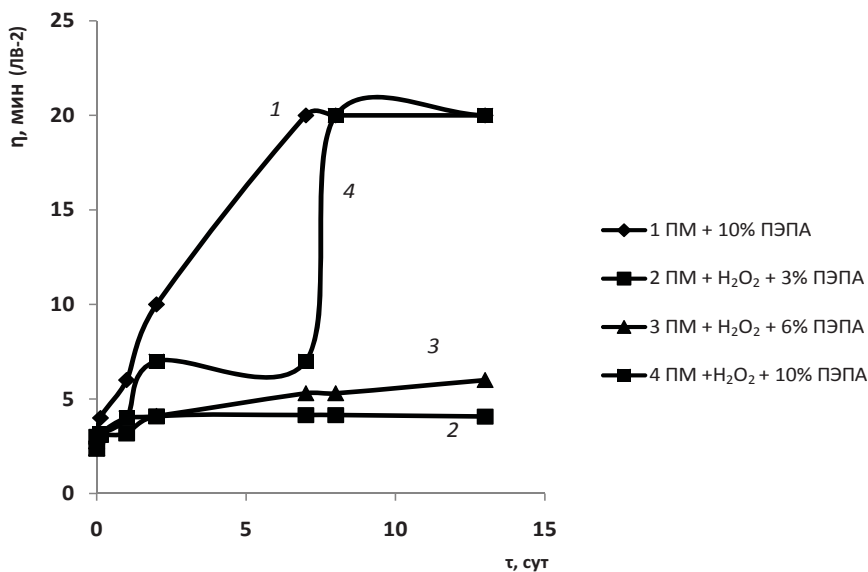


Рис. 1. Кинетика процесса гелирования гидрофобных наполнителей на основе подсолнечного масла

метрический анализ, который представлен на рис. 2.

Для анализа была выбрана система на основе подсолнечного масла ПМ + H₂O₂ + 10% ПЭПА, масло доступно и недорого.

Для сравнения был также сделан анализ чистого подсолнечного масла (ПМ) и эпоксицированного перекисью водорода (ПМ + H₂O₂=1:3).

На рис. 2, а наблюдаем поглощение в области 3500–3000 см⁻¹, обусловленное валентными колебаниями гидроксильной группы.

Пики с частотами 3450 см⁻¹ принадлежат колебаниям групп ОН, участвующих в водородных связях. В области 3000–2500 см⁻¹ наблюдается группа полос, свидетельствующих о наличии сильной водородной связи. Наличие пиков в области 1400–1200 см⁻¹ свидетельствует о плоских деформационных колебаниях группы ОН и валентных колебаниях С-О. Колебания группы С=О наблюдаются в области 1740–1700 см⁻¹. Пики с частотами 1740 см⁻¹, 1460 см⁻¹ принадлежат колебаниям С=О. Пик с частотой 1380 см⁻¹ свидетельствует о деформационных колебаниях метиленовой группы -CH₂-. Пик с частотой 720 см⁻¹ соответствует деформационным колебаниям концевой метильной группы. С валентными колебаниями группы С=С связана полоса поглощения 1650 см⁻¹. Пики с частотами 2700 и 2680 см⁻¹ говорят о наличии группы =СНR, полосы неплоских деформационных колебаний Н-С=C-Н наблюдаются в области 1100–900 см⁻¹.

После эпоксицирования масла перекисью водорода (рис. 2, б) наблюдается уменьшение интенсивности полосы в области 3450 см⁻¹. Происходит расщепление полос в области 3000–2800 см⁻¹, свидетельствующих о валентных колебаниях ОН-группы. Исчезают пики с частотами 2700 и 2680 см⁻¹.

Уменьшается интенсивность полосы 1650 см⁻¹ двойной связи С=С. Появляется пик с частотой 1100 см⁻¹, характерный для эпоксицидного цикла.

После взаимодействия эпоксицированного подсолнечного масла с отвердителем ПЭПА (рис. 2, в) наблюдаем смещение области поглощения с частотой 3450 см⁻¹ ОН-группы. Наблюдаем размытый пик в области 3300 см⁻¹, небольшой пик 3070 см⁻¹, указывающий на образование вторичной амидной группы. В области 1550–1510 см⁻¹ наблюдаем появление пика 1540 см⁻¹, характерного для деформационных колебаний NH-группы для вторичных амидов, что свидетельствует о взаимодействии аминной группы отвердителя и карбоксильной группы масла [5, 6].

Таким образом, ИК-спектроскопическим методом установлено, что окислительный агент – перекись водорода – взаимодействует с двойной связью подсолнечного масла с образованием эпоксицидного цикла; в присутствии отвердителя ПЭПА эпоксицидный цикл раскрывается с образованием амидных групп полимеров. Конкурирующим процессом является взаимодействие ПЭПА с карбоксильной группой подсолнечного масла.

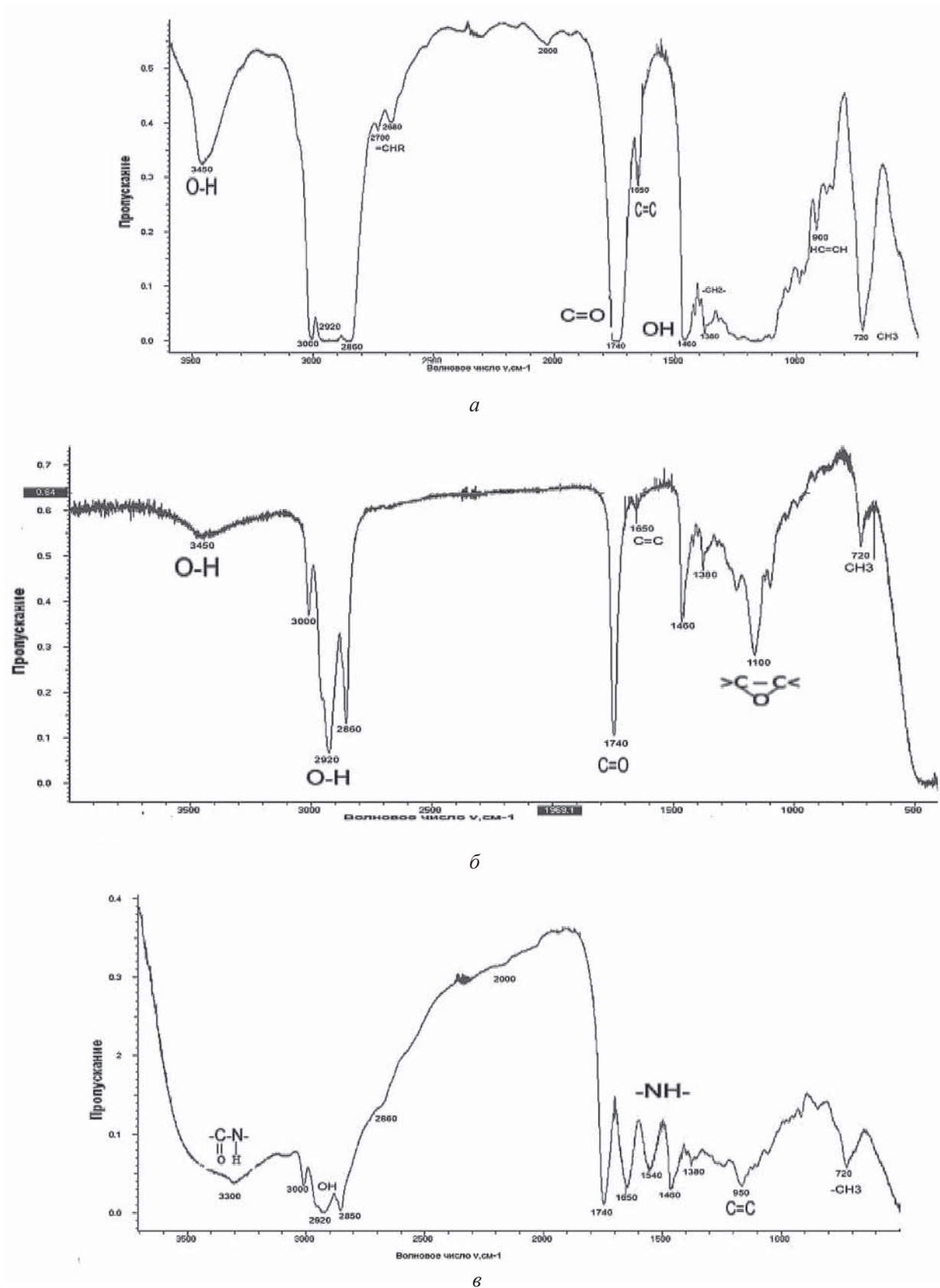


Рис. 2. ИК-спектры анализа систем: *a* – ИК-спектр чистого подсолнечного масла; *b* – ИК-спектр подсолнечного масла, эпоксиризованного перекисью водорода; *v* – ИК-спектр подсолнечного масла, модифицированного перекисью водорода, с отвердителем ПЭПА 10 мас.%



Загелированный ГФЗ в телефонном кабеле должен иметь высокие диэлектрические характеристики ($\rho_v = 10^{10} - 10^{12}$ Ом·см; $\epsilon = 3.5 - 4.0$, $\text{tg}\delta = 0.09$) для обеспечения хорошей изоляции [7].

На рис. 3–5 представлены зависимости диэлектрических показателей загелированных гидрофобных наполнителей на основе модифицированного подсолнечного масла от количества отвердителя. Как видно из зависимости удельно-

го объемного электрического сопротивления от количества ПЭПА, с увеличением количества отвердителя наблюдается уменьшение удельного объемного сопротивления (см. рис. 3). Такая же тенденция наблюдается и для зависимости диэлектрической проницаемости от количества отвердителя в системах ПМ + H_2O_2 + (3, 6, 10%) ПЭПА (см. рис. 4). Обратная зависимость наблюдается для тангенса угла диэлектрических потерь (см. рис. 5).

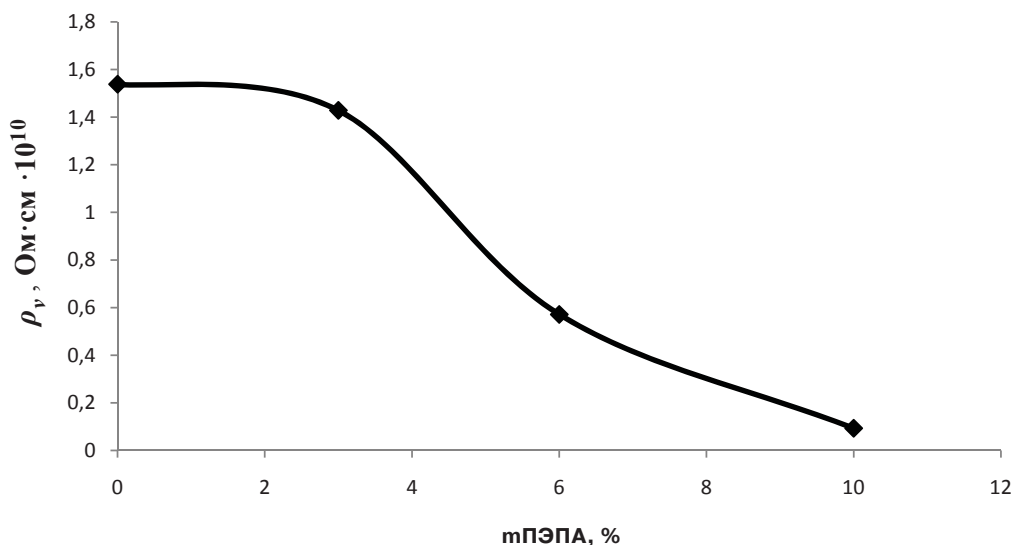


Рис. 3. Зависимость удельного объемного электрического сопротивления загелированных гидрофобных наполнителей на основе подсолнечного масла, модифицированного перекисью водорода, от количества отвердителя

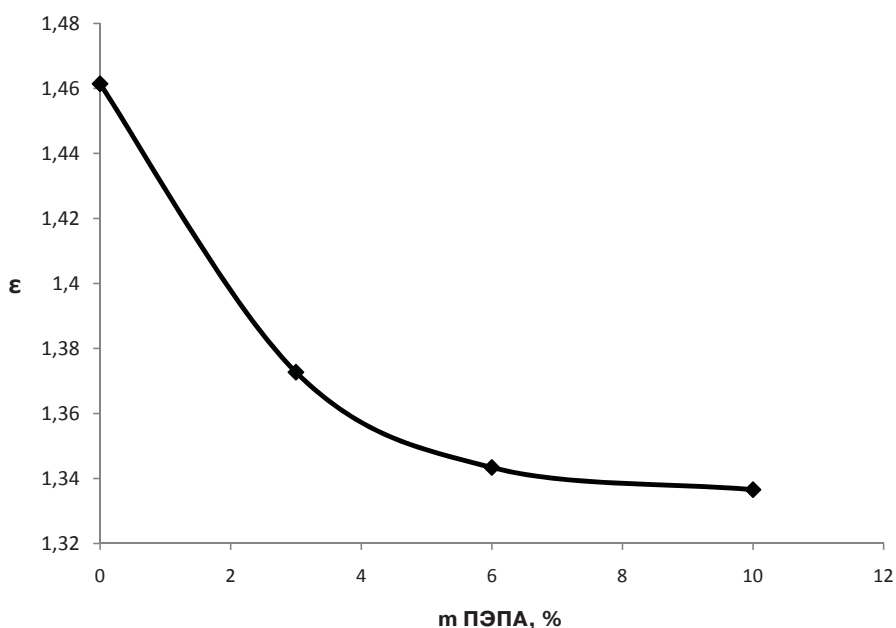


Рис. 4. Зависимость диэлектрической проницаемости загелированных гидрофобных наполнителей на основе подсолнечного масла, модифицированного перекисью водорода, от количества отвердителя

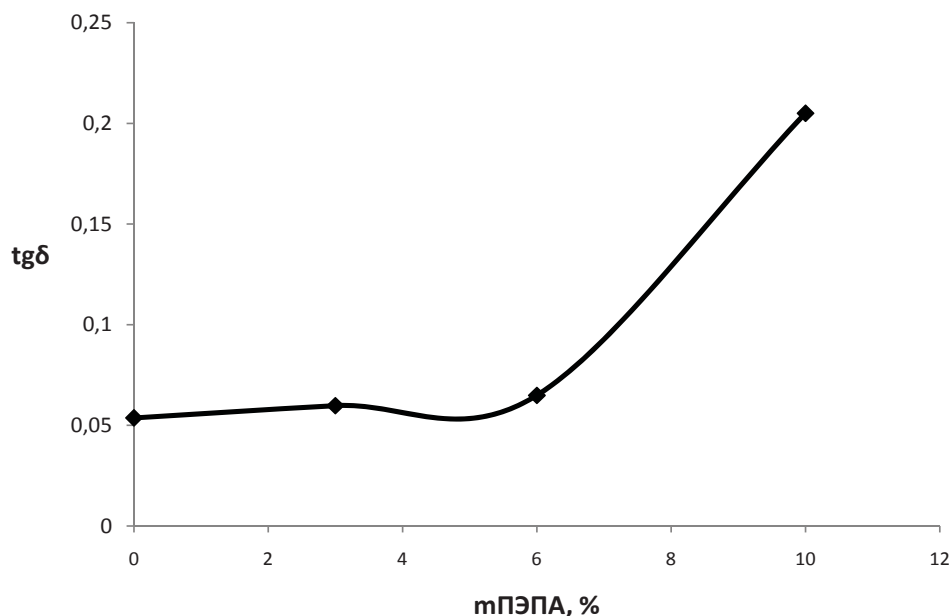


Рис. 5. Зависимость тангенса диэлектрических потерь загелированных гидрофобных заполнителей на основе подсолнечного масла, модифицированного перекисью водорода, от количества отвердителя

При применении гидрофобного заполнителя возникает проблема его совместимости с материалами конструктивных элементов кабелей. К ним относятся: провода, оболочка, фольга, целлофан, земля, красный целлофан, СМЖ+металл, СМЖ без металла, кембрик. Эти конструкционные элементы могут набухать, растворяться, растрескиваться. В таблице представлены результаты испытаний совместимости систем состава:

подсолнечное масло + H_2O_2 + 10% ПЭПА с комплектующими элементами сердечника кабеля. Лабораторные испытания проводились при температуре 70 °С в течение 7 суток в режиме термоциклирования по методике ВНИИКП (Республика Беларусь). Совместимость всех комплектующих элементов кабеля ТПП соответствует нормам, разработанным ЛОЦНИИС (г. Санкт-Петербург) и требованиям ВНИИКП.

Совместимость гидрофобного заполнителя состава: ПМ + H_2O_2 + 10% ПЭПА с комплектующими элементами кабеля

Комплектующие материалы кабеля	Масса, г		Набухаемость, %
	Исходная	Конечная	
Провода:			
белые	0,0568	0,0578	2
голубые	0,0601	0,0603	0,03
коричневые	0,0616	0,0628	2
зелёные	0,0624	0,0638	2
оранжевые	0,0540	0,0567	5
черные	0,0586	0,0586	0
красные	0,0640	0,0640	0
Оболочка	0,3541	0,3548	0,1
Целлофан	0,0298	0,0330	11
Земля	0,056	0,056	0
Кембрик	0,2265	0,2365	4

Таким образом, разработана новая композиция жидкого гидрофобного заполнителя на ос-

нове подсолнечного масла, модифицированного перекисью водорода с отвердителем аминного



типа – ПЭПА. Оптимальным составом обладает система: ПМ+Н₂O₂+3%ПЭПА, продолжительность структурообразования которого составляет приблизительно 7 суток, что соответствует техническим требованиям. Для разработанных композиций были определены диэлектрические параметры: диэлектрическая проницаемость, удельное объемное сопротивление и тангенс диэлектрических потерь. Наибольшие значения удельного объемного электрического сопротивления ($1,5 \cdot 10^{10}$ до $2,0 \cdot 10^{10}$ Ом·см), диэлектрической проводимости (1,36–1,46), и минимальное значение тангенса диэлектрических потерь (0,05–0,07) характерны для модифицированной системы с 3% отвердителя ПЭПА. Проведенные испытания на совместимость гидрофобного заполнителя с комплектующими кабеля показали, что набухание комплектующих элементов кабеля находится в пределах технических требований.

Список литературы

1. Рекомендации по восстановлению и герметизации повреждённых (замокших) линий из пластмассовых многопарных кабелей местной телефонной сети : отчет о НИР / ЛОНИИС ; рук. Кучерявый А. Е. ; исполн. : Парфёнов Ю. А. М., –2005. –10 с. –№ 954НПО 3/747
2. Парфенов Ю. А., Вознюк В. Н. Новая технология восстановления повреждённых (замокших) кабельных линий ГТС // Электросвязь. 2004. № 11. С. 10–12.
3. Козина А. М., Селиверов Д. И. Современные методы восстановления кабельных линий железнодорожной автоматики и телемеханики // Технические науки : теория и практика : материалы. междунар. заоч. науч. конф. Чита : Молодой ученый, 2012. С. 67–70.
4. Рогачева И. Л., Варламова А. А., Леонтьев А. В. Станционные системы автоматики. М.: ГОУ УМЦ ЖДТ, 2007. 411 с.
5. Панкратов А. Н., Остроумов И. Г. Установление строения молекул физическими методами : учеб. пособие для вузов /под общ. ред. Э. П. Казикина. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 1995. 40 с.
6. Казыцина Л. Н., Куплетская Л. Н. Применение УФ-, ИК-, ЯМР- спектроскопии в органической химии : учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1971. 264 с.
7. Каверинский В. С., Смехов Ф. М. Электрические свойства лакокрасочных материалов и покрытий. М.: Химия, 1990. 160 с.

УДК 541.135:[544.478.013+622.276]

ПОЛУЧЕНИЕ НОВЫХ ВИДОВ АСФАЛЬТОСМОЛИСТЫХ ОЛИГОМЕРОВ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ ИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ

О. И. Навотный¹, В. А. Решетов¹, Д. А. Тиховский², С. Б. Ромаденкина¹

¹Саратовский государственный университет

²ООО «Волга-Девелопмент», Саратов

E-mail: Volga-dv@yandex.ru

Проведен сравнительный анализ существующих изоляционных материалов для магистральных газонефтепроводов. Осуществлен лабораторный синтез применяемых в настоящее время изоляционных мастик на основе асфальтосмолистых олигомеров. На их базе получены новые виды мастик, превосходящие существующие аналоги по выходу продукта и основным характеристикам, а также имеющие более низкую себестоимость.

Ключевые слова: изоляция, газонефтепровод, асфальтосмолистый олигомер, битум, абсорбент, серная кислота.

Production of New Sorts of Asphalt-resinous Oligomers for Application as Insulants in a System of Gas & Oil Mains

O. I. Navotnyi, V. A. Reshetov,
D. A. Tikhovsky, S. B. Romadenkina

Comparative analysis of the existing insulants for gas & oil mains was carried out. Laboratory synthesis of the insulation mastics currently

in use on the basis of asphalt-resinous oligomers was done. On their basis novel sorts of mastics surpassing their existing analogues by product yield and basic characteristics, and having a lower cost price were obtained.

Key words: isolation, gas & oil pipeline, asphalt-resinous oligomer, bitumen, absorbent, sulfuric acid.

В экономике нашей страны важное место занимает система магистральных газонефтепроводов, которая имеет свои особенности и проблемы. В силу того что климат России чрезвычайно разнообразен, при строительстве и эксплуатации трубопроводов требуется применение различных подходов и технических решений на всех этапах. Материалы, используемые в процессе этих работ, также должны





соответствовать самым разнообразным, в том числе экстремальным условиям [1].

Основная часть магистральных газопроводов построена из стальных труб, главным образом, в подземном исполнении, вследствие чего они подвержены различным видам коррозии как с внутренней, так и с наружной стороны. Поэтому одной из важнейших задач при строительстве газонефтепроводов является разработка изоляционных материалов, которые смогли бы увеличить срок эксплуатации магистралей на максимально возможный срок.

В настоящее время в трубопроводном транспорте применяются изоляционные материалы, которые условно можно разделить на две группы: 1) битумные мастики с оберточными материалами, комбинированные мастичные покрытия; 2) изоляционные ленты, экструдированный и напыленный полиэтилен, эпоксидные и полиуретановые материалы.

Битумы представляют собой смеси углеводородов, в том числе предельных и ароматических, а также их кислородных, сернистых и азотистых производных. Нефтяные битумы являются дисперсными системами, где дисперсионной средой являются масла и смолы, а дисперсной фазой – асфальтены и парафины [2–4].

Битумные мастики достаточно широко применялись для изоляции трубопроводов до 50-х гг. прошлого столетия. Затем с появлением пленочных материалов применение битумных мастик сильно ограничилось ввиду низкой технологичности их нанесения по сравнению с липкими полимерными лентами. В настоящее время на основе битумов возможно создание новых материалов, превосходящих по характеристикам традиционные битумные мастики.

Качество битума характеризуется рядом условных показателей: пенетрацией, температурой размягчения, температурой хрупкости, водонасыщением и др. Многие свойства (пластичность, когезия, вязкость, морозостойкость) определяются дисперсионной средой. Механические свойства и температура размягчения зависят от дисперсной фазы (асфальтенов и наполнителей).

Введение модифицирующих добавок в битумы позволяет получать битумные мастики с приемлемыми характеристиками, например пластификаторы для битумных мастик применяют для повышения их пластичности, особенно в области отрицательных температур, полимерные добавки – для увеличения прочности. В качестве

пластификаторов используют полимерные и нефтяные добавки [4].

В качестве основы полимерных изоляционных лент используют полимерные пленки, например полиэтилен или поливинилхлорид. Полиэтиленовые и поливинилхлоридные пленки используются как основное покрытие, но иногда их применяют в качестве защитной обертки [5].

В 90-х гг. прошлого столетия был разработан ряд материалов на основе асфальтосмолистых олигомеров, являющихся эффективными протекторами коррозии стальных труб. Новый продукт имеет превосходящие по сравнению с битумом основные характеристики, и главной из них является величина адгезии к стальной трубе. Это связано с тем, что в случае битума и битумных мастик адгезия осуществляется преимущественно за счет сил физической природы, в то время как у асфальтосмолистых олигомеров преобладают силы химической природы, которые образуются между функциональными группами изоляционного материала и ионами металла. Кроме того, функциональные группы способны образовывать химические связи и с окислами железа, растворяя в себе продукты коррозии, что облегчает подготовку поверхности при переизоляции участков магистрали в трассовых условиях. Кроме того, в отличие от битумов и битумных мастик, асфальтосмолистые олигомеры обладают высокой теплопроводностью, что позволяет формировать изоляционное покрытие на трубе достаточно быстро [2].

Наличие в асфальтосмолистых олигомерах соединений с высокомолекулярными функциональными группами обеспечивает более высокую химическую и поверхностную активность, лучшие физико-химические и физико-механические свойства материала, в отличие от широко используемых для аналогичных целей битумов и битумных мастик.

Известен промышленный способ производства асфальтосмолистых олигомеров, заключающийся в химическом взаимодействии битума с абсорбентом, получаемым в производстве бутадиена, изопрена, изобутилена, в присутствии концентрированной серной кислоты при следующем соотношении компонентов: 75–85% масс. битума или асфальта деасфальтизации гудрона пропаном; 8–22% масс. абсорбента и до 10% серной кислоты.

Сравнительные характеристики получаемого таким методом асфальтосмолистого олигомера и битумной мастики приведены в табл. 1.



Таблица 1

Сравнительные показатели асфальтосмолистых олигомеров и битумных мастик

Показатель	Битумная мастика	Мастика на основе асфальтосмолистого олигомера
Температура размягчения по кольцу и шару, °С	70–100	70–130
Температура хрупкости по Фраасу, °С	–15	–25
Адгезия к металлу, МПа (кгс/см ²)	0,5–0,6 (5–6)	1,0–1,5 (10–15)
Адгезия к полиолефинам, Н/см (кгс/см)	10,0 (1,0)	60,0 (6,0)
Скорость коррозии металла, мкм/ч *	1,2×10 ⁻²	6,5×10 ⁻³
Площадь отслаивания при катодной поляризации при 20 °С, см ²	12–15	0–0,5

Примечание. * покрытие толщиной 3,5 мм.

Существующие изоляционные материалы и покрытия не удовлетворяют в полной мере требованиям ГОСТ Р 51164-98 для магистральных трубопроводов (особенно газопроводов). Требуется разработать другие, более совершенные материалы и покрытия, обладающие улучшенными характеристиками по сравнению с существующими и способные обеспечивать защиту от коррозии на более длительное время – до 50 лет и более.

Была проведена работа по получению известных видов асфальтосмолистых олигомеров в лабораторных условиях, определению их характеристик и созданию новых видов на базе известных с лучшими показателями.

Целью проведенной работы являлось усовершенствование состава существующих материалов, применяемых для изоляции нефтегазопроводов, улучшение эксплуатационных свойств новых материалов по сравнению с уже известными, снижение себестоимости продукта,

уменьшение длительности процесса синтеза, увеличение выхода продукта.

Для синтеза асфальтосмолистого олигомера по известному методу был специально разработан лабораторный реактор закрытого типа с рабочим объемом 2л. Реактор снабжен подогревающим устройством по всей рабочей поверхности стенки регулятором скорости нагрева реакционной массы. Перемешивающее устройство рамного типа с регулятором количества оборотов обеспечивает качественное перемешивание компонентов смеси, благодаря чему реакция проходит равномерно по всему объему реакционной смеси. Также реактор снабжен термпарой для точного определения температуры смеси и газоотводной трубкой. Путем экспериментальных исследований были определены условия для лабораторного получения продукта и его оптимальный состав: 80–89,5 % битума марки БНД 60/90, 6,5–15% абсорбента А-2, остальное – концентрированная серная кислота (табл. 2) [6].

Таблица 2

Сравнение свойств известных асфальтосмолистых олигомеров и их прототипов, полученных в лабораторных условиях

Показатель	Промышленный образец № 1	Прототип образца № 1	Промышленный образец № 2	Прототип образца № 2
Температура размягчения по КиШ, °С	83,75	87,3	112,6	108,9
Температура хрупкости по Фраасу, °С	–5	–20	–5	–10
Пенетрация при 25°С, 0,1 мм	29	49	18,7	46,8
Растяжимость при 25°С, см	3,4	3,7	2,1	2,0
Адгезия к металлической подложке при 25°С, Н/мм ²	0,25	0,233	0,394	0,302
Площадь отслаивания при катодной поляризации, см ²	4,2	4,1	4,42	4,32
Растворимость в сольвенте, %	99,8	99,7	99,4	99,7
Водонасыщение, %	0,9	2,55	1,5	1,32



Характеристики полученных видов мастик соответствуют уже известным, получаемым в промышленных масштабах асфальтосмолистым олигомерам.

Таким образом, полученные в лабораторных условиях прототипы известных асфальтосмолистых олигомеров по параметрам соответствуют промышленным образцам и взяты за основу для создания новых изоляционных материалов с улучшенными эксплуатационными свойствами.

При изготовлении асфальтосмолистых олигомеров едва ли не важнейшую роль играет выбор абсорбента, так как этот продукт является

связующим звеном в процессе олигомеризации в основном за счет наличия в нем ненасыщенных углеводородов. Фракционный состав и количество абсорбента влияют на все основные характеристики получаемого продукта. Поэтому был произведен поиск альтернативных видов абсорбентов, и наиболее подходящим оказался абсорбент А-2, производимый в Республике Татарстан. Качественный и количественный анализ на газовом хромато-масс-спектрометре показал, что новый абсорбент содержит в своем составе большее количество компонентов, необходимых для синтеза продукта, по сравнению с другими аналогами (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение свойств асфальтосмолистых олигомеров при использовании различных абсорбентов и имеющих одинаковый количественный состав

Показатель	Прототип	Мастика с использованием абсорбента производства Республики Татарстан
Состав, %	Битум – 80 А-2 – 15 H ₂ SO ₄ – 5	Битум – 80 А-2 – 15 H ₂ SO ₄ – 5
Температура размягчения по КиШ, °С	87,3	81,83
Температура хрупкости по Фраасу, °С	–20	–10
Пенетрация при 25°С, 0,1 мм	49	38,2
Растяжимость при 25°С, см	3,7	3,9
Адгезия к металлической подложке при 25°С, Н/мм ²	0,233	0,234
Площадь отслаивания при катодной поляризации, см ²	4,1	2,25
Растворимость в сольвенте, %	99,7	99,8
Водонасыщение, %	2,55	0,867

Таким образом, применение нового вида абсорбента практически не изменяет характеристик получаемых мастик по сравнению с прототипами, однако при промышленном производстве можно добиться экономического эффекта благодаря снижению себестоимости производимого продукта.

При синтезе асфальтосмолистых олигомеров кислота играет роль не только катализатора, но и окислителя. Под действием кислоты происходит сульфирование компонентов битума с образованием сульфокислот, окислительные и каталитические реакции с участием образовавшихся сульфокислот. Поэтому при замене серной кислоты необходимо выбрать такие вещества, которые будут являться хорошими окислителями для битума, способны к связыванию молекул битума

между собой посредством составляющих абсорбент веществ, неопасны для человека и имеют низкую себестоимость. В качестве возможных окислителей были испытаны концентрированная ортофосфорная кислота, смесь ортофосфорной и серной кислот, сульфат железа (III), а также в качестве добавки было использовано поверхностно-активное вещество (ПАВ) ОП-10. Синтез целевого продукта с новыми компонентами протекал по той же схеме, что и синтез известного асфальтосмолистого олигомера в лабораторных условиях.

Процесс синтеза асфальтосмолистых олигомеров при воздействии ортофосфорной кислотой проходит более мягко, чем при окислении серной кислотой, продукт получается более пластичным (табл. 4).



Таблица 4

**Сравнение свойств асфальтосмолистых олигомеров при использовании различных окислителей
(с применением абсорбента А-2 производства Республики Татарстан)**

Показатель	Прототип	Образец				
		№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Состав	Битум А-2 H ₂ SO ₄	Битум А-2 H ₃ PO ₄	Битум А-2 H ₂ SO ₄ H ₃ PO ₄	Битум А-2 Fe ₂ (SO ₄) ₃	Битум А-2 H ₂ SO ₄ ОП-10	Битум А-2 H ₂ SO ₄ Пеногаситель
Температура размягчения по КиШ, °С	87,3	85,17	96,83	91,42	90,3	100,5
Температура хрупкости по Фраасу, °С	-20	-15	-20	-5	-10	-10
Пенетрация при 25°С, 0,1 мм	49	58,2	30,8	24,8	32,2	15,4
Растяжимость при 25°С, см	3,7	5	2,9	3,7	3	3,5
Адгезия к металлической подложке при 25°С, Н/мм ²	0,233	0,2	0,287	0,3	0,325	0,324
Площадь отслаивания при катодной поляризации, см ²	4,1	3,95	4,03	4,51	4,3	4,61
Растворимость в сольвенте, %	99,7	99,6	99,8	99,5	99,4	99,7
Водонасыщение, %	2,55	0,75	0,39	1,1	0,678	0,37

При окислении ортофосфорной кислотой вскипания реакционной массы не происходит, в отличие от процесса синтеза с использованием серной кислоты, благодаря чему увеличивается выход продукции и снижается ее себестоимость. При использовании в качестве окислителя сульфата железа (III) процесс окисления занимает больше времени, чем при окислении серной кислотой, синтез проходит более мягко, однако присутствие в смеси одновременно сульфат-ионов и ионов железа способствует увеличению адгезии к стали, которая является важнейшей характеристикой при производстве изоляционных материалов.

По причине того, что реакции поликонденсации при синтезе асфальтосмолистых олигомеров являются экзотермическими, происходит вскипание реакционной смеси, что не позволяет загружать промышленные реакторы полностью, а лишь только на 50%. Для предотвращения вспенивания реакционной смеси был применен пеногаситель. В результате добавления около 0,5% пеногасителя в реакционную смесь удастся значительно снизить вскипание смеси, что увеличивает выход целевого продукта и достигается экономический эффект при промышленном производстве изоляционных материалов на основе битума.

Таким образом, полученные составы по своим характеристикам соответствуют ГОСТ Р 51164-98 и по многим параметрам превосходят

известные в настоящее время изоляционные материалы для стальных магистральных трубопроводов.

1. Введение в смесь ортофосфорной кислоты приводит к уменьшению температуры размягчения конечного продукта, а наличие в составе мастики при ее приготовлении ортофосфорной кислоты, известной как преобразователь ржавчины, позволит наносить покрытие на трубы с низкой степенью очистки.

2. Использование вместо серной кислоты сульфата железа (III) в качестве окислителя может быть полезно в том случае, когда надо исключить влияние кислой среды даже в незначительном количестве при использовании данного вида мастичной композиции.

3. Добавление в смесь ПАВ ОП-10 делает смесь более гомогенной, препятствует пенообразованию и присутствию в смеси воздушных пузырьков.

4. Добавление в композицию незначительного количества пеногасителя позволяет проводить окисление продукта при более высоких по сравнению с прототипом температурах, тем самым увеличивая скорость протекания реакции, предотвращает вскипание реакционной смеси и повышает конечный выход продукта, а также увеличивает твердость покрытия и растяжимость, что улучшает эксплуатационные свойства мастич-



ной композиции. Добавление пеногасителя также позволяет увеличить скорость подачи кислоты в реакционную смесь в несколько раз, тем самым значительно сокращая время синтеза продукта. При этом увеличиваются как выход продукта, так и загрузка реактора, которая достигает 90–95%. Обеспечивается более высокая гомогенизация продукта по сравнению с прототипом и повышается его качество за счет улучшения физико-химических свойств.

Список литературы

1. Кравцов В. В., Черкасов Н. М., Гладких И. Ф., Шингаркина О. В. Неметаллические материалы и покрытия

в противокоррозионной технике. СПб. : Недра, 2008. С. 5–6.

2. Ржевская С. В. Материаловедение : учебник для вузов. М. : Логос, 2004. С. 131.
3. Черкасов Н. М., Гладких И. Ф., Гумеров К. М., Субаев И. У. Асмот и новые изоляционные материалы для подземных трубопроводов. М. : Недра, 2005. С. 155.
4. Гун Р. Б. Нефтяные битумы : учеб. пособие для рабочего образования. М. : Химия, 1989. С. 152.
5. Семенова И. В., Флорианович Г. М., Хорошилов А. В. Коррозия и защита от коррозии / под ред. И. В. Семановой. М. : Физматлит, 2002. С. 237.
6. ГОСТ Р 51164-98. Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии. М., 1999.

УДК 543.4

РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ СЕРЕБРО–КАДМИЙ И НИКЕЛЬ–КОБАЛЬТ ХЕМОМЕТРИЧЕСКИМИ АЛГОРИТМАМИ МЕТОДА НЕЗАВИСИМЫХ КОМПОНЕНТ

А. М. Цикин, Ю. Б. Монахова,
М. М. Бурашникова, С. П. Муштакова

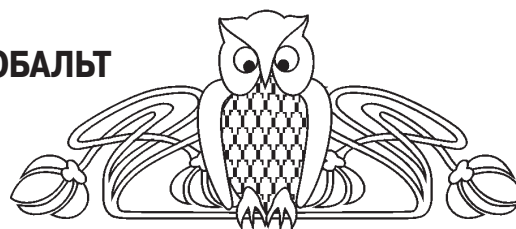
Саратовский государственный университет
E-mail: yul-monakhova@mail.ru

Качественный и количественный анализ химических веществ и их смесей является основной задачей химика-аналитика, при этом одним из методов, пригодным для решения поставленных задач, является спектроскопия в различных областях. Благодаря своим преимуществам (экспрессность, доступность методик анализа и приборов, их относительно невысокая стоимость) спектроскопический анализ находит широкое применение. Однако при любом его виде (спектроскопия в инфракрасной, ультрафиолетовой и видимой областях спектра, спектроскопия ядерного магнитного резонанса, рентгенофлуоресцентная спектроскопия) проблема анализа смесей соединений, характеризующихся высокой степенью взаимного перекрытия спектров, существует, и ее решение актуально. В частности, при рентгенофлуоресцентном анализе систем, в состав которых входят попарно соединения серебра и кадмия, кобальта и никеля, возникает проблема определения указанных компонентов ввиду высокой степени взаимного перекрытия их спектров. Для решения этой задачи были апробированы различные хемометрические алгоритмы декомпозиции спектральных смесей сложного состава, базирующиеся на методе независимых компонент. **Ключевые слова:** хемометрика, рентгенофлуоресцентный анализ, метод независимых компонент.

X-Ray Fluorescence Analysis of Silver–Cadmium and Nickel–Cobalt Systems by Chemometric Algorithms of Independent Component Method

А. М. Tsikin, Yu. B. Monakhova,
M. M. Burashnikova, S. P. Mushtakova

Qualitative and quantitative analysis of chemical substances and mixtures is the main objective for analytical chemist, and one of the



main methods suitable for the task is spectroscopy in different areas. Due to its advantages (speed, the accessibility of analysis techniques and instruments and their relatively low cost) spectroscopic analysis is widely used. However, regardless of its form (spectroscopy in the infrared, ultraviolet and visible regions of the spectrum, nuclear magnetic resonance spectroscopy, x-ray fluorescence spectroscopy) the problem of complex mixtures analysis, which characteristic is a high degree of individual components spectra overlap, exists, and its solution is important. In particular, during X-ray fluorescence analysis of systems which contain pairwise silver compound and cadmium, cobalt and nickel, the problem of determining these components exists due to the high degree of reciprocal overlapping of spectra. To solve this problem we tested the variety of complex mixtures spectral decomposition chemometric algorithms, based on the independent component method.

Key words: chemometrics, X-ray fluorescence analysis, independent component method.

Введение

Метод независимых компонент (МНК) в его линейном варианте базируется на представлении модели анализируемой смеси в виде следующего произведения.

$$X = A \cdot S,$$

где X – $M \times N$ – матрица из M измеренных спектров смесей, S – $K \times N$ – матрица из K неизвестных спектров «чистых» компонент, A – $M \times K$ – матрица смешивания (неизвестных концентраций), N – число отсчетов в спектрах по длине волны.



Основная идея метода независимых компонент может быть проиллюстрирована следующим образом. Спектры «чистых» компонент S слабо зависимы. Во всех физических случаях смешивания суперпозиции спектров (измерения для смесей X) более зависимы, чем спектры «чистых» компонент. МНК ищет преобразование, которое компенсирует зависимости, обусловленные смешиванием. Иными словами, ищется матрица разделения W (результатирующая оценка метода для A^{-1}) такая, что она минимизирует меру зависимости $Y = WX$ (результатирующих оценок метода для S).

В качестве количественной меры статистической зависимости в МНК используется взаимная информация $I(Y)$. Сигналы (строки Y) статистически независимы и имеют нулевую взаимную информацию, когда их плотность совместного распределения равна произведению плотностей индивидуальных распределений. Взаимная информация зависимых сигналов положительна.

Алгоритм **MILCA** (MutualInformation Least-Dependent Component Analysis) использует точные численные аппроксимации значений взаимной информации поиском ближайших соседей разного уровня, декомпозицию искомой матрицы вращения в двумерных подпространствах, что обеспечивает высокую эффективность и производительность [1].

SNICA (Stochastic Non-Negative Independent Component Analysis) разработан специально для анализа смесей неотрицательных компонент, имеющих максимум функции распределения интенсивностей близи нуля (случай, типичный в спектроскопии). Использование условия неотрицательности в тандеме с гипотезой наименьшей зависимости «чистых» компонент позволило исключить необходимость МГК декорреляции и находить решения в случае зависимых компонент. SNICA использует Монте-Карло минимизацию, подстройку параметров оптимизации по алгоритму имитации отжига, что позволяет избегать локальных минимумов целевой функции (взаимной информации), соответствующей ложным решениям [2].

SIMPLISMA (Simple-To-Use Interactive Self-Modeling Mixture Analysis) относится к семейству так называемых методов разрешения кривых. Эти методы применяются к серии спектральных наблюдений смеси, в которой концентрации компонент изменяются и направлены на извлечение чистых спектров компонент. Поскольку эта задача решается для определенного количества компонент, количество компонент смеси обязательно определяется во время разрешения кривых.

Основная идея алгоритма довольно проста. SIMPLISMA предполагает, что существуют такие переменные в наборе данных (например, спектральные длины волн или волновые числа), вклад в которые вносит только один из компонентов смеси. Такие переменные называются чистыми. Спектральная интенсивность чистых переменных представляет собой профиль концентрации. Если каждый компонент смеси содержит хотя бы одну чистую переменную в наборе данных, то соответствующие спектры компонент могут быть получены с помощью регрессии.

Основная проблема заключается в том, как найти чистые переменные. SIMPLISMA использует функцию чистоты, которая рассчитывается по определенной формуле. Обнаружено, что отношение стандартного отклонения к среднему для той же переменной коррелирует с чистотой переменной. Первая чистая переменная берется как максимум первого чистого спектра. Она должна соответствовать одному из компонентов смеси.

SIMPLISMA раскладывает компоненты один за другим. Для нахождения следующей чистой переменной эффект от выбранного компонента математически исключается из чистого спектра. Одновременно он также исключается из спектра стандартного отклонения, и, таким образом, получается так называемый спектр стандартного отклонения, откорректированный по чистоте. Эта кривая является отражением остаточной дисперсии данных, которая не моделируется с помощью ранее выбранных компонент [3].

JADE (Joint Approximate Diagonalization of Eigenmatrices) – это алгоритм, основанный на совместной диагонализации кумулянтных матриц для офлайн МНК. Хорошая статистическая производительность достигается путем вовлечения всех кумулянтов 2-го и 4-го порядка, а быстрая оптимизация – за счет применения метода совместной диагонализации.

Наиболее сильной стороной алгоритма JADE для применения в качестве МНК является то, что он работает на основании стандартных параметров и имеющихся данных, без настройки (off-the-shelf). Самым слабым местом в текущей реализации является то, что набор источников (но несенсоров) на практике ограничен (объемом доступной памяти) на уровне 40–50 в зависимости от компьютера.

Алгоритм JADE был первоначально разработан для использования в цифровой связи для обработки сложных сигналов. Теперь доступны и другие реализации, настроенные на более эффективную обработку других вещественных сигналов [4].



RADICAL (The Robust Accurate, Direct ICA algorithm) представляет собой относительно новый алгоритм для анализа независимых компонент. Он точный, быстрый, надежный к выбросам, имеет простое теоретическое обоснование получаемой информации. Алгоритм имеет очень простую реализацию и ее относительно легко понять.

После отбеливания алгоритм минимизирует сумму энтропий маргиналов смеси относительно вращений. Данный процесс является сравнительно быстрым, так как алгоритм **RADICAL** принадлежит к группе непараметрических методов. По мнению авторов, он превосходит многие из алгоритмов параметрических методов, таких как **FastICA**, **JADE** и другие [5].

Алгоритм **FastICA** (FastIndependent Component Analysis) является высокоэффективным компьютеризированным способом выполнения оценок методом независимых компонент. Он использует схему итерации фиксированной точки, которая, по данным независимых экспериментов, является в 10–100 раз более быстрой, чем обычные методы градиентного снижения. Еще одно преимущество алгоритма **FastICA** состоит в том, что он также может быть использован для выполнения поиска предсказанного значения, таким образом представляя собой метод анализа данных общего назначения, который может быть использован как для исследовательского моделирования, так и для оценки независимых компонент (или источников) [6].

MCR-ALS (Multivariate Curve Resolution – Alternating Least Squares) был использован в данной статье для сравнения качества результатов алгоритмов МНК с результатами, которые могут быть получены с использованием альтернативных подходов. **MCR-ALS** представляет собой алгоритм, который разрешает базовую билинейную модель многомерного разрешения кривых с использованием ограниченного алгоритма чередующихся наименьших квадратов. Ограничения используются для улучшения интерпретируемости концентрационных и спектральных профилей, которые могут отвечать за химические свойства (например, неотрицательность, унимодальность и т.д.) или иметь математическую природу (например, локальный ранг и селективные окна, трилинейная структура и т.д.).

Гибкость применения ограничений и возможность для обработки самых разнообразных структур мультинаборов – основные преимущества этого алгоритма. Качественное использование **MCR-ALS** возможно при правильном выборе и применении ограничений [7].

Вышеназванные алгоритмы были использованы для обработки данных рентгенофлуоресцентной спектроскопии. В целом рентгенофлуоресцентный анализ характеризуется высокой избирательностью, однако существуют смеси, в которых происходит наложение спектров индивидуальных компонентов, что приводит к затруднениям в количественном и качественном анализе. Примером таких систем являются двухкомпонентные смеси серебра и кадмия, кобальта и никеля, однако вместе с тем мы не исключаем, что такая ситуация может наблюдаться при анализе и других аналитов, поэтому апробация хемометрических методов разделения спектров индивидуальных компонентов в смесях представляется актуальной задачей, которая находится в русле современных тенденций аналитической химии.

Методология настоящего исследования сведена к анализу смоделированных смесей соединений, определению методов, показавших лучшие результаты, и их применению для анализа реальных растворов соединений серебра и кадмия, кобальта и никеля. Для увеличения соотношения сигнал–шум была применена предварительная математическая обработка исходных спектров растворов с использованием встроенных в программу **Matlab** опций предварительной обработки спектров [8], в том числе сплайн-интерполяции (*spline*), метода скользящей средней (*moving*), метода локально взвешенного рассеяния с использованием полиномов первого (*lowess*) и второго (*loess*) порядков, сглаживания Савицкого–Голая (*sgolay*), а также методов *lowess* и *loess*, резистентных к выбросам (*rloess* и *rloess*).

Материалы и методы

Спектры индивидуальных металлов, которые были использованы для моделирования смесей, и растворов их соединений, которые использовались как реальные смеси, были получены на рентгенофлуоресцентном спектрометре **Shimadzu Raynu EDX-700**. Сканирование осуществлялось в пределах 0.00–40.96 килоэлектронвольт (кэВ) с шагом сканирования 0.02 кэВ. Моделирование смесей проводили сложением спектров индивидуальных металлов по закону аддитивности.

Программы, реализующие алгоритмы **MILCA** и **SNICA**, использовались в модификации с **MATLAB** (The MathWorks, Natick, MA, USA) интерфейсами. Другие доступные ICA алгоритмы: **SIMPLISMA**, **JADE**, **RADICAL**, **FastICA**, **MCR-ALS** – также применялись в виде **MATLAB** кода.



Оценка идентичности теоретических и экспериментальных спектров проведена с использованием коэффициента корреляции (R). Метод его расчета реализован в виде алго-

ритма в программе MATLAB, позволяющего проводить расчет этого параметра автоматически и идентифицировать выделенные сигналы.

$$R = \frac{\sum_c \sum_r (A(c, r) - A_m) \cdot (B(c, r) - B_m)}{\sqrt{(\sum_c \sum_r (A(c, r) - A_m)^2) \cdot (\sum_c \sum_r (B(c, r) - B_m)^2)}}$$

где $A_m = \text{mean2}(A)$, $B_m = \text{mean2}(B)$.

Для расчета сходства экспериментальной и расчетной матриц концентраций использовали Амари индекс (Amari) [9].

$$Amari = \frac{1}{2d} \sum_{i,j=1}^d \left(\frac{|p_{ij}|}{\max_k |p_{ik}|} + \frac{|p_{ij}|}{\max_k |p_{kj}|} \right) - 1,$$

где $p_{ij} = (\hat{A}^{-1}A)_{ij}$.

Для реальных растворов матрица концентраций, получающаяся в результате разложения исходной матрицы спектров, была преобразована в массовые концентрации (с, г/мл).

Стоит отметить, что допустимыми считаются значения коэффициента корреляции выше 0.95 (это означает, что компонент идентифицирован с

вероятностью более 99% [10]) и индекса Амари менее 0.2 [11].

Результаты и их обсуждение

1. Система никель-кобальт.

Для определения алгоритмов, наиболее подходящих для анализа рассматриваемых смесей, была проанализирована работа всех вышеназванных хемометрических алгоритмов на примере смоделированных систем, а полученные результаты были сведены в табл. 1. При анализе представленных в табл. 1 результатов видно, что в лучшую сторону существенно отличаются результаты, которые были получены с помощью алгоритмов MILCA, SIMPLISMA и JADE. Именно эти алгоритмы и были апробированы в дальнейшем для анализа растворов, содержащих соединения кобальта и никеля.

Таблица 1

Результаты анализа смоделированных смесей никеля и кобальта различными хемометрическими алгоритмами

Показатель	MILCA	SNICA	SIMPLISMA	JADE	RADICAL	Fast-ICA	MCR-ALS
$R(\text{Co})$	1.00	0.41	1.00	1.00	1.00	1.00	0.98
$R(\text{Ni})$	1.00	0.98	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
$Amari$	0.06	0.75	0.01	0.02	0.73	0.73	0.24

В табл. 2 представлены результаты анализа растворов вышеназванными алгоритмами. Исходя из этих данных, можно сделать вывод о

хорошем качестве декомпозиции, незначительно отличающемся от качества разложения смоделированных систем.

Таблица 2

Результаты анализа реальных растворов кобальта с никелем с применением методов MILCA, SIMPLISMA и JADE

Система	Показатель	MILCA	SIMPLISMA	JADE
I (10^{-2} г/мл CoCl_2 , 10^{-2} г/мл NiSO_4)	$R(\text{Co})$	0.99	1.00	1.00
	$R(\text{Ni})$	1.00	1.00	1.00
	c (CoCl_2), 10^{-2} г/мл	1.06 ± 0.12	1.02 ± 0.08	1.05 ± 0.09
	c (NiSO_4), 10^{-2} г/мл	0.95 ± 0.10	0.99 ± 0.05	0.97 ± 0.07
II ($6.7 \cdot 10^{-3}$ г/мл CoCl_2 , $1.33 \cdot 10^{-2}$ г/мл NiSO_4)	$R(\text{Co})$	1.00	1.00	1.00
	$R(\text{Ni})$	1.00	1.00	1.00
	c (CoCl_2), 10^{-2} г/мл	0.64 ± 0.08	0.67 ± 0.03	0.66 ± 0.05
	c (NiSO_4), 10^{-2} г/мл	1.36 ± 0.05	1.34 ± 0.03	1.35 ± 0.06



Также на рис. 1 приведены спектры кобальта и никеля, выделенные из растворов, содержащих соединения этих металлов, в сравнении со спектрами чистых металлов, полученных рентгеноф-

луоресцентной спектроскопией. Очевидно, что декомпозиция проведена успешно, и выделенные сигналы практически в точности повторяют спектры чистых металлов.

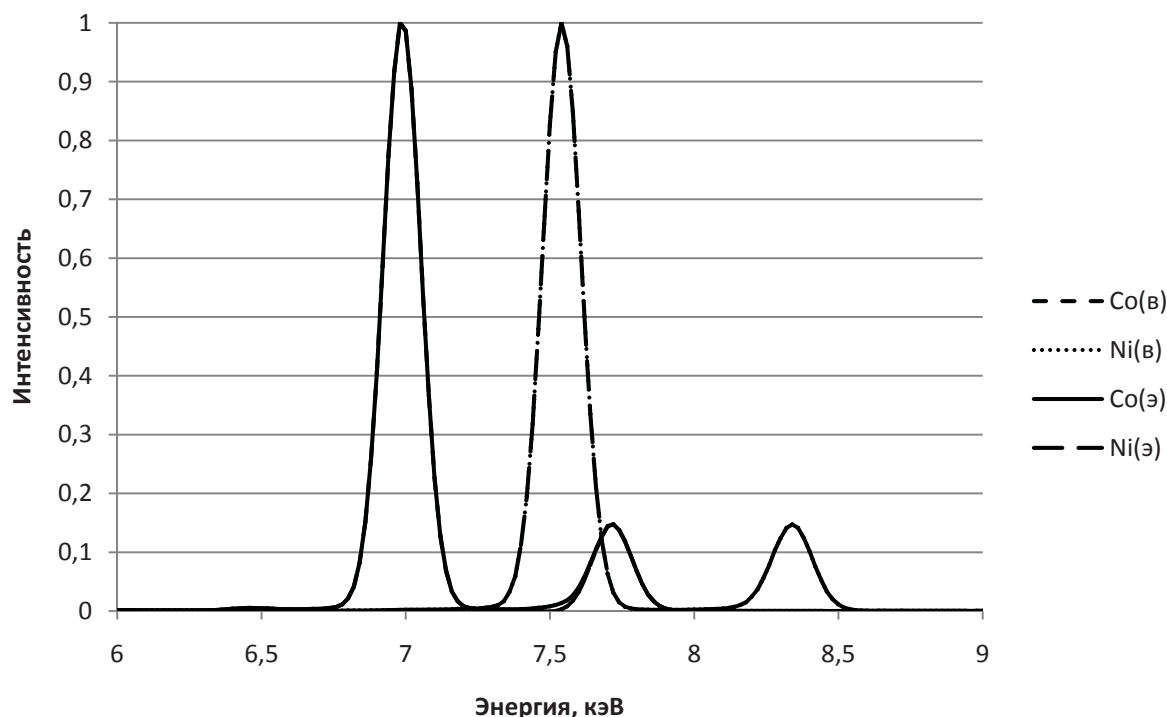


Рис. 1. Экспериментальные спектры чистых и спектры выделенных из растворов Co и Ni с помощью алгоритма SIMPLISMA

Полученные данные однозначно свидетельствуют о возможности применения хемометрических алгоритмов MILCA, SIMPLISMA и JADE для решения задач качественного и количественного анализа кобальт-никелевых систем.

2. Система серебро–кадмий.

Аналогично системе никель–кобальт в данном случае сначала была исследована работа различных хемометрических методов для выявления наиболее подходящих для анализа данных смесей. Результаты анализа приведены в табл. 4.

Таблица 3

Результаты анализа смоделированных смесей серебра и кадмия различными хемометрическими алгоритмами

Показатель	MILCA	SNICA	SIMPLISMA	JADE	RADICAL	Fast-ICA	MCR-ALS
$R(\text{Cd})$	0.94	0.91	1.00	1.00	0.97	0.99	1.00
$R(\text{Ag})$	0.89	0.91	1.00	0.88	0.96	0.91	1.00
$Amari$	0.58	0.73	0.06	0.26	0.83	0.86	0.17

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для анализа подобных смесей подходит только алгоритм SIMPLISMA. В связи с этим именно этот алгоритм был использован для анализа приготовленных растворов соединений никеля и кобальта. Полученные результаты были сведены в табл. 4, из которой видно, что

алгоритм SIMPLISMA может быть успешно применен для анализа подобных систем. Это подтверждается и сравнением выделенных из растворов спектров серебра и кадмия и спектров серебра и кадмия, полученных рентгенофлуоресцентным анализом чистых металлов (рис. 2).

Таблица 4

Анализ реальных растворов кадмия и серебра с применением методов MILCA и SIMPLISMA

Система	Показатель	SIMPLISMA
I (10^{-2} г/мл $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, 10^{-2} г/мл AgCl_2)	$R(\text{Cd})$	1.00
	$R(\text{Ag})$	1.00
	$c(\text{Cd}(\text{NO}_3)_2)$, 10^{-2} г/мл	1.05 ± 0.08
	$c(\text{AgCl}_2)$, 10^{-2} г/мл	0.98 ± 0.04
II ($6.7 \cdot 10^{-3}$ г/мл $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, $1.33 \cdot 10^{-2}$ г/мл AgCl_2)	$R(\text{Cd})$	1.00
	$R(\text{Ag})$	1.00
	$c(\text{Cd}(\text{NO}_3)_2)$, 10^{-2} г/мл	0.65 ± 0.05
	$c(\text{AgCl}_2)$, 10^{-2} г/мл	1.37 ± 0.06

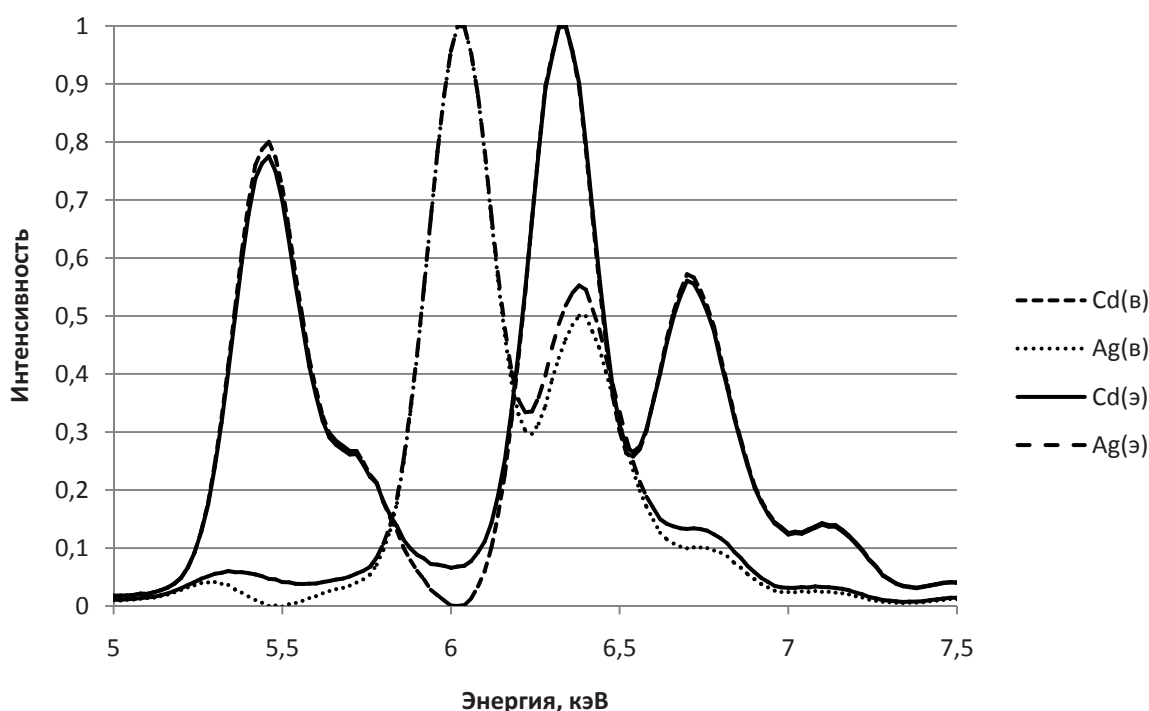


Рис. 2. Экспериментальные спектры чистых и спектры выделенных из растворов Cd и Ag с помощью алгоритма SIMPLISMA

Выводы

В настоящей работе были апробированы различные хемометрические алгоритмы, позволяющие производить декомпозицию смесей компонентов. Проанализированы системы кобальта и никеля, серебра и кадмия с различным содержанием данных веществ. Для предварительной выборки методов, лучшим образом подходящих для решения поставленных задач, сначала было проведено разделение смоделированных смесей металлов.

Отобранные в результате анализа смоделированных систем алгоритмы были использованы

для разложения спектров компонентов реальных систем: растворов, содержащих соединения кобальта и никеля, серебра и кадмия. Обобщая полученные результаты, мы рекомендуем алгоритм SIMPLISMA для анализа данных рентгенофлуоресцентной спектроскопии, который показал стабильно хорошие результаты.

Малое время как самого анализа (≈ 5 мин), так и последующей математической обработки (≈ 10 мин), высокое качество получаемых результатов (все компоненты были идентифицированы с вероятностью более 90%, погрешность количественного анализа не превысила 5%) позволяют



рекомендовать метод рентгенофлуоресцентного анализа в сочетании с хемометрическими методами обработки данных для анализа смесей металлов даже в случае перекрытия спектров индивидуальных компонентов.

Список литературы

1. Stogbauer H., Kraskov A., Astakhov S. A., Grassberger P. Least-dependent component analysis based on mutual information // Phys. Rev. E. 2004. Vol. 70. P. 066123–066140.
2. Astakhov S. A., Stogbauer H., Kraskov A., Grassberger P. Monte Carlo Algorithm for Least Dependent Non-Negative Mixture Decomposition // Anal. Chem. 2006. Vol. 78. P. 1620–1627.
3. Winding W., Guilment J. Interactive Self-Modeling Mixture Analysis // Anal. Chem. 1991. Vol. 63. P. 1425–1432.
4. Cardoso J.-F. High-Order Contrasts for Independent Component Analysis // Neural Computation. 1999. Vol. 11. P. 157–192.
5. Learned-Miller E. G., Fisher J. W. Using Spacing Estimates of Entropy // J. Machine Learning Research. 2003. Vol. 4. P. 1271–1295.
6. Hyvarinen A., Oja E. A Fast Fixed-Point Algorithm for Independent Component Analysis // Neural Computation. 1997. Vol. 9. P. 1483–1492.
7. Tauler R. Multivariate curve resolution applied to second order data // Chemometr. Intell. Lab. Syst. 1995. Vol. 30. P. 133–146.
8. Orfanidis S. J. Introduction to Signal Processing. N.Y. : Prentice-Hall, 1996. 63 p.
9. Malinowski E. R. Obtaining the key set of typical vectors by factor analysis and subsequent isolation of component spectra // Anal. Chim. Acta. 1982. Vol. 134. P. 129–137.
10. Milman B. Identification of chemical compounds // Trends in Analytical Chemistry. 2005. Vol. 24. P. 493–508.
11. Monakhova Yu. B., Astakhov A. S., Kraskov A. V., Mush-takova S. P. Independent components in spectroscopic analysis of complex mixtures // Chemometr. Intell. Lab. Syst. 2010. Vol. 103. P. 108–115.

УДК 665.63-404

ПРЕВРАЩЕНИЯ Н-ГЕКСАНА И СТАБИЛЬНОГО ГИДРОГЕНИЗАТА НА ПОВЕРХНОСТИ ВЫСОКОМОДУЛЬНЫХ ЦЕОЛИТНЫХ СИСТЕМ

Р. И. Кузьмина, С. В. Игнатьев

Саратовский государственный университет
E-mail: ignatiev-s-v@yandex.ru

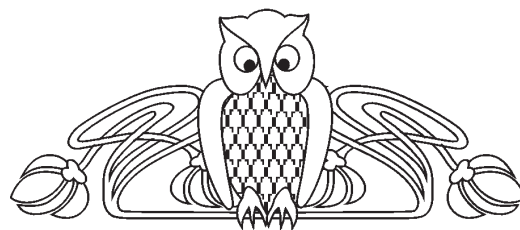
Исследованы превращения н-гексана и стабильного гидрогенизата (температура кипения 85–180 °С) в интервале температур 250–500 °С. Установлено, что процесс превращения н-гексана включает в себя реакции крекинга, изомеризации и ароматизации. Направление химических превращений зависит от параметров активации и условий протекания процесса. Конверсия стабильного гидрогенизата позволяет получать высокооктановые компоненты топлива.

Ключевые слова: н-гексан, стабильный гидрогенизат, цеолит, ZSM-5, крекинг, изомеризация, ароматизация, топлива.

Transformation of n-hexane and Stable Section of Hydrogenated Feed on the Surface of High-zeolite Systems

R. I. Kuzmia, S. V. Ignatyev

Transformation of n-hexane and stable section of hydrogenated feed (boiling temperature) in the temperature range of 250 to 500 °C are investigated. It is established, that the process of n-hexane transformation includes reactions of cracking, isomerisation and aromatization. Direction of chemical transformations depends on



the activation parameters and conditions of the process. Conversion of stable section of hydrogenated feed allows to receive high-octane components of the fuel.

Key words: n-hexane, stable section of hydrogenated feed, zeolite, ZSM-5, cracking, isomerisation, aromatization, fuels.

Особенностью современного этапа нефтепереработки является повышение требований к эксплуатационным и экологическим характеристикам моторных топлив. Наряду с этим сокращаются мировые запасы углеводородного сырья и возникает необходимость в увеличении глубины переработки нефти.

Актуальными являются исследования, направленные на создание эффективных многокомпонентных каталитических систем и выявление физико-химических особенностей гетерогенных реакций углеводородов, протекающих на их поверхности, с образованием *изо*-парафинов, ароматических углеводородов и алкилциклопарафинов с высоким октановым числом.



Цеолиты типа ZSM-5 находят широкое применение в качестве катализаторов различных нефтехимических процессов, и их исследование является перспективным направлением нефтепереработки [1–3]. Соотношение $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ в цеолите называют его силикатным модулем. Он оказывает огромное влияние на превращения *n*-гексана. Итоговая конверсия имеет минимальное значение при отношении $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ равном 80. Вклад реакций алкилирования и изомеризации растет постоянно с ростом отношения $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ [4, 5]. Поэтому для исследования были выбраны образцы катализатора с модулем 100 и 200.

Экспериментальная часть

С целью изучения каталитической активности высококремнистых цеолитов типа ZSM-5 (семейство пентасил) в H-форме с силикатным модулем $M = 200$ моль/моль и 100 моль/моль проводили исследования на лабораторной установке проточного типа в интервале температур 250–500 °С с шагом в 50 °С, при атмосферном давлении, без циркуляции водородсодержащего газа, с объемной скоростью подачи *n*-гексана 1 и 2 ч⁻¹ и стабильного гидрогенизата 2 ч⁻¹.

Образцы порошкообразного катализатора предварительно спрессованы, прокалены. Для загрузки в лабораторную установку использована фракция с размером зерна 2–3 мм, объем загрузки катализатора 11 см³. Перед испытанием катализатор активировали в токе воздуха/водорода при температуре 500 °С в течение 1 ч, при скорости подачи газа 2 л/ч.

Хроматографический анализ продуктов проводили на аналитическом стационарном лабораторном хроматографе «Кристалл 5000», предназначенном для анализа органических соединений с температурой кипения до 250 °С

методом газожидкостной и газоадсорбционной хроматографии соответственно. Хроматограф оснащен колонкой DB-1 длиной 100 м, диаметром 0,25 мм, неподвижной жидкой фазой является полиметилсилоксан. Газ-носитель – гелий.

Анализ компонентного состава проводится с помощью плазменно-ионизационного детектора (ПИД). Идентификация компонентов осуществлялась с использованием стандартов «Алкилаты», «Нафта», «Риформат». Расчет концентраций компонентов (вес. %, объем. %, мол. %), средняя: молекулярная масса, относительная плотность, давление насыщенных паров, октановые числа по ИМ и ММ, температура выкипания, проводятся с помощью программы «Хроматэк-Аналитик», специально разработанной для детального углеводородного анализа.

Результаты и их обсуждение

Опыты проводились на высококремнистых цеолитах ZSM-5. Каталитическая активность таких цеолитов 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 различными элементами.

Хроматографический анализ продуктов конверсии *n*-гексана на поверхности катализатора ZSM-5 с силикатным модулем $M = 200$ моль/моль при объемной скорости подачи сырья 2 ч⁻¹ и активации в токе воздуха показал, что в катализате присутствуют продукты крекинга, изомеризации и ароматизации, с преобладающей долей продуктов крекинга (табл. 1).

Таблица 1

Общий углеводородный состав жидких и газовых продуктов

Продукт	Массовое содержание, %					
	250 °С	300 °С	350 °С	400 °С	450 °С	500 °С
C ₁ -C ₂	0,0	0,0	0,2	1,8	4,4	10,5
C ₃ H ₈	0,8	2,3	5,8	18,6	27,6	28,7
<i>n</i> -C ₄ -C ₅	0,5	5,8	8,2	15,8	14,4	11,9
<i>n</i> -гексан	89,6	77,6	66,3	30,0	18,0	16,0
<i>i</i> -C ₄ -C ₆	6,8	10,7	13,6	21,7	21,4	14,2
<i>i</i> -C ₇ -C ₁₄	0,5	0,7	2,1	2,3	1,2	1,4
<i>n</i> -C ₇ -C ₁₄	0,3	0,4	0,3	0,2	0,1	0,2
Алкены C ₄ -C ₆	0,2	0,6	1,1	1,3	1,0	1,4
Алкены C ₇ -C ₁₄	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,1
Аг-C ₆ -C ₈	0,0	0,3	1,3	4,4	10,4	12,7
Аг-C ₉ -C ₁₄	0,0	0,0	0,0	0,0	0,7	1,1
Нафтены C ₅ -C ₆	0,9	0,9	0,1	1,6	0,0	1,2
Нафтены C ₇ -C ₁₄	0,2	0,4	0,5	1,9	0,7	0,6



Показано, что с увеличением температуры процесса растет глубина превращений *n*-гексана и наблюдается рост содержания углеводородов C_1-C_5 , указывающее на усилении крекирующей способности цеолита. Кроме того, катализатор проявляет активность в реакциях изомеризации и ароматизации *n*-гексана. Максимальный выход изоалканов наблюдается при температуре процесса 400 °С. Также с увеличением температуры увеличивается выход ароматических углеводородов.

Детальный хроматографический анализ состава образующихся ароматических углево-

дородов указывает на превалирование толуола и ксилолов. Это позволяет предположить, что образование ароматических углеводородов происходит за счет реакций дегидроциклизации *n*-алканов и дальнейшего алкилирования бензола продуктами реакций крекинга с образованием производных бензола (толуола, ксилолов).

С увеличением температуры увеличивается октановое число полученного катализата за счет увеличения содержания ароматических углеводородов и углеводородов изостроения (табл. 2).

Таблица 2

Октановое число катализата

Температура, °С	250	300	350	400	450	500
ОЧИМ	28,1	35,3	43,3	63,3	76,1	78,7
ОЧММ	43,5	47,8	52,2	62,1	71,6	73,3

Установлено, что ввиду высокой крекирующей активности катализатора ZSM-5 с силикатным модулем $M = 200$ моль/моль из-за высокой кислотности дальнейшее более глубокое изучение превращений углеводородов целесообразно проводить на катализаторе с меньшим силикатным модулем.

С целью изучения влияния условий активации, а также времени контакта на состав продуктов проведены исследования конверсии *n*-гексана на поверхности катализатора ZSM-5 с силикатным модулем $M=100$ моль/моль, активированном как в токе воздуха, так и в токе водорода, при объемной скорости подачи 1 и 2 ч⁻¹.

Материальный баланс общего углеводородного состава газообразных и жидких продуктов превращения *n*-гексана (рис. 1, 2) на исследуемом катализаторе при различных условиях активации (в токе воздуха и в токе водорода) и различном времени контакта (объемной скорости подачи сырья) показал, что с ростом температуры во всех случаях наблюдается увеличение степени превращения *n*-гексана, однако конверсия на катализаторе, активированном в токе воздуха, протекает интенсивнее. Глубина конверсии также выше при более низкой объемной скорости подачи сырья (1 ч⁻¹).

Активация катализатора в различных условиях приводит к перераспределению активных окислительно-восстановительных центров на его поверхности, что, в свою очередь, приводит к перераспределению направлений протекающих реакций. Во всех исследованных случаях превращения *n*-гексана протекают по трем основным направлениям: крекинг, изомеризация и ароматизация. Однако селективность превращения

n-гексана по реакциям изомеризации больше в присутствии катализатора, активированного в токе водорода, а селективность превращений по реакциям ароматизации *n*-гексана выше на катализаторе, активированном в токе воздуха. С увеличением температуры процесса селективность по реакциям крекинга и ароматизации *n*-гексана растет, а по реакциям изомеризации снижается. Максимальное содержание изомеров в катализате наблюдается при температуре процесса 400 °С.

В реакциях изомеризации катализатор наиболее активен в низкотемпературной области до 350–400 °С. Наибольшая активность катализатора в реакциях ароматизации наблюдается в высокотемпературной области 400–500 °С.

С ростом температуры процесса в катализате наблюдается рост содержания продуктов реакций крекинга *n*-гексана. Превалирующим продуктом реакций крекинга является пропан, что говорит о симметричном механизме разрыва связей С-С. Помимо пропана также велико содержание бутан-пентановой фракции, что указывает на разрыв углеродных связей в молекуле *n*-гексана по β-положению. Так как *n*-бутан и *n*-пентан находятся в равновесных количествах с изо-бутаном и изо-пентаном в катализате соответственно можно сделать вывод об активности катализатора в изомеризации бутан-пентановой фракции.

Так как исследуемый процесс протекает без подачи водородсодержащего газа, продуктами крекинга должны быть и непредельные соединения. Однако хроматографический анализ газо-жидкостной продуктовой смеси показал, что непредельные соединения находятся в следовых количествах. Следовательно, происходит их

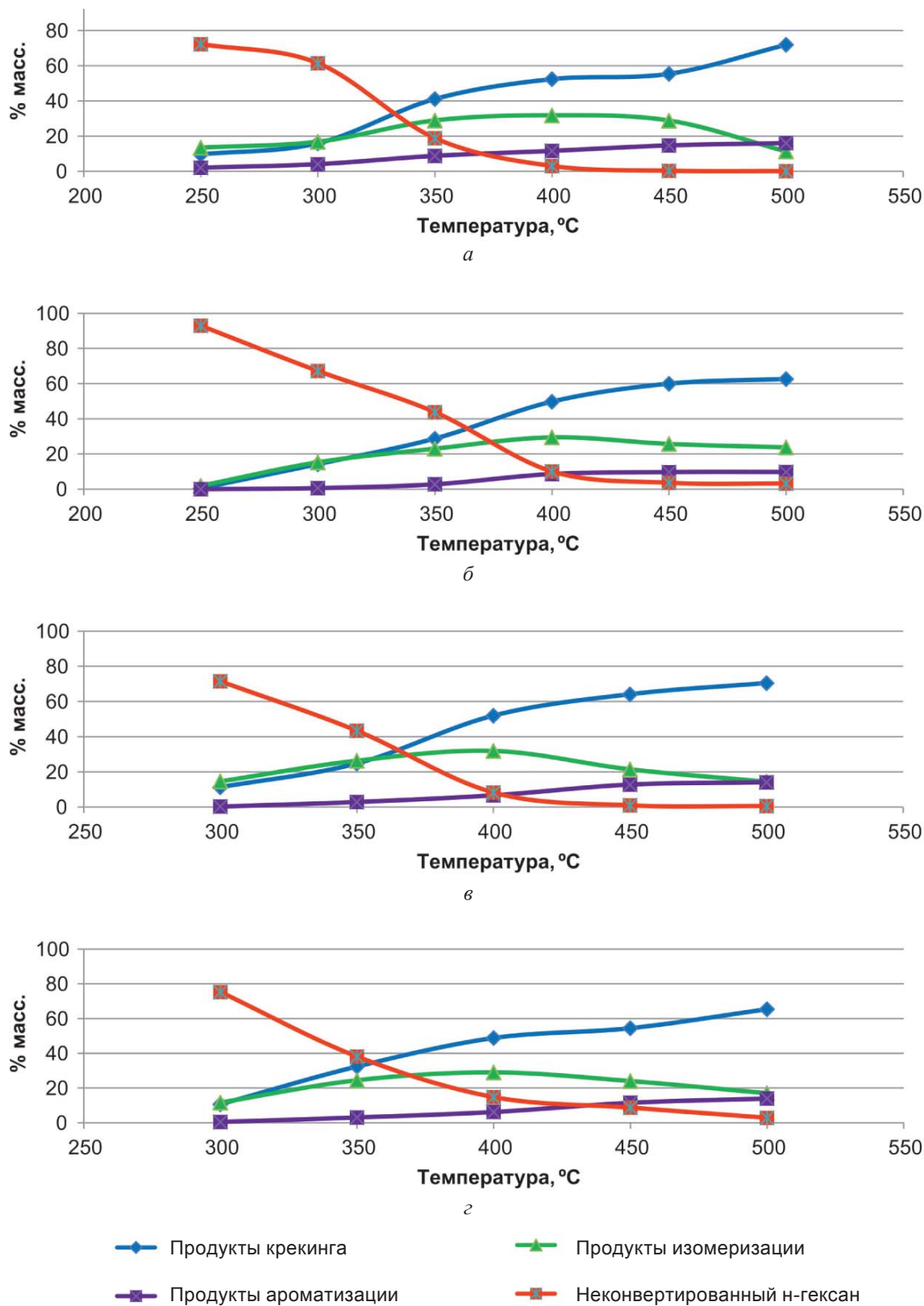


Рис. 1. Влияние температуры на состав продуктов превращения *n*-гексана на катализаторе ZSM-5, $M = 100$: *a* – активация в токе воздуха, объемная скорость подачи сырья 1 ч^{-1} ; *б* – активация в токе воздуха, объемная скорость подачи сырья 2 ч^{-1} ; *в* – активация в токе водорода, объемная скорость подачи сырья 1 ч^{-1} ; *г* – активация в токе водорода, объемная скорость подачи сырья 2 ч^{-1}

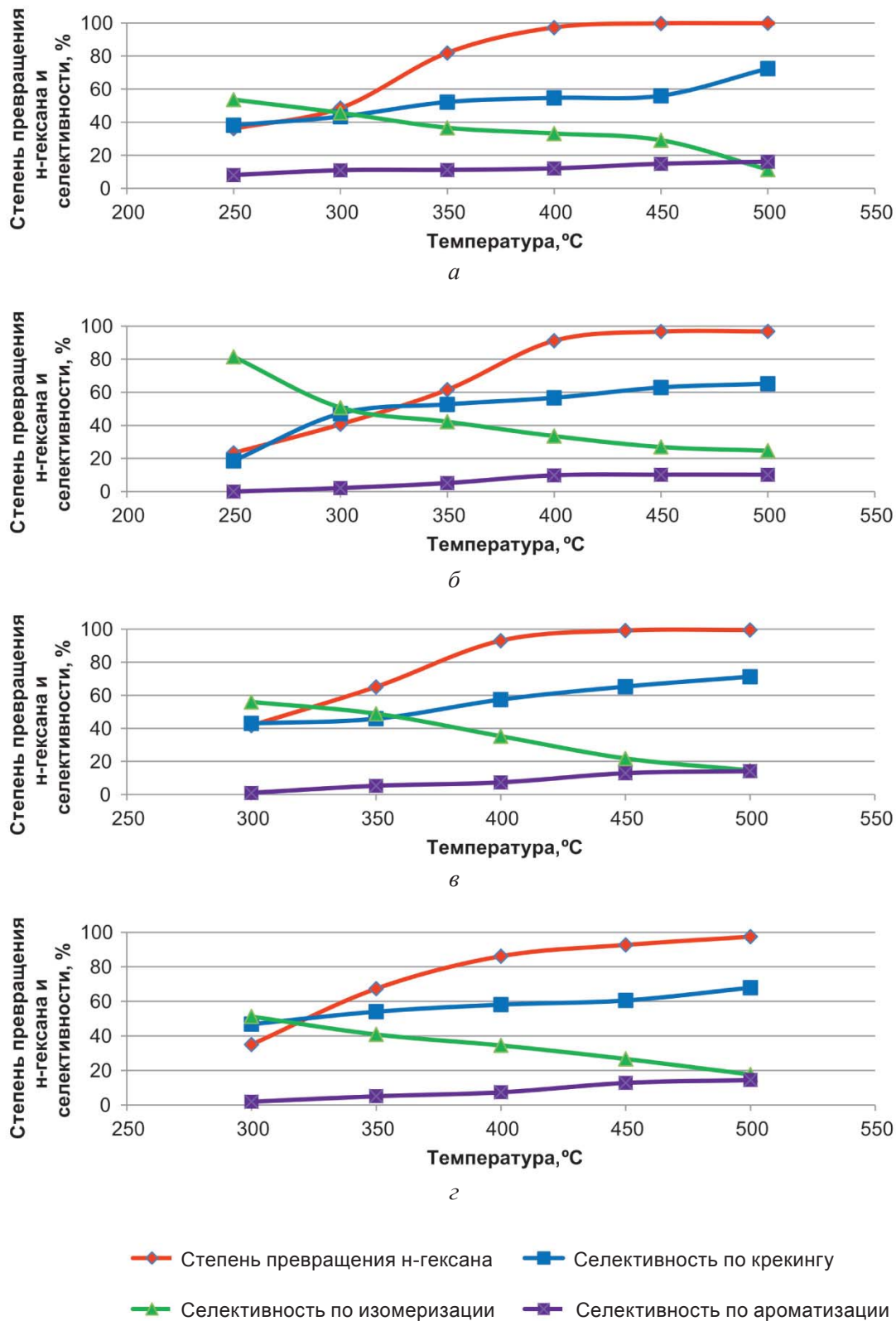
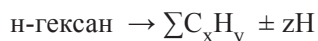


Рис. 2. Степень превращения н-гексана и селективность по основным типам реакций н-гексана на ZSM-5 M-100: а – активация в токе воздуха, объемная скорость подачи сырья 1ч⁻¹; б – активация в токе воздуха, объемная скорость подачи сырья 2 ч⁻¹; в – активация в токе водорода, объемная скорость подачи сырья 1ч⁻¹; г – активация в токе водорода, объемная скорость подачи сырья 2 ч⁻¹



гидрирование за счет водорода, образовавшегося в результате реакций дегидрирования нафтеновых углеводородов и дегидроциклизации алканов. Количество реакционного водорода системы рассчитано путем составления материального баланса по формализованным уравнениям реакций вида:



для каждого компонента продуктовой смеси. Расчет количества образующегося реакционного водорода за счет реакций дегидрирования, дегидроциклизации и коксообразования показал, что реакционный водород расходуется полностью на гидрирование непредельных соединений, образующихся в ходе реакций крекинга.

Детальный хроматографический анализ состава образующихся ароматических углеводородов указывает на превалирование толуола и ксилолов, так же как и для ZSM-5 с силикатным модулем M=200 моль/моль. Это также позволяет предположить, что образование ароматических углеводородов происходит за счет реакций дегидроциклизации n-алканов и дальнейшего алкилирования бензола продуктами реакций крекинга с образованием производных бензола (толуола, ксилолов).

Жидкие продукты, полученные при разной температуре, обладают высоким октановым числом (табл. 3), что связано с преобладанием углеводородов изостроения при низкой температуре осуществления процесса и ароматических углеводородов при температуре выше 400 °С.

Таблица 3

Октановое число жидкого катализата (кат. ZSM-5, M = 100 моль/моль)

Температура, °С	250	300	350	400	450	500
Активация в токе воздуха, объемная скорость подачи сырья 1ч ⁻¹						
ОЧИМ	38,9	43,8	71,6	103,3	112,7	115,3
ОЧММ	48,7	53,0	69,4	91,2	95,0	96,9
Активация в токе воздуха, объемная скорость подачи сырья 2ч ⁻¹						
ОЧИМ	32,8	42,9	51,2	80,6	101,8	105,5
ОЧММ	47,3	51,6	56,4	74,4	87,4	90,0
Активация в токе водорода, объемная скорость подачи сырья 1ч ⁻¹						
ОЧИМ	–	42,2	59,9	85,9	109,1	112,3
ОЧММ	–	52,2	62,9	75,3	92,4	95,0
Активация в токе водорода, объемная скорость подачи сырья 2ч ⁻¹						
ОЧИМ	–	38,7	56,9	75,8	84,6	103,9
ОЧММ	–	49,7	59,4	68,3	78,3	89,7

Во всех опытах образование кокса незначительно (менее 0,5% масс.), что позволяет говорить о большом межрегенерационном периоде работы катализатора.

Для установления возможности использования катализатора ZSM-5 (M=100) в промыш-

ленных процессах получения высокооктановых компонентов топлив произведены исследования превращения стабильного гидрогенизата Саратовского НПЗ (температура кипения 85–180 °С) в интервале температур 300–500 °С (табл. 4).

Таблица 4

Углеводородный состав стабильного гидрогенизата, % масс.

Группа	Алканы	Изоалканы	Арены	Нафтены	Олефины
6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
7	9,7	4,2	3,3	11,0	1,6
8	9,5	11,9	2,5	6,4	0,0
9	0,0	9,0	3,2	7,5	0,5
10	0,1	6,5	6,2	3,4	0,0
11	0,0	2,7	0,0	0,6	0,0



Ввиду полученных ранее данных о том, что селективность превращений по реакциям изомеризации углеводородов выше на катализаторе, активированном в токе водорода, активацию катализатора проводили в среде водорода. Подачу сырья производили со скоростью 2 ч^{-1} .

Хроматографический анализ полученных жидких продуктов показал, что с увеличением температуры с 300 до 500 °С происходит:

1) рост октанового числа (ИМ/ММ) с 85/60 до 100/75;

2) снижение содержания *n*-алканов с 20 до 7% масс.;

3) увеличение содержания ароматических углеводородов с 15 до 36 % масс.;

4) содержание изо-компонентов практически не меняется (32–35%);

5) снижение содержания нафтенов с 29 до 21% масс.

Полученные данные позволяют сделать вывод, что катализатор активен в реакциях ароматизации путем дегидрирования нафтенов и дегидроциклизации *n*-алканов. Рост октанового числа обусловлен увеличением содержания ароматических углеводородов. Данный катализатор может быть использован в промышленном процессе риформинга бензиновых фракций.

Проведенные исследования показали, что высокомодульные цеолиты типа ZSM-5 активны в реакциях превращений углеводородов и могут быть использованы в качестве катализаторов различных процессов нефтепереработки. Реакции каталитического крекинга, изомеризации и ароматизации *n*-парафинов являются преобладающими направлениями химических превращений. Установлено, что реакции каталитического крекинга протекают по симметричному механизму разрыва C–C связей, а также по β-положению. В связи с этим основными продуктами являются пропан и бутан-пентановая фракция, подверженная дальнейшим превращениям, в частности реакциям изомеризации. Детальный хроматографический анализ состава образующихся ароматических углеводородов указывает на превалирование

толуола и ксилолов. Это также позволяет предположить, что образование ароматических углеводородов происходит за счет реакций дегидроциклизации *n*-алканов и дальнейшего алкилирования бензола продуктами реакций крекинга с образованием производных бензола. Активация катализатора в различных условиях приводит к перераспределению активных окислительно-восстановительных центров на его поверхности, что, в свою очередь, сопровождается перераспределением направлений протекающих реакций углеводородов. Селективность по реакциям ароматизации выше при активации в токе воздуха, а по изомеризации – в среде водорода. Все жидкие продукты превращений обладают высоким октановым числом за счет большого содержания изо-алканов и ароматических соединений.

При конверсии стабильного гидрогенизата удалось получить жидкие продукты с высоким октановым числом (90–100 ИМ), что позволяет использовать данный катализатор в промышленных процессах производства высокооктановых компонентов бензинов.

Список литературы

1. Кузьмина Р. И., Фролов М. П., Ливенцев В. Т. Изомеризация – процесс получения экологически чистых бензинов. Саратов : Изд-во Сарат. ун-та, 2008. 72 с.
2. Каталитический риформинг углеводородов / под ред. проф. Р. И. Кузьминой. Саратов : Изд-во СЮИ МВД России, 2010. 252 с.
3. Кузьмина Р. И., Ливенцев В. Т., Афонин А. А., Аниськова Т. В. Модифицированные высококремнистые цеолитные катализаторы // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2010. Т. 10, вып. 2. С. 23–26.
4. Antos G. J., Aitani A. M. Catalytic Naphtha Reforming. Second edition. Marcel Dekker, Inc., 2004. 602 p.
5. Кузьмина Р. И., Аниськова Т. В., Пилипенко А. Ю., Степанов М. Ю. Влияние параметров активации висмутхромцеолитной системы на превращения *n*-гексана // Бутлеровские сообщения. 2013. Т. 34, № 4. С. 65–68.



УДК:547.796.1+547.791.9

ПРЕВРАЩЕНИЯ АЗОЛОЦИКЛАНДИГИДРОПИРИМИДИНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ОКИСЛИТЕЛЕЙ

А. А. Матикенова, А. П. Кривенько

Саратовский государственный университет
E-mail: asel.matikeno@mail.ru



Выявлены направления окисления азолоцикланодигидропиримидинов в зависимости от строения субстрата (размер алициклического фрагмента, наличие илиденного фрагмента) под действием различных окислителей.

Ключевые слова: триазолоцикланодигидропиримидины, тетраазолоцикланодигидропиримидины, окисление.

Transformations of Azolocyclopyrimidines from Oxidant

A. A. Matikeno, A. P. Kriven'ko

Main concepts of the azolocyclopyrimidines oxidation, under the influence of different oxidants, dependence on the substrate structure (alicyclic fragment size, ylidene fragment presence) are explored.

Key words: threazolocyclopyrimidines, tetraazolocyclopyrimidines, oxidation.

Внимание исследователей к химии частично гидрированных азаетероциклов (в особенности пиримидина и его азолоаннелированных производных) обусловлен исключительной ролью, которую эти соединения играют в физиологии живых организмов.

Так, гексагидротетразоло[5,1-*b*]хиназолины являются дигидрогетероаналогами известных фармацевтических препаратов – бронхо- и вазодилататоров бумепидила и трапедила [1].

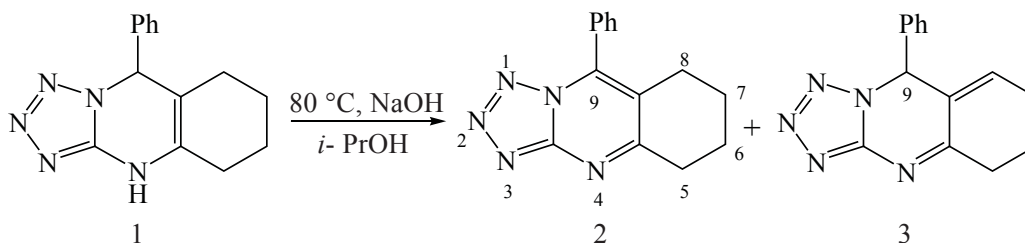
Ранее нами были синтезированы циклоноазолопиримидины на основе реакций α , β -непредельных кетонов – моно-, диеноновых производных алициклических кетонов – с

С-амино-1,2,4-триазолом и С-аминотетразолом, а также трехкомпонентной конденсацией (кетон – альдегид – аминазол) [2,3].

Среди полученных гексагидротетразоло[5,1-*b*]хиназолинов выявлены соединения, проявляющие антимикробную активность в отношении штамма *Esherichia coli*, превышающую активность препаратов сравнения [4].

С целью изучения влияния степени насыщенности на биоактивность нами впервые изучено дегидрирование азоло[5,1-*b*]цикланодигидропиримидинов 1,4,7 [2, 3], отличающихся типом азольного фрагмента (три-, тетразольный), размером алицикла (C_6 - C_8), наличием или отсутствием илиденного заместителя. Среди обилия дегидрирующих агентов были выбраны сера, гидроксид натрия в растворе 2-пропанола и нитрит натрия в уксусной кислоте, которые ранее успешно использовались для дегидрирования родственно построенных гидроазалохиназолинов [5, 6].

При кипячении 9-фенилтетразоло[5,1-*b*]-4,5,6,7,8,9-гексагидрохиназолина (1) в 10%-ном растворе NaOH в 2-пропаноле нами получена смесь двух продуктов окисления с участием гетерокольца – изомеров 9-фенилтетразоло[5,1-*b*]-5,6,7,8-тетрагидрохиназолина (2) и 9-фенилтетразоло[5,1-*b*]-5,6,7,9-тетрагидрохиназолина (3) с суммарным выходом 70%.



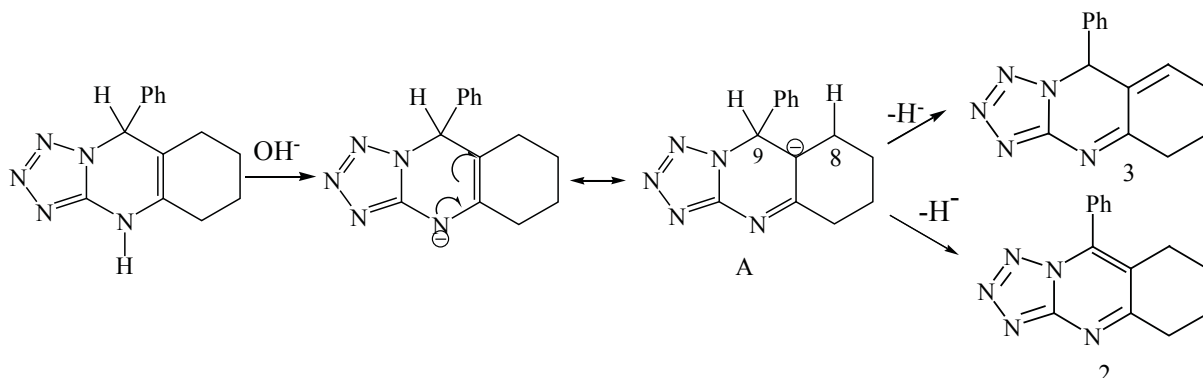
В ЯМР 1H спектре смеси последних отсутствует сигнал протона NH (9.74 м.д.), сохраняется синглет протона Н-9 (5.96 м.д.), но гораздо меньшей интенсивности по сравнению с интенсивностью сигнала протона Н-9 в исходном соединении 1. В ЯМР ^{13}C спектре наблюдается удвоение сигналов sp^3 -гибридных атомов углеро-

да C_5 (23.21 м.д.), C_6 (25.45 м.д.), C_7 (27.30 м.д.), проявляющихся одинаково для изомеров 2,3; присутствуют сигнал атома C_8 при 28.13 м.д. (для соединения 2), и атома C_9 – при 48.72 м.д. (для соединения 3). В области слабых полей наблюдаются сигналы sp^2 -гибридных атомов углерода C_{3a} (143.54 м.д.), C_{4a} (138.02 м.д.), C_9 (120.35 м.д.)



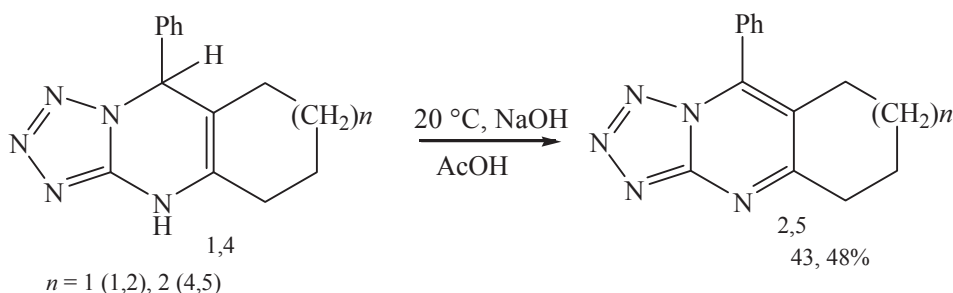
для соединения 2, и сигналы C_{3a} (142.67 м.д.), C_{4a} (133.52 м.д.), C_8 (114.86 м.д.) для соединения 3.

Схему образования изомерных тетрагидротетразолохиназолинов 2 и 3 можно представить



На примере тетразолексагидрохиназолина 1 и его гомолога 10-фенил[1,2,4]тетразоло[5,1-b]циклогепта[d]-4,10-дигидропиримидина (4) при использовании в качестве окислителя $NaNO_2$ в ледяной уксусной кислоте наблюдалось селективное окисление пиримидинового ядра. Реакция проводилась в мягких условиях при выдерживании исходных веществ

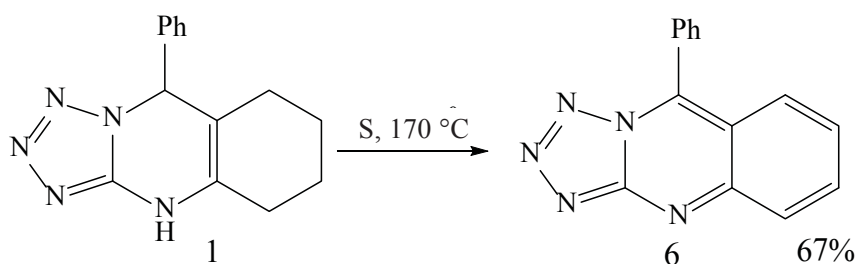
в ледяной уксусной кислоте 4 ч при комнатной температуре и соотношении субстрат : $NaNO_2 = 1 : 2$, что, вероятно, обусловило её селективность. При этом были получены 9-фенил-5,6,7,8-тетрагидро-[1,2,3,4]тетразоло[5,1-b]хиназолин (2), 10-фенил[1,2,4]тетразоло[5,1-b]циклогепта[d]пиримидин (5) с выходами 43, 48% соответственно.



В спектрах ЯМР 1H отсутствуют ключевые сигналы протонов Н-9 (5.96 м.д.) и Н-10 (6.02 м.д.), характерные для исходных циклодигидропиримидинов 1,4; наблюдается смещение сигналов алифатических протонов Н-5, Н-8 и Н-9 в слабое поле (3.02–3.46 м.д.). Спектральные характеристики индивидуального соединения 2 подтвердили правильность сделанных нами отнесений в спектре этого соединения в смеси изомеров 2 и 3, полученных при ис-

пользовании в качестве окислителя щелочного раствора $NaOH$ в 2-пропанол.

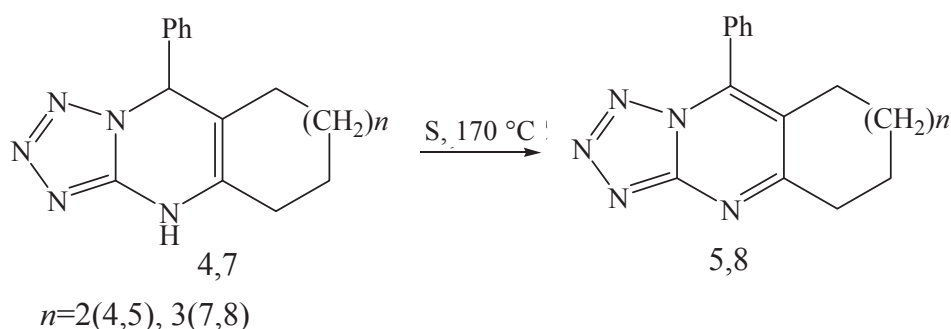
Использование в качестве дегидрирующего реагента серы (на примере тетразолехиназолина 1 и жесткие условия реакций – плавление реагирующих веществ в соотношении субстрат : реагент 1:10 при 170 °С привели к исчерпывающему дегидрированию гетеро- и алициклов с образованием ароматической системы 9-фенилтетразоло[5,1-b]хиназолина (6) с выходом 67%.





В отличие от бесцветных кристаллов исходного соединения 1, кристаллы продукта окисления 6 имеют оранжевый цвет (из-за протяженной хромофорной цепи сопряжения) и плавятся при более низкой температуре (126–127 °С для соединения 6 и 221–224 °С для соединения 1), вероятно, из-за отсутствия МВС.

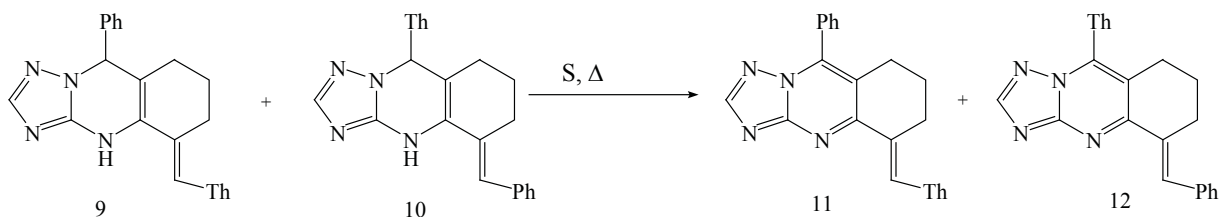
В спектре ЯМР ¹H соединения 6 наблюдаются мультиплеты ароматических протонов (7.97–7.02 м.д.), отсутствуют сигналы метиленовых протонов, протонов Н-9 и NH. В спектре ЯМР ¹³C наблюдаются сигналы только ароматических sp²-гибридных атомов углерода (123.06–137.12 м.д.).



В спектрах ЯМР ¹H индивидуальных продуктов 5,8 отсутствуют ключевые сигналы протонов Н-10 (6.02 м.д.) и Н-11 (6.08 м.д.), характерные для исходных тетразоло[5,1-*b*]цикланодигидропиримидинов 4,7, наблюдается смещение сигналов алифатических протонов в слабое поле (1.25–2.89 м.д. для соединения 5 и 1.20–2.83 м.д. для соединения 8). Такое же направление реакции сохраняется и при окислении под действием серы изомерных триазолохиназолинов 9,10, содержащих в алицикле стабилизирующий илденевый фрагмент.

В отличие от тетразолохиназолина 1 его гомологи с большим размером аннелированного карбоцикла (C₇, C₈) 10-фенилтетразоло[5,1-*b*]циклогепта[*d*]-4,10-дигидропиримидин (4) и 11-фенилтетразоло[5,1-*b*]циклоокта[*d*]-4,11-дигидропиримидин (7) под действием серы претерпевают избирательное окисление пиримидинового цикла, с образованием 10-фенилтетразоло[5,1-*b*]циклогепта[*d*]пиримидина (5) и 11-фенилтетразоло[5,1-*b*]циклоокта[*d*]пиримидина (8). Направление реакции обусловлено конформационными особенностями циклогептанового (циклооктанового) фрагментов и невозможностью ароматизации.

Так, при окислении в тех же условиях смеси изомеров 9-фенил-5-тиенилметилден[1,2,4]триазоло[5,1-*b*]4,5,6,7,8,9-гексагидрохиназолина (9) и 9-тиенил-5-фенилметилден[1,2,4]триазоло[5,1-*b*]4,5,6,7,8,9-гексагидрохиназолина (10), полученных нами ранее [2], были выделены бордовые кристаллы продуктов ароматизации пиримидинового кольца – 5-тиенилден-9-фенил-5,6,7,8-тетрагидро-[1,2,4]триазоло[5,1-*b*]хиназолина (11), 5-бензилиден-9-тиенил-5,6,7,8-тетрагидро-[1,2,4] триазоло[5,1-*b*]хиназолина (12) с суммарным выходом 87%.

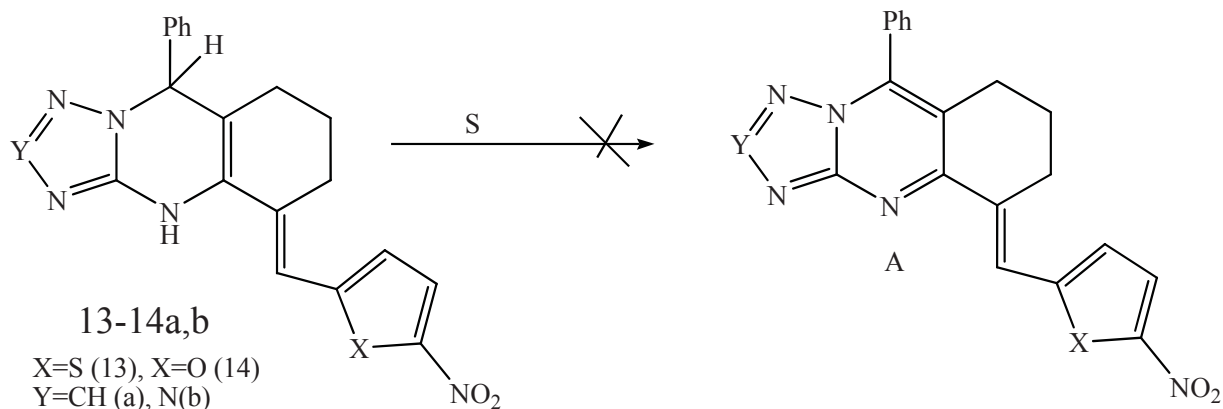


В ЯМР ¹H спектре последних отсутствуют синглеты протонов NH (10,91–8,21 м.д.), Н⁹ (6,16–5,64 м.д.), присутствуют сигналы протонов алициклического фрагмента (1,83–3,05 м.д.).

Особенно значимым представлялось дегидрирование нитрогетарилзамещенных гидроазинохиназолинов, проявляющих антимикробную активность в отношении штамма *Esherichia coli*,

превышающую активность препаратов сравнения [4].

Однако при окислении нитрогетарилзамещенных три(тетр)азолохиназолинов 13-14а,в в тех же условиях, вместо ожидаемого продукта ароматизации А наблюдалась декструкция, обусловленная, вероятно, сильным электроноакцепторным влиянием заместителя.



Таким образом, на направление окисления тетр(три)азолоцикландигидропиримидинов оказывает влияние размер алициклического фрагмента, наличие илиденового заместителя в субстрате, природа окислителя. Тетразологексагидрохиназолины при термическом воздействии серы претерпевают исчерпывающее окисление пиримидинового и алициклического фрагментов. Увеличение размера алицикла (C_7 , C_8) или введение илиденового заместителя в циклогексановое кольцо способствует избирательному окислению пиримидинового цикла. В этом же направлении протекает окисление тетразолоциклогекса(циклогепта)пиримидинов при использовании в качестве окислителя нитрита натрия в уксусной кислоте при комнатной температуре.

Список литературы

1. Десенко С. М., Орлов В. Д., Липсон, Рындина Е. В., Чувурич А. В., Кириченко А. А., Горбенко Н. И. Синтез и фармакологическая активность N-пиримидинилсукцинаминовых кислот и сукцинимидов // Хим. фарм. журн. 1994. Т. 28, № 3. С. 19.
2. Пакулите О. В., Варшаломидзе И. Э., Кривенько А. П. Изомерные гексагидротриазолохиназолины и их реакции // Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии : сб. науч. тр. конф. молодых ученых. Саратов, 2010. С. 105.
3. Матвеева А. А., Борисова Н. О., Поплевина Н. В., Кривенько А. П. Трехкомпонентный синтез тетразолопиримидинов, аннелированных карбоциклами C6-C8 // ХГС. 2012. № 12. С. 200.
4. Пакулите О. В., Матвеева А. А., Бурьгин Г. Л. Изучение антимикробной активности три(тетр)азолохиназолинов с линейно связанными нитрогетарильными заместителями // Химия биологически активных веществ : межвуз. сб. науч. тр. Всерос. школы-конф. молодых ученых, аспирантов и студентов с междунар. участием. Саратов, 2012. С. 109–110.
5. Липсон В. В., Десенко С. М., Игнатенко И. В., Шишкин О. В., Шишкина С. В. Синтез и химические превращения частично гидрированных [1,2,4]триазоло[5,1-b]хиназолинов // Изв. АН. Сер. хим. 2006. № 2. С. 335–340.
6. Пакулите О. В., Варшаломидзе И. Э., Кривенько А. П. Изомерные гексагидротриазолохиназолины и их реакции // Современные проблемы теоретической и экспериментальной химии : межвуз. сб. науч. тр. VII Всерос. интеракт. (с междунар. участием) конф. молодых ученых. Саратов, 2010. С. 105–106.



УДК 543.54:547

ДИФФУЗИЯ ЦЕФАЗОЛИНА ЧЕРЕЗ МЕМБРАНЫ КОЖИ ЧЕЛОВЕКА

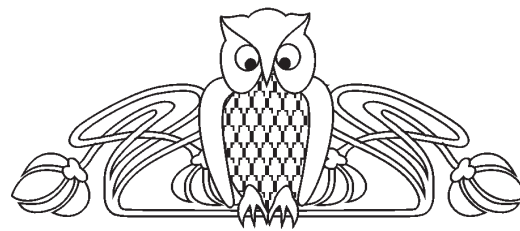
Р. К. Чернова¹, Е. И. Селифонова¹, О. С. Евсеева¹,
С. Ю. Доронин¹, О. Ю. Алешкина², Т. М. Загоровская²

¹Саратовский государственный университет

E-mail: self-ei@yandex.ru

²Саратовский государственный медицинский университет

E-mail: aleshkina_ou@mail.ru



Кожа является основным покровом тела, она выполняет множество важнейших функций в жизнедеятельности человека. Массоперенос лекарств через кожу происходит через поры потовых и сальных желез. Изучали мембранный перенос цефалоспоринового антибиотика первого поколения – цефазолина. Его молекулярные размеры соизмеримы с размером пор кожной мембраны. Наблюдается высокое значение коэффициентов диффузии ($10^{-5} - 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$), что говорит о «течении» вещества через поры мембраны. С ростом температуры проницаемость кожной мембраны понижается.

Ключевые слова: кожная мембрана, поры, антибиотик, цефазолин, диффузия, проницаемость, мембранный перенос.

Cefazolin Diffusion Through Membranes of Human Skin

R. K. Chernova, E. I. Selifonova, O. S. Evseeva,
S. Yu. Doronin, O. Yu. Aleshkina, T. M. Zagorovskaya

The skin is the main body of the cover, it performs many important functions in human life. Mass transport of drugs through the skin occurs through pores of the sweat and sebaceous glands. We studied the membrane transport of the first-generation cephalosporin antibiotic – cefazolin. Its molecular size is commensurate with the pore size of the membrane skin. There is a high value of the diffusion coefficients ($10^{-5} - 10^{-6} \text{ cm}^2/\text{s}$), which means «flow» of a substance through the pores of the membrane. The skin permeability of the membrane decreases with increasing temperature.

Key words: skin membrane pores antibiotic cefazolin, diffusion, permeability, membrane transport.

Исследование процесса массопереноса в мембранах имеет важное теоретическое и прикладное значение. Особенно это относится к биомембранам, имеющим сложное строение и специфический механизм трансмембранного транспорта биологически активных веществ.

Одной из таких мембран, выполняющих специфическую функцию в живом организме, является кожа.

Будучи внешним покровом тела, кожа имеет важное значение в поддержании гомеостаза и предохраняет организм от воздействий извне. Составляющие кожу ткани, такие как многослойный, ороговевающий и железистый эпителии, рыхлая волокнистая и плотная неоформленная

соединительные ткани, а также многочисленные нервные окончания обеспечивают защитную, экскреторную, кроведепонирующую, теплообменную функции кожи, функцию органа чувств и др. [1].

С транспортом лекарственных веществ через кожу сталкиваются постоянно при лечении кожных заболеваний и внутренних органов, их профилактике с помощью аппликаций и электрофоретического (фонофоретического) введения препаратов, а также при использовании косметических веществ.

Транспорт лекарственных средств через кожу *in vivo* осуществляется, согласно современным представлениям, с участием выводных протоков потовых желез, небольшая часть проходит через сальные железы, межклеточные щели эпидермиса, а также с участием липидного и белкового каналов электромиграционной диффузии ионов [2]. Во всех случаях имеет место сложный, многостадийный разнофакторный механизм, требующий более детального изучения.

В общем случае массоперенос веществ через мембраны может быть обусловлен разницей концентраций, температуры или давления по обе стороны мембраны. Движущей силой этого процесса является различие в величине химических потенциалов, причем механизм переноса зависит не только от размера пор, но и от pH, температуры, давления растворов, размеров, гидрофильных (гидрофобных) свойств, концентрации молекул диффундирующего вещества, ионной силы и состава среды. В настоящей работе исследуется массоперенос антибиотика цефазолина через мембраны кожи человека *in vitro*. Рассматривается упрощенная модель, исключая стадию мембранного транспорта через липидные и белковые каналы и основанная на переносе цефазолина в основном через протоки потовых желез, которые согласно [3] обеспечивают в основном транспорт лекарственных веществ через кожу при электрофорезе.



Перенос вещества через мембрану обычно осуществляется поэтапно: диффузия через пограничный слой, адсорбция на поверхности мембраны, перенос через мембрану, десорбция из мембраны, диффузия через пограничный слой с противоположной стороны мембраны [4].

Для количественного описания массопереноса и оценки объемных характеристик кожной мембраны нами определялся коэффициент диффузии (D) – основной параметр, определяющий селективность ионного транспорта и коэффициент проницаемости (P) – количество вещества, проходящего через единицу поверхности мембраны в единицу времени.

Экспериментальная часть, материалы, аппаратура

Для проведения экспериментов была собрана установка, представленная на рис. 1.

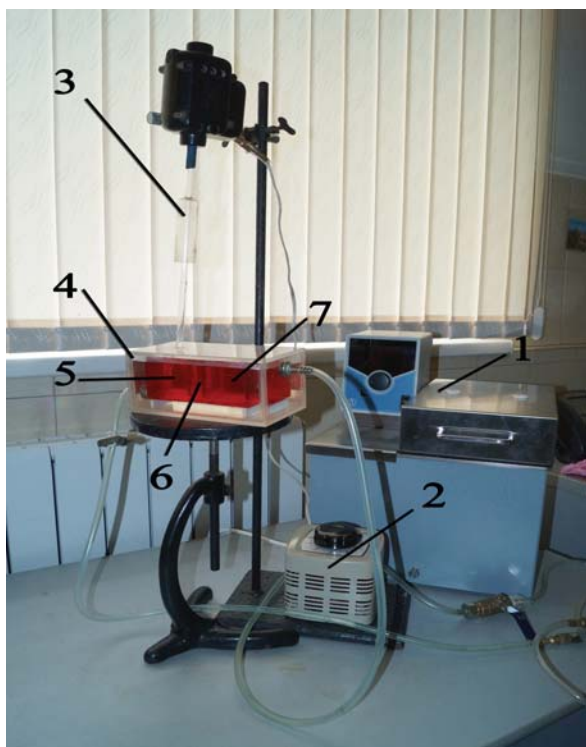
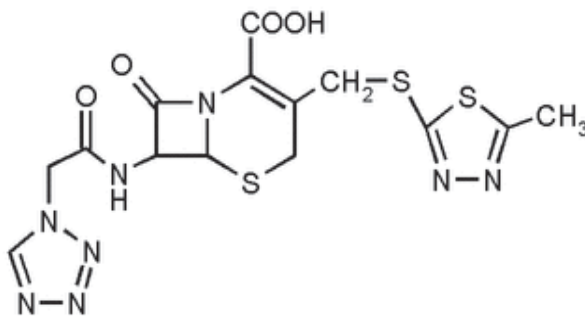


Рис. 1. Установка для изучения массопереноса цефазолина через кожную мембрану: 1 – термостат, 2 – латр, 3 – мешалка, 4 – ячейка, 5 – камера-источник, 6 – мембрана (кожа), 7 – камера-приемник

Исследование процессов диффузионного массопереноса проводили в специально сконструированной ячейке (рис. 1, 4), состоящей из двух отделений: в одном (источник) находился цефазолин в физрастворе (рис. 1, 5) (150 мл исходного $2,1 \cdot 10^{-3}$ М раствора цефазолина идет на заполнение камеры-источника), в другом (при-

емник) – физраствор (рис. 1, 7). Между ними закреплялась кожа – мембрана (рис. 1, 6).

Известно, что возможно прохождение через мембрану (в том числе кожу) веществ, соизмеримых с размером пор мембраны. Учитывая, указанный фактор, а также антибактериальные свойства и способность образовывать анионную форму в среде физиологического раствора, изучался транспорт цефалоспоринового антибиотика первого поколения широкого спектра бактерицидного действия. Он активен в отношении грамположительных бактерий: *Staphylococcus* spp. (штаммы, продуцирующие и не продуцирующие пенициллиназу), *Streptococcus* spp. (в том числе *Streptococcus pneumoniae*), *Corynebacterium diphtheriae*, *Bacillus anthracis*; грамотрицательных бактерий: *Neisseria meningitidis*, *Neisseria gonorrhoeae*, *Shigella* spp., *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Klebsiella* spp. Активен также в отношении *Spirochaetaceae*, *Leptospira* spp. Не активен в отношении *Pseudomonas aeruginosa*, индол-положительных штаммов *Proteus* spp., *Mycobacterium tuberculosis*, анаэробных бактерий.



Исследовались образцы кожи человека размером $3,2 \times 3,5$, толщиной 4 мм, которые хранились в растворе формалина, физиологическом растворе (в холодильнике), в замороженном состоянии.

Исходный $2,1 \cdot 10^{-3}$ М раствор цефазолина готовили, помещая в мерную колбу на 200 мл цефазолина и доведя до метки 0,9% раствором NaCl. В камерах ячейки цефазолин находился в физиологическом растворе.

Измерения концентраций цефазолина в источнике и в приемнике проводили через 5, 10, 15 ... 40 мин после начала эксперимента при диффузионном массопереносе. Определение концентрации цефазолина в приемнике проводили на спектрофотометре SHIMADZU UV-2550 (Kyoto, Japan) при $\lambda = 271$ нм в соответствии с положением максимумов спектров их индивидуальных растворов (рис. 2).

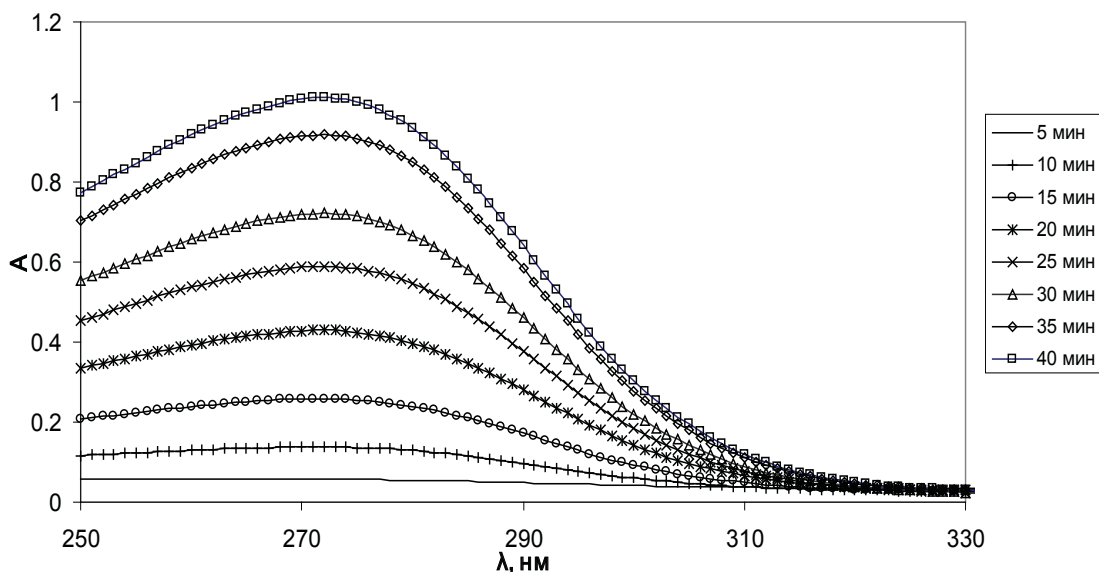


Рис. 2. Спектры поглощения цефазолина в приемнике через разные интервалы времени при 39,5 °С

Для построения градуировочной характеристики (рис. 3) из исходного раствора пипеткой отбирали 2,5 мл и переносили в колбу на 100 мл, довели до метки 0,9% раствором NaCl. После перемешивания получали раствор цефазолина $5,3 \cdot 10^{-5} \text{M}$. Путем последовательного разбавления в 2, 4, 8, 16 раз получали серию растворов

$5,3 \cdot 10^{-5} \text{M}$, $2,6 \cdot 10^{-5} \text{M}$, $1,3 \cdot 10^{-5} \text{M}$, $6,6 \cdot 10^{-6} \text{M}$, $3,3 \cdot 10^{-6} \text{M}$ (растворы № 1, 2, 3, 4, 5).

Проводили исследования переноса ионов цефазолина через кожные мембраны при варьировании температуры (36,5 °С, 37,5 °С, 38,5 °С, 39,5 °С, 40,5 °С), времени и разных способов консервации препаратов.

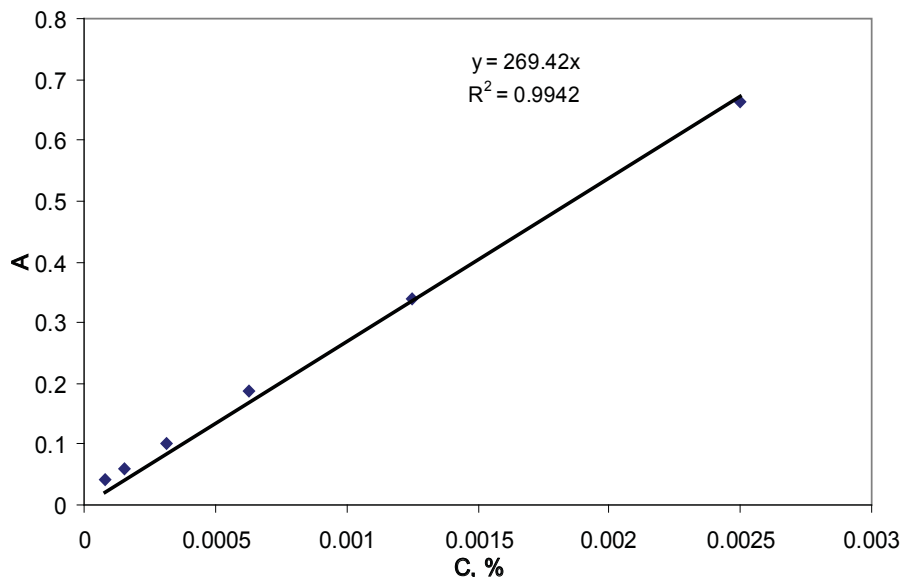


Рис. 3. Градуировочный график для определения концентрации цефазолина в приемнике

Кинетика переноса ионов цефазолина через кожную мембрану при разных значениях температуры представлена на рис. 4. Можно отметить некоторую тенденцию снижения скорости переноса с ростом температуры в изученном интер-

вале (36,5–40,5 °С). На рис. 5 представлены те же кривые в логарифмических координатах.

Данные для расчета величины коэффициента проницаемости и коэффициента диффузии приведены в табл. 1.

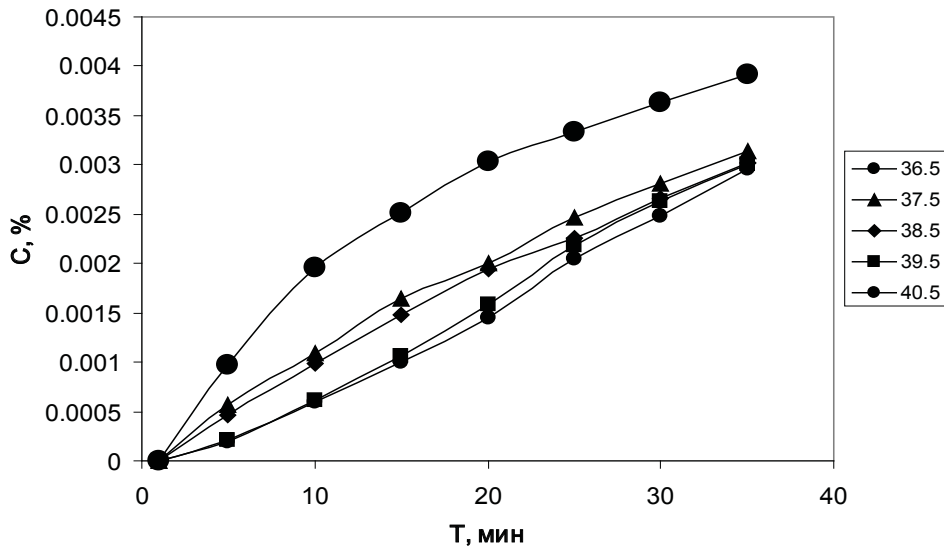


Рис. 4. Кинетика переноса анионов цефазолина через кожную мембрану. Зависимость c от t

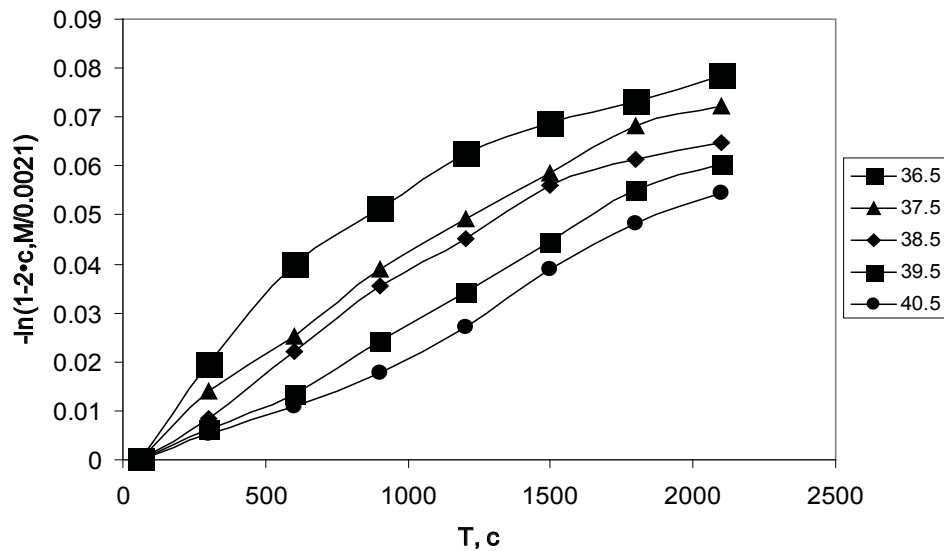


Рис. 5. Кинетика переноса анионов цефазолина через кожную мембрану. Зависимость $-\ln(1-2 \cdot c(t)/c(0))$ от t

Таблица 1

Зависимость величин оптической плотности (A) и концентрации цефазолина в приемнике от времени при разных температурах

Температура в диффузионной ячейке 36.5 °C							
t , мин	5	10	15	20	25	30	35
A	0.072	0.145	0.274	0.367	0.572	0.683	0.814
c , М	$5.61 \cdot 10^{-6}$	$1.13 \cdot 10^{-5}$	$2.13 \cdot 10^{-5}$	$2.86 \cdot 10^{-5}$	$4.46 \cdot 10^{-5}$	$5.32 \cdot 10^{-5}$	$6.34 \cdot 10^{-5}$
$-\ln(1-2 \cdot c(t)/c(0))$	0.0054	0.0108	0.0205	0.0276	0.0434	0.0520	0.0623
Температура в диффузионной ячейке 37.5 °C							
t , мин	5	10	15	20	25	30	35
A	0.262	0.526	0.675	0.816	0.897	0.952	1.054
c , М	$2.04 \cdot 10^{-5}$	$4.1 \cdot 10^{-5}$	$5.26 \cdot 10^{-5}$	$6.36 \cdot 10^{-5}$	$6.99 \cdot 10^{-5}$	$7.42 \cdot 10^{-5}$	$8.21 \cdot 10^{-5}$
$-\ln(1-2 \cdot c(t)/c(0))$	0.0196	0.0398	0.0514	0.0624	0.0689	0.0732	0.0814



Окончание табл. 1

Температура в диффузионной ячейке 38.5°C							
<i>t</i> , мин	5	10	15	20	25	30	35
A	0.073	0.24	0.428	0.54	0.666	0.759	0.846
<i>c</i> , M	$5.69 \cdot 10^{-6}$	$1.87 \cdot 10^{-5}$	$3.33 \cdot 10^{-5}$	$4.21 \cdot 10^{-5}$	$5.19 \cdot 10^{-5}$	$5.91 \cdot 10^{-5}$	$6.59 \cdot 10^{-5}$
$-\ln(1-2 \cdot c(t)/c(0))$	0.0054	0.0180	0.0323	0.0409	0.0507	0.0579	0.0648
Температура в диффузионной ячейке 39.5°C							
<i>t</i> , мин	5	10	15	20	25	30	35
A	0.057	0.138	0.258	0.429	0.588	0.721	0.917
<i>c</i> , M	$4.44 \cdot 10^{-6}$	$1.07 \cdot 10^{-5}$	$2.01 \cdot 10^{-5}$	$3.34 \cdot 10^{-5}$	$4.58 \cdot 10^{-5}$	$5.62 \cdot 10^{-5}$	$7.14 \cdot 10^{-5}$
$-\ln(1-2 \cdot c(t)/c(0))$	0.0042	0.0103	0.0193	0.0323	0.0446	0.0550	0.0705
Температура в диффузионной ячейке 40.5°C							
<i>t</i> , мин	5	10	15	20	25	30	35
A	0.068	0.186	0.386	0.633	0.766	0.939	1.011
<i>c</i> , M	$5.3 \cdot 10^{-6}$	$1.45 \cdot 10^{-5}$	$3.01 \cdot 10^{-5}$	$4.93 \cdot 10^{-5}$	$5.97 \cdot 10^{-5}$	$7.31 \cdot 10^{-5}$	$7.88 \cdot 10^{-5}$
$-\ln(1-2 \cdot c(t)/c(0))$	0.0051	0.0139	0.0291	0.0481	0.0585	0.0722	0.0779

Найденные параметры переноса ионов цефазолина через мембрану кожи приведены в табл. 2.

Таблица 2

Коэффициенты диффузии (*D*) и проницаемости (*P*) ионов цефазолина при разных температурах

Параметр	Температура, °C				
	36,5	37,5	38,5	39,5	40,5
<i>P</i> , см/с	$6,99 \cdot 10^{-9}$	$2,58 \cdot 10^{-9}$	$7,82 \cdot 10^{-10}$	$3,00 \cdot 10^{-10}$	$4 \cdot 10^{-10}$
<i>D</i> , см ² /с	$8,48 \cdot 10^{-5}$	$3,24 \cdot 10^{-5}$	$9,48 \cdot 10^{-6}$	$3,64 \cdot 10^{-6}$	$3,44 \cdot 10^{-6}$

Полученные, достаточно высокие значения коэффициентов диффузии для кожных мембран свидетельствуют скорее не о диффузии, а о «течении» ионов цефазолина через поры кожи, что согласуется с известными литературными данными [3], а также с аномальным понижением скорости диффузии с ростом температуры, которое может быть обусловлено набуханием кожи и, как следствие, уменьшением размера пустот (пор, сальных желез, межклеточных щелей эпидермиса). Изучение диффузионного массопереноса ионов цефазолина через мембраны кожи, хранившейся в течение нескольких недель в хлороформе, спирте, физрастворе, показало, что в случае таких растворителей как хлороформ и спирт проводимость

кожи резко снижается (обезвоживание и сжатие пор). Наилучшие результаты можно получить при хранении препаратов кожи в замороженном состоянии (–20 °C) с последующим медленным размораживанием перед проведением эксперимента.

Список литературы

1. Волкова О. В., Елецкий Ю. К. Гистология, цитология и эмбриология. Атлас. М., 1996. 292с.
2. Кольман Я., Рём К.-Г. Наглядная биохимия. М., 2004. 469 с.
3. Улащик В. С. Физико-фармакологические методы лечения и профилактики. Минск, 1979. 223 с.
4. Морф В. Принципы работы ионселективных электродов и мембранный транспорт. М., 1985. 280 с.

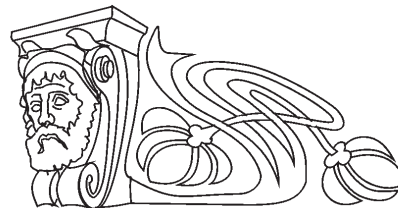


УДК 541(64+127):542.952

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ АКРИЛАТНЫХ ЛАТЕКСОВ ПРИ ЭМУЛЬСИОННОЙ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ В ОТСУТСТВИЕ ЭМУЛЬГАТОРА

Н. В. Кожевников, М. Д. Гольдфейн, Н. И. Кожевникова

Саратовский государственный университет
E-mail: KozevnikovNV@info.sgu.ru



Эмульсионная полимеризация алкилакрилатов и их сополимеризация с некоторыми водорастворимыми мономерами (метакриловая кислота, акрилонитрил) в отсутствие эмульгатора исследованы dilatометрическим методом и методом спектра мутности. Показана возможность синтеза стабильных полимерных дисперсий в специально подобранных условиях по температуре, концентрации инициатора (персульфат аммония), наличию и природе сомономеров. Обсуждаются механизмы формирования и стабилизации латексных частиц, осуществляющиеся концевыми группами макромолекул, поверхностно-активными олигомерами (играющими роль эмульгатора), полярными группами сомономеров.

Ключевые слова: безэмульгаторная эмульсионная полимеризация, алкилакрилаты, метакриловая кислота, акрилонитрил, персульфат аммония, стабилизация дисперсии, механизм, кинетика.

Some Peculiarities of Formation of Acrylate Latexes by Emulsifier-free Emulsion Polymerization

N. V. Kozhevnikov, M. D. Goldfein, N. I. Kozhevnikova

Emulsion polymerization of alkylacrylates and its copolymerization with some water-soluble monomers (metacrylic acid, acrylonitrile) in the absence of emulsifier were investigated by means of dilatometry and the turbidity spectrum method. The feasibility of synthesis of stable polymeric dispersions under specially selected conditions by temperature, concentration of the initiator (ammonium persulfate), presence and nature of comonomers is shown. The mechanisms of formation and stabilization of latex particles are discussed. The particles can be stabilized by end-groups of macromolecules, surfactant oligomers (capable of acting as emulgators), polar-groups of comonomers.

Key words: emulsifier-free emulsion polymerization, alkylacrylates, metacrylic acid, acrylonitrile, ammonium persulfate, stabilization of dispersions, mechanism, kinetics.

Введение

Полимерные дисперсии широко применяются в промышленности, сельском хозяйстве, строительстве, быту. Как правило, их получают методом эмульсионной полимеризации в присутствии стабилизаторов полимерных частиц – эмульгаторов [1]. Однако существует возможность образования некоторых синтетических латексов и при проведении эмульсионной полимеризации без специально добавляемых поверхностно-активных веществ, что позволяет получать более экологически чистый продукт [2].

Синтез таких полимерных дисперсий осложняется необходимостью обеспечения их коллоидной устойчивости, которая в обычной эмульсионной полимеризации достигается введением эмульгатора [3].

В данной работе представлены результаты исследования безэмульгаторной полимеризации алкиловых эфиров акриловой кислоты и их сополимеризации с метакриловой кислотой (МАК) и акрилонитрилом (АН). Указанные мономеры широко используются для получения промышленно важных акриловых полимерных дисперсий, синтезируемых в результате проведения традиционной эмульсионной полимеризации. Кинетика и механизм такой реакции, инициированной персульфатом аммония (ПСА), были ранее исследованы нами [4–6], когда в роли эмульгатора выступали сульфатированные оксипропилированные алкилфенолы или лаурилсульфат натрия. В этих работах отмечается, что в отличие от классических представлений об эмульсионной полимеризации [7] в рассмотренных полимеризационных системах необходимо учитывать не только мицеллярный, но и гомогенный механизм нуклеации [8], взаимодействие радикалов в водной фазе с растворенным в воде мономером (рост цепи) и другими олигомерными радикалами (бимолекулярный обрыв). Кроме того, сделан вывод о присутствии в полимерно-мономерных частицах (ПМЧ) нескольких растущих радикалов, вызывающих гель-эффект, а также о протекании флокуляции ПМЧ на разных стадиях процесса.

В отсутствие эмульгатора влияние этих реакций должно возрастать.

При безэмульгаторной полимеризации, проводящейся с использованием инициаторов персульфатного типа, полимерные частицы стабилизируются заряженными концевыми группами инициатора. Растворенные в воде олигомерные радикалы $M_nSO_4^-$ растут вплоть до достижения критической длины цепи, при которой они теряют растворимость и выделяются из раствора с образованием зародыша ПМЧ, приводя к



гомогенной нуклеации [9]. Стабилизация частиц может быть усилена совместной полимеризацией мономеров с ионизирующимися или высокогидрофильными мономерами.

Кроме того, в безэмульгаторных условиях может быть реализован «мицеллярный» механизм нуклеации, который при внешней схожести существенно отличается от формирования частиц, происходящего в обычной эмульсионной полимеризации. В отсутствие мицелл эмульгатора заряженные первичные радикалы, возникающие в водной фазе при распаде водорастворимого инициатора персульфатного типа, после нескольких актов роста при взаимодействии с растворенным в воде мономером реагируют друг с другом, образуя олигомерные молекулы, обладающие поверхностно-активными свойствами и способные создавать мицеллоподобные структуры, которые играют роль «собственного» эмульгатора. В дальнейшем мономер и олигомерные радикалы абсорбируются этими «мицеллами», где и происходит рост цепей [3].

Таким образом, создаются предпосылки для стабилизации ПМЧ и проведения полимеризации по эмульсионному механизму и без участия специально введенного эмульгатора.

Экспериментальная часть

Исследование безэмульгаторной полимеризации в двухфазной водно-мономерной реакционной системе (доля мономеров – 20%) проводили в атмосфере гелия при постоянном перемешивании (магнитная мешалка) примерно в тех же условиях, что и традиционной эмульсионной полимеризации [4–6], но в отсутствие эмульгатора.

Освобождение реакционных растворов от кислорода воздуха (отдельно мономерной и водной фаз) достигалось многократным повторением процессов их замораживания, высоковакуумной откачки и размораживания в вакууме. Скорость реакции измеряли dilatометрическим методом [10] (в стеклянных приборах разработанной нами конструкции), позволяющим вести непрерывный контроль за ходом процесса от самых начальных его стадий и вплоть до завершения. Оценка размеров и количества полимерных частиц в образующейся дисперсии проводилась методом спектра мутности [11] (спектрофотометр СФ-26). Состав мономеров, концентрация инициатора и значения температуры в проведенных экспериментах указаны в подписях к рис. 1–7. Все реагенты предварительно очищали по стандартным методикам.

Результаты и их обсуждение

В отсутствие эмульгатора полимеризация рассмотренных мономерных систем протекает по эмульсионному механизму, главным образом в полимерно-мономерных частицах. При этом соблюдаются основные закономерности, характерные для реакции в присутствии эмульгатора. На это указывает образование эмульсии уже на начальной стадии полимеризации и относительно устойчивой полимерной дисперсии по её завершению, сходство кинетических кривых (см. рис. 1) и кинетических закономерностей безэмульгаторной и традиционной эмульсионной полимеризации в присутствии специально добавляемых эмульгаторов [6]. А наиболее важные различия этих двух процессов заключаются в способах генерации и стабилизации частиц.

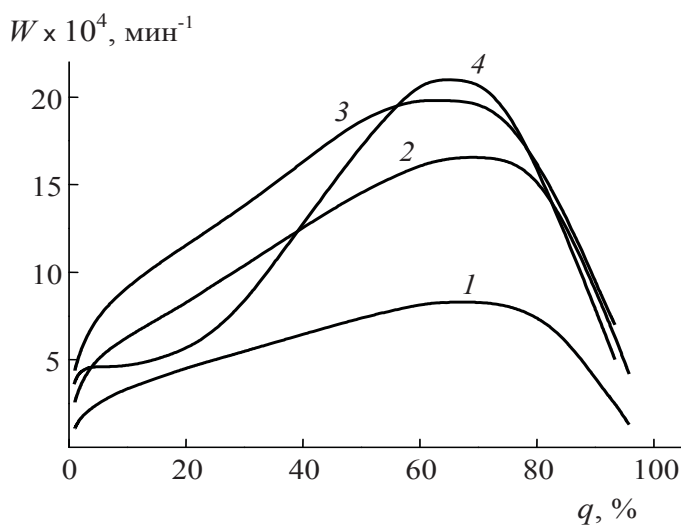


Рис. 1. Зависимость скорости безэмульгаторной эмульсионной сополимеризации МА с АН (4%) и МАК (14 %) от глубины превращения мономера в полимер. [ПСА] × 10³ = 1 (1), 4 (2), 10 (3) и 20 моль/л (4). 70 °С



Кинетика классической эмульсионной полимеризации характеризуется наличием трех основных стадий: быстрое нарастание скорости (обусловленное образованием первичных латексных частиц), стационарная реакция (пока в водной фазе присутствуют капли мономера, а в частицах устанавливается его равновесная концентрация) и завершение процесса (по мере исчерпания мономера в частицах) [4–6]. Те же стадии присущи и безэмульгаторной полимеризации [3], однако их ход и продолжительность зависят от индивидуальности мономеров и условий проведения реакции.

Относительно невысокая стабильность полимерных дисперсий, синтезированных в отсутствие специального эмульгатора, выражалась в том, что при некоторых условиях происходило образование коагулюма в процессе синтеза, а также осадка и осветленного слоя в верхней части дисперсии при её хранении. Это указывает на существование частиц разных размеров: более крупные из них образуют осадок, а мелкие остаются в диспергированном состоянии. Значительный разброс по размерам латексных частиц возможен, если стадия их формирования имеет большую продолжительность. В присутствии эмульгатора происходит образование более однородных дисперсий, так как ПМЧ формируются с высокой скоростью при вхождении радикалов из водной фазы в заполненные мономером мицеллы эмульгатора, где затем с равной вероятностью и протекает полимеризация. (Исключение составляет полимеризация в присутствии некоторых растворимых в мономере эмульгаторов, для которой также характерно образование новых частиц по ходу реакции [5]). Появление осветленного слоя без образования осадка указывает на то, что и в отсутствие специально добавляемого эмульгатора могут возникать хотя и крупные, но однородные по размерам частицы, которые при недостаточно эффективной стабилизации постепенно оседают, образуя два слоя: с повышенным и пониженным содержанием латексных частиц.

Безэмульгаторная полимеризация протекает с более низкой скоростью, чем в присутствии эмульгатора, причем наблюдается более продолжительное по времени и достигаемой глубине превращения нарастание скорости, т.е. дольше продолжается первая стадия процесса – формирование латексных частиц. Дальнейшее изменение скорости реакции (W) с увеличением глубины превращения (q) (см. рис. 1), как и в случае традиционной эмульсионной полимеризации, обусловлено изменением числа частиц в эмульсии вследствие их флокуляции при больших

конверсиях или дополнительной нуклеацией по ходу реакции, а также особенностями протекания реакции в ПМЧ: образование крупных частиц при безэмульгаторной полимеризации способствует возникновению гель-эффекта и увеличению скорости при больших конверсиях, несмотря на снижение в них концентрации мономера.

Показано, что увеличение температуры приводит к росту скорости полимеризации и числа латексных частиц в конечном продукте (N), уменьшению их размеров (r) и количества образующегося коагулюма (P), а также к улучшению стабильности дисперсии. Повышение температуры ускоряет распад инициатора и приводит к более частому проникновению олигомерных радикалов в частицы, увеличивающему их заряд и стабилизацию. При этом растет количество радикалов в водной фазе и возможность их бимолекулярного взаимодействия с образованием ассоциатов водорастворимых поверхностно-активных олигомеров, обладающих мицеллообразующими свойствами и способствующих нуклеации. Повышается и вероятность достижения олигомерными радикалами критической длины цепи, при которой они теряют растворимость и образуют новые частицы. Таким образом, изменение температуры влияет не только на скорость генерации первичных радикалов и их рост в ПМЧ, но и на другие процессы, принимающие участие в нуклеации. Кроме того, с ростом температуры изменяется и величина гель-эффекта, что также влияет на эффективную энергию активации полимеризации. Отношение максимальной скорости к скорости при 10%-ной конверсии (соответствующей второй, стационарной стадии реакции) можно рассматривать в качестве меры гель-эффекта. При сополимеризации бутилакрилата (БА) с АН и МАК в отсутствие эмульгатора оно возрастает с увеличением температуры вплоть до 70–75 °С, а при ещё более высоких её значениях – уменьшается (см. рис. 2), отражая противоположные тенденции во влиянии температуры реакции на вероятность сосуществования в ПМЧ нескольких радикалов. Эта вероятность увеличивается с ростом скорости инициирования, но уменьшается при сокращении размеров частиц, которое происходит в этих условиях. В результате максимальная скорость полимеризации (W_{max}) не подчиняется аррениусовской зависимости и экспериментальные данные в координатах $\lg W_{max} - 1/T$ не ложатся на прямую линию (см. рис. 2), свидетельствуя об изменении механизма реакции в разных температурных диапазонах и роли отдельных факторов, определяющих скорость процесса.

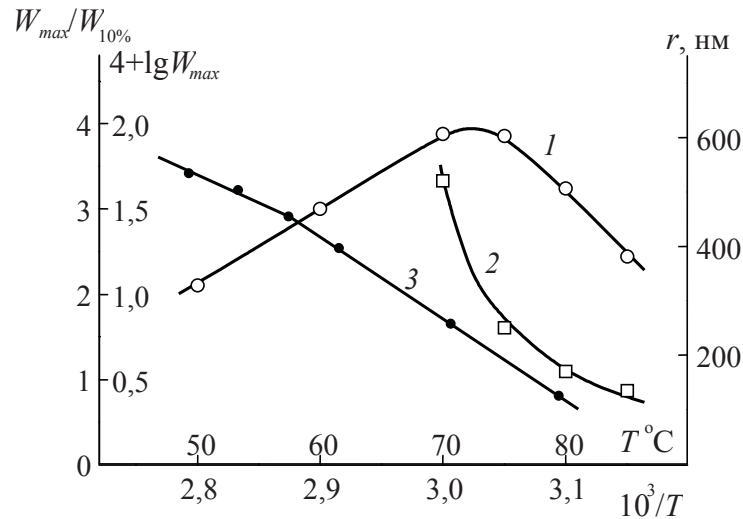


Рис. 2. Зависимость размеров латексных частиц (2) и различий между максимальной и стационарной скоростями (1) эмульсионной сополимеризации БА с АН (4%) и МАК (14%) от температуры реакции. 3 – аррениусовская зависимость для W_{max} . [ПСА] = 40×10^{-3} моль/л

Значительное влияние на безэмульгаторную полимеризацию оказывает и концентрация инициатора. С её увеличением количество латексных

частиц в конечной дисперсии возрастает, но в области еще более высоких концентраций – уменьшается, проходя через максимум (см. рис. 3).

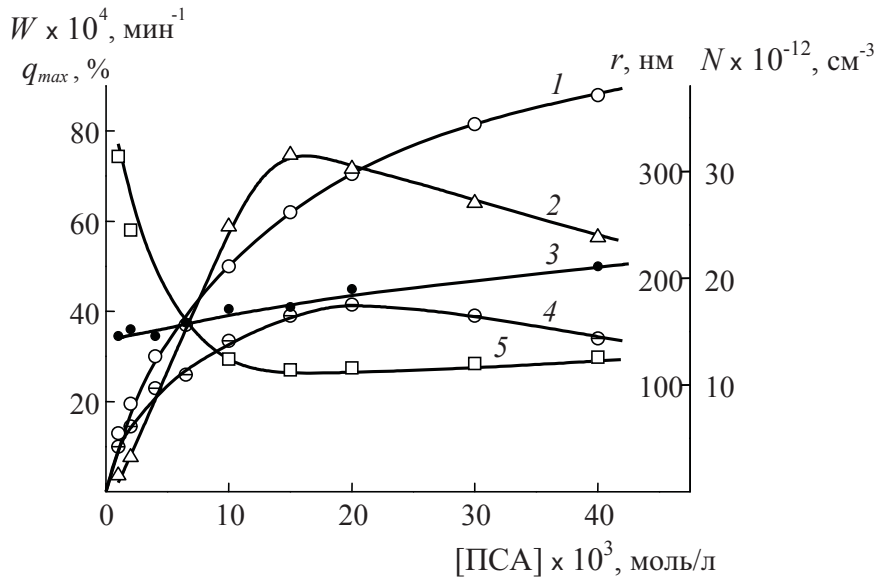


Рис. 3. Зависимость максимальной скорости (1) безэмульгаторной эмульсионной сополимеризации БА с АН (4%) и МАК (14%), глубины превращения, при которой она достигается (2), числа частиц в образующейся полимерной дисперсии (3), их среднего радиуса (5), а также скорости при 10%-ной конверсии (4) от концентрации инициатора. 85 °С

При сополимеризации БА с АН и МАК он наблюдается при [ПСА] = 15×10^{-3} моль/л (85 °С). Изменяется и скорость реакции, причем в различной степени в зависимости от глубины превращения мономера в полимер. При малых

конверсиях (10%) скорость, как и число частиц, имеет экстремальную зависимость от концентрации ПСА. Глубина полимеризации, при которой достигается максимальная для данных условий скорость процесса, с увеличением концентрации



инициатора сдвигается в сторону более высоких значений, а сама скорость увеличивается. Но её логарифмическая зависимость от концентрации инициатора – нелинейна. В мономерной системе на основе БА порядок по инициатору (n_u) уменьшается от 0,6 при $[ПСА] < 10^{-2}$ моль/л до 0,3 при более высоких концентрациях. (Согласно классической теории, $n_u = 0,4$ [7]). В случае сополимеризации метилакрилата (МА) при достаточно высоком содержании инициатора ($> 10^{-2}$ моль/л) W_{max} тоже почти перестает зависеть от скорости инициирования. Дилатометрические измерения в этих системах были проведены при температуре не выше 70 °С, так как исследованные мономеры являются низкокипящими (80 °С – МА, 77 °С – АН). Однако синтез дисперсий без регистрации скорости (в запаянных ампулах) проводили и при более высоких температурах.

Скорость инициирования влияет и на стабильность образующегося продукта. Диспер-

сии на основе БА, в которых при хранении не образуется ни осадок, ни осветленный слой, удалось получить лишь при высокой температуре (80–85 °С) в узком интервале концентраций ПСА $(10–20) \times 10^{-3}$ моль/л и одновременной сополимеризации с МАК и АН. В присутствии только одного из указанных сомономеров в интервале концентраций 0–14% не удалось избежать появления осветленного слоя, но объем и скорость его образования уменьшаются при увеличении концентрации сомономеров.

Расслоение с образованием осветленного слоя (даже более ярко выраженное) происходит и при хранении дисперсий на основе МА. Этот процесс более вероятен в случае синтеза дисперсий с малыми скоростями инициирования, а количество образующегося коагулюма имеет минимальное значение в диапазоне концентраций ПСА $(1–10) \times 10^{-3}$ моль/л (90 °С) (см. рис. 4).

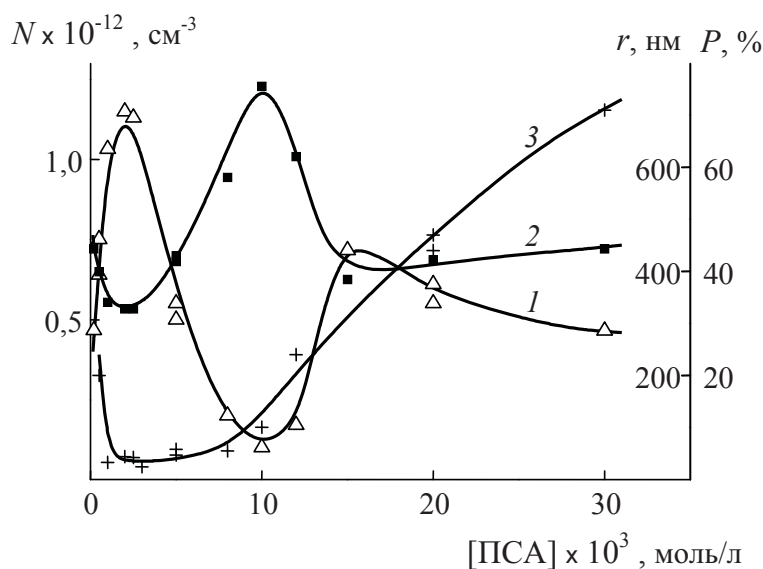


Рис. 4. Зависимость числа частиц (1) в полимерной дисперсии, полученной безэмульгаторной полимеризацией МА с АН (4%) и МАК (14%), их среднего радиуса (2) и количества образующегося коагулюма (3) от концентрации инициатора. 90 °С

Таким образом, стабильные полимерные дисперсии были получены лишь при высокой температуре синтеза, относительно большом содержании гидрофильных сомономеров, в узком интервале концентраций инициатора.

Следует отметить, что при безэмульгаторной сополимеризации алкилакрилатов устойчивость эмульсий и конечных дисперсий снижается в ряду бутилакрилат > этилакрилат > метилакрилат, то есть стабильность ухудшается при увеличении водорастворимости (полярности)

основного мономера. Дисперсии на основе БА состоят из значительно большего числа более мелких частиц, чем на основе МА. Их лучшая стабилизация, в которой участвуют и поверхностно-активные олигомеры, может быть связана с тем, что поверхностная активность «собственных» ПАВ возрастает с увеличением гидрофобности поверхности частиц. Это подтверждается увеличением энергии взаимодействия эмульгатора с органической фазой по мере уменьшения полярности алкилакрилата [1].



Экстремальные зависимости от концентрации ПСА, наблюдаемые для числа частиц в конечной дисперсии и скорости реакции при малых конверсиях (см. рис. 3, 4), как и при полимеризации в присутствии эмульгатора [4–6], связаны с недостаточной стабилизацией латексных частиц и с их флокуляцией, которая происходит при различных степенях превращения, а не только на начальной стадии полимеризации, как это следует из классической теории [7]. Уменьшение числа частиц в полимерной эмульсии по мере увеличения конверсии на третьей стадии безэмульгаторной полимеризации обнаружено экспериментально. В области концентраций ПСА, соответствующих максимальному числу частиц в дисперсии и их минимальным размерам, наблюдается и наименьшее количество образующегося коагулюма, а также наиболее высокая стабильность дисперсии при хранении. Кроме того, содержание инициатора влияет на соотношение различных механизмов нуклеации.

При полимеризации с малыми скоростями инициирования в водной фазе эмульсионной системы содержится низкая концентрация олигомерных радикалов и вероятность их рекомбинации невелика. В этих условиях многие из них успевают достичь критических размеров и образовать первичные частицы по гомогенному механизму. Их стабилизация происходит за счет полярных групп мономеров и заряда на поверхности, возникающего благодаря наличию концевых групп персульфатного инициатора. Для создания достаточной плотности заряда первичные частицы флокулируют на стадии их формирования. В ходе последующей полимеризации, наряду с увеличением объема (и поверхности) частиц, возрастает и их заряд благодаря периодическому вхождению в ПМЧ заряженных олигомерных радикалов $^*M_nSO_4^-$. Увеличение скорости инициирования приводит к росту числа радикалов, превращающихся в первичные частицы, и общее количество ПМЧ увеличивается. При этом происходит также более частое проникновение олигомерных радикалов в частицы, что способствует улучшению их стабилизации и препятствует флокуляции на последующих стадиях реакции.

В области более высоких концентраций инициатора возрастает роль бимолекулярного обрыва цепи вследствие рекомбинации олигомерных радикалов в водной фазе. В результате возникают водорастворимые поверхностно-активные олигомеры, играющие роль эмульгатора. Если их концентрация в воде превысит критическую

концентрацию мицеллообразования (что возможно при достаточно большой скорости инициирования), то ассоциаты этих олигомеров образуют мицеллы, в которые диффундирует мономер и где может протекать полимеризация. В этих условиях возрастает вклад мицеллярного механизма зарождения ПМЧ. Их поверхность с самого начала защищена «собственным» эмульгатором, что препятствует флокуляции на первой стадии реакции и способствует увеличению N . Но если «собственный» эмульгатор образуется и адсорбируется медленнее, чем растет поверхность, требующая стабилизации (большие константа скорости роста цепи k_p и концентрация мономера в частицах, но относительно небольшая скорость инициирования), то происходит флокуляция на второй стадии полимеризации.

На третьей стадии реакции, соответствующей исчезновению капель мономера и снижению его концентрации в ПМЧ, ухудшается защитное действие «собственного» эмульгатора вследствие увеличения заряда поверхности частиц из-за вхождения в них все новых заряженных олигомерных радикалов. В результате происходит флокуляция частиц до тех пор, пока не окажется достаточно эффективным действие другого механизма стабилизации – за счет заряда поверхности, как это имеет место в случае гомогенной нуклеации. Переход от стабилизации поверхностно-активными олигомерами к стабилизации за счет электростатических сил, происходящий на третьей стадии полимеризации, сопровождается уменьшением числа ПМЧ. В результате N проходит через максимум с ростом концентрации ПСА.

В случае дисперсий на основе МА на зависимости N от [ПСА] обнаружено появление еще одного максимума при высоких концентрациях инициатора (см. рис. 4, кривая 1). В этих условиях скорость формирования «собственного» эмульгатора в результате рекомбинации олигомерных радикалов в воде может оказаться настолько высокой, что флокуляция на второй стадии полимеризации начинает играть менее важную роль, что приводит к увеличению числа частиц. Однако флокуляция на третьей стадии реакции усиливается с увеличением концентрации ПСА, так как при этом в частицу чаще входят олигомерные радикалы и быстрее растет заряд поверхности, ухудшающий условия работы эмульгатора. Поэтому возрастание флокуляции с ростом содержания инициатора вновь приводит к снижению N .

Поверхностная активность «собственного» эмульгатора зависит от строения и состава оли-



гомеров, а следовательно, и от свойств сомономеров. В случае БА второй максимум обнаружен не был, но, возможно, он, как и первый максимум, возникает при более высоких, чем у метилакрилатных латексов, скоростях инициирования, которые оказались за пределами исследованного диапазона. Можно предположить, что переход к мицеллярному механизму нуклеации так же, как и прекращение флокуляции на второй стадии реакции, при сополимеризации БА происходит при более высоких скоростях инициирования, чем в случае МА. То есть поверхностно-активные олигомеры в результате рекомбинации радикалов в водной фазе образуются медленнее. Эти олигомеры должны иметь разный состав при сополимеризации МА или БА вследствие их разной реакционной способности и растворимости в воде (5 и 0,2 % соответственно [1]).

Учитывая, что коэффициент распределения МАК между водной и органической фазами меньше единицы, можно считать, что в исследованном диапазоне концентраций МАК в мономерной системе (14%) содержание МА в воде больше, чем МАК. Однако МАК более активно участвует в реакции сополимеризации [12]. Поэтому образующиеся при сополимеризации МА с МАК олигомерные радикалы, по-видимому, состоят из звеньев обоих мономеров. Напротив, концентрация БА в воде меньше, чем МАК, а активность МАК в сополимеризации с БА также велика ($r_{\text{МАК}} = 1,3$, $r_{\text{БА}} = 0,3$ [13]). В этом случае олигомерные радикалы состоят в основном из МАК. Известно, что при сополимеризации мономеров разной полярности наблюдается склонность к перекрестному обрыву благодаря эффектам переноса электрона [14]. Константа скорости перекрестного обрыва больше, чем при гомополимеризации соответствующих мономеров. В связи с этим обрыв в водной фазе с образованием поверхностно-активных олигомеров при сополимеризации МА более вероятен, что и объясняет более низкие, чем в случае БА, концентрации ПСА, при которых достигается максимальное число частиц в дисперсии.

При сополимеризации в тройной системе на основе МА в водной фазе растворены (частично) все мономеры: МА, МАК и АН. Сополимеризация АН с МА характеризуется константами: $r_{\text{АН}} = 1,5$, $r_{\text{МА}} = 0,84$ [15]. Включение АН в олигомерные радикалы приводит к ускорению их бимолекулярного взаимодействия, так как константа скорости обрыва цепи k_0 у АН почти на два порядка больше, чем у МА [14]. Это

способствует усилению роли мицеллярного механизма формирования частиц.

В случае тройных систем на основе БА в водной фазе должна происходить в основном сополимеризация МАК и АН. Причем АН менее активно участвует в реакции, о чем свидетельствует более медленное его расходование в реакции сополимеризации (по хроматографическим данным) и в результате олигомерные радикалы состоят, главным образом, из звеньев МАК. Константа обрыва при полимеризации этого мономера в воде [16] близка к k_0 акриловых эфиров.

Флокуляция частиц на разных стадиях полимеризационного процесса и её зависимость от концентрации инициатора влияют не только на число частиц в конечной дисперсии, но, наряду с гель-эффектом, и на величину скорости реакции при разных конверсиях, а следовательно, и на форму кинетических кривых. По-видимому, именно с флокуляцией на второй стадии, усиливающейся в некотором диапазоне концентраций ПСА, связано наблюдаемое в этих условиях прекращение нарастания скорости с глубиной полимеризации (или даже её некоторое снижение) при относительно малых глубинах превращения (см. рис. 1, кривая 4).

В отличие от традиционной эмульсионной полимеризации со специально введенным эмульгатором, который тратится на формирование и стабилизацию образующихся латексных частиц, при безэмульгаторной полимеризации по ходу реакции образуется «собственный» эмульгатор, который участвует в зарождении новых частиц. Постепенное появление все новых поверхностно-активных олигомеров увеличивает продолжительность стадии нуклеации. Таким образом, с ростом скорости инициирования момент достижения максимальной скорости полимеризации сдвигается в сторону более высоких глубин превращения (см. рис. 3). Кроме того, это увеличивает степень неоднородности частиц по их размерам, способствует усилению флокуляции, образованию коагулюма и осадка при хранении дисперсии. С другой стороны, увеличение концентрации ПСА способствует лучшей стабилизации частиц и осветленный слой уменьшается.

Формирование латексных частиц при безэмульгаторной полимеризации происходит по различным механизмам, относительный вклад которых зависит от условий проведения реакции. Оказалось, что изменение некоторых из них



может влиять на характер воздействия других факторов. Так, увеличение концентрации МАК при относительно малых скоростях иницирования ($[ПСА] = 5 \times 10^{-3}$ моль/л, 70°C) приводит к снижению скорости безэмульгаторной полимеризации метил-, этил- и бутилакрилата и числа латексных частиц, увеличению конверсии,

соответствующей достижению максимальной скорости. Увеличиваются также размеры частиц и количество образующегося коагулюма (см. рис. 5). Напротив, при высоких скоростях иницирования ($85\text{--}90^\circ\text{C}$) МАК способствует улучшению стабильности дисперсии, увеличению числа частиц и скорости реакции (см. рис. 6).

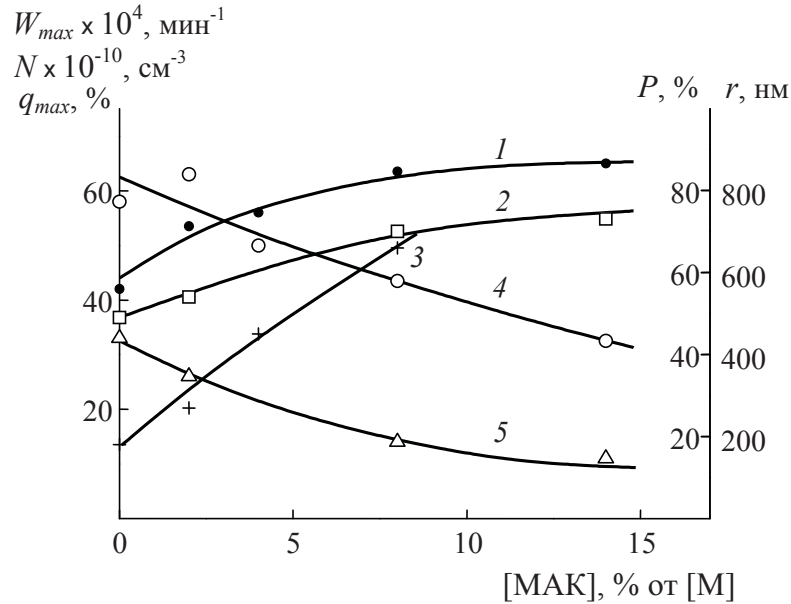


Рис. 5. Зависимость максимальной скорости безэмульгаторной эмульсионной сополимеризации МА с МАК (4), глубины полимеризации, при которой она достигается (1), числа частиц в полимерной дисперсии (5) и их среднего радиуса (2), а также количества образующегося коагулюма (3) от концентрации МАК. $[ПСА] = 5 \times 10^{-3}$ моль/л; 70°C

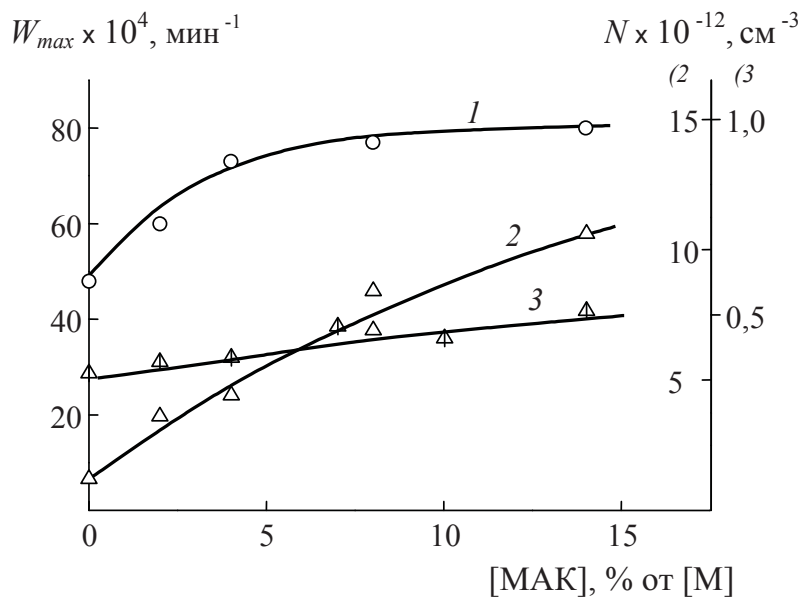


Рис. 6. Влияние концентрации МАК на максимальную скорость реакции (1) и число частиц в дисперсии (2, 3), образующейся при безэмульгаторной эмульсионной сополимеризации БА (1, 2) и МА (3). $[ПСА] \times 10^3 = 5$ (3) и 15 моль/л (1, 2); $T = 85$ (1, 2) и 90°C (3)



В присутствии МАК увеличивается вероятность рекомбинации олигомерных радикалов в водной фазе вследствие затруднения их вхождения в ПМЧ из-за плохой растворимости в мономерах. При наличии специально введенного эмульгатора это приводило к уменьшению числа ПМЧ и скорости полимеризации, а также к усилению гель-эффекта в образующихся более крупных частицах [6]. Те же явления наблюдаются и при безэмульгаторной полимеризации с относительно малыми скоростями инициирования (низкие температуры), когда преобладает гомогенный механизм нуклеации. Однако при более высоких температурах (большие скорости инициирования) ПМЧ формируются преимущественно по мицеллярному механизму в результате образования «собственного» эмульгатора. Усиление бимолекулярного обрыва в воде под влиянием МАК способствует возникновению водорастворимых поверхностно-активных олигомеров, играющих роль эмульгатора, улучшению стабилизации частиц, увеличению их числа и скорости полимеризации. Таким образом, некоторые процессы, протекающие в реакционной

системе, могут приводить к различным эффектам при традиционной и безэмульгаторной эмульсионной полимеризации.

Аналогичные различия во влиянии на безэмульгаторную эмульсионную полимеризацию при разных скоростях инициирования обнаружены и в случае АН, который замедляет полимеризацию МА и уменьшает N при 70 °С (преобладание гомогенного механизма нуклеации), но увеличивает при 90 °С, то есть в условиях, в которых лучше проявляется мицеллярный механизм нуклеации с участием поверхностно-активных олигомеров. Кроме того, оказалось, что характер влияния одного из сомономеров на процесс нуклеации может зависеть от наличия другого сомомера. Так, увеличение концентрации АН в тройной мономерной системе с высоким содержанием МАК (14%), когда более вероятен мицеллярный механизм нуклеации, приводит к росту числа частиц и при относительно низких температурах (70 °С), хотя в отсутствие МАК или при его малых концентрациях наблюдается уменьшение N (см. рис. 7).

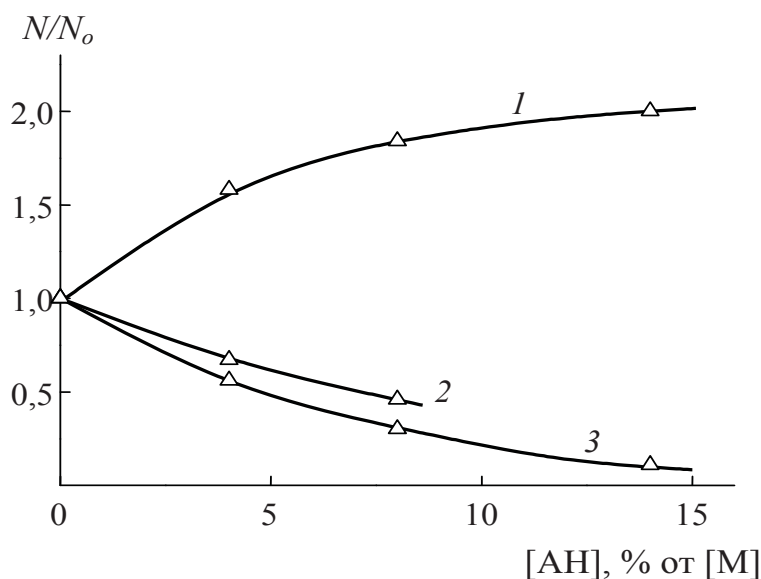


Рис. 7. Влияние АН на число частиц в полимерных дисперсиях, образующихся при безэмульгаторной эмульсионной сополимеризации МА с АН (3), с МАК (4%) и АН (2) и с МАК (14%) и АН (1).
[ПСА] = 4×10^{-3} моль/л; 70 °С

Увеличение содержания АН в системах на основе БА приводит к росту числа частиц в конечной полимерной дисперсии, но скорость полимеризации при этом снижается. Увеличение N в безэмульгаторных условиях связано с улучшением стабилизации частиц при сополимери-

зации с гидрофильным мономером, имеющим полярные CN-группы. Однако, как и в присутствии специального эмульгатора [6], АН ослабляет гель-эффект, уменьшая тем самым скорость реакции в частице. Кроме того, он уменьшает флокуляцию на третьей стадии полимеризации,



вследствие чего число частиц к концу реакции снижается в меньшей степени, чем в отсутствие АН. Это и приводит к наблюдаемым различиям во влиянии сомономера на число частиц и скорость эмульсионной полимеризации.

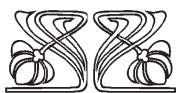
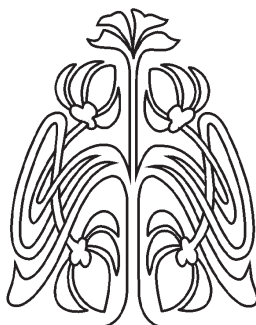
Таким образом, в данном исследовании показана возможность синтеза полимерных дисперсий в отсутствие эмульгатора, но только в специально подобранных условиях по температуре, концентрации инициатора, наличию и природе сомономеров. Обсуждается влияние этих факторов на скорость безэмульгаторной эмульсионной полимеризации и стабильность образующихся латексов.

Список литературы

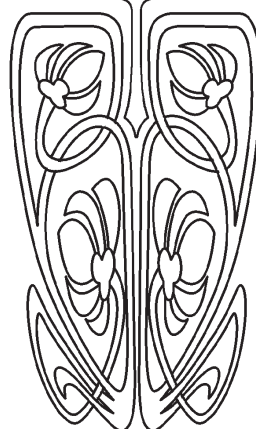
1. Елисеева В. И. Полимерные дисперсии. М. : Химия, 1980. 296 с.
2. Асламазова Т. Р., Богданова С. В., Мовчан Т. Г. Основы создания экологически безопасной технологии синтеза латексов без использования эмульгаторов // Рос. хим. журн. 1993. Т. 37, № 4. С. 112–114.
3. Елисеева В. И., Асламазова Т. Р. Эмульсионная полимеризация в отсутствие эмульгатора и латексы на её основе // Успехи химии. 1991. Т. 60, № 2. С. 398–429.
4. Kozhevnikov N. V., Goldfein M. D., Trubnikov A. V., Kozhevnikova N. I. Emulsion Polymerization of (Meth) Acrylates : Characteristics of Kinetics and Mechanism // J. Balkan Tribological Association (JBTA). 2007. Vol. 13, № 3. P. 379–386.
5. Кожевников Н. В., Кожевникова Н. И., Гольдфейн М. Д. Некоторые особенности кинетики и механизма эмульсионной полимеризации метилакрилата // Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2010. Т. 53, вып. 2. С. 64–68.
6. Кожевников Н. В., Гольдфейн М. Д., Кожевникова Н. И. Кинетика и механизм эмульсионной сополимеризации метилакрилата с некоторыми гидрофильными мономерами // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2012. Т. 12, вып. 2. С. 3–8.
7. Smith W. V., Ewart R. H. Kinetics of emulsion polymerization // J. Chem. Phys. 1948. Vol. 16, № 6. P. 592–599.
8. Hansen F. K., Ugelstad J. Particle nucleation in emulsion polymerization. A theory for homogeneous nucleation // J. Polymer Sci. : Polymer Chem. Ed. 1978. Vol. 16, № 8. P. 1953–1979.
9. Fitch R. M. The homogeneous nucleation of polymer colloids // Brit. Polymer J. 1973. Vol. 5. P. 467–483.
10. Гладышев Г. П., Попов В. А. Радиальная полимеризация при глубоких степенях превращения. М. : Наука, 1974. 244 с.
11. Кожевников Н. В., Кожевникова Н. И., Гольдфейн М. Д. Спектры мутности полимерно-мономерных частиц, образующихся при эмульсионной полимеризации акрилатов // ЖПС. 2005. Т. 72, № 3. С. 313–316.
12. Назарова И. В., Елисеева В. И. Определение константы сополимеризации метилакрилата с метакриловой кислотой в водной фазе и в органическом растворителе // ЖВХО им. Д. И. Менделеева. 1967. Т. 12, № 4. С. 587–588.
13. Куликов С. А., Яблокова Н. В., Николаева Т. В. и др. Эмульсионная сополимеризация бутилакрилата с метакриловой кислотой // Высокомолекулярные соединения А. 1989. Т. 31, № 11. С. 2322–2326.
14. Багдасарьян Х. С. Теория радикальной полимеризации. М. : Наука, 1966. 300 с.
15. Энциклопедия полимеров. Т. 1. М. : Сов. энцикл., 1972.
16. Кабанов В. А., Зубов В. П., Семчиков Ю. Д. Комплексно-радикальная полимеризация. М. : Химия, 1987. 256 с.



БИОЛОГИЯ



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ



УДК 58.006 + 58.084.1

СОХРАНЕНИЕ ВИДОВ И СОРТОВ РАСТЕНИЙ В КОЛЛЕКЦИИ *IN VITRO* БОТАНИЧЕСКОГО САДА САРАТОВСКОГО ГОСУНИВЕРСИТЕТА

Е. А. Блюднева, Т. А. Крицкая, А. С. Кашин, И. М. Кириллова

Учебно-научный центр «Ботанический сад» Саратовского государственного университета
E-mail: kriczkaya.tatyana@mail.ru, kashinas2@yandex.ru

В ботаническом саду СГУ создана коллекция *in vitro* экономически важных многолетних культур, а также ведется активная деятельность по созданию коллекции редких и исчезающих видов растений Саратовской области. В настоящее время коллекционный фонд *in vitro* насчитывает 107 образцов 60 видов 48 родов, принадлежащих к 26 семействам покрытосеменных растений, из которых 26 видов 21 рода 14 семейств являются охраняемыми видами Саратовской области.

Ключевые слова: коллекция *in vitro*, сохранение биоразнообразия, клональное микро-размножение, ботанический сад.

Conservation of Plant Species and Cultivars in Botanical Garden Saratov State University *in vitro* Collection

Е. А. Bliudneva, Т. А. Kritckaia, А. S. Kashin, I. M. Kirillova

In vitro collection of economically-valued long-standing cultures was established in Botanical Garden of Saratov State University. The work is carried out to compose the rare plants collection. At present time the *in vitro* collection includes 107 cultivars of 60 species of 48 genera which belong to 26 families of Angiosperms. 26 species of 21 genera of 14 families among these plants are endangered in Saratov Region.

Key words: *in vitro* collection, genetic resources, conservation of biodiversity, clonal micropropagation, botanical garden.

Сохранение биологического разнообразия является одной из важнейших задач ботанических садов. Вся деятельность по сохранению видов и сортов растений базируется на ряде программных документов, таких как «Конвенция о биологическом разнообразии» (1995, 2006), «Международная программа ботанических садов по охране растений» (2000), «Global Strategy Plant Conservation» (2002) и других.

Одним из наиболее эффективных способов сохранения биоразнообразия растительного мира является создание генетического банка *in vitro*, в котором все образцы хранятся при пониженной температуре в условиях замедленного роста. Независимость от климатических условий, возможность использования минимального количества эксплантов для получения асептической культуры без нарушения природных популяций, экономия площадей и трудовых затрат – главные преимущества системы *in vitro* по сравнению с традиционными методами вегетативного размножения растений [1]. Современные методы биотехнологии, в частности клонального микро-размножения растений, позволяют не только массово получать посадочный матери-



ал экономически ценных многолетних культур, но и сохранять редкие и исчезающие виды растений, имеющие трудности с семенным размножением. Разработка эффективных методов клонального микроразмножения растений является основным и необходимым условием в работах по созданию генетических банков *in vitro* [2, 3, 4].

Коллекция ценных многолетних культур

В настоящее время коллекция образцов культурных растений *in vitro* ботанического сада насчитывает 81 сорт 34 видов 27 родов, принадле-

жащих 15 семействам. Из них растения 36 сортов 16 видов 16 родов, принадлежащих к 5 семействам, были самостоятельно введены в культуру *in vitro* сотрудниками лаборатории (табл. 1), остальные образцы были любезно предоставлены уже в виде асептической культуры коллегами из других ботанических садов (Волгоградский региональный ботанический сад, г. Волгоград; Главный ботанический сад имени Н. В. Цицина РАН, г. Москва; Никитский ботанический сад – Национальный научный центр, г. Ялта, Украина).

Таблица 1

Перечень объектов коллекции декоративных и плодово-ягодных многолетних культур, введённых в культуру *in vitro* сотрудниками лаборатории микроразмножения растений УНЦ «Ботанический сад» СГУ

№	Семейство	Название образца
1	Rosaceae	<i>Amygdalus triloba</i> Ricker.
2		<i>Cerasus vulgaris</i> Mill. сорт «Студенческая»
3		<i>Cerasus vulgaris</i> Mill. сорт «Молодёжная»
4		<i>Cerasus vulgaris</i> Mill. сорт «Орлица»
5		<i>Cerasus vulgaris</i> Mill. сорт «Банкетная»
6		<i>Kerria japonica</i> (L.) DC.
7		<i>Pentaphylloides fruticosa</i> (L.) O. Schwarz сорт «Goldfinger»
8		<i>Prunus divaricata</i> Ldb. сорт «Алая заря»
9		<i>Rosa hybrida</i> L. сорт «Crimson Glory»
10		<i>Rosa hybrida</i> L. сорт «Michelangelo»
11		<i>Rosa hybrida</i> L. сорт «Konfetti»
12		<i>Rosa hybrida</i> L. сорт «Versilia»
13		<i>Rosa chinensis</i> Jacq.
14		<i>Rubus idaeus</i> L. сорт «Бальзам»
15		<i>Rubus caesius</i> L. сорт «Tornfree»
16		<i>Sorbus aucuparia</i> L. сорт «Гранатная»
17		<i>Spiraea japonica</i> L. сорт «Shirobana»
18		<i>Stephanandra tanakae</i> Franch. Et Sav.
19	Grossulariaceae	<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Зуша»
20		<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Чудное мгновение»
21		<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Элевеста»
22		<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Багира»
23		<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Загадка»
24		<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Десертная Ольхиной»
25		<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Тамерлан»
26		<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Дачница»
27		<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Черный жемчуг»
28		<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Маленький принц»
29		<i>Ribes nigrum</i> L. сорт «Чаровница»
30		<i>Lonicera caerulea</i> L. сорт «Камчадалка»
31		<i>Lonicera caerulea</i> L. сорт «Лазурная»
32		<i>Weigela × hybrida</i> Jacq. сорт «Eva Rathke»
33		<i>Weigela × hybrida</i> Jacq. сорт «Candida»
34	Asparagaceae	<i>Hosta undulata</i> (Otto & A.Dietr.) L.H.Bailey сорт «Mediovariegata»
35	Anacardiaceae	<i>Cotinus adans coggygria</i> Scop.
36	Fabaceae	<i>Cladrastis lutea</i> (Michx.f) C.Koch



Максимально по количеству образцов в коллекции представлены семейства Rosaceae – 35 шт. (43.2%), Grossulariaceae – 11 шт. (13.5%), Ericaceae – 7 шт. (8.6%), Caprifoliaceae – 6 шт. (7.4%) и Ranunculaceae – 6 шт. (7.4%). Семейства Oleaceae, Actinidiaceae, Solanaceae и Saxifragaceae включают по 4 (5.0%), 2 (2.5%), 2 (2.5%) и 2 (2.5%) образца соответственно. Остальные семейства представлены в коллекции единичными образцами, составляющими в сумме менее 7.5% всех образцов коллекции.

Для реализации методов клонального микро-размножения в первую очередь выбирались растения с ценными хозяйственными признаками (плодово-ягодные, декоративно-цветущие и др.).

В качестве первичных эксплантов в работе с древесными культурами использовались латеральные почки и узловыи сегменты побегов текущего года. Экспериментально было показано, что наиболее оптимальным сроком изоляции являлась фаза активного роста растения (апрель-май и сентябрь-октябрь) [5]. Поверхностная стерилизация проводилась согласно общепринятой методике [6]. В работе с древесными растениями возник ряд трудностей. Так как исходный материал брался из полевых условий, он отличался высоким уровнем внешней и внутренней инфицированности. Для повышения эффективности стандартной методики стерилизации применялось предварительное выдерживание объектов в растворе синтетического моющего средства в течение 20–30 минут с последующим отмыванием их в проточной воде. Также применялась дополнительная ступенчатая стерилизация растворами фунгицидов и/или антибиотиков, чтобы уничтожить патогенные микроорганизмы и споры грибов. В качестве основных стерилизующих агентов использовались растворы гипохлоритов (в частности бытовые отбеливатели «Белизна» и «Domestos») и препарата «Лизоформин-3000». Концентрация растворов зависела от размеров эксплантов, наличия или отсутствия покровных чешуй, степени загрязненности. Например, стерилизацию побегов *Pentaphylloides fruticososa* осуществляли с использованием 7%, 10% и 15%-ного (время экспозиции 10 мин.) раствора «Domestos». Количество жизнеспособных эксплантов составило соответственно 5%, 24%, 50%. Уменьшение концентрации дезинфицирующего раствора приводило к 100%-му инфицированию, а увеличение – к большому проценту некроза и ингибированию роста.

На этапе микро-размножения и укоренения для каждого сорта (даже в пределах одного вида) минеральный состав питательной среды, количе-

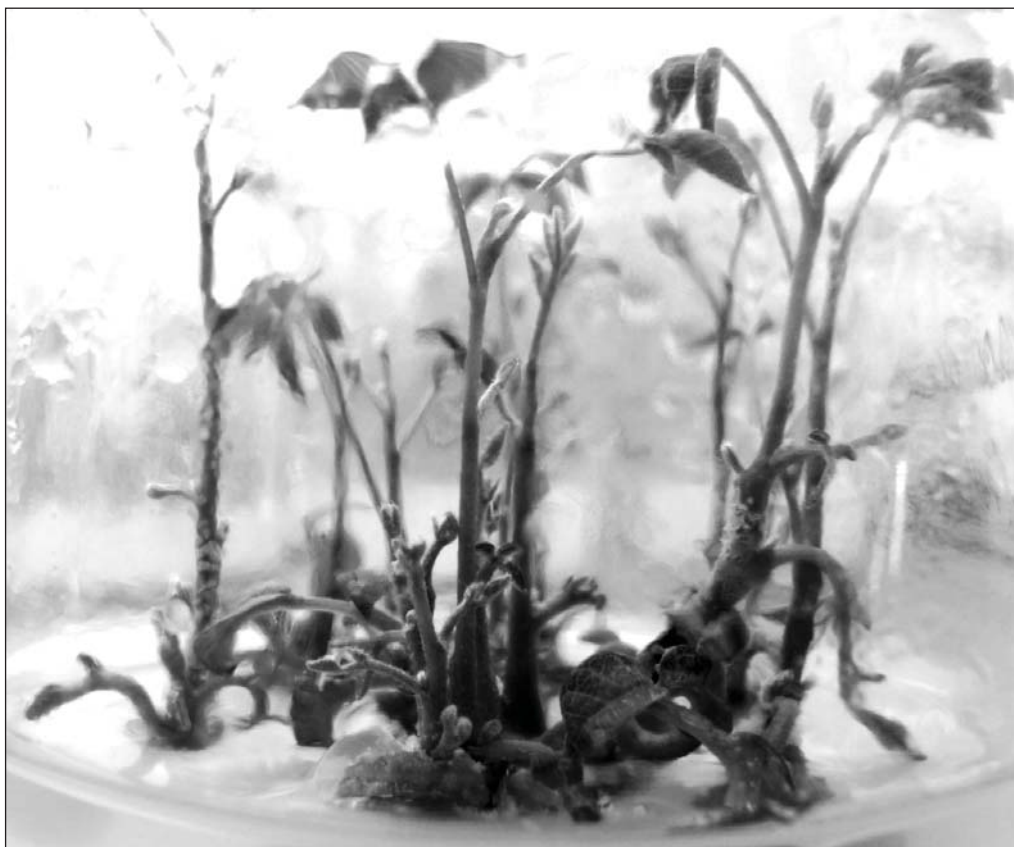
ство и соотношение регуляторов роста подбирали индивидуально. Коэффициент размножения варьировал от 1:2 до 1:30 в зависимости от биологических особенностей вида или сорта.

Культивировали растения при температуре 22–25 °С и 16-часовом фотопериоде.

В качестве цитокининов обычно использовали 6-бензиламинопурин (БАП), кинетин и зеатин. Концентрация цитокининов подбиралась индивидуально в зависимости от состояния экспланта и желаемого результата, обычно она составляла от 0.2 до 3.0 мг/л. Повышенная концентрация БАП в большинстве случаев приводила к увеличению коэффициента размножения, однако, побеги в этом случае получались мелкими и, чаще всего, оводнёнными. Например, для *Spiraea japonica* «Shirobana» оптимальным был диапазон концентрации БАП от 0.5 до 1.0 мг/л. При этом количество микропобегов на один эксплант через 30 суток культивирования составило 9.2 ± 2.3 . Однако побеги в данном случае оказывались очень мелкими, что приводило к потере части материала при пересадках. Добавление 0.5 мг/л ГК способствовало увеличению длины междоузлий и значительно облегчало работу с ними в последующем. В связи с хрупкостью побегов спиреи, значительную роль играл размер экспланта. Пересадка одиночных побегов повышала вероятность некроза, тогда как группы по 2–3 побега характеризовались лучшей приживаемостью.

Иногда совместное использование цитокининов и ауксинов на этапе размножения давало значительное увеличение коэффициента размножения. Например, при культивировании *Cladrastis lutea* на питательной среде, дополненной БАП 0.5 мг/л, микро-размножение практически отсутствовало. При совместном использовании БАП 0.2–0.5 мг/л и ИУК 0.5–1.0 мг/л коэффициент размножения составил 1:3–1:5 (рисунок). Сходные результаты были получены в культурах *Rubus idaeus*, *Lonicera caerulea* и *Cotinus adans* при различных комбинациях БАП и ИУК.

В качестве сред для укоренения использовали те же среды, на которых размножались экспланты, минеральный состав уменьшали вдвое, а цитокинины замещали ауксинами. В качестве индукторов ризогенеза для большинства культур использовали ИУК, ИМК и НУК. Наиболее эффективным в отношении древесных культур оказалось использование ИМК в концентрации 1.0 мг/л (*Cerasus vulgaris*, *Prunus domestica*, *Rubus caesius* и др.). В некоторых случаях длительное воздействие экзогенных ауксинов ингибировало развитие корней (*Cladrastis lutea*).



Регенерация микропобегов *Cladrastis lutea* на питательной среде с БАП 0.2 мг/л + ИУК 0.5 мг/л, 12-й пассаж. Длительность пассажа – 30 суток

Для подобных объектов наиболее эффективной оказалась методика, по которой регенеранты непродолжительное время (5–14 дней) выдерживают на питательной среде с повышенным содержанием ауксинов, а потом пересаживают на среду без регуляторов роста с добавлением активированного угля или рибофлавина [7, 8].

Процент укорененных регенерантов составлял, в зависимости от объекта, от 60 до 100%.

Перемещение культуры в условия замедленного роста осуществляли согласно методам, разработанным ННЦ-НБС для древесных культур [4, 9]. Каждый образец подвергали хемотерапии в целях освобождения от вирусных патогенов и пересаживали на питательные среды с повышенным содержанием углеводов. После этого пробирки с растениями помещали в культуральную камеру с температурой $+5\pm 1$ °С.

Коллекция редких и исчезающих видов растений

Коллекционный фонд редких и исчезающих видов растений Саратовской области *in vitro* в настоящее время насчитывает 26 видов 21 рода

14 семейств (табл. 2). При этом 24 вида коллекции занесены в Красную книгу Саратовской области [10] с категориями редкости: категория 1 – 6 видов (23% от объема коллекции), категория 2 – 13 видов (50%), категория 3 – 5 видов (19%). Остальные 8% составляют виды, исчезнувшие с территории области и представляющие интерес для реинродукции. В составе коллекции 16 видов занесены в Красную книгу Российской Федерации (КК РФ), большинство из них имеет критерий редкости 2 и 3 [11].

При работе с редкими и исчезающими видами растений в качестве первичных эксплантов были выбраны зрелые семена, так как они в полной мере охватывают генетическое разнообразие в пределах вида, и изъятие небольшого количества семян, необходимых для введения в культуру, не наносит урон природной популяции охраняемого растения [12]. При отборе растительного материала для длительного хранения в условиях *in vitro* предпочтение отдавали видам, занесенным в КК РФ, с высокими декоративными качествами, а также наиболее уязвимым растениям с узкой экологической амплитудой.



Таблица 2

Перечень видообразцов редких и исчезающих растений Саратовской области в коллекции *in vitro* УНЦ «Ботанический сад» СГУ

№	Семейство	Вид	Статус редкости по КК СО*	Статус редкости по КК РФ**
1	Liliaceae	<i>Fritillaria meleagroides</i> Patrin ex Schult. et Schult. fil.	2 (V)	–
2		<i>Tulipa gesneriana</i> L. (<i>T. schrenkii</i> Regel)	1 (E)	2а,б
3	Alliaceae	<i>Allium regelianum</i> A.Beck.	1 (E)	2а
4	Iridaceae	<i>Iris pseudacorus</i> L.	2 (V)	–
5	Caryophyllaceae	<i>Silene hellmanii</i> Claus.	2 (V)	3д
6		<i>Silene cretacea</i> Fisch. ex Spreng.	–	3в
7	Ranunculaceae	<i>Pulsatilla pratensis</i> (L.) Mill.	2 (V)	3б
8		<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	2 (V)	–
9	Paeoniaceae	<i>Paeonia tenuifolia</i> L.	2 (V)	2б
10	Brassicaceae	<i>Alyssum tortuosum</i> Waldst. et Kit. ex Willd.	2 (V)	–
11		<i>Alyssum lenense</i> Adams.	2 (V)	–
12		<i>Mattiola fragrans</i> Bunge	2 (V)	3а
13	Rosaceae	<i>Potentilla vulgarica</i> Juz.	1 (E)	1
14	Fabaceae	<i>Astragalus dasyanthus</i> Pall.	2 (V)	–
15		<i>Hedysarum grandiflorum</i> Pall.	3 (R)	3в
16		<i>Hedysarum razoumiovianum</i> Fisch. et Helm	1 (E)	3д
17		<i>Glycyrrhiza glabra</i> L.	3 (R)	–
18		<i>Calophaca wolgarica</i> (L.fil.) Fisch. ex D.C.	–	2а
19	Cistaceae	<i>Helianthemum nummularium</i> (L.) Mill.	2 (V)	–
20	Lamiaceae	<i>Hyssopus cretaceus</i> Dubjan.	3 (R)	3в
21	Scrophulariaceae	<i>Scrophularia sareptana</i> Kleop. ex Ivanina	2 (V)	3в
22	Globulariaceae	<i>Globularia punctata</i> Lapeyr.	2 (V)	3б,в
23	Asteraceae	<i>Anthemis trotziana</i> Claus.	1 (E)	3в
24		<i>Centaurea kasakorom</i> Iljin	3 (R)	–
25		<i>Centaurea ruthenica</i> Lam.	3 (R)	–
26		<i>Stemmacantha serratuloides</i> (Georgi) M. Dittrich	1 (E)	–

Примечание. *Красная книга Саратовской области (2006); **Красная книга Российской Федерации (2008).

В результате исследований была установлена оптимальная схема стерилизации семян из природных популяций. В соответствии с ней перед началом стерилизации семена промывали в растворе синтетического моющего средства в течение 20–30 минут, затем погружали в 70% спирт на 2–5 минут, после чего переносили в 25% (1:3) раствор бытового отбеливателя «Белизна» и экспонировали 20–30 минут. По окончании стерилизации семена троекратно промывали стерильной дистиллированной водой и помещали на питательную среду. Для каждого объекта учитывали тип покоя семян и условия их прорастания [13].

Стерильные проростки переносили на питательную среду с различными регуляторами роста для подбора оптимальных условий клонального микроразмножения.

Так же, как и в работе с хозяйственно-ценными древесными культурами, для каждого исследуемого объекта условия культивирования подбирали с учётом биологических особенностей вида.

Для многих объектов существуют уже разработанные протоколы клонального микроразмножения, дающие высокие результаты (*Tulipa gesneriana* [14], *Pulsatilla pratensis* [15], *Paeonia tenuifolia* [16], *Mattiola fragrans* [17], *Stemmacantha*



serratuloides [18] и др.), однако почти каждый из них требует корректировки в зависимости от генотипа исследуемого образца [4].

Таким образом, проводимая сотрудниками ботанического сада работа по созданию и поддержанию коллекции *in vitro* редких и полезных видов растений способствует сохранению, размножению и изучению ценных растительных объектов. В настоящее время в коллекции *in vitro* лаборатории микрклонального размножения растений поддерживается 107 образцов 60 видов 48 родов 26 семейств покрытосеменных растений, из которых 26 видов 21 рода 14 семейств являются охраняемыми видами Саратовской области.

Благодарности

Выражаем искреннюю признательность сотрудникам Волгоградского регионального ботанического сада (г. Волгоград) и лично его директору, канд. биол. наук О. И. Короткову, Главного ботанического сада имени Н. В. Цицина РАН (Москва) и лично зав. лабораторией биотехнологии растений, канд. биол. наук О. И. Молкановой, Никитского ботанического сада – Национального научного центра (г. Ялта, Украина) и лично зав. лабораторией биотехнологии и вирусологии, д-ру биол. наук И. В. Митрофановой за неоценимую помощь, консультационную поддержку и предоставленные образцы введённых в культуру *in vitro* видов растений.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 2014/203 (код проекта 1287).

Список литературы

1. Молканова О. И., Коротков О. И., Горбунов Ю. Н. Методология сохранения коллекций редких и ценных растений в генетических банках *in vitro* // Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира : материалы II Всерос. науч.-практ. конф., Волгоград, 19–21 авг. 2008 г. / под ред. А. С. Демидова. Белгород : Изд-во Белг. ГУ, 2008. С. 118–122.
2. Агеева С. Е., Круглова Л. Н., Буганова А. В., Жолобова О. О., Сафронова Г. Н. Сохранение биоразнообразия редких и исчезающих видов растений в Волгоградском региональном ботаническом саду // Вестн. Балт. федер. ун-та им. И. Канта. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2012. Вып. 7. С. 103–109.
3. Новикова Т. И., Набиева А. Ю., Полубоярова Т. В. Сохранение редких и полезных растений в коллекции *in vitro* Центрального сибирского ботанического сада // Вестн. ВОГиС. Новосибирск : Изд-во ИЦиГ СО РАН, 2008. Т. 12, № 4. С. 564–572.
4. Митрофанова И. В. Соматический эмбриогенез и органогенез как основа биотехнологии получения и сохранения многолетних садовых культур. Киев : Аграрна наука, 2011. 344 с.
5. Крицкая Т. А., Блюднева Е. А., Кашин А. С. Клональное микроразмножение некоторых декоративных видов растений семейства Rosaceae и Carpfoliaceae // Цветоводство : традиции и современность : материалы VI Междунар. науч. конф. Волгоград, 15–18 мая 2013 г. / отв. ред. А. С. Демидов. Белгород : ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2013. С. 431–434.
6. Катаева Н. В., Бутенко Р. Г. Клональное микроразмножение растений. М. : Наука, 1983. 232 с.
7. Klavina D., Priede G. *In vitro* cultivation and root initiation of the endangered plant *Pulsatilla patens* // Environmental and Experimental Biology. Latvia : Published by University of Latvia, 2011. Vol. 9. P. 71–74.
8. Криницына А. А., Мурашев В. В., Успенская М. С. Микрклональное размножение *Paeonia suffruticosa* Andr. с целью интродукции в урбанофитоценозы // Вестн. ИрГСХА. Иркутск : Изд-во ИрГСХА, 2011. Т. 44, № 2. С. 82–89.
9. Митрофанова О. В., Михайлов А. П., Чехов А. В. Биотехнологические аспекты освобождения от вирусов и клонального микроразмножения некоторых экономически важных многолетних культур // Биотехнологические исследования садовых и других ценных многолетних культур : сб. науч. тр. Ялта : Изд-во СП РИФ «Южный берег», 1997. Т. 119. С. 7–34.
10. Красная книга Саратовской области : Грибы. Лишайники. Растения. Животные / Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов Саратов. обл. Саратов : Изд-во Торг.-пром. палаты Саратов. обл., 2006. 528 с.
11. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы); гл. ред. Ю. П. Трутнев / Мин-во природ. ресурсов и экологии РФ; Федер. служба по надзору в сфере природопольз.; РАН; Рос. бот. о-во; МГУ М. : Тов. науч. изд. КМК, 2008. 855 с.
12. Горбунов Ю. Н., Дзыбов Д. С., Кузьмин З. Е., Смирнов И. А. Методические рекомендации по реинтродукции редких и исчезающих видов растений (для ботанических садов). Тула : Гриф и К, 2008. 56 с.
13. Николаева М. Г. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л. : Наука, 1985. 347 с.
14. Ахметова А. Ш., Миронова Л. Н. Клональное микроразмножение тюльпана сорта Lucky Strike // Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира : материалы II Всерос. науч.-практ. конф., Волгоград, 19–21 августа 2008 г. / под ред. А. С. Демидова. Белгород : Изд-во БелГУ, 2008. С. 148–152.
15. Naumovski D., Radic S., Pevalek-Kozlina B. *In vitro* micropropagation of *Pulsatilla pratensis* (L.) Miller ssp. *nigricans* (Störck) Zämelis // Propagation of Ornamental Plants. Bulgaria : Sejani Ltd., 2009. Vol. 9. P. 16–20.
16. Ветчинкина Е. М. Биологические особенности культивирования *in vitro* семян и зародышей редких видов растений : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2010. 22 с.



17. Жолобова О. О. Сохранение редких и исчезающих видов растений в культуре *in vitro* и оценка уровня их внутривидового полиморфизма : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Белгород : Изд-во БелГУ, 2012. 23 с.
18. Ишмуратова М. М. Сохранение *Stemmacanta ser-*

ratuloides ex situ // Биотехнология как инструмент сохранения биоразнообразия растительного мира : материалы II Всерос. науч.-практ. конф., Волгоград, 19–21 авг. 2008 г. / под ред. А. С. Демидова. Белгород : Изд-во БелГУ, 2008. С. 60–63.

УДК 579.242:579.841.2

ОСОБЕННОСТИ ВЫЖИВАНИЯ РИЗОБАКТЕРИИ *AZOSPIRILLUM BRASILENSE* SP245 В ЖИДКОЙ КУЛЬТУРЕ ПРИ БОЛЬШИХ СРОКАХ ХРАНЕНИЯ

М. А. Кушнерук¹, Е. А. Славкина², Н. И. Старичкова², Л. П. Антонюк¹

¹Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов
E-mail: ant306@ibppm.sgu.ru

²Саратовский государственный университет
E-mail: natstar-12@mail.ru



Изучали особенности выживания неспорообразующей ризобактерии *Azospirillum brasilense* Sp245 в жидкой культуре при ее хранении в течение 6 лет 8 мес., а также возобновление размножения при внесении покоящихся бактерий в свежую среду. Установлено, что на протяжении всего периода наблюдения азоспириллы сохраняют достаточно высокое (не менее 10³ кл./мл) число клеток, не утративших способности к делению. Выявлено образование флокулодержательной биопленки бентосного типа, сохранявшейся до конца наблюдения, а также кристаллов игольчатой формы. Показано, что бактериальные клетки в длительно хранящейся культуре *A. brasilense* сохраняют высокий ростовой потенциал и быстро возобновляют рост при перенесении в свежую синтетическую среду. Присутствие в свежей среде белка АЗП в концентрации 1 нг/мл стимулировало размножение бактерий. Полученные результаты, наряду с более ранними сведениями о высоком ростстимулирующем потенциале азоспирилл, свидетельствуют о перспективности создания жидких препаратов для растениеводства на основе *A. brasilense*.

Ключевые слова: *Azospirillum brasilense*, покой у бактерий, биопленка, агглютинин зародышей пшеницы, АЗП, длительное хранение культур, кристаллы.

Features of the Rhizobacterium *Azospirillum brasilense* Sp245 Long-term Survival in Liquid Culture

М. А. Kushneruk, Е. А. Slavkina,
N. I. Starichkova, L. P. Antonyuk

Features of the survival of non-spore forming rhizobacteria *Azospirillum brasilense* Sp245 in liquid culture at its storage for 6 years 8 months, as well as the revert to growth when dormant bacteria incubated in fresh medium were studied. During the entire period of observation azospirilla were established to retain rather high (at least 10³ cells/ml) the number of cells which have not lost the ability to divide. A flocs-containing biofilms of benthic type persisted until the end of observation and needle-shaped crystals were found. It has been

shown that bacterial cells in the long-term *A. brasilense* culture retain a high growth potential and rapidly resume growth when transferred to fresh synthetic medium. The presence of the protein 1 ng/ml WGA in the fresh medium was stimulated proliferation of bacteria. The obtained results, together with earlier information on high growth-stimulating potential of azospirilla, indicate the prospects of creating a liquid preparations for crop based on *A. brasilense*.

Key words: *Azospirillum brasilense*, dormancy in bacteria, biofilm, lectin, wheat germ agglutinin, WGA, long-term culture, crystals.

Почти все известные штаммы *Azospirillum brasilense* относятся к функциональной группе ростстимулирующих ризобактерий (plant-growth promoting rhizobacteria – PGPR) в силу присущей им способности колонизировать агрономически значимые растения, улучшать их рост, защищать от патогенов и увеличивать урожайность [1–2]. Несмотря на очевидный биотехнологический потенциал азоспирилл и наличие на агрорынке препаратов на их основе, разработчики новых бактериальных препаратов при прочих равных условиях зачастую отдают предпочтение представителям родов *Bacillus* и *Paenibacillus* [3]. Основными причинами такого предпочтения являются способность бацилл к спорообразованию и их ожидаемая хорошая выживаемость при длительном хранении готовых биопрепаратов.

Азоспириллы относятся к неспорообразующим бактериям и при неблагоприятных условиях формируют цисты, близкие по строению к цистам *Azotobacter vinelandii* [4, 5]. Сохранение жизнеспособности *A. brasilense* при длительных сроках хранения уже изучалось, однако лишь для одного случая – когда бактерии заключены в альгинатные



гранулы [6]. Для жидких культур сроки наблюдения ограничиваются, как правило, несколькими месяцами; исключения при этом единичны [2, 7]. Тем не менее, вопрос о длительной персистенции (переживании неблагоприятных условий), в том числе и в жидких культурах, представляет в случае *A. brasilense* как практический, так и фундаментальный интерес. Азоспириллы имеют большой геном [8] и высокий адаптационный потенциал [4, 5, 9], что дает дополнительный стимул к изучению физиологических и молекулярных особенностей их адаптации.

Известно, что азоспириллы могут успешно заселять ризосферу только в том случае, когда к моменту появления корней они уже вышли из состояния покоя, перешли к активному делению и достигли высокой плотности популяции. В связи с этим представляет большой интерес вопрос о том, влияет ли растение-хозяин – например, через регуляторные вещества корневых выделений – на выход бактерий из состояния покоя. Опубликована гипотеза, в соответствии с которой агглютинин зародышей пшеницы (АЗП), один из компонентов корневых выделений, может быть индуктором возобновления роста ризобактерий при наступлении благоприятных условий [10]. Гипотеза о стимулирующем эффекте данного белкового фактора уже получила экспериментальное подтверждение для бактерии *Micrococcus luteus* [11], однако для симбионта пшеницы *A. brasilense* Sp245 – бактерии, компетентной к данному лектину [10, 12], экспериментальные данные по этому вопросу пока отсутствуют.

Целью работы было выяснение вопроса о сохранении жизнеспособности у *A. brasilense* Sp245 в естественном цикле старения в течение 5–6 лет и более, а также изучение особенностей возобновления роста после длительного хранения, в том числе в присутствии АЗП.

Материалы и методы

Объектом исследования был штамм *A. brasilense* Sp245 – природный симбионт пшеницы (*Triticum aestivum* L.), факультативный эндофит этого растения, дающий высокие прибавки урожая в полевых экспериментах [2]. Культуру (из коллекции ИБФРМ РАН, г. Саратов) пересевали в темные 1-литровые бутылки с синтетической малатной средой (СМС) [9], из которой был исключен источник связанного азота NH_4Cl . Бутылки укупоривали двумя пластиковыми крышками и хранили течение месяца при 31°C, затем – при комнатной температуре. За состоянием культуры, находящейся в естественном

цикле старения, наблюдали на протяжении 6 лет 8 месяцев.

Число жизнеспособных клеток определяли, используя стандартный тест учета колониеобразующих единиц (КОЕ) на агаризованной (2%) среде СМС. Оптическую плотность измеряли на спектрофотометре Spekol 221 (Carl Zeiss, Германия) при длине волны 595 нм.

Микробиологическую чистоту культур оценивали с использованием микроскопа Olympus (C011, Япония). Обнаруженные в культуре игольчатые кристаллы анализировали с помощью световой микроскопии для оценки их формы и длины (микроскоп Leica DM2500). Для фотографирования биопленки использовали цифровой фотоаппарат Sony DSC-W120.

Возобновление роста *A. brasilense* после длительной персистенции изучали, перенося бактерии в свежую жидкую среду СМС. Для оценки возможного влияния агглютинина зародышей пшеницы (АЗП) на переход азоспириллы от покоя к размножению добавляли этот лектин в жидкую среду после ее автоклавирования до конечной концентрации 1 или 9 нг/мл. В экспериментах по возобновлению роста использовали разный объем вносимого в свежую среду инокулята: 0.01; 0.05; 0.1; 0.5 и 10% (об.).

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием пакета программ Microsoft Office Excel 2003. Доверительные интервалы определяли для 95%-ного уровня значимости.

Результаты и их обсуждение

Как и ожидалось, клетки *A. brasilense* Sp245 в естественном цикле старения хорошо адаптировались к неростовым условиям. В культуре происходило образование двух различных фаз: часть бактерий оставалась во взвешенном (планктонном) состоянии, другая часть образовывала лежащий на дне сосуда пигментированный хлопьевидный осадок. Предполагали, что осадок представлен флокулами, так как флокулообразование в жидких средах – характерная особенность *A. brasilense*. Простейший анализ, включавший фотографирование донного осадка и просмотр цифровых снимков, показал, что с течением времени скопления флокул покрывались прозрачным студнеобразным матриксом (рис. 1). Таким образом, в естественном цикле старения у *A. brasilense* Sp245 происходило образование флокулодержательной биопленки бентосного типа, уже описанной для других микроорганизмов [13]; она сохранялась до конца наблюдения (около 7 лет).

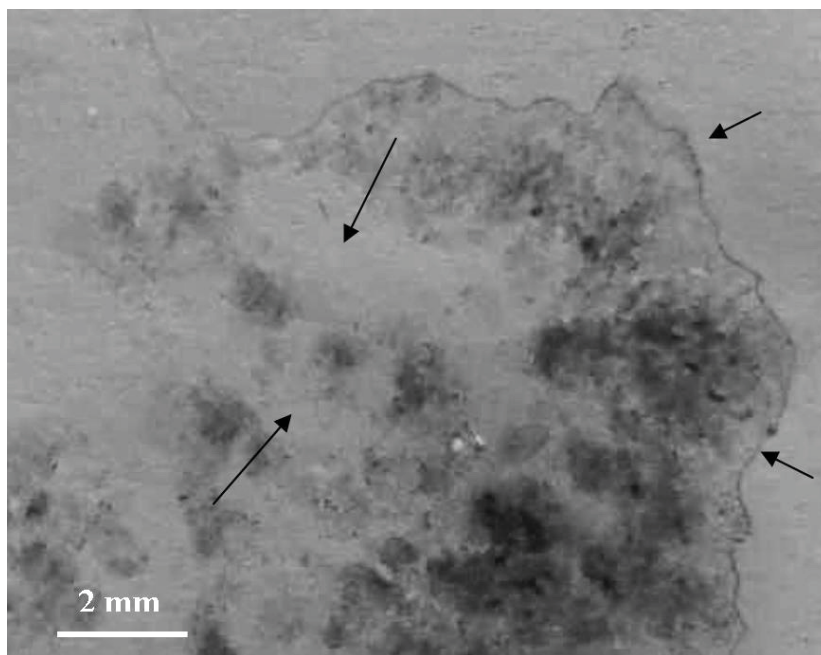


Рис. 1. Фотография флокулосодержащей биопленки *A. brasilense* Sp245. Возраст культуры 6 лет 8 мес. Короткими стрелками указан край биопленки, длинными – визуальнo прозрачная область (матрикс)

При тестировании жизнеспособности культуры с большими сроками хранения высевы делали из ее планктонной части. Как видно из представленных данных (таблица), бактерии неизменно сохраняли способность к возобновлению роста на свежей агаризованной среде;

в интервале от 3,5 лет до 6 лет 8 мес. число жизнеспособных клеток составляло не менее 1000 кл./мл. Важно было выяснить, достаточно ли такого количества клеток для быстрого возобновления роста при наступлении благоприятных условий.

Динамика снижения жизнеспособности культуры *A. brasilense* Sp245, выращенной в оптимальных условиях и хранящейся при комнатной температуре

Состояние жидкой культуры	Возраст	Число жизнеспособных клеток, КОЕ/мл
Вегетативная	18 ч	$(7.9 \pm 0.1) \times 10^8$
Персистирующая	2 г. 2 мес.	$(2.1 \pm 0.1) \times 10^4$
	3 г. 6 мес.	$(2.2 \pm 0.6) \times 10^3$
	5 лет 1 мес.	$(0.6 \pm 0.2) \times 10^3$
	5 лет 6 мес.	$(1.2 \pm 0.4) \times 10^3$
	6 лет 8 мес.	$(7.7 \pm 0.8) \times 10^3$

Примечание. Данные для двух культур, вегетативной и персистирующей в течение 2 лет и 2 месяцев, были представлены ранее [7].

С этой целью бактерии пересевали в свежую жидкую среду СМС, содержащую или не содержащую лектин пшеницы – АЗП. Было установлено, что азоспириллы на среде без лектина легко возобновляют рост не только при средних и высоких концентрациях инокулята, но и при очень низких – 0.01 и 0.05%. Даже в случае культуры возраста 6 лет 3 мес. и концентрации инокулята 0.01% бактерии при перенесении в свежую среду размножались: по-

степенно увеличивалась оптическая плотность (рис. 2). Для более полной оценки размножения бактерий в свежей среде в эксперименте определяли также количество жизнеспособных клеток в стандартном тесте КОЕ. Несмотря на то что в среду было внесено лишь небольшое количество покоящихся бактерий (концентрация инокулята составляла 0.01%), через 1 сут. регистрировалось 4×10^6 кл./мл, а через 2 сут. – 1.7×10^9 кл./мл.

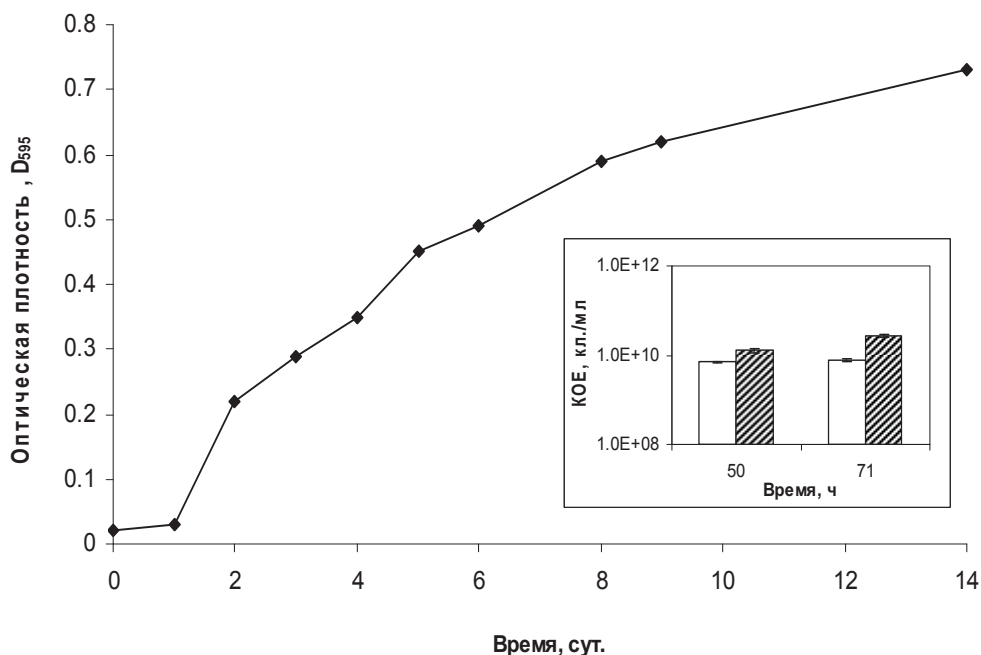


Рис. 2. Возобновление роста *A. brasilense* Sp245 на свежей среде СМС после персистенции в течение 6 лет 3 мес. На вклейке: Влияние АЗП на численность жизнеспособных клеток (КОЕ) в культуре *A. brasilense* Sp245, растущей в свежей среде СМС; белым цветом – контроль, штриховкой – АЗП, 1 нг/мл

Присутствие в среде лектина в концентрации 1 нг/мл стимулировало размножение азоспирилл, перенесенных в свежую среду (см. рис. 2, вклейка). В частности, число жизнеспособных клеток на среде с АЗП превышало контрольные значения: к 50 часам – в 1,8 раза, к 70 часам – в 3,5 раза и достигало 1.3×10^{10} и 2.7×10^{10} кл./мл, соответственно. Необходимо отметить, что в наших экспериментах стимулирующее влияние АЗП было не столь выраженным, как в случае вегетативных клеток *A. brasilense* [12] и покоящихся клеток *M. luteus* [11]. Этот факт, наряду с другими приведенными выше данными, позволяет предположить, что культуры *A. brasilense* в естественном цикле старения сохраняют не только достаточное число жизнеспособных клеток, но и собственные факторы роста, способствующие эффективному переходу азоспирилл к размножению при наступлении благоприятных условий. Нельзя исключить, что резервуаром жизнеспособных клеток и факторов роста является флокulosодержащая биопленка [13].

Ранее уже сообщалось об образовании биопленок при адсорбции клеток азоспириллы на поверхности стекла или пластика [14]; такая биопленка имеет однородную структуру и прикреплена к твердой поверхности. Нами описано присутствие в жидких культурах *A. brasilense* биопленки иного, бентосного типа: она не при-

креплена к твердой поверхности и всплывает при взмучивании культуры, и кроме того, имеет неоднородную структуру: состоит из флоккул и матрикса.

Световая микроскопия изучаемой культуры с возрастом более 6 лет выявляла также игольчатые кристаллы, идентичные по внешнему виду кристаллам, образующимся в иных условиях – персистенции отмытых от среды клеток *A. brasilense* Sp245 в физиологическом растворе, содержащем гексилрезорцин и CuSO_4 [9]. Вероятно, игольчатые кристаллы формируются в среде обитания *A. brasilense* Sp245 при глубоких и длительных стрессах различной природы, в то время как обнаруженные нами ранее у этого же штамма кристаллы струвита [15] образуются из компонентов среды СМС вегетативными клетками вне стресса. Химическая природа игольчатых кристаллов остается пока неизвестной.

Известно, что на рынке бактериальных препаратов для растениеводства имеются высокоэффективные жидкие препараты, в частности на основе *Bacillus subtilis* и некоторых других представителей функциональной группы PGPR. Представленные в данной работе результаты, наряду с более ранними сведениями о высоком ростстимулирующем потенциале азоспирилл, свидетельствуют о перспективности разработки аналогичных препаратов на основе *A. brasilense*.



Выводы

На примере биотехнологически перспективного штамма Sp245 показана способность *A. brasilense* к сохранению достаточно большого числа жизнеспособных бактериальных клеток в культуре (10^3 кл./мл и выше) в течение, по крайней мере, 6 лет 8 мес.

Адаптация *A. brasilense* к длительному хранению включает формирование флокулосодержащей биопленки бентосного типа.

Бактериальные клетки в длительно хранящейся культуре *A. brasilense* Sp245 сохраняют высокий ростовой потенциал и быстро возобновляют рост при внесении даже небольшого их количества в свежую синтетическую среду.

Лектин АЗП, являющийся компонентом корневых выделений пшеницы, стимулирует размножение симбионта растений пшеницы *A. brasilense* Sp245 при концентрации лектина в среде 1 нг/мл.

Авторы статьи выражают благодарность ведущему научному сотруднику, доктору биологических наук В. А. Богатыреву (ИБФРМ РАН) за помощь в микроскопии кристаллосодержащих препаратов.

Список литературы

1. *Fibach-Paldi S., Burdman S., Okon Y.* Key physiological properties contributing to rhizosphere adaptation and plant growth promotion abilities of *Azospirillum brasilense* // FEMS Microbiol. Lett. 2012. Vol. 326, № 1. P. 99–108.
2. *Russo A., Carrozza G. P., Vettori L., Felici C., Cincelli F., Toffanin A.* Plant Beneficial Microbes and Their Application in Plant Biotechnology // Innovations in Biotechnology / eds. Agho E. C. Rijeka. Croatia : InTech, 2012. P. 57–72.
3. *Kumar A., Prakash A., Johri B. N.* Bacillus as PGPR in Crop Ecosystem // Bacteria in Agrobiolgy : Crop Ecosystems / eds. D. K. Maheshwari. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2011. P. 37–59.
4. *Мулюкин А. Л., Сузина Н. Е., Погорелова А. Ю., Антонюк Л. П., Дуда В. И., Эль-Регистан Г. И.* Разнообразие морфотипов покоящихся клеток и условия их образования у *Azospirillum brasilense* // Микробиология. 2009. Т. 78, № 1. С. 42–51.
5. *Sadasivan L., Neyra C. A.* Cyst production and brown pigment formation in aging cultures of *Azospirillum brasilense* ATCC 29145 // J. Bacteriol. 1987. Vol. 169, № 4. P. 1670–1677.
6. *Bashan Y., Gonzalez L. E.* Long-term survival of the plant-growth-promoting bacteria *Azospirillum brasilense* and *Pseudomonas fluorescens* in dry alginate inoculant // Appl. Microbiol. Biotechnol. 1999. Vol. 51, № 2. P. 262–266.
7. *Ильчукова А. В., Тугарова А. В., Антонюк Л. П.* Изучение покоя у ризобактерий *Azospirillum brasilense* при длительном культивировании // Вестн. Саратов. агроун-та им. Н. И. Вавилова. 2010. № 2. С. 7–9.
8. *Kaneko T., Minamisawa K., Isawa T., Nakatsukasa H., Mitsui H., Kawaharada Y., Nakamura Y. et al.* Complete genomic structure of the cultivated rice endophyte *Azospirillum* sp. B510 // DNA Res. 2010. Vol. 17, № 1. P. 37–50.
9. *Кушнерук М. А., Тугарова А. В., Ильчукова А. В., Славкина Е. А., Старичкова Н. И., Богатырев В. А., Антонюк Л. П.* Факторы, индуцирующие переход ризобактерий *Azospirillum brasilense* от размножения к покою // Микробиология. 2013. Т. 82, № 5. С. 563–570.
10. *Антонюк Л. П.* Растительные лектины как факторы коммуникации в симбиозах // Молекулярные основы взаимодействия ассоциативных микроорганизмов с растениями / под ред. В. В. Игнатова. М. : Наука, 2005. С. 118–159.
11. *Кряжевских Н. А., Демкина Е. В., Манучарова Н. А., Соина В. С., Гальченко В. Ф., Эль-Регистан Г. И.* Реактивация покоящихся и некультивируемых форм бактерий из древних почв и мерзлых подпочвенных отложений // Микробиология. 2012. Т. 81, № 4. С. 474–485.
12. *Shelud'ko A. V., Makrushin K. V., Tugarova A. V., Krestinenko V. A., Panasenko V. I., Antonyuk L. P., Katsy E. I.* Changes in motility of the rhizobacterium *Azospirillum brasilense* in the presence of plant lectins // Microbiol. Res. 2009. Vol. 164, № 4. P. 149–156.
13. *Николаев Ю. А., Плакунов В. К.* Биопленка – «город микробов» или аналог многоклеточного организма? // Микробиология. 2007. Т. 76, № 2. С. 149–163.
14. *Петрова Л. П., Шелудько А. В., Кацы Е. И.* Плазмидные перестройки и изменения в формировании биопленок *Azospirillum brasilense* // Микробиология. 2010. Т. 79, № 1. С. 129–132.
15. *Kamnev A. A., Antonyuk L. P., Colina M., Chernyshov A. V., Ignatov V. V.* Investigation of a microbially produced structural modification of magnesium-ammonium orthophosphate // Monatshefte fur Chemie. 1999. Vol. 130, № 12. P. 1431–1442.

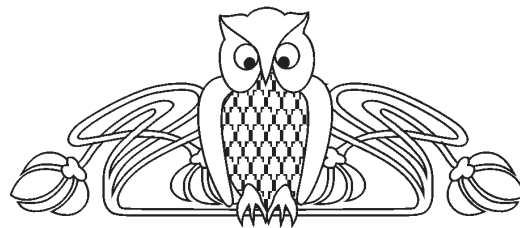


УДК 633.11: 581.4

РОСТ И РАЗВИТИЕ СТЕБЛЯ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ СОРТОВ САРАТОВСКОЙ СЕЛЕКЦИИ

С. А. Степанов, В. Д. Сигнаевский,
В. В. Коробко, М. Ю. Касаткин

Саратовский государственный университет
E-mail: hanin-hariton@yandex.ru



Проанализированы рост и развитие междоузлий на примере сорта Саратовская 36. Среди сортов яровой мягкой пшеницы саратовской селекции установлены различия по абсолютной и относительной длине междоузлий.

Ключевые слова: пшеница, междоузлие, рост, развитие, сорт.

Growth and Development of the Stem of Spring Soft Wheat Cultivars of the Saratov Selection

S. A. Stepanov, V. D. Signaevski,
V. V. Korobko, M. Yu. Kasatkin

Growth and development internodes on a grade example Saratov 36 are analysed. Among grades of summer soft wheat of the Saratov selection distinctions on absolute and relative length internodes are established.

Key words: wheat, internode, growth, development, cultivar.

Стебель пшеницы состоит из узлов и междоузлий, являющихся элементами одноименных метамеров. Их заложение происходит вследствие структурных и функциональных изменений конуса нарастания побега, образующегося в эмбриогенезе зародыша зерновки. Степень развития формирующегося зародыша зерновки в это время зависит от состояния материнского растения, синхронности развития колосков колоса, погодных условий от цветения и до налива зерна. С момента посева и прорастания семян, имеющих, как правило, 3–4 метамера главной почки зародыша, конусом нарастания вычлняются ещё несколько дополнительных метамеров вегетативной зоны побега, а затем метамеров зачаточного колоса [1, 2].

В процессе морфогенеза побега наблюдаются корреляционные взаимосвязи между деятельностью конуса нарастания, инициацией им новых метамеров и генезисом элементов метамеров – листьев, узлов и междоузлий. Кроме этого могут развиваться и другие элементы метамеров – почки и узловые корни. В итоге зрелая анатомо-морфологическая структура побега растения определяется не только последовательностью развития каждого из элементов

в пределах метамера, но и межметамерными физиологическими взаимодействиями на всём протяжении онтогенеза на фоне тех погодных условий, что наблюдаются в этот период [3].

Стебель пшеницы выполняет множество функций (механическую, проводящую, фотосинтетическую и депонирующую), что отражается в особенностях его анатомической организации [4,5]. С момента создания в 1910 г. саратовской селекционной станции было получено несколько десятков сортов яровой мягкой пшеницы, отличающихся по морфологии побега и продуктивности [6]. Их отличает, как правило, высокая устойчивость к засухе, что проявляется, прежде всего, в ростовых функциях органов растений. Представляет интерес выявить имеющиеся тенденции в развитии стебля на примере стародавних и новых сортов саратовской селекции.

Исследования проводились в полевых условиях селекционного севооборота НИИСХ Юго-Востока. Объектами изучения были 33 сорта, полученные в разные годы учёными лаборатории селекции и семеноводства яровой мягкой пшеницы, лаборатории генетики и цитологии НИИСХ Юго-Востока, Краснокутской и Ершовской опытных станций. Для проведения структурного анализа сортов пшеницы брали в конце вегетации по 30 растений из каждой трёх повторностей, которые затем объединяли в группу и методом случайной выборки отбирали из неё 30 растений. Определение абсолютной скорости роста междоузлий стебля проводилось по формуле $C = L_2 - L_1 / t_2 - t_1$, относительной – по формуле $V = \{L_2 - L_1 / L_1(t_2 - t_1)\} \times 100\%$, где L_1 и L_2 – длина междоузлия в моменты времени t_1 и t_2 [7]. Статистическую обработку результатов исследований проводили по Б. А. Доспехову [8] с использованием пакета прикладных программ Microsoft Office Excel 2007.

Наиболее целесообразно, на наш взгляд, определить вначале общие закономерности



роста междоузлий на примере Саратовской 36, как сорта, обладающего стабильным по годам репродукций проявлением таких морфологических признаков, как состояние конуса нарастания и соотношение между длиной листьев главной почки зародышей зерновок. В частности, было показано, что конус нарастания главной почки зародыша к концу эмбриогенеза находится в ранней фазе 4-го пластохрона, а отношение длины первого листа ко второму листу равно 2,4. Учитывая это, общие аспекты роста и развития междоузлий лучше исследовать на примере 5-го метамера, т.к. он отсутствует в зародыше зерновки, образуясь конусом нарастания одним из первых дополнительных вегетативных метамеров уже после посева и прорастания семян. Как было отмечено, формированию междоузлия стебля побега предшествует инициация конусом нарастания примордия листа. С момента инициации

язычка, разделяющего примордий в его основании на 2 части – пластинку и влагалище, отмечается пролиферация и растяжение клеток междоузлия. В разные годы вегетации наблюдается некоторое различие параметров определяемых морфологических структур в момент выявления роста междоузлия. В частности, в благоприятных условиях при длине междоузлия 134 мкм длина пластинки 5-го листа составляла 20200 мкм, влагалища листа – 570 мкм; в неблагоприятных условиях при длине междоузлия 200 мкм длина пластинки достигала 54000 мкм, влагалища – 800 мкм. Явно выраженный рост 5-го междоузлия наблюдался на 25–30-й день вегетации пшеницы, что в значительной мере определялось погодными условиями в годы изучения (рис. 1). По завершении роста пластинки и влагалища 5-го листа рост междоузлия еще продолжается некоторое время.

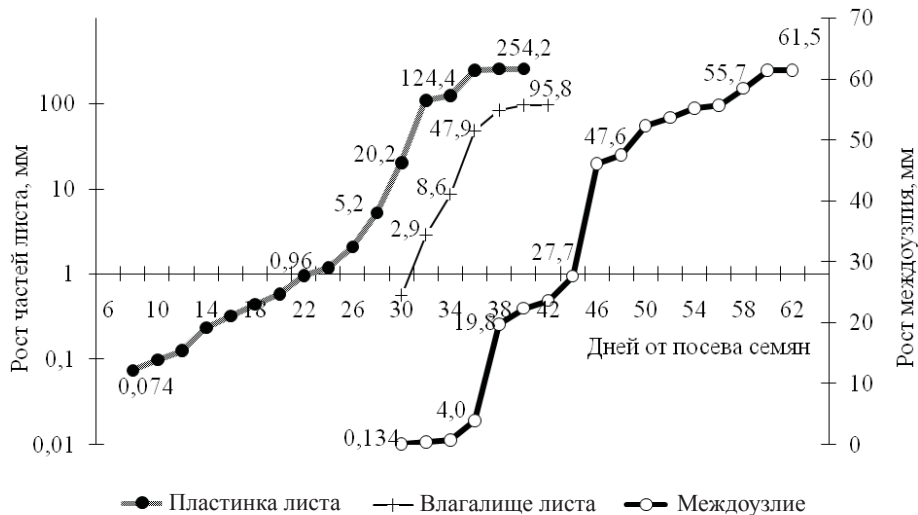


Рис 1. Рост элементов 5-го метамера побега пшеницы Саратовская 36

Средняя продолжительность роста 5-го междоузлия составляет в зависимости от года вегетации растений: 1-й этап (от начала инициации примордия листа до начала формирования лигулы) – от 14 до 22 дней; 2-й этап (от формирования лигулы до завершения роста влагалища) – от 10 до 14 дней; 3-й этап (от окончания роста влагалища до завершения роста междоузлия) – от 14 до 20 дней. Правомочность выделения этих этапов определяется тем фактом, что инициация междоузлия начинается сразу же за инициацией узла [9], который формируется почти одновременно с возникновением и ростом примордия листа.

Рост междоузлия 5-го метамера побега Саратовской 36 в длину соответствует сигмоидной кривой, являющейся примерно одинаковой для

роста всех органов растения и отражающей непрерывный ход роста органа от его начала до прекращения. Для первой фазы роста междоузлия, соответствующей лаг-фазе сигмоидной кривой, характерно постепенное возрастание абсолютной скорости роста. На протяжении этой фазы происходят внутренние изменения, служащие подготовкой к следующей фазе роста – лог-фазе, когда зависимость логарифма скорости роста от времени в оптимальных условиях графически выражается в виде прямой линии. Отражением этих внутренних изменений является локальный максимум относительной скорости роста, отмечаемый в лаг-фазу роста 5-го междоузлия (рис. 2). Второй максимум относительной скорости роста наблюдался в момент достижения



абсолютного максимума абсолютной скорости роста на 38-й день с момента посева. В последующем также отмечено несколько локальных

максимумов относительной скорости роста. Этому предшествовало уменьшение скорости роста 5-го междоузлия (см. рис. 1, 2).



Рис. 2. Рост междоузлия 5-го метамера побега пшеницы Саратовская 36:

По мнению некоторых исследователей [10, 11], абсолютный и локальные максимумы относительной скорости роста отражают качественный путь развития, т.е. процесс дифференциации клеток. По визуальным наблюдениям, это может быть связано, на наш взгляд, с дифференциацией, прежде всего, проводящей системы междоузлия, так как именно в это время закладывается определенное число проводящих пучков, соответствующее их числу в пятом листе метамера побега, а также некоторому их числу из вышележащих, формирующихся метамеров побега [4]. Многовершинный ход кривой относительной скорости роста пластинки и влагалища листа, обнаруженный ранее также у развивающихся листьев льна, дурнишника, люпина [12], возможно, также отражает существующую очередность в дифференциации отдельных типов клеток. Третья фаза роста междоузлия 5-го метамера побега соответствует фазе постепенного снижения скорости роста и затем его прекращения. Установлено, что максимальные значения абсолютной скорости роста структур и элементов 5-го метамера распределяются в следующей очередности – пластинка листа, влагалище листа, междоузлие. Данная тенденция наблюдалась при различных погодных условиях в период вегетации растений.

Рост и развитие каждого из междоузлий стебля пшеницы происходит при разном онтогенетическом состоянии конуса нарастания и других развивающихся частей побега, что может

отражаться в специфике проявления признаков, по которым мы проводим их сравнение – продолжительности и скорости роста. В частности, при анализе продолжительности роста и развития междоузлий стебля побега Саратовской 36 в соответствии с принятым нами поэтапным протеканием данного процесса установлено, что каждому из междоузлий присущи свои особенности. Причем по годам вегетации продолжительность этапов роста и развития каждого из междоузлий может существенно различаться. Метамерные особенности проявлялись в абсолютной и относительной скорости роста междоузлий. Например, в разные годы вегетации максимальные значения абсолютной скорости роста междоузлий у Саратовской 36 составляли: 2-го – 0,05 – 0,128 мм /день; 3-го – 0,2–0,31; 4-го – 1,1–1,9; 5-го – 7,85–9,2; 6-го – 12,0–18,65; 7-го – 16,8–17,5; 8-го – 23,45–57,5 мм/день.

Метамерные особенности роста и развития междоузлий метамеров в конечном итоге отражаются и в их морфологическом выражении по завершении данных процессов. Среди исследуемых 33 сортов яровой мягкой пшеницы наиболее короткими являлись междоузлия, расположенные между 1-м и 2-м, 2-м и 3-м, 3-м и 4-м узлами стебля. Их длина в среднем составляет 1–2 мм для первых двух из них, от 1 до 13 мм – для 3-го междоузлия. В совокупности эти короткие междоузлия и узлы образуют своеобразный узел кушения, где доминирующими процессами



будут инициация и развёртывание боковых побегов в пазухах листьев и гистогенез узловых корней в случае достаточных запасов влаги в почве. Успешности этих процессов способствуют морфологические особенности нижних листьев побега, для которых характерно сравнительно одинаковые значения длины влагалища: 1-го листа – 35–40 мм, 2-го – 40–45, 3-го – 50–55 мм. Для последующих листьев характерно значительное варьирование длины влагалища: 4-го листа – от 70 до 80 мм, 5-го – от 75 до 90, 6-го – от 85 до 110, 7-го – от 120 до 160 мм. Примечательно, что наибольшая длина 3-го междоузлия наблюдалась у стародавних сортов – Полтавки, Лютесценс 62 и Саррубра. Учитывая взаимовлияние элементов в пределах одноименного метамера, этим сортам,

очевидно, свойственна меньшая способность к образованию хорошо развитого бокового побега в пазухе 3-го листа.

Другие расположенные выше междоузлия существенно различаются по длине при общей тенденции их возрастания от нижних к верхним метамерам. В частности, длина междоузлий по завершении их роста и развития составляла в среднем у исследуемых сортов яровой мягкой пшеницы: 4-го – 36 мм, 5-го – 83, 6-го – 144, 7-го – 261, 8-го – 314 мм. Однако для каждого из сортов наблюдались свои особенности по длине междоузлий стебля, при этом размах варьирования по этому признаку развития для каждого из междоузлий составлял: 4-го – 38 мм, 5-го – 35, 6-го – 81, 7-го – 151, 8-го – 191 мм (рис. 3).

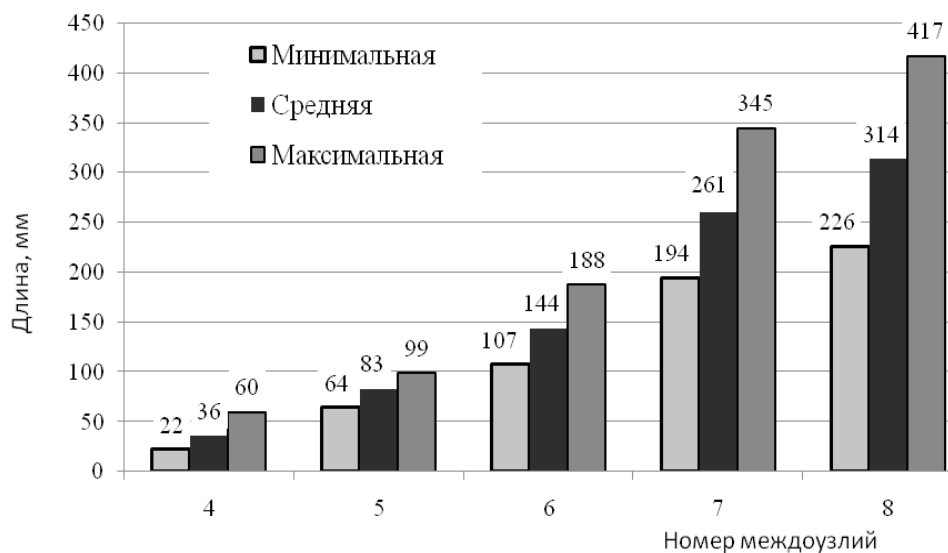


Рис. 3. Длина междоузлий стебля яровой мягкой пшеницы по группе сортов саратовской селекции, мм (2011 г.)

Важным сортоспецифическим признаком, на наш взгляд, является число растений в агропопуляции с 8 междоузлиями стебля (таблица).

Тот факт, что рост междоузлия происходит снизу вверх, от ниже расположенного узла к вышерасположенному узлу [13], говорит о существенной разнице сортов по доле флагового (8-го) листа в общей площади листьев. Среди 33 исследуемых сортов яровой мягкой пшеницы примерно у 1/3 из них отмечено 60% растений и более, имеющих 8-й лист. У таких сортов, как Альбидум 31 и ЮВ-4, число восьмиллистных растений составляло 83 и 87% соответственно.

Принимая во внимание взаимозависимость между морфогенезом листа и междоуз-

лия, следует предположить, что в условиях, ограничивающих рост первого из них, могут наблюдаться морфологические и анатомические различия в междоузлиях одноименных метамеров. В таком случае, по результатам анализа структуры урожая с одновременным определением длины междоузлий, ретроспективно можно оценить развитие листьев, которые, как правило, засыхают к моменту завершения вегетации растений. Однако при этом следует учитывать ещё как минимум три фактора, оказывающих влияние на рост междоузлия: 1) наличие генов короткостебельности; 2) погодные условия; 3) донорно-акцепторные отношения между формирующимся колосом и стеблем.


Морфологическая структура стебля главного побега пшеницы сортов саратовской селекции, 2011 г.

Сорт	Число растений с 8 междоузлиями, %	Длина междоузлий, %				Длина 2 верхних междоузлий, %
		4-го	5-го	6-го	7-го	
Полтавка	0	8	14	29	48	77
Лютесценс 62	0	9	15	28	47	74
Саррубра	53	6	13	21	36	72
Эритроспермум 82/02	37	5	13	22	41	75
Эритроспермум 841	13	5	15	27	48	77
Альбидум 43	33	6	14	25	40	74
Саратовская 29	57	6	12	20	37	72
Саратовская 36	17	6	13	24	47	77
Саратовская 42	53	6	11	21	37	74
Саратовская 52	17	7	16	26	42	73
Саратовская 55	60	4	11	19	38	74
Саратовская 56	43	5	12	22	40	75
Саратовская 58	37	5	13	21	43	76
Саратовская 60	40	5	13	22	43	75
Саратовская 62	13	6	14	24	49	77
Саратовская 64	37	5	14	23	40	74
Саратовская 66	37	6	13	21	42	75
Саратовская 68	50	4	11	19	39	77
Саратовская 70	53	5	11	21	38	74
Саратовская 71	63	5	11	20	34	72
Саратовская 72	50	5	12	22	37	73
Саратовская 73	53	5	11	20	39	75
Саратовская 74	73	5	11	19	31	72
Альбидум 28	73	5	10	17	32	73
Альбидум 29	67	4	12	21	35	73
Альбидум 31	83	4	10	16	29	73
Альбидум 32	33	5	13	24	42	76
Добрыня	57	6	13	19	34	71
Фаворит	70	5	10	19	29	74
ЮВ-2	60	5	12	21	37	72
ЮВ-4	87	3	10	16	30	73
Прохоровка	70	5	11	20	34	71
Ершовская 32	47	4	13	22	39	75

Как показали исследования, несмотря на значительные различия сортов по абсолютной длине 4-го и последующих междоузлий (см. рис. 3), их доля от длины стебля варьирует меньше. В частности, размах варьирования по относительной длине междоузлий (в % от

абсолютной длины стебля) составлял: 4-го – 6, 5-го – 6, 6-го – 13, 7-го – 20. Относительная длина 2 верхних междоузлий составляла среди исследуемых сортов от 71 (Прохоровка, Добрыня) до 77 (Полтавка, Эритроспермум 841, Саратовская 36, Саратовская 62, Саратов-



ская 68) %, тогда как абсолютная длина варьировала от 365 (Саратовская 52) до 569 (Саратовская 36) мм (см. таблицу).

Список литературы

1. Морозова З. А. Основные закономерности морфогенеза пшеницы и их значение для селекции. М.: МГУ, 1986. 164 с.
2. Степанов С. А., Танайлова Е. А., Горюнов А. А. Развитие листьев зародыша зерновок яровой пшеницы // Вестн. СГАУ. 2008. № 8. С.29–32.
3. Степанов С. А., Коробко В. В., Даишоян Ю. В. Трансформация межметамерных отношений в онтогенезе побега пшеницы // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2005. Т. 5, вып. 2. С. 33–36.
4. Patrick J. W. Vascular system of the stem of the wheat plant. 2. Development // Austral. J. Bot. 1972. Vol. 20, № 1. P. 65–78.
5. Евдокимова О. А., Кумаков В. А. Сортовые особенности накопления и распределения сухого вещества в растениях яровой мягкой пшеницы // Сельскохозяйственная биология. 2002. № 5. С. 32–42.
6. Кумаков В. А. Физиологическое обоснование моделей сортов пшеницы. М.: Агропромиздат, 1985. 270 с.
7. Williams R. F. The shoot apex and leaf growth: a study in quantitative biology. L., ; N.Y.: Camb. Univ. Press., 1975. 256 p.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 352 с.
9. Kaufman P. B. Development of the shoot of *Oryza sativa* L. 2. Leaf histogenesis // Phytomorphology. 1959. Vol. 9. P. 277–286.
10. Светлов П. Г. Физиология (механика) развития. Л.: Наука, 1978. Т. 1. 254 с.
11. Батыгин Н. Ф. Онтогенез высших растений. М.: Агропромиздат, 1986. 100 с.
12. Ковалев А. Г., Обручева Н. В. Клеточный анализ S-кривой роста корня. Особенности деления и растяжения клеток в корнях конского каштана // Онтогенез. 1977. Т. 8, № 4. С. 397–404.
13. Ордина Н. А. О методике изучения меристематической деятельности // Доклады АН СССР. 1952. Т. 84, № 4. С. 825–828.

УДК 58.02+582.67

ИЗМЕНЧИВОСТЬ НЕКОТОРЫХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОСТРЕЛА РАСКРЫТОГО И ПРОСТРЕЛА ЛУГОВОГО

О. В. Косюкова¹, Н. А. Петрова², М. В. Степанов¹

¹Саратовский государственный университет

²Учебно-научный центр «Ботанический сад»

Саратовского государственного университета

E-mail: Nasch-1@yandex.ru

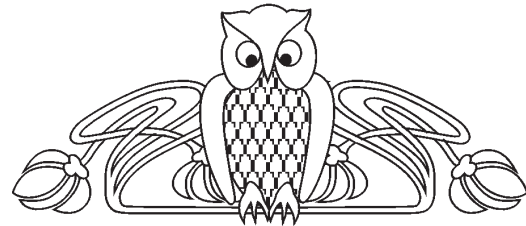
Показан высокий уровень изменчивости таких признаков, как число генеративных побегов и число листьев в розетке прострелов лугового и раскрытого на территории Саратовской области в естественных условиях и в коллекции УНЦ «Ботанический сад» Саратовского государственного университета. Более постоянными являются параметры цветка. Наибольшие показатели отмечены у культивируемых растений. Особи исследуемых растений лучше развиваются на каменистых бескарбонатных почвах по сравнению с песчаными.

Ключевые слова: прострел раскрытый, прострел луговой, морфологические параметры, изменчивость.

Variability of Some Morphological Parameters of Plants in Populations of *Pulsatilla Patens* and *Pulsatilla Pratensis*

O. V. Kosjukova, N. A. Petrova, M. V. Stepanov

High level of variability of characteristics such as the number of generative shoots and the number of leaves in rosette *Pulsatilla*



pratensis and *Pulsatilla patens* in the Saratov region in vivo and in the collection of the «Botanical Garden» of Saratov State University shown. Flower characteristics are more permanent. Highest rates were observed for cultivated plants. Plants develop better stony non carbonate soils compared with sandy.

Key words: *Pulsatilla patens*, *Pulsatilla pratensis*, morphological parameters, variability.

В Саратовской области обитают два вида прострелов – раскрытый (*Pulsatilla patens* (L.) Mill) и луговой (*P. pratensis* (L.)). Оба они обыкновенны в Правобережье области, в Левобережье встречаются изредка. Также в области встречается стерильный гибрид – прострел Юзепчука (*P. juzepeczukii* Tzvel) [1]. Оба вида занесены в Красную книгу Саратовской области и имеют статус 2 (V) – уязвимый вид [2]. Кроме



того, *P. pratensis* (L.) Mill занесен в Красную книгу Российской Федерации и имеет статус 3б – редкий вид [3]. Сокращение численности этих видов в Саратовской области связано по-видимому с трансформацией соответствующих местообитаний и неконтролируемым сбором населением.

Pulsatilla patens (L.) Mill – вертикальнокорневищный вегетативно неподвижный травянистый многолетник высотой 7–45 см. Корневище мощное, вертикальное, темно-коричневое, многоглавое. Все растение опушенное. Прикорневые листья длинночерешковые, появляются после цветения, округло-сердцевидные, триждырассеченные. Цветоносы прямые, цветки крупные, поникающие, позднее прямостоячие. Околоцветник простой, из шести сине-фиолетовых листочков. Плод – многоорешек. Цветет в апреле – мае, повторно – в конце сентября – октябре. Обитает в степях, светлых лесах, на опушках. Ареал – европейская часть России (кроме юга Нижнего Поволжья), Западная Сибирь, Украина (кроме Крыма), Средняя Европа и Скандинавия [4]. Прострел раскрытый является ксеромезофитом и олиготрофом [5].

Pulsatilla pratensis (L.) Mill – вертикальнокорневищный вегетативно неподвижный травянистый многолетник высотой 7–45 см. Прикорневые листья черешковые, опушенные, широкояйцевидные, перисторассеченные, появляются одновременно с цветками или после цветения. Цветки бледно-лиловые, реже красноватые, околоцветник простой, колокольчатый, из шести листочков. Плод – многоорешек. Цветет в апреле – июне, изредка вторично – осенью. Растение сильно ядовитое. Обитает на степных склонах, по лесным опушкам, часто на песках [4]. Ареал – европейская часть России, Украина, Молдавия, Прибалтика, восток Атлантической и Средней Европы, юг Скандинавии [1, 4].

Оба вида являются весьма декоративными. В коллекции УНЦ «Ботанический сад» Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского (далее – Ботанический сад) растения этих видов успешно выращиваются и проходят полный цикл развития, давая жизнеспособные семена [6].

Целью данного исследования было изучение изменчивости морфологических параметров особей *Pulsatilla patens* (L.) Mill и *P. pratensis* (L.) Mill в Правобережье Саратовской области в их естественных местообитаниях и в условиях культуры.

Материалы и методы

Исследования проводились в Татищевском и Красноармейском районах Саратовской области, в окр. г. Саратова – лесопарке «Кумысная поляна» (далее – Кумысная поляна) и на коллекционном участке Ботанического сада в полевой сезон 2013 г. Всего исследовано пять природных популяций. На коллекционном участке Ботанического сада изученные образцы прострела раскрытого выращиваются с 1967 г., лугового – с 2010 г.

Для оценки изменчивости морфологических параметров случайным образом выбирали 30 особей генеративного возрастного состояния. За особь у прострелов принимали растения семенного происхождения – раметы [7, 8]. В связи с охранным статусом видов все измерения проводили на месте, исключая повреждение и уничтожение растений. Измерения проводили в период массового цветения растений. У исследованных особей измеряли следующие параметры: высоту растения, число генеративных побегов, длину цветоножки, длину побега, высоту цветка, диаметр цветка, длину лепестка, ширину лепестка, число листьев, длину листа, ширину листа. Для оценки состояния растений весь диапазон каждого признака организма разбивался на пять классов с одинаковым объемом в линейной шкале. Затем каждому классу присваивался балл. Наименьший балл соответствовал худшему состоянию организма [8]. Перевод значений признаков в шкалу баллов проведен по методике Г. Н. Зайцева [9].

Статистическую обработку результатов измерения проводили с использованием программы Statistica 6.0. Для каждого параметра определяли среднее арифметическое (\bar{x}), ошибку среднего арифметического ($S_{\bar{x}}$), среднее квадратическое отклонение (δ), лимиты (максимум и минимум), коэффициент вариации (V , %) [10]. Результаты достоверны с вероятностью 95%.

При описании почв учитывались региональные особенности Саратовской области [11].

Результаты и их обсуждение

Характеристика естественных местообитаний прострелов приведена в табл. 1.

Развитие особей растений во многом определяется особенностями эколого-ценотической обстановки [9]. Результаты измерения морфологических параметров прострела раскрытого представлены в табл. 2.



Таблица 1

Характеристика естественных местообитаний прострелов

Местонахождение	Название ассоциации	Общее проективное покрытие, %	Почва	Положение в рельефе	Угол склона, градус
Прострел раскрытый					
Кумысная поляна	Полынно-злаковая	50–70	Каменистая бескарбонатная	Северо-западный склон	25
Окр. с. Новоскатовки Татищевского р-на	Разнотравно-злаковая	80	Песчаная	Западный склон	5
Прострел луговой					
Кумысная поляна	Полынно-злаковая	50	Каменистая бескарбонатная	Плакор	0
Окр. с. Новоскатовки Татищевского р-на	Разнотравная	20	Песчаная	Западный склон	2–5
Окр. с. Садового Красноармейского р-на	Злаково-простреловая	20	Песчаная	Юго-западный склон	45

Таблица 2

Морфологические параметры прострела раскрытого

Морфологический параметр	Местонахождение		
	Ботанический сад	Кумысная поляна	Татищевский р-н
Высота растения, см	$\frac{30,45 \pm 1,04}{14,1-40,5}$	$\frac{27,3 \pm 0,76}{29-40}$	$\frac{16,52 \pm 0,67}{4,5-23}$
Число генеративных побегов, шт	$\frac{13,24 \pm 2,01}{2-56}$	$\frac{8,73 \pm 0,79}{1-21}$	$\frac{4,05 \pm 0,65}{1-21}$
Длина цветоножки, см	$\frac{10,01 \pm 0,31}{2,1-10,5}$	$\frac{9,05 \pm 0,44}{2,2-13,1}$	$\frac{4,64 \pm 0,21}{2-8,4}$
Длина побега, см	$\frac{18,10 \pm 0,66}{11,6-25,2}$	$\frac{15,28 \pm 0,48}{9,4-21,4}$	$\frac{9,33 \pm 0,41}{3,4-16}$
Высота цветка, см	$\frac{3,57 \pm 0,05}{3,1-4,3}$	$\frac{3,04 \pm 0,12}{2,9-5,1}$	$\frac{3,35 \pm 0,12}{2-5,2}$
Диаметр цветка, см	$\frac{3,38 \pm 0,12}{1,9-5}$	$\frac{3,17 \pm 0,05}{2,5-3,8}$	$\frac{3,74 \pm 0,06}{3,2-5,5}$
Длина лепестка, см	$\frac{4,21 \pm 0,06}{3,3-5,1}$	$\frac{4,15 \pm 0,13}{3,4-5,5}$	$\frac{3,92 \pm 0,13}{1,6-5,9}$
Ширина лепестка, см	$\frac{1,92 \pm 0,03}{1,5-2,3}$	$\frac{1,82 \pm 0,03}{1,4-2,2}$	$\frac{1,50 \pm 0,02}{1,2-1,7}$
Число листьев в розетке, шт.	$\frac{71,0 \pm 0,12}{16-192}$	$\frac{48,83 \pm 0,05}{11-99}$	$\frac{47,07 \pm 0,14}{9-130}$
Длина листа, см	$\frac{27,75 \pm 0,82}{15,5-34,2}$	$\frac{23,68 \pm 0,91}{11,3-33,5}$	$\frac{21,36 \pm 0,65}{13,0-28,0}$
Ширина листа, см	$\frac{13,08 \pm 0,38}{8,5-16,9}$	$\frac{10,82 \pm 0,45}{4,5-16,5}$	$\frac{8,82 \pm 0,23}{5,5-12,0}$

Примечание. Здесь и далее в таблицах в числителе – средние значения и ошибка среднего арифметического, в знаменателе – лимиты (максимум и минимум).

Среднее значение высоты растений было наибольшим у особей, выращенных в Ботаническом саду. Почти в два раза ниже этот показатель у растений, произрастающих на песчаных

почвах из Татищевского района. Промежуточное положение занимают особи, изученные на каменистых бескарбонатных почвах Кумысной поляны. Средние значения длины и ширины



листа наибольшие у особей из Ботанического сада, наименьшие – у растений из Татищевского района. Число генеративных побегов у растений из Ботанического сада более чем в три раза превышает данный параметр у растений из Татищевского района, прострел раскрытый из Кумысной поляны по количеству генеративных побегов занимает промежуточное положение. Длина цветоножки и длина побега наибольшие также в Ботаническом саду, наименьшие – в Татищевском районе. В исследованных популяциях различие средних значений таких парамет-

ров, как высота цветка, диаметр цветка, длина и ширина лепестка несущественно.

На внутривидовом уровне наиболее сильно варьируют такие признаки, как количество генеративных побегов (V от 56 до 99%), количество листьев в розетке (V от 49 до 72%). Наименьшая вариабельность характерна для таких параметров, как длина лепестка (V от 10 до 20%), ширина лепестка (V от 11 до 12%).

Аналогичная изменчивость морфологических параметров наблюдается у прострела лугового (табл. 3).

Таблица 3

Морфологические параметры прострела лугового

Морфологический параметр	Местонахождение			
	Ботанический сад	Кумысная поляна	Татищевский р-н	Красноармейский р-н
Высота растения, см	$31,24 \pm 0,72$ 20,1–36,5	$26,43 \pm 0,54$ 21,3–31,6	$10,85 \pm 0,63$ 9–15	$17,35 \pm 0,86$ 8–24
Число генеративных побегов, шт.	$31,03 \pm 2,93$ 2–81	$8,73 \pm 0,99$ 2–27	$4,05 \pm 0,65$ 1–11	$2,70 \pm 0,33$ 1–6
Длина цветоножки, см	$5,11 \pm 0,43$ 1,5–13,9	$6,60 \pm 0,39$ 3,9–13,4	$4,64 \pm 0,21$ 2,0–4,2	$6,77 \pm 0,91$ 0,7–14,0
Длина побега, см	$15,76 \pm 0,35$ 10,1–19,2	$12,77 \pm 0,48$ 9,2–17,2	$9,33 \pm 0,41$ 3,0–11,0	$10,49 \pm 0,56$ 4,5–15,5
Высота цветка, см	$3,17 \pm 0,05$ 2,2–3,5	$3,16 \pm 0,04$ 2,8–3,6	$3,35 \pm 0,12$ 2,0–3,4	$2,50 \pm 0,61$ 1,8–3,0
Диаметр цветка, см	$3,81 \pm 0,06$ 2,9–4,2	$3,82 \pm 0,07$ 2,5–4,5	$3,74 \pm 0,06$ 3,1–4,2	$3,17 \pm 0,09$ 2,5–4,0
Длина лепестка, см	$3,49 \pm 0,03$ 3,1–3,9	$3,48 \pm 0,03$ 3,1–3,9	$3,92 \pm 0,13$ 2,6–4,5	$2,8 \pm 0,06$ 2,1–3,0
Ширина лепестка, см	$1,66 \pm 0,03$ 1,3–2,0	$1,68 \pm 0,03$ 1,3–2,1	$1,50 \pm 0,02$ 0,7–1,9	$1,27 \pm 0,04$ 1,0–1,6
Число листьев в розетке, шт.	$88,75 \pm 0,16$ 19–158	$18,24 \pm 0,89$ 3–62	$16,54 \pm 1,99$ 3–53	$6,45 \pm 0,65$ 2–15
Длина листа, см	$31,87 \pm 0,52$ 19,2–35,6	$26,57 \pm 0,86$ 14,2–34,5	$26,05 \pm 0,94$ 13,0–37,0	$8,38 \pm 0,56$ 5,0–14,0
Ширина листа, см	$15,11 \pm 0,41$ 9,0–18,0	$12,03 \pm 0,03$ 7,0–15,8	$11,17 \pm 0,34$ 6,0–14,5	$4,71 \pm 0,22$ 3,5–6,0

Среднее значение высоты растений, выращенных в культуре, в два – три раза выше растений из естественных местообитаний. Количество генеративных побегов и количество листьев в розетке наибольшее в Ботаническом саду, а наименьшее у растений из Красноармейского района. Средние значения таких морфологических параметров, как длина цветоножки, высота цветка, диаметр цветка, длина и ширина лепестка, во всех исследованных популяциях отличаются незначительно. Длина побега наибольшая в Ботаническом саду, наименьшая – в

Татищевском районе. Наибольшими показателями длины и ширины листа обладают растения из Ботанического сада, средние значения – у растений Кумысной поляны и Татищевского района, наименьшими – из Красноармейского района.

Очень высокий уровень изменчивости на внутривидовом уровне наблюдается у таких признаков, как количество генеративных побегов (V от 55 до 99%), количество листьев в розетке (V от 40 до 74%). Наиболее постоянными являются размеры цветка: высота



(V от 8 до 23 %), диаметр (V от 11 до 14%), длина лепестка (V от 6 до 21%) и ширина лепестка (V от 11 до 14%).

Для наглядного отображения степени развития морфологических параметров использовали лепестковые диаграммы (рис. 1, 2).

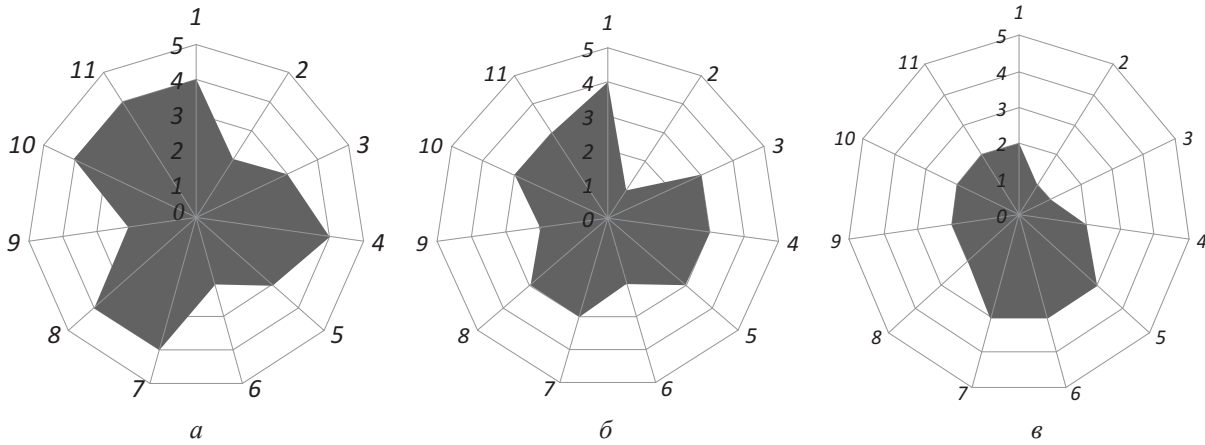


Рис. 1. Морфологические параметры проростка раскрытого (в баллах): *а* – Ботанический сад, *б* – Кумысная поляна, *в* – Татищевский р-н. Признаки: 1 – высота растения; 2 – число генеративных побегов; 3 – длина цветоножки; 4 – длина побега; 5 – высота цветка; 6 – диаметр цветка; 7 – длина лепестка; 8 – ширина лепестка; 9 – число листьев; 10 – длина листа; 11 – ширина листа

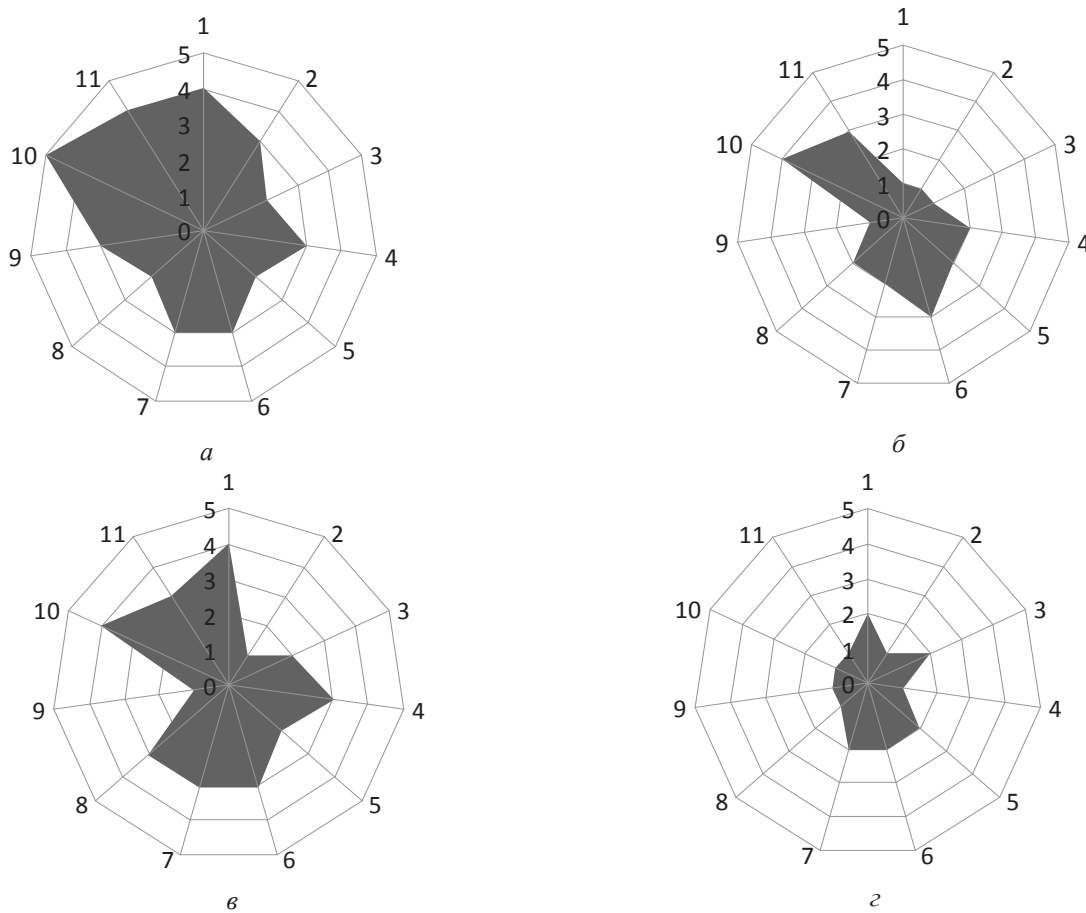


Рис. 2. Морфологические параметры проростка лугового (в баллах): *а* – Ботанический сад, *б* – Кумысная поляна, *в* – Татищевский р-н, *г* – Красноармейский р-н. Признаки: 1 – высота растения; 2 – число генеративных побегов; 3 – длина цветоножки; 4 – длина побега; 5 – высота цветка; 6 – диаметр цветка; 7 – длина лепестка; 8 – ширина лепестка; 9 – число листьев; 10 – длина листа; 11 – ширина листа



Наилучшее развитие особей прострела раскрытого по большинству параметров отмечено в Ботаническом саду. Минимальные значения признаков характерны для особей из Татищевского района, которые развивались в сообществе с наибольшим общим проективным покрытием (80%) на бедных песчаных почвах. Особи из Кумысной поляны крупнее, чем из Татищевского района. Они обитают на каменистых бескарбонатных почвах в сообществе с общим проективным покрытием 50–70%.

Наилучшее развитие особей прострела лугового также отмечено в Ботаническом саду. Минимальное значение признаков характерно для особей из Красноармейского района, которые развивались на крутых песчаных склонах в сообществах с низким общим проективным покрытием (20%).

Условия местообитаний существенно влияют на морфологические параметры особей прострелов раскрытого и лугового. По всем параметрам растения прострелов крупнее в условиях культуры, далее следуют особи из Кумысной поляны. Растения из Татищевского и Красноармейского районов являются более угнетенными. Оба вида лучше развиваются на каменистых бескарбонатных почвах, чем на песчаных. В сообществах с высоким общим проективным покрытием развиваются более угнетенные растения прострела раскрытого, чем с низким.

Заключение

Таким образом, высокий уровень изменчивости морфологических параметров прострелов наблюдается у таких признаков, как число генеративных побегов и число листьев в розетке. Наиболее постоянными являются размеры цветка (высота, диаметр, длина и ширина лепестка). У обоих видов наибольшими показателями по всем параметрам обладают растения, выращенные в культуре. У прострела лугового наименьшими значениями по всем признакам обладают особи из Красноармейского района, у прострела раскрытого – из Татищевского района. Вероятно, отличия в морфологических параметрах связаны с различными условиями местообитания (общего проективного покрытия

растительного сообщества, свойств почвы, экспозиции склона).

Благодарности

Выражаем благодарность ведущему биологу отдела биологии и экологии растений УНЦ «Ботанический сад» СГУ имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук Ирине Васильевне Шиловой за неоценимую помощь в проведении работ.

Список литературы

1. Флора Восточной Европы / под ред. Н. Н. Цвелева. СПб. : Мир и семья, 2001. Т. 10. 670 с.
2. Буланый Ю. И. Прострел луговой – *Pulsatilla pratensis* (L.) Mill. Прострел раскрытый – *Pulsatilla patens* (L.) Mill. // Красная книга Саратовской области : Грибы. Лишайники. Растения. Животные / Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратов. обл. Саратов : Изд-во Торг.-пром. палаты Саратов. обл., 2006. С. 129–131.
3. Гельтман Д. В. Прострел луговой – *Pulsatilla pratensis* (L.) Mill. s. 1. // Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М. : Товарищество науч. изданий КМК, 2008. С. 483–484.
4. Юзепчук С. В. Род 528. Прострел – *Pulsatilla* Adans. // Флора СССР. Т. 7. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1937. С. 285–307.
5. Растения природной флоры в коллекциях Ботанического сада СГУ. Саратов : Науч. книга, 2002. 47 с.
6. Матвеев Н. М. Биоэкологический анализ флоры и растительности (на примере лесостепной и степной зоны) : учеб. пособие. Самара : Самар. ун-т, 2006. 311 с.
7. Смирнова О. В., Заугольнова Л. Б., Ермакова И. М. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура). М. : Наука, 1976. 217 с.
8. Рокицкий П. Ф. Биологическая статистика. Изд. 3-е, испр. Минск : Высш. шк., 1973. 320 с.
9. Заугольнова Л. Б., Денисова Л. В., Никитина С. В. Подходы к оценке состояния ценопопуляций растений // Бюл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. биол. 1993. Т. 98, вып. 5. С. 100–108.
10. Зайцев Г. Н. Оптимум и норма в интродукции растений. М. : Наука, 1983. 216 с.
11. Болдырев В. А., Пискунов В. В. Полевые исследования морфологических признаков почв : учеб. пособие для студ. биол. и геогр. фак. и слушателей ИДПО. 2-е изд., перераб. и доп. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2006. 60 с.



УДК 581.9

МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ КРАСНОЙ КНИГИ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ: СЕМЕЙСТВО ЗОНТИЧНЫЕ (APIACEAE) (на основании фондов Гербария СГУ (SARAT, SARP))



Е. А. Архипова¹, В. А. Болдырев¹, Ю. В. Волков¹,
А. А. Милкин¹, Т. А. Остроумова²

¹Саратовский государственный университет

E-mail: arhipovaeva@mail.ru

E-mail: VolkovUV@info.sgu.ru

²Ботанический сад Московского государственного университета

E-mail: ostro_t_a@mail.ru

В статье приводятся результаты инвентаризации гербарных сборов видов семейства Apiaceae, занесенных в Красную книгу Саратовской области (2006), хранящихся в Гербарии СГУ (SARAT, SARP), подготовлена база данных мест нахождения указанных видов.

Ключевые слова: Красная книга, Apiaceae, Гербарий СГУ (SARAT, SARP).

**Materials for Red Book of Saratov Region:
Apiaceae (Based Funds Herbarium SSU (SARAT, SARP))**

**E. A. Arkhipova, V. A. Boldyrev, Yu. V. Volkov,
A. A. Milkin, T. A. Ostroumova**

The article presents the results of the inventory of herbarium collections of species of Apiaceae, listed in the Red Book of the Saratov region (2006), stored in the Herbarium of SSU, a database of locations of these species.

Key words: Red Book, Apiaceae, Herbarium of Saratov State University (SARAT, SARP).

Анализ гербарных коллекций важен для решения вопроса о правомерности включения вида в Красную книгу области. Сведения, заключенные в гербарных листах, позволяют выяснить степень достоверности мест нахождения того или иного вида на какой-либо территории и время сбора.

В результате инвентаризации фондов Гербария СГУ (SARAT, SARP) проанализированы сборы видов семейства Apiaceae, занесенные в Красную книгу Саратовской области (2006) [1]. Все гербарные листы были переопределены, данные этикеток занесены в электронную базу Гербария СГУ. Поскольку названия и границы регионов, представленных в гербарных этикетках, неоднократно изменялись, авторы, сохраняя названия населенных пунктов, упоминаемые в этикетках, выяснили, на территории какого административного района этот пункт находится в настоящее время. С помощью ГИС-технологий создана база пространственных данных, содержащая имеющиеся сведения о находках указанных выше видов, а также информацию, характеризующую природно-техногенную обстановку. Это позволяет в отсутствие четкой географической привязки локализовать возможное местонахождение видов.

На рисунке представлены точки нахождения видов семейства Apiaceae, разделенные по дате на собиравшиеся до 1963 г. и позднее (в течение последних 50 лет). Цифрами на рисунке отмечены виды семейства Apiaceae (таблица).

**Перечень этикеток сборов видов семейства Apiaceae,
занесенных в Красную книгу Саратовской области (2006) (по материалам Гербария SARAT, SARP)**

Номер на карте	Название вида	Административный район	Место сбора	Дата сбора	Автор сбора и автор определения гербарного листа
1	2	3	4	5	6
1	<i>Angelica archangelica</i> L.	Аткарский	с. Языковка	17.07.1968	–
		Ртищевский	окр. с. Макарово, бл. р. Хопра	07.1920	Legit Монакова П., Determ Остроумова Т.
		Ртищевский	окр. с. Макарово	1921	Legit Монакова, Determ Остроумова Т.
		Турковский	Пойма	1971	Маевский



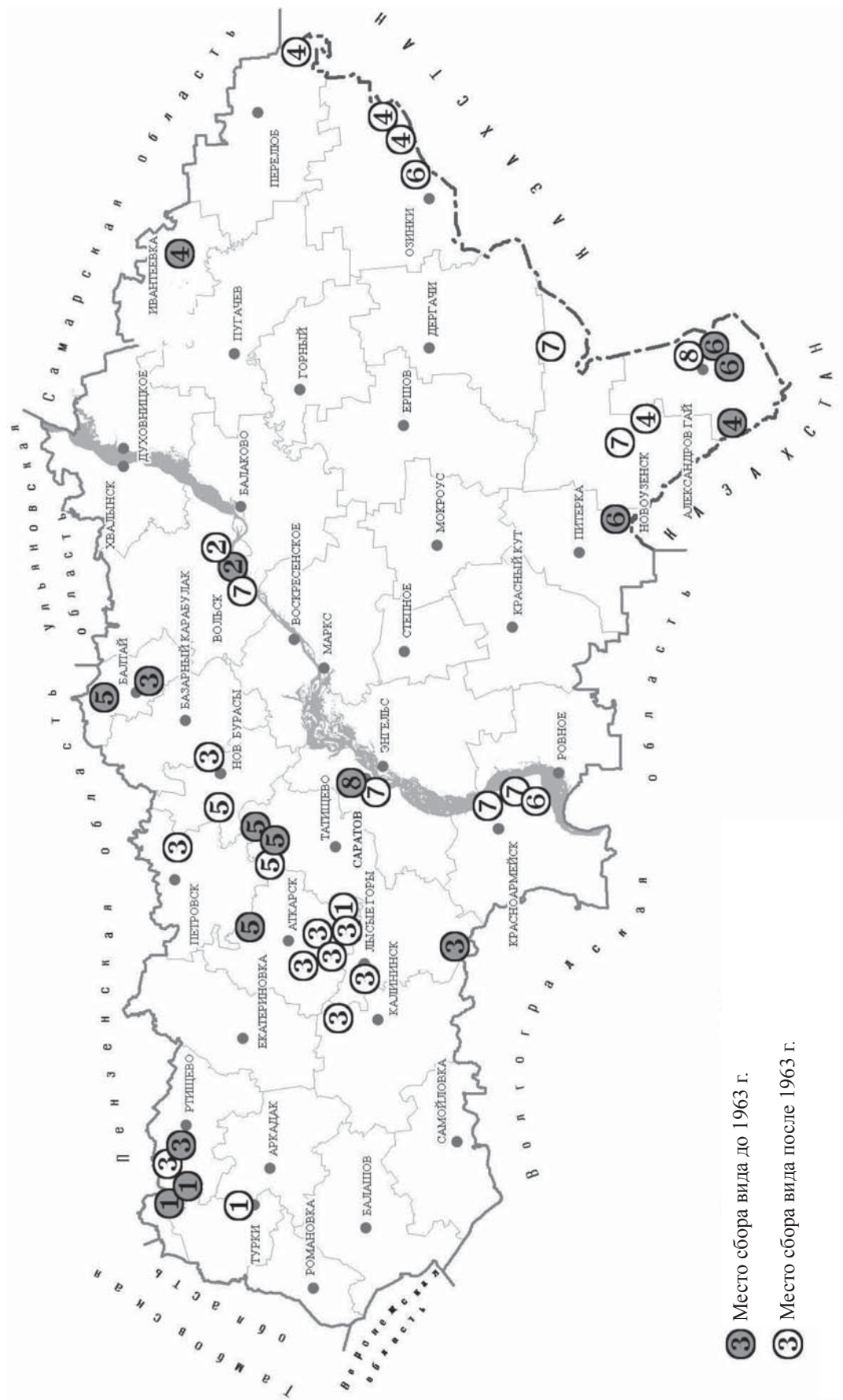
Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6
2	<i>Bupleurum longifolium</i> L. subsp. <i>aureum</i> (Fisch. ex Hoffm.) Soó	Вольский	Меловые обнажения по р. Верх. Мальковке	11.07.1926	Legit Чернов, Determ Остроумова Т.
		Вольский	Вольск, меловые обнажения близ города	10.08.1969	Legit Маевский В. В.
3	<i>Cicuta virosa</i> L.	Аткарский	с/х Нестеровский, берег старицы реки Медведицы	15.06.1972	Протоклитова Т., Черепанова
		Аткарский	окр. с. Нестеровки, побережье озера в центральной части поймы р. Медведицы	22.06.1975	Жидяева М. В., Черепанова Л. А.
		Аткарский	окр. с. Щербиное, заболоченная пойма р. Медведица	24.06.1977	Жидяева М. В., Соколова С. Б.
		Аткарский	с. Ст. Лопуховка, берег реки	20.06.1981	Протоклитова Т.
		Балтайский	Царевщина, ольшаник	27.07.1939	Чигуряева А. А.
		Калининский	с. Анастасьино, заболоченный осинник	15.06.1990	Буланый Ю.
		Лысогорский	с. Нежежино, близ р. Медведица, Гнилое озеро, берег	21.07.1927	–
		Лысогорский	с. Лысье Горы, травянистые заросли по правому берегу р. Медведицы	21.07.1992	Legit Купагадзе Г., Determ Фатин С.
		Новобураский	с. Ивановка	10.07.1970	Маевский
		Петровский	с. Синенькие, заболоченные ивняки в пойме р. Медведицы	29.06.1994	Еленевский А. Г., Решетникова Т. Б., Мичурин В. Г.
		Ртищевский	Старица Хопра	08.1925	Монакова
Ртищевский	Макарьевский заказник, лесное озеро	15.06.1991	Legit Буланый Ю., Еленевский А. Г.		
4	<i>Eriosynaphe longifolia</i> (Fisch. ex Spreng.) DC.?	Ивантеевский	з/с «Тракторист», массив 4 между разветвлениями дола Дубовенького	16.06.1930	Legit Ефимова
		Алгайский	с. Варфоломеевка, понижение – лощина за плантациями	24.05.1956	Legit Бирюкова
	<i>Eriosynaphe longifolia</i> (Fisch. ex Spreng.) DC.	Озинский	Граница с Западным Казахстаном, меловые склоны	30.06.2004	Радыгина В. И., Буланый Ю.
		Озинский	Граница с Казахстаном степь на мелах	30.06.2004	Радыгина В. И., Буланый Ю.
		Новоузенский	Совхоз «Искра» в окр. г. Новоузенска	07.1965	Legit Чигуряева А., Determ Остроумова Т. А.
		Перелюбский	с. Тараховка, разнотравно-злаковая степь	21.6.2006	Буланый Ю., Еленевский А., Самолов В.



Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6
5	<i>Laserpitium prutenicum</i> L.	Аткарский	д. Палатовка	26.07.1920	Determ Остроумова Т. А.
		Аткарский	с. Песчанка	24.09.1974	Determ Маевский В. В.
		Балгайский	«Малиново», 3 км вост. с. Б. Озерки, в дубовом лесу, почва песчаная	26.07.1946	Legit Тарасов А., Determ Фурсаев А.
		Новобураский	с. Лох, лесная тропа в дубово-березово-кленовом лесу	25.07.1990	Legit Буланый Ю. И., Determ Еленевский А. Г.
		Татищевский	к югу от с. Ягодная Поляна у начала оврага	15.08.1948	–
		Татищевский	с. Ягодная Поляна, северный лесной массив, лесная поляна, 8 кв.	22.07.1949	–
6	<i>Palimbia salsa</i> (L. fil.) Bess.	Алгайский	казен. оброчн. ст. № 939, залежь, окр. Утино лимана	16.06.1917	Legit Львов, Бойтман, Гузеев, Determ Архипова Е. А.
		Алгайский	Утиный лиман, оброчн. ст. 939, в лимане	16.06.1917	Legit Львов, Гузеев, Бойтман, Determ Архипова Е. А.
		Красноармейский	с. Золотое полынная степь севернее залива (глинистая почва) с Allium + Atraphaxis	08.07.1990	Legit Решетникова Т. Б.
		Озинский	р.п. Озинки, степной склон	30.06.2004	Родионова Ю Буланый Ю.
		Питерский	Малоузенск, небольшое понижение, примык. к бахче, магистраль П, профиль 36/м, между п.п. 36/м и 1/36 по правую сторону профиля, если идти от магистрали к сырту, на св.ка почвах вместе с <i>Art. maritima</i> , <i>Artem. austr.</i> , <i>Dianthus</i>	23.09.1924	Legit Булычева
7	<i>Prangos odontalgica</i> (Pall.) Herrnst. & Heyn		Саратов, Лысая гора	13.05.1964	Маевский В. В.
		Вольский	ст. Привольская, территория воинской части при выезде из города, степной участок	07.1967	Маевский В. В.
		Красноармейский	берег Волги напротив г. Красноармейск, степной склон	1980	Березуцкий М. А.
		Красноармейский	Красноармейск, склоны гор у Волги	21.07.1970	Determ Маевский В. В.
		Новоузенский	Новоузенск, степь	–	Legit Чигуряева А. А.
		Новоузенский	к востоку от с. Песчаный Мар, возвышенность, меловой мар	1964	Legit Шостаков М. А., Determ Тарасов А. О.
8	<i>Trinia kitaibelii</i> Bieb.?		Саратов, 9-я Дачная остановка	08.06.1936	Legit Семеновы В. и Л., Determ Маевский В. В.
		Алгайский	к востоку от Ал. Гая в 8 км, на глинистом склоне	22.05.1988	Determ Остроумова Т.



Места сбора исследованных видов Ariasae в Саратовской области (по материалам Гербария SARAT, SARP)



В Гербарии СГУ имеются сборы (43 листа) восьми из девяти видов семейства *Araceae*, занесенных в Красную книгу Саратовской области (2006). Наличие *Trinia ucrainica* Schischk. на территории области нуждается в проверке, так как определить ее точно, по имеющимся листам, невозможно. Остальные семь видов подтверждены сборами последних 50 лет. Поскольку *Eriosynaphe longifolia* (Fisch. ex Spreng.) DC. занесен в Красную книгу Российской Федерации (2008) [2], то рекомендуем исследователям включить в свой план выяснение наличия этого вида на территории Ивантеевского и Алгайского районов Саратовской области, сборы из которых точно определить не представляется возможным. Выводы о правомерности включения остальных видов в новое издание Красной книги Саратовской

области требуют подтверждения результатами экспедиционных исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 2014/203 (код проекта 1287).

Список литературы

1. Красная книга Саратовской области : Грибы. Лишайники. Растения. Животные / Комитет охраны окружающей среды и природопользования Саратов. обл. Саратов : Изд-во Торг.-пром. палаты Саратов. обл., 2006. 528 с.
2. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / гл. редкол.: Ю. П. Трутнев и др.; сост. Р. П. Камелин и др.; Мин-во природных ресурсов и экологии РФ; Федеральная служба по надзору в сфере природопользования; РАН; Российское ботаническое общество; МГУ им. М. В. Ломоносова. М. : Товарищество науч. изданий КМК, 2008. 855 с.

УДК 581.141.031.3 + 581.145.032.3 + 581.163

ЧАСТОТА АПОМИКСИСА И ПОЛОВАЯ СТРУКТУРА В ПОПУЛЯЦИЯХ *ANTENNARIA DIOICA* ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

А. С. Кашин, И. С. Кочанова, Н. М. Лисицкая,
Е. В. Угольников, Ю. А. Полякова

Учебно-научный центр «Ботанический сад»
Саратовского государственного университета
E-mail: kashinas2@yandex.ru



Изучена частота апомиксиса и половая структура популяций диэцичной *Antennaria dioica* в ряде регионов европейской части России. Во всех исследованных популяциях Саратовской области растения завязывали семена почти исключительно амфимиктичным путём. Популяции Пензенской области и более северных регионов европейской части чаще всего были факультативно апомиктичными с частотой апомиксиса от 10 до 60%. Показано, что у данного вида соотношение цветущих «женских» и «мужских» особей существенно различается как между популяциями, так и внутри одной популяции по годам. Например, в популяциях Саратовской области в 2011 г. цветущие растения отсутствовали полностью, а в более северных регионах доля цветущих особей в популяциях по сравнению с остальными годами наблюдения была резко снижена и смещена в сторону «мужских» особей.

Ключевые слова: *Antennaria dioica*, гаметофитный апомиксис, половая структура популяций.

Frequency of Apomixis and Sex Structure of Sexual *Antennaria Dioica* in European Russia

A. S. Kashin, I. S. Kochanova, N. M. Lysytskaya,
E. V. Ugolnikova, Yu. A. Polyakova

The frequency of apomixis and sexual structure of dioecious *Antennaria dioica* populations has been studied in several regions of the European part of Russia. In all the populations of Saratov region plant seeds developed almost exclusively by amphimixis. In Penza region

and more northern regions of the European part of Russia the populations were facultatively apomictic with the frequency of apomixis ranging from 10 to 60%. It has been shown that the ratio of blooming «female» and «male» individuals in the populations of this species varies considerably, both among populations and within in same population in different years. For example, in the populations of the Saratov region in 2011th flowering plants were completely absent, and in the more northern regions the proportion of flowering individuals in the populations was considerably reduced and removed towards «male» individuals in comparison with the other years of research.

Key words: *Antennaria dioica*, gametophytic apomixis sex structure of populations.

Род *Antennaria* Gaertn. насчитывает в своём составе более 200 видов, распространённых во внетропических областях северного полушария. Однако на территории европейской части России встречаются лишь 4 вида этого рода, причём широко распространён один вид – *Antennaria dioica* (L.) Gaertn. Остальные занимают ограниченные ареалы в районах европейского севера [1]. В средней полосе России вид *A. dioica* во всех областях довольно обычен, хотя к югу и юго-востоку встречается реже [2, 3].



Работа посвящена особенностям репродуктивной биологии данного вида в популяциях ряда регионов европейской части России.

Материалы и методика

Исследовали 13 популяций *A. dioica*, произрастающих в Саратовской, Пензенской, Ульяновской, Кировской областях и Республиках Чувашии, Марий Эл, Коми по градиенту географических координат (51°30' СШ, 45°30' ВД – 60°00' СШ, 49°30' ВД). Основные исследования проводили в четырёх популяциях из Татищевского, Б.-Карабулакского, Хвалынского и Вольского районов.

Исследования проводили в 2007–2012 гг. Частоту апомиксиса диагностировали на основе сравнительных данных о семенной продуктивности растений при свободном опылении и беспыльцевом режиме цветения [4]. Исследовали в среднем 30 растений каждого вида, отбор которых осуществляли случайным образом. Для обеспечения беспыльцевого режима соцветия «женских растений» за 2–3 дня до цветения краевых цветков помещали под пергаментные изоляторы, под которыми они находились до полного созревания семян (около 1 месяца). Сбор семян, завязавшихся при свободном опылении, собирали по достижению ими зрелого состояния. При подсчете семена разделяли на два морфологических класса по степени выполненности (выполненные и щуплые). Затем вычисляли частоту завязываемости семян, как процентное отношение числа выполненных семян к общему числу цветков в соцветии.

Соцветия для цитозембриологического анализа фиксировали за 1–3 суток до начала цветения в фиксаторе Кларка (95%-ный этанол – 3 части; ледяная уксусная кислота – 1 часть). Для просветления семязачатков использовали просветляющую жидкость Герра [5]. Методика приготовления препаратов «просветлённых» семязачатков модифицирована нами. Цветки выдерживали в железомонийных квасцах 20 минут, затем подкрашивали в ацетокармине 5–12 часов. Из цветков выделяли семязачатки и мацерировали их с помощью цитазы 1 час. После этого под стереомикроскопом Stemi 2000 (Karl Zeiss, Германия) удаляли внешние слои клеток, оставляя зародышевый мешок, окружённый интегументальным тапетумом. Эту структуру переносили на предметное стекло в каплю просветляющей жидкости, накрывали покровным стеклом и оставляли не менее чем на 1 час, после чего анализировали препараты под микроскопом AxioStar-plus (Karl Zeiss, Германия) в режиме фазового контраста при увеличении $\times 400$.

Микрофотографирование проводили с использованием видеоадаптера 426106-9130-000 при помощи цифровой камеры Canon PowerShot A 620.

Вариационные ряды обсчитывали с помощью программного продукта Microsoft Office Excel 2007. Сравнение вариационных рядов осуществляли по критерию Стьюдента (t_{st}) при уровне значимости $P \leq 0.95$. В случае близости величин среднеарифметической к 0 или 100% для определения доверительного интервала использовали метод ср. Для сравнения качественных признаков использовали метод вычисления средней ошибки при альтернативном распределении [6, 7].

Результаты и их обсуждение

Семенная продуктивность *A. dioica* при различных режимах цветения. Известно, что в роде широко распространён автономный гаметофитный апомиксис в регулярной форме (апоспория + нередуцированный партеногенез). Он описан примерно у 20 видов рода [8–14], в том числе и у *A. dioica*. Однако, как следует из табл. 1, на территории Саратовской области растения *A. dioica* ведут себя почти как исключительно амфимиктичные. Из 6 лет наблюдений (2007–2012 гг.) при среднем (30–70%) и низком (0–20%) уровнях семенной продуктивности при цветении в условиях свободного опыления семенная продуктивность при беспыльцевом режиме цветения во всех исследованных популяциях Саратовской области была равна 0. Исключение составляет только популяция из Б.-Карабулакского района, в которой в 2012 г. семенная продуктивность при данном режиме цветения была на уровне $13.77 \pm 0.62\%$.

Интересно, что в популяциях Пензенской области, произрастающих на 100–300 км севернее саратовских популяций, во все годы наблюдений имела место завязываемость семян при беспыльцевом режиме цветения на фоне низкой семенной продуктивности при цветении в условиях свободного опыления. С учётом этого частота формирования семян путём апомиксиса в этих популяциях *A. dioica* была на уровне 10–60%.

Частота апомиксиса в популяциях *A. dioica* по цитозембриологическим маркерным признакам. При цитозембриологическом изучении в 2007–2010 гг. у растений *A. dioica* из популяций Саратовской области признаков апомиксиса обнаружено не было (табл. 2). При этом формировались нормально дифференцированные эуспорические мегагаметофиты, морфологически подобные Polygonum-типу. В 2012 г. исключение составили только популяции из Татищевского и Б.-Карабулакского районов. В них в 2007–2010 гг. подобных признаков также не выявлено, но в 2012 г. с частотой около 1.0% обнаружена апоспория (рисунок, 1) или преждевременная эмбриония (см. рисунок, 4).



Таблица 1

Семенная продуктивность в популяциях *A. dioica* при различных режимах цветения

№ популяции	Область	Район	Год	Свободное цветение, %	Беспыльцевой режим, %	Частота апомиксиса, %
473	Саратовская	Татищевский	2007	47.40±6.32	0	0
476	Саратовская	Б.-Карабулакский	2007	48.52±6.39	0	0
472	Саратовская	Хвалынский	2007	67.65±6.55	0	0
473	Саратовская	Татищевский	2008	43.24±4.53	0	0
476	Саратовская	Б.-Карабулакский	2008	40.31±6.95	0	0
474	Саратовская	Вольский	2008	–	–	–
472	Саратовская	Хвалынский	2008	42.74±6.92	0	0
598	Пензенская	Неверкинский	2008	4.05±0.15	0.68±0.05	16.94
472	Саратовская	Хвалынский	2009	–	0	
473	Саратовская	Татищевский	2009	18.39±0.68	0	0
474	Саратовская	Вольский*	2009	–	–	–
476	Саратовская	Б.-Карабулакский	2009	–	0	0
598	Пензенская	Неверкинский	2009	6.65±0.53	0.74±0.10	11.13
473	Саратовская	Татищевский	2010	0	0	0
476	Саратовская	Б.-Карабулакский	2010	0	0	0
474	Саратовская	Вольский	2010	0	0	0
472	Саратовская	Хвалынский	2010	0	0	0
671	Пензенская	Кузнецкий	2010	4.01±0.28	2.53±0.13	63.12
598	Пензенская	Неверкинский	2010	14.43±0.77	2.32±0.09	16.08
671	Пензенская	Кузнецкий	2012	55.86±8.30	15.35±0.64	27.47
598	Пензенская	Неверкинский	2012	28.67±0.87	3.05±0.31	10.64
476	Саратовская	Б.-Карабулакский	2012	70.70±8.87	13.77±0.62	19.47

Примечание. Прочерк означает отсутствие данных; * в популяции растения с женскими цветками отсутствовали.

В то же время у растений популяций, произрастающих в Пензенской области в годы наблюдения (2009, 2010, 2012), чаще всего обнаруживались цитозембриологические признаки апомиксиса с частотой 5–30%. При этом имело место как формирование апоспорических инициалей, так и преждевременная эмбриония. Только в популяции 598 в 2010 г. признаков гаметофитного апомиксиса на уровне цитозембриологического контроля не обнаружено (см. табл. 2). Однако и в этой популяции в данный год наблюдения семена в условиях беспыльцевого режима цветения завязывались. Всё это однозначно указывает на то, что популяции *A. dioica* из Пензенской области во все годы наблюдения вели себя как факультативно апомиктичные с варьирующей по годам частотой гаметофитного апомиксиса. При этом наряду с преждевременной эмбрионией у растений данной популяции выявлены и случаи развития апоспорических инициалей вблизи нормально сформированного эуспорического мегагаметофита (16.4±0.8%). Примечательно, что в данной популяции в 2010 г. эмбриологических признаков гамето-

фитного апомиксиса обнаружено не было, но в 5.0±0.4% семязачатков мегагаметофиты эуспорической природы дегенерировали (см. рисунок, 2).

Сходным образом вели себя и исследованные в разные годы популяции *A. dioica* в Ульяновской и Кировской областях (см. табл. 2). У растений популяции из Ульяновской области в 2010 г. обнаружены цитозембриологические признаки апомиксиса в виде преждевременной эмбрионии на уровне (12.9±0.5%), а в 2011 г. таких признаков выявлено не было. В популяции 672 из Кировской области также в 2010 г. выявлены эмбриологические признаки апомиксиса, правда, в форме апоспорических инициалей в семязачатках, причём рядом с дегенерировавшим эуспорическим мегагаметофитом (рисунок, 3), в то время как в 2011 г. такие признаки отсутствовали. В популяции, произрастающей в Чувашской Республике, выявлены цитозембриологические признаки гаметофитного апомиксиса в форме преждевременной эмбрионии с частотой 1.1±0.2%, а у растений популяции из Республики Марий Эл таких признаков обнаружено не было.

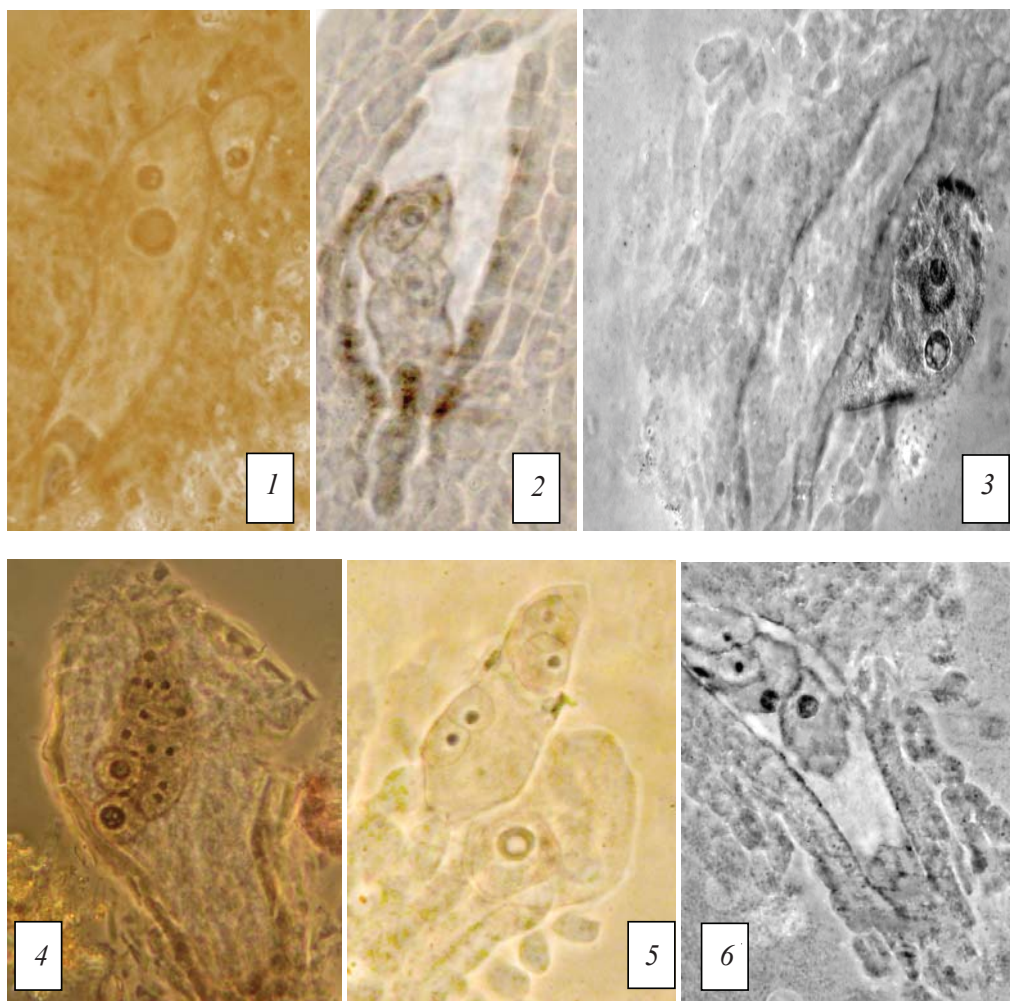


Таблица 2

Результаты цитогенетических исследований растений в популяциях *Antennaria dioica* из различных регионов европейской части России

№ по-пул.	Регион	Район	Год	Нормальные ЗМ, %	Дегенерированные ЗМ		Апоспория + нормальные ЗМ		ЗМ с эндоспермом		ЗМ с проэмбрио		Частота апомиксиса	
					шт. X ± mX	%	шт. X ± mX	%	шт. X ± mX	%	шт. X ± mX	%	шт. X ± mX	%
472	Саратовская	Хвал.	2007	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
476	Саратовская	Б.-Караб.	2007	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
473	Саратовская	Татищ.	2007	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
473	Саратовская	Татищ.	2008	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
476	Саратовская	Б.-Караб.	2008	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
472	Саратовская	Хвал.	2008	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
598	Пензенская	Кузнец.	2009	73.35±7.82	0	0	17	16.47±0.75	0	0	10	10.18±0.47	27	26.65
472	Саратовская	Хвал.	2009	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
473	Саратовская	Татищ.	2009	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
474	Саратовская	Вольск.*	2009	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
476	Саратовская	Б.-Караб.	2009	100.00	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
473	Саратовская	Татищ.	2010	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
476	Саратовская	Б.-Караб.	2010	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
671	Пензенская	Кузнец.	2010	95.00±2.69	0	0	10	5.00±0.27	10	0	0	0	10	5.00
598	Пензенская	Неверк.	2010	95.00±3.78	8	5.00±0.38	0	0	0	0	0	0	0	0
672	Кировская	Боровик.	2010	99.00±1.00	0	0	1	1.00±0.21	10	0	0	0	1	1.00
675	Ульяновская	Подкур.	2010	87.10±4.48	0	0	0	0	0	0	0	10	12.9±0.45	10
675	Ульяновская	Подкур.	2011	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
673	Чувашия	Шемур.	2011	89.00±9.94	10	0	0	0	1	1.10±0.21	0	0	1	1.1
672	Кировская	Боровик.	2011	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
674	Р. Марий Эл	Йошкар.	2011	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
745	Кировская	Б. Кол.	2011	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
671	Пензенская	Кузнец.	2012	97.78±1.47	1	1.11±0.1	0	0	0	0	1	1.11±0.1	1	1.11
473	Саратовская	Татищ.	2012	99.45±5.59	0	0	0	0	0	0	1	0.55±0.06	1	0.55
476	Саратовская	Б.-Караб.	2012	98.89±9.03	0	0	2	1.11±0.02	0	0	0	0	2	1.11
675	Ульяновская	Подкур.	2012	98.00±2.00	0	0	0	0	0	0	2	2.00±0.20	2	2.00
674	Р. Марий Эл	Йошкар.	2012	97.00±8.57	0	0	0	0	0	0	3	3.00±0.21	3	3.00
673	Чувашия	Шемур.	2011	97.50±10.70	0	0	0	0	0	0	3	2.50±0.18	3	2.50
672	Кировская	Боровик.	2012	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
745	Кировская	Б. Кол.	2011	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
869	Р. Коми	Ловля	2012	100.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Примечание. * В популяции цветущие женские растения в данный год отсутствовали.



Признаки апомиксиса у *Antennaria dioica*: 1 – апоспорическая инициаль вблизи нормально развитого эуспорического зародышевого мешка (ЗМ); 2 – дегенерирующий ЗМ; 3 – 2-ядерный апоспорический ЗМ вблизи дегенерирующего эуспорического; 4 – преждевременная эмбриония; 5 – два ЗМ в одном семязачатке; 6 – нормальный эуспорический ЗМ

В ряде семязачатков у растений *A. dioica* были выявлены и случаи развития в одном семязачатке двух мегагаметофитов (см. рисунок, 5). Правда, по результатам исследования ничего нельзя сказать о природе этих мегагаметофитов. Однако на том основании, что в семязачатках растений данного вида с достаточно высокой частотой обнаруживались апоспорические инициали в присутствии мегагаметофитов эуспорической природы, логично предположить, что один из таких мегагаметофитов имеет эуспорическую, а другой – апоспорическую природу.

Таким образом, в популяциях *A. dioica*, исследованных в Ульяновской области, Чувашии и Республике Марий Эл, и в одной из популяций, исследованной на юге Кировской области, с различной частотой, варьирующей по годам, по крайней мере, в отдельные года наблюдения

обнаружены цитозембриологические признаки апомиксиса (в популяции из Ульяновской области – в 2 из трёх лет наблюдения, Чувашской Республики – в оба года наблюдения, Республики Марий Эл – в один из двух лет наблюдения, на юге Кировской области – в один из трех лет наблюдения) (см. табл. 2). Только в популяциях севера Кировской области и популяции Республики Коми способность к апомиксису даже на уровне цитозембриологических признаков не обнаружена. Фактически, речь идёт о популяциях, находящихся вблизи северной границы ареала исследуемого вида.

Половая структура популяций *A. dioica*. Известно, что *A. dioica* является двудомным растением, причём соцветия «мужских» и «женских» растений хорошо различимы морфологически. Как показали наши исследования (табл. 3), популяции вида существенно различаются по



половой структуре, как между собой, так и внутри одной популяции по годам. Так, в 2008 г. в популяции Татищевского района Саратовской области доля «мужских» растений составила

около $\frac{3}{4}$ от числа проанализированных растений, а в популяциях Б.-Карабулакского и Хвалынского районов – лишь около $\frac{2}{5}$ и $\frac{1}{3}$ растений, соответственно, были мужскими.

Таблица 3

Половая структура ценопопуляций *A. dioica*

№ популяции	Регион	Район произрастания ценопопуляции	Год	Число проанализированных растений, шт.		
				всего, шт.	с женскими цветками, %	с мужскими цветками, %
473	Саратовская	Татищевский	2008	1458	24.3	75.7
476	Саратовская	Б.-Карабулакский	2008	970	59.8	40.2
474	Саратовская	Вольский	2008	17	100.0	–
472	Саратовская	Хвалынский	2008	749	64.2	35.8
473	Саратовская	Татищевский	2009	249	48.2	51.8
476	Саратовская	Б.-Карабулакский	2009	413	34.6	65.4
474	Саратовская	Вольский	2009	3	0	100.0
472	Саратовская	Хвалынский	2009	152	11.2	88.8
598	Пензенская	Неверкинский	2009	473	31.3	68.7
473	Саратовская	Татищевский	2010	82	54.9	45.1
476	Саратовская	Б.-Карабулакский	2010	111	28.8	71.2
474	Саратовская	Вольский	2010	5	100.0	0
472	Саратовская	Хвалынский	2010	87	43.7	56.3
598	Пензенская	Неверкинский	2010	684	31.9	68.1
671	Пензенская	Кузнецкий	2010	158	32.3	67.7
473	Саратовская	Татищевский*	2011	–	–	–
476	Саратовская	Б.-Карабулакск.*	2011	–	–	–
474	Саратовская	Вольский*	2011	–	–	–
472	Саратовская	Хвалынский*	2011	–	–	–
598	Пензенская	Неверкинский **	2011	–	–	–
671	Пензенская	Кузнецкий **	2011	–	–	–
675	Ульяновская	Подкуровка	2011	32	18.8	81.2
674	Р. Марий Эл	Йошкар-Ола	2011	20	30.0	70.0
745	Кировская	Б. Кольшманы	2011	142	28.2	71.8
473	Саратовская	Татищевский	2012	126	9.5	90.5
476	Саратовская	Б.-Карабулакский	2012	817	66.5	33.5
474	Саратовская	Вольский***	2012	5	0	100.0
472	Саратовская	Хвалынский****	2012	12	0	100.0
598	Пензенская	Неверкинский	2012	2823	49.2	50.8
671	Пензенская	Кузнецкий	2012	1923	55.6	44.4
675	Ульяновская	Подкуровка	2012	737	56.3	43.7
673	Чувашия	Шемурши	2012	133	57.9	42.1
674	Р. Марий Эл	Йошкар-Ола	2012	537	51.6	48.4
745	Кировская	Б. Кольшманы	2012	545	41.7	58.3
672	Кировская	Боровики	2012	664	59.9	40.1
869	Р. Коми	Ловля	2012	316	27.8	72.2

Примечание. Прочерк – отсутствие данных; *в популяции нет цветущих растений; **в популяции цвели лишь некоторые растения; ***«женские» растения в популяции полностью погибли; ****сохранились лишь некоторые «женские» растения в популяции.



В 2009 г. в популяции Татищевского района доля «мужских» и «женских» растений района составила почти 90%, а в популяции Вольского района – все 100% цветущих особей.

В 2010 г. в популяциях Татищевского и Хвалынского районов соотношение «мужских» и «женских» соцветий сохранилось на уровне 2009 г. Однако в популяции Хвалынского района доля «мужских» и «женских» растений была относительно близкой при том, что в 2009 г. «мужские» растения составили почти 90% от общего числа цветущих особей. В популяции Вольского района в этот год цвели только «женские» растения.

В 2012 г. в популяции Татищевского района среди цветущих растений доля «мужских» составила 90%, в популяции Б.-Карабулакского района – лишь около 1/3, а в популяциях из Хвалынского и Вольского районов цвели только «мужские» растения. Причём в Вольском районе «женские» растения в популяции после засухи 2010 г. элиминировали полностью, а в популяции Хвалынского района – в подавляющем большинстве.

В популяциях *A. dioica* из Пензенской области соотношение цветущих «мужских» и «женских» растений изменялось по годам скоррелированно и в каждый год из лет наблюдений было близким. Так, в 2009 и 2010 гг. это соотношение было смещено в сторону «мужских» растений (около 2/3 от числа цветущих). В 2011 г. растения в популяциях фактически не цвели, а в 2012 г. в обеих исследованных популяциях соотношение «мужских» и «женских» цветущих растений было близко к 1 : 1.

Интересная картина с половой структурой популяций *A. dioica* складывалась в годы исследования и в регионах европейской части России, расположенных севернее вышеописанных. Так, в 2011 г., в котором в популяциях Саратовской области растения вообще не цвели, а в популяциях Пензенской области цвели лишь отдельные растения, в популяциях Ульяновской и Кировской областей, а также Республики Марий Эл не очень обильное цветение растений всё же наблюдалось, причём более 2/3 цветущих растений составляли «мужские» особи.

В 2012 г. во всех этих популяциях баланс цветущих «мужских» и «женских» особей был близок к соотношению 1 : 1. Только в самой северной популяции из Республики Коми он был смещён в сторону «мужских» особей и был близок к соотношению 2/3.

Заключение

В настоящее время *P. tenuifolia* успешно культивируется на участке открытого грунта в коллекции двудольных растений и в коллекции *in vitro* редких и исчезающих видов растений

Саратовской области в учебно-научном центре «Ботанический сад» Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. Активно разрабатываются методики длительного депонирования и сохранения вида в генетическом банке *in vitro*. Применение методов клонального микроразмножения растений позволяет значительно сократить трудовые и временные затраты на получение регенератов *P. tenuifolia*, что может быть использовано для массового получения посадочного материала в целях восстановления численности популяций данного вида и зелёного строительства.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках базовой части государственного задания в сфере научной деятельности по заданию № 2014/203 (код проекта 1287).

Список литературы

1. Иконников С. С. Кошачья лапка – *Antennaria* Gaertn. // Флора европейской части СССР : в 12 т. СПб., 1994. Т. 7. С. 92–94.
2. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части СССР. М. ; Л., 1941. 824 с.
3. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части СССР. М., 2006. 600 с.
4. Кашин А. С. Гаметофитный апомиксис как неустойчивая система семенного размножения у цветковых. Саратов, 2006. 310 с.
5. Herr J. M. A new clearing-squash technique for study of ovule, development in angiosperms // Amer. J. Bot. 1971. Vol. 20, № 8. P. 785–790.
6. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М., 1984. 424 с.
7. Гланц С. Медико-биологическая статистика. М., 1999. 459 с.
8. Хохлов С. С., Зайцева М. И., Куприянов П. Г. Выявление апомиксисных растений во флоре цветковых растений СССР. Саратов, 1978. 224 с.
9. Bayer R. J., Stebbins G. L. Distribution of sexual and apomictic populations of *Antennaria parlinii* // Evolution. 1983. Vol. 37. P. 555–561.
10. Bierzychudek P. Patterns in plant parthenogenesis // Experientia. 1985. Vol. 41. P. 1255–1264.
11. Carman J. G. Gametophytic angiosperm apomicts and the occurrence of polyspory and polyembryony among their relatives // Apomixis Newsletter. 1995. № 8. P. 39–53.
12. Carman J. G. Asynchronous expression of duplicate genes in angiosperms may cause apomixis, bispority, tetraspory, and polyembryony // Biol. J. Linn. Soc. 1997. Vol. 61. P. 51–94.
13. Czapik R. Problems of apomictic reproduction in the families Compositae and Rosaceae // Folia Geobotanica & Phytotaxonomica. 1996. Vol. 31. P. 381–387.
14. Noyes R. D. Apomixis in the Asteraceae: Diamonds in the Rough // Functional plant science and biotechnology. 2007. Vol. 1(2). P. 207–222.



УДК 581.33

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕДПОСЫЛОК К ПОЛИЭМБРИОНИИ У АПОМИКТИЧНЫХ ВИДОВ МЯТЛИКОВ

О. И. Юдакова, В. С. Тырнов

Саратовский государственный университет
E-mail: yudakovaoi@info.sgu.ru



В статье представлены результаты сравнительного анализа частоты цитозембриологических предпосылок к полиэмбрионии и степени их реализации у трех видов мятликов с разными типами апомиксиса: *Poa badensis* Haenke (диплоспория) и *P. pratensis* L., *P. chaixii* Vill. (апоспория). Установлено, что апоспорические виды мятликов обладают более высокими потенциальными возможностями к истинной и ложной полиэмбрионии по сравнению с диплоспорическим видом *P. badensis*. У *P. pratensis* и *P. chaixii* образование дополнительных яйцеклеток вместо синергид наблюдалось в 4,0 и 5,4% зародышевых мешков, соответственно, а развитие двух и более мегагаметофитов зарегистрировано в 32,1 и 31,5% семязачатков. У *P. badensis* эти явления встречались лишь с частотой 0,1 и 2,5% соответственно. Предпосылки к развитию множественных зародышей в большинстве случаев остаются нереализованными. При высоких потенциальных возможностях к полиэмбрионии частота семян с близнецовыми проростками у *P. pratensis* и *P. chaixii* составила лишь 5,8 и 1,8%. У *P. badensis* полиэмбрионы среди проростков не обнаружены. Обсуждаются возможные причины, препятствующие реализации потенций к полиэмбрионии.

Ключевые слова: полиэмбриония, апомиксис, злаки, *Poa*.

Realization of the Prerequisites to Polyembryony in Apomictic *Poa* L.

O. I. Yudakova, V. S. Tyrnov

The article presents the comparative analysis results of the frequency of cytoembryological prerequisites to polyembryony and the extent of their realization in three bluegrass species with different types of apomixis: *Poa badensis* Haenke (diplospory) and *P. pratensis* L., *P. chaixii* Vill. (apospory). It was found that aposporous bluegrass species have higher potencies to true and false polyembryony in comparison with diplospous *P. badensis*. In *P. pratensis* and *P. chaixii* the formation of additional egg cells instead synergids was observed in the 4,0 and 5,4% embryo sacs, respectively, and the development of two or more megagametophytes was registered in the 32.1 and 31,5% ovules. In *P. badensis* these phenomenas are occurred only with a frequency of 0.1 and 2.5%. In most cases prerequisites to the development of multiple embryos remain unfulfilled. At high potencies to polyembryony in *P. pratensis* and *P. chaixii* the twin seedlings frequency was only 5,8 and 1,8 %. In *P. badensis* the twins were not found. The possible reasons preventing the realization of potencies to polyembryony are discussed.

Key words: polyembryony, apomixis, cereals, *Poa*.

Изучение явления полиэмбрионии (формирования в одном семени нескольких зародышей) имеет важное практическое значение, поскольку может использоваться в селекционно-генетических работах для ускоренного получения чистых линий, гаплоидов и гомозиготных диплоидных форм. Способы образования многозародышевых семян весьма разнообразны. Дополнительные

зародыши могут развиваться из разных структур семязачатка и элементов зародышевого мешка, причем как в результате оплодотворения (бипарентальное наследование), так и без него (унипарентальное наследование) [1, 2]. Многочисленные попытки систематизации типов полиэмбрионии привели к созданию различных классификаций, в которых нередко один и тот же термин использовался для описания совершенно разных явлений. В зависимости от числа мегагаметофитов, в которых развиваются дополнительные зародыши, часто выделяют два типа полиэмбрионии: 1) истинную, если несколько зародышей образуются из элементов одного зародышевого мешка (дополнительных гамет, яйцеклеткоподобных синергид и др.) [3–5]; 2) ложную, когда в одном семязачатке формируется несколько мегагаметофитов с собственными зародышами [5–7].

Виды с апомиктическим способом репродукции, как правило, характеризуются высокой частотой полиэмбрионии [8–10]. Дело в том, что некоторые особенности развития репродуктивных структур у апомиктов создают условия для образования в одном семени более одного зародыша. Однако наличие цитозембриологических предпосылок к полиэмбрионии еще не является гарантом развития семян с близнецовыми проростками [11, 12]. В связи с этим важно изучать не только механизмы развития многозародышевых семян, но и то, в какой степени происходит реализация потенций к полиэмбрионии и какие причины могут препятствовать их проявлению.

Модельным объектом для изучения полиэмбрионии у апомиктических форм может стать род *Poa* L. Среди злаков он занимает одно из первых мест по числу апомиктических видов, многие из которых характеризуются разными типами апомиксиса и полиэмбрионии [9, 13]. В частности, у апоспорического *P. pratensis* L. зарегистрированы истинная, ложная и нуцеллярная полиэмбриония [14–18].

Цель данной работы состояла в выявлении цитозембриологических предпосылок к полиэмбрионии и определении степени их реализации у растений трех видов мятликов с разными типами апомиксиса: *Poa badensis* Haenke (диплоспория) и *P. pratensis* L., *P. chaixii* Vill. (апоспория).



Материал и методы

Материалом исследования послужили видеобразцы *P. pratensis*, *P. chaixii*, *P. badensis* из коллекции Ботанического сада Саратовского госуниверситета. Соцветия фиксировали ацеталкоголем (3:1) за 1 и 2 суток до начала цветения, в разгар цветения и через 1, 2, 3, 5, 10 и 15 суток после опыления. Структуру женских гаметофитов исследовали на классических микротомных препаратах, окрашенных гематоксилином [19], а также на препаратах просветленных семязачатков [20, 21] и целых зародышевых мешков, выделенных с использованием метода ферментативной мацерации с последующей диссекцией семязачатков [22]. Анализ просветленных препаратов проводили с помощью фазово-контрастного микроскопа «AxioStar Plus» (K. Zeiss, Германия). Во все сроки фиксации у каждого видеобразца анализировали в среднем по 100 зародышевых мешков. Всего была изучена структура около 3000 мегагаметофитов.

Для выявления полиэмбрионов среди проростков зерновки проращивали в чашках Петри на влажной фильтровальной бумаге в термостате при температуре +23°C. Частоту полиэмбрионии

определяли как отношение семян с несколькими проростками к общему числу исследованных, выраженное в процентах.

Фотографирование проводили с использованием программ визуализации изображения «Zoombrowser» и «AxioVision» на микроскопах «AxioStar Plus» и «AxioScope».

Результаты и их обсуждение

Изученные виды мятликов являются факультативными псевдогамными апомиктами, у которых зародыш развивается партеногенетически, а эндосперм формируется после оплодотворения центральной клетки. У *P. chaixii* и *P. pratensis* нередуцированный зародышевый мешок образуется из соматической клетки нуцеллуса в результате трех последовательных митозов в соответствии с Poa (Hieracium)-типом [15–18, 23, 24], у *P. badensis* – из нередуцированной клетки диады мегаспор в соответствии с Taхасит-типом [24, 25].

Проведенный анализ показал, что у растений всех трех видов при образовании зародышевых мешков и в процессе их дифференцировки создаются предпосылки к истинной и ложной полиэмбрионии (рис. 1, 2).

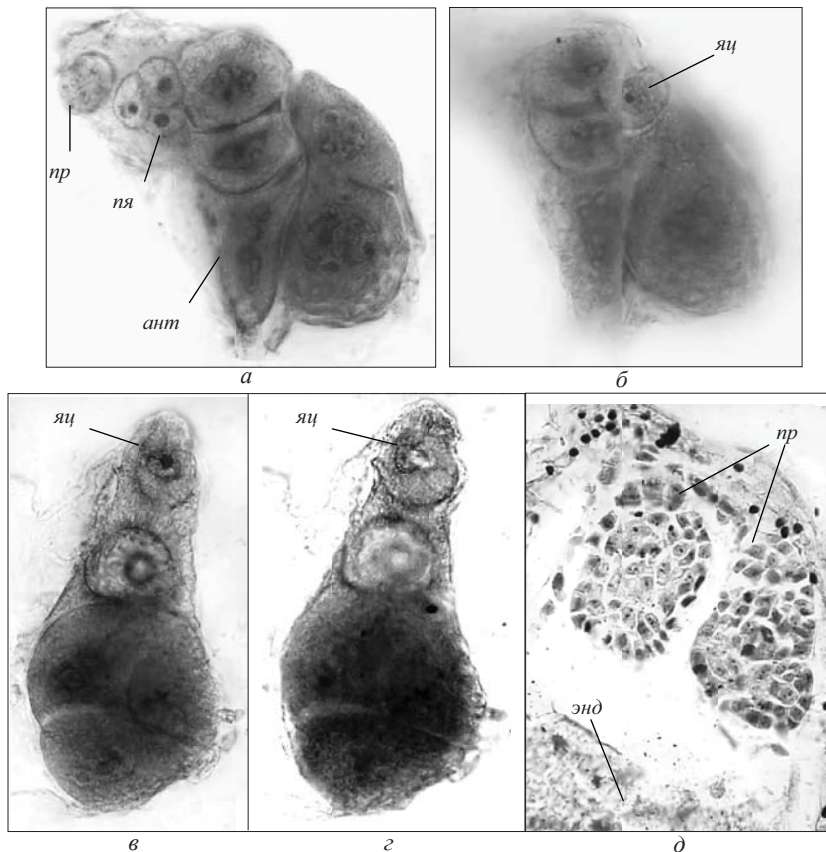


Рис. 1. Эмбриологические предпосылки к истинной полиэмбрионии (*P. pratensis*): а, б – зародышевый мешок с яйцеклеткоподобной антиподой (пр – проэмбрио, пя – полярные ядра, ант – антиподы, яц – яйцеклетка); в, г – зародышевый мешок с двумя яйцеклетками в яйцевом аппарате; д – два глобулярных проэмбрио и клеточный эндосперм (энд)

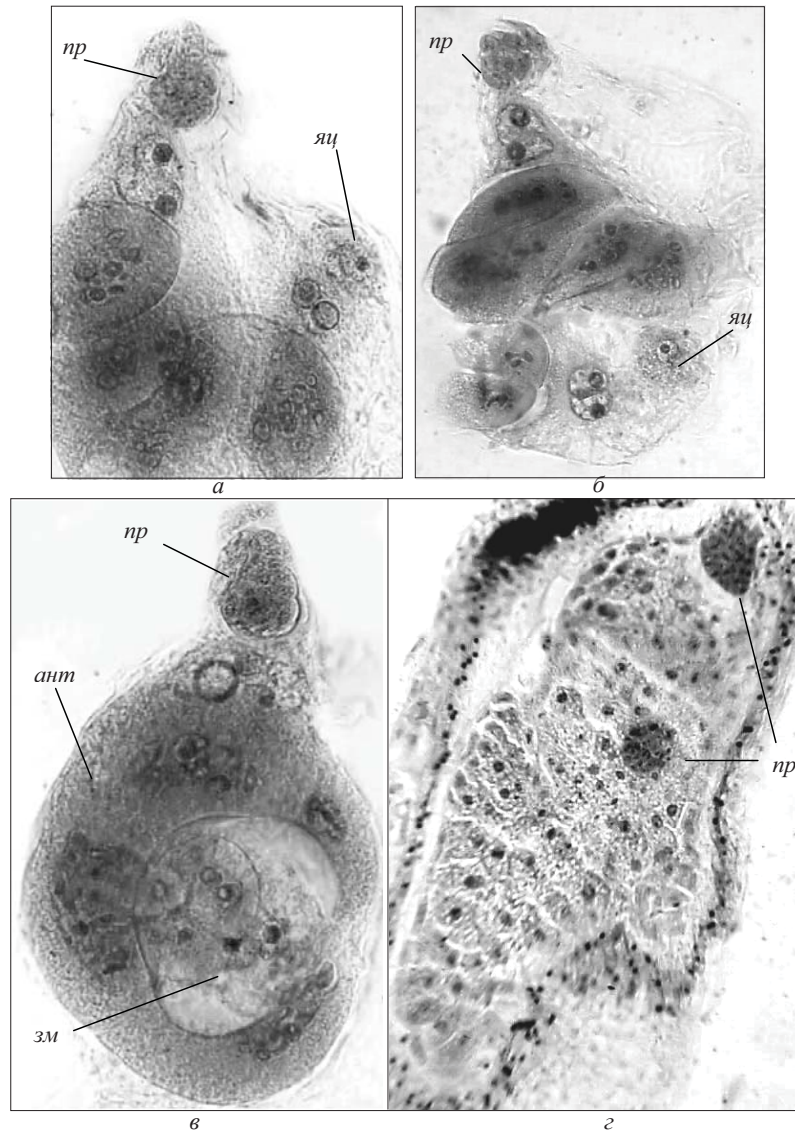


Рис. 2. Эмбриологические предпосылки к ложной полиэмбрионии (*P. pratensis*): а, б – двоянные зародышевые мешки, в одном из которых присутствует партеногенетический проэмбрио (*np*), в другом яйцеклетка (*яц*); в – два зародышевых мешка (*зм*), один из которых расположен внутри антиподального комплекса (*ант*) другого; з – два зародышевых мешка с проэмбрио и клеточным эндоспермом

Нарушение поляризации и дифференциации элементов женского гаметофита приводят к формированию дополнительных яйцеклеток вместо синергид и в исключительных случаях – антипод [26–29]. Полигаметия делает возможным развитие нескольких зародышей на базе одного мегагаметофита. Более высокой частотой полигаметии характеризовались апоспорические виды *P. pratensis* (5,7%) и *P. chaixii* (4,0%). У диплоспорического *P. badensis* она составила лишь 0,1%. Только у *P. pratensis* в одном зародышевом мешке дополнительная яйцеклетка присутствовала среди клеток антиподального комплекса (см. рис.1 а, б). Во всех остальных случаях яйцеклеткоподобными были синергиды (см. рис.1 в, з).

Предпосылки к ложной полиэмбрионии у изученных видов создаются за счет развития в семязачатках нескольких зародышевых мешков (см. рис. 2). У *P. pratensis* и *P. chaixii* около трети всех исследованных семязачатков содержали два, реже три и в единичных случаях четыре и пять мегагаметофитов (табл. 1). Высокая частота образования множественных зародышевых мешков типична для апоспорических видов. Во-первых, при этой форме апомиксиса может происходить одновременное развитие в семязачатке эуспорического и апоспорического зародышевых мешков. Во-вторых, нередко несколько соматических клеток нуцеллуса вступают на путь мегагаметофитогенеза.



Таблица 1

Частота образования семязачатков с несколькими мегаспорофитами у изученных видовобразцов

Вид	Количество исследованных семязачатков	Количество семязачатков с несколькими зародышевыми мешками, %			
		с двумя	с тремя	с четырьмя	с пятью
<i>P. badensis</i>	120	2,5	0,0	0,0	0,0
<i>P. chaixii</i>	102	27,4	3,9	0,0	0,0
<i>P. pratensis</i>	131	25,9	4,6	0,8	0,8

У *P. badensis* только 2,5% семязачатков содержали сдвоенные зародышевые мешки. К сожалению, нам не удалось достоверно определить механизм их образования. Можно предположить лишь, что в исключительных случаях обе клетки диады мегаспор дают начало зародышевому мешку.

Исходная высокая частота семязачатков с цитоэмбриологическими предпосылками к полиэмбрионии снижалась по мере созревания семени. На завершающих стадиях эмбриогенеза

более двух зародышей в одном семени уже не встречалось, а количество семязачатков с двумя зародышами даже у апоспорических видов было практически вчетверо меньше, чем сумма исходной частоты полигамии и частоты семязачатков с множественными зародышевыми мешками (табл. 2). При этом в некоторых семязачатках с двойнями наблюдалась остановка развития проэмбрио на глобулярной стадии из-за отсутствия эндосперма или его аномального строения (рис. 3, б).

Таблица 2

Структура семязачатков на завершающих стадиях развития зародыша и эндосперма

Вид	Количество семязачатков, %						
	Всего	С клеточным эндоспермом			С аномальным эндоспермом или без него		Без зародыша и эндосперма
		с одним дифференцированным зародышем	с двумя дифференцированными зародышами	без зародыша	с одним глобулярным проэмбрио	с двумя глобулярными проэмбрио	
<i>P. badensis</i>	130	92,6	0,7	0,7	3,0	1,5	1,5
<i>P. chaixii</i>	120	86,1	5,8	0,8	1,6	2,5	3,2
<i>P. pratensis</i>	115	80,0	7,0	2,7	1,7	4,3	4,3



Рис. 3. Семена *P. pratensis*: а – с дифференцированным зародышем (zap) и клеточным эндоспермом (znd) (норма, дана для сравнения); б – с двумя глобулярными проэмбрио (np) и без эндосперма

На стадии проростков частота полиэмбрионии у *P. pratensis* составила 5,8%, у *P. chaixii* – 1,8%. Полиэмбрионы были представлены только двойнями (рис. 4). У *P. badensis* семян с близнецовыми проростками не обнаружено. Фактическая частота многозародышевых семян достоверно и значительно отличалась от теоретически ожидаемой (рис. 5, табл. 3). Все это свидетельствует о том, что предпосылки к полиэмбрионии в большинстве случаев остаются не реализованными. В ходе развития семени происходит дегенерация дублирующих структур: дополнительных зародышевых мешков, яйцеклеток и зародышей.

В качестве одной из основных причин снижения потенций к полиэмбрионии нередко указывается конкуренция между дублирующими генеративными структурами [2, 18]. Особенности образования и развития близнецов не гарантируют их абсолютной идентичности. Напротив, в большинстве случаев они различаются своими

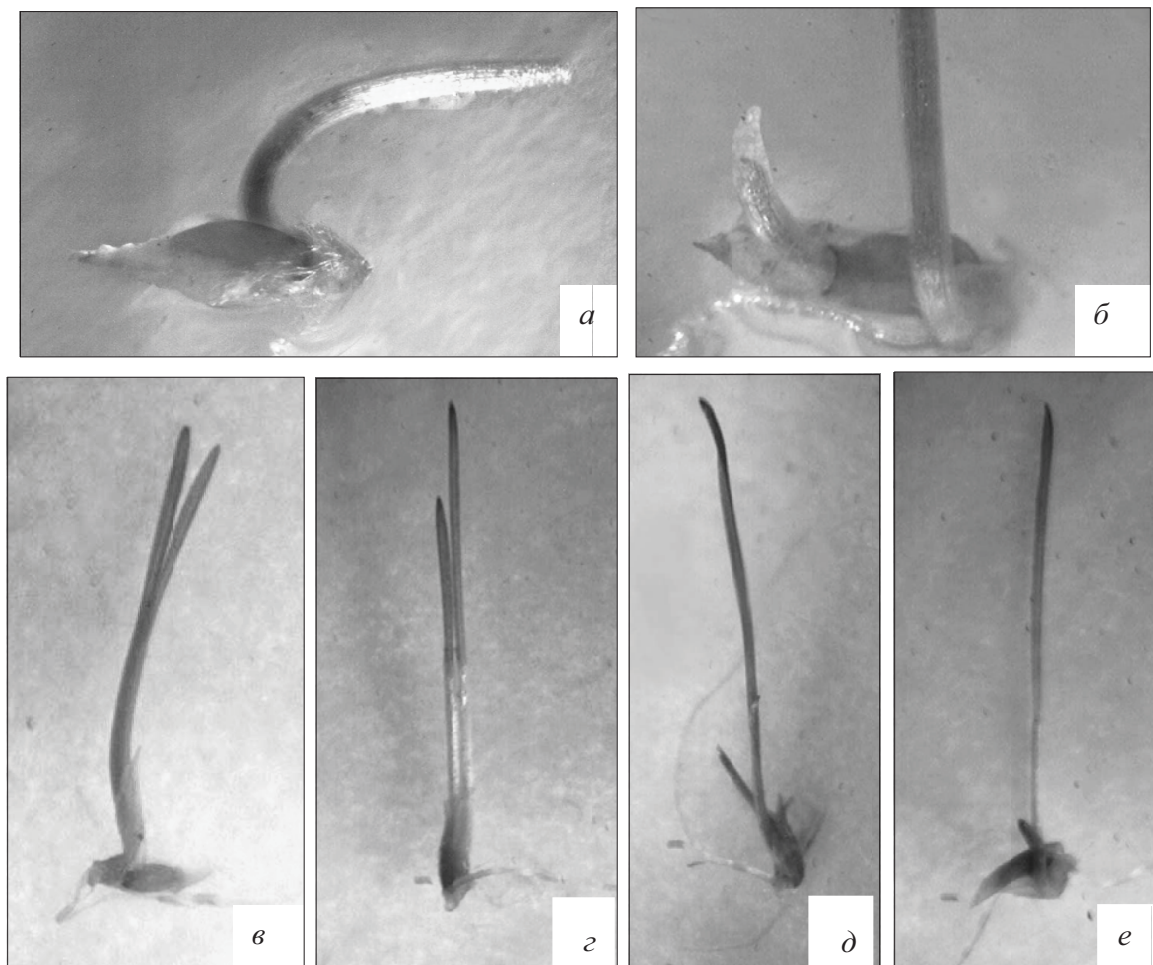


Рис. 4. Проросшие семена: а – с одним проростком (*P. badensis*); б – с двумя проростками, один из которых выходит из семени в базальной области (*P. pratensis*); в – с двумя проростками одинакового размера (*P. pratensis*); г–е – с двумя проростками разного размера (*P. chaixii*, *P. pratensis*)



Рис. 5. Исходная частота эмбриологических предпосылок к полиэмбрионии и фактическая частота семян с несколькими проростками у апомиктических видов мятликов



Таблица 3

Отклонение фактически установленных данных по частоте полиэмбрионии от теоретически ожидаемой величины (по методу χ^2)

Вид	Цитоэмбриологические предпосылки к полиэмбрионии, %		Теоретически ожидаемая частота полиэмбрионии	Фактическая частота полиэмбрионии	χ^2
	количество зародышевых мешков с дополнительными гаметам	количество семязачатков с несколькими зародышевыми мешками			
<i>P. badensis</i>	0,1	2,5	2,6	0,0	2,7
<i>P. chaixii</i>	4,0	31,5	35,5	1,8	49,6*
<i>P. pratensis</i>	5,7	32,1	37,8	5,8	43,5*

Примечание: χ^2_{st} {2,7; 3,84; 6,63}, *различия между теоретически ожидаемыми и фактически полученными данными достоверны при уровне значимости $p \geq 0,99$

генетическими характеристиками (например, уровнем пloidности), временем индукции к развитию и взаимным расположением. Генетические различия, прежде всего, определяются разным способом происхождения дублирующих структур. Так, формирование зародышевых мешков в одном семязачатке может идти с участием мейоза и в его отсутствии, зародыш может развиваться партеногенетически и в результате оплодотворения. Генотип и уровень пloidности

зародышей может оказать существенное влияние на их развитие и конкурентоспособность.

Из-за разного времени индукции к развитию отстающая в росте структура может угнетаться более развитым аналогом. У *P. pratensis* и *P. chaixii* были зарегистрированы случаи, когда морфогенез зародышей нарушался вследствие того, что он оказывался сдавленным соседним зародышем (рис. 6 а, б) или соседним мегагаметофитом (см. рис. 6 в).

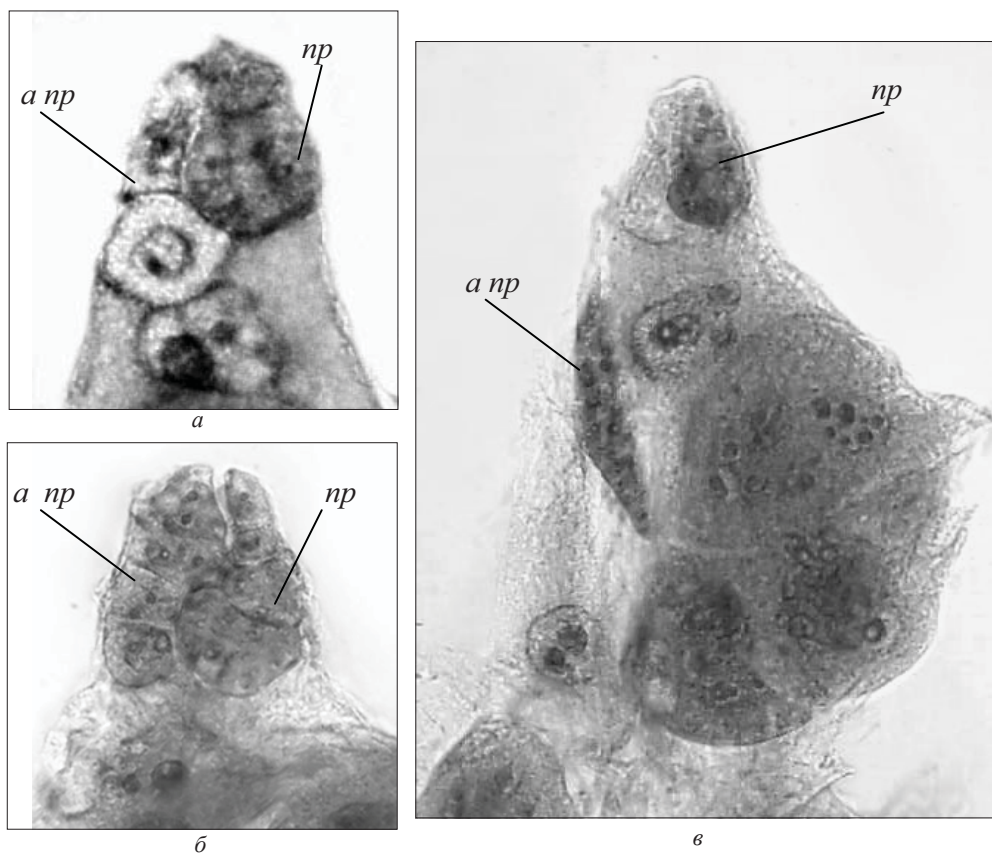


Рис. 6. Нарушение морфологии одного из близнецовых зародышей: а, б – зародышевый мешок с двумя проэмбрио, один из которых имеет нетипичную морфологию (а np); в – два зародышевых мешка, в одном из которых проэмбрио имеет веретенообразную форму



Существенным препятствием на пути реализации цитоэмбриологических предпосылок к полиэмбрионии является остановка эмбриогенеза в результате аномального развития эндосперма или его отсутствия (см. рис. 3, б). Центральная клетка зародышевого мешка может остаться неоплодотворенной по разным причинам. Прежде всего, низкое качество пыльцы, характерное для апомиктов, снижает вероятность успешного опыления. Средняя степень дефектности пыльцы составила у *P. badensis* $59,8 \pm 4,7\%$, *P. chaixii* – $45,26 \pm 6,8\%$, *P. pratensis* – $47,23 \pm 16,2\%$.

Кроме того, расположение в семязачатке некоторых из множественных зародышевых мешков затрудняет проникновение в них пыльцевых трубок. Дополнительные зародышевые мешки у *P. pratensis* и *P. chaixii* нередко располагались перпендикулярно микропилярно-халазальной оси семязачатка под антиподами соседнего мегагаметофита (см. рис. 2, б), а иногда даже внутри его антиподального комплекса (см. рис. 2, в, табл. 4). Проникновение пыльцевых трубок в такие зародышевые мешки проблематично, а следовательно, для них существует риск остаться неоплодотворенными.

Таблица 4

Расположение множественных зародышевых мешков в семязачатках

Вид	Количество семязачатков с несколькими зародышевыми мешками, %				
	Всего	Расположение зародышевых мешков			
		параллельно друг другу	перпендикулярно друг другу	под углом менее 90° друг к другу	один мегагаметофит лежит внутри антиподального комплекса другого
<i>P. badensis</i>	3	100,0	0,0	0,0	0,0
<i>P. chaixii</i>	32	53,1	15,6	15,6	9,4
<i>P. pratensis</i>	42	57,1	21,4	11,9	9,9

Таким образом, при разных типах апомиксиса у мятликов на ранних стадиях эмбриологического развития создаются цитоэмбриологические предпосылки к ложной полиэмбрионии вследствие развития в семязачатках нескольких мегагаметофитов и предпосылки к истинной полиэмбрионии в результате формирования в зародышевых мешках нескольких яйцеклеток. Частота образования множественных мегагаметофитов существенно превышает частоту полигаметии. Апоспорические виды *P. pratensis* и *P. chaixii* обладают более высоким потенциалом для производства семян с добавочными зародышами по сравнению с диплоспорическим *P. badensis*. Значительное отклонение теоретически ожидаемой частоты полиэмбрионии от фактической и результаты цитоэмбриологического анализа свидетельствуют в пользу того, что среди дублирующих структур (зародышевых мешков, яйцеклеток и зародышей) в процессе их развития осуществляется клеточная селекция, в результате которой выживают наиболее жизнеспособные и занимающие в семязачатке более выгодное для нормального развития положение. Кроме того, низкое качество пыльцы, аномалии или отсутствие развития эндосперма могут служить существенным препятствием на пути реализации потенций к полиэмбрионии.

Список литературы

1. Лакиманан К. К., Амбегаокар К. Б. Полиэмбриония // Эмбриология растений : использование в генетике, селекции, биотехнологии : в 2 т. Т. 2. / под ред. В. М. Джори. М. : Агропромиздат, 1990. С. 5–38.
2. Батыгина Т. Б., Виноградова Г. Ю. Феномен полиэмбрионии. Генетическая гетерогенность семян // Онтогенез. 2007. Т. 38, № 3. С. 166–191.
3. Ernst A. Bastardierung als Ursache der Apogamie in Pflanzenreiche Eine Hypothese zur experimentellen Verebings und Abstammunglehre. Jena : G. Fischer, 1918. 666 s.
4. Webber J. M. Polyembryony // Bot. Rev. 1940. Vol. 6. № 11. P. 575–598.
5. Maheschwari P. Polyembryony in Angiosperms // Paleobotanist. 1952. Vol. 1. P. 319–329.
6. Lebegue A. La polyembryonie chez les Angiospermes // Bull. Soc. Bot. France. 1952. Vol. 99. P. 329–367.
7. Lebegue A. Nouveaux aspects d'une classification embryologique // Bull. Soc. Bot. France. 1966. Vol. 113. P. 3–9.
8. Селиванов А. С. Многозародышевость семян и селекция. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1983. Ч. 1. 83 с.
9. Carman J. G. Gametophytic angiosperm apomicts and the occurrence of polyspory and polyembryony among their relatives // Apomixis Newsletter. 1995. № 8. P. 39–53.
10. Carman J. G. Asynchronous expression of duplicate genes in angiosperms may cause apomixis, bispority, tetraspory and polyembryony // Biol. J. Linn. Soc. 1997. Vol. 61, № 1. P. 51–94.



11. Солнцева М. П. Проблемы апогамии // Бот. журн. 1999. Т. 84, № 8. С. 1–23.
12. Czapik R. Non-functional aposporous embryo sacs in flowering plants // XVII Inter. Cong. On Sex. Plant Reproduction. Abstr. Lublin, 2002. P. 48.
13. Шишкинская Н. А., Юдакова О. И., Тырнов В. С. Популяционная эмбриология и апомиксис у злаков. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2004. 145 с.
14. Nishimura M. On the germination and polyembryony of *Poa pratensis* L. // Bot. Mag. Tokyo, 1922. P. 36.
15. Батыгина Т. Б., Маметьева Т. Б. К эмбриологии рода *Poa* L. // Актуальные вопросы эмбриологии покрытосеменных. Л. : Наука, 1979. С. 89–95.
16. Батыгина Т. Б., Фрейберг Т. Е. Полиэмбриония у *Poa pratensis* L. (*Poaceae*) // Бот. журн. 1979. Т. 64, № 6. С. 793–804.
17. Кутлунина Н.А. Эмбриологическое изучение апомиксиса у образцов мятлика лугового (*Poa pratensis* L.), перспективных для селекции : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 1999. 20 с.
18. Кутлунина Н. А. Эмбриологическое изучение апомиксиса и полиэмбрионии у мятлика лугового // Итоги интродукции и селекции травянистых растений на Урале. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2001. С. 197–214.
19. Паушева З. П. Практикум по цитологии растений. Изд. 4-е. М. : Агропромиздат, 1988. 272 с.
20. Herr Jm. J. M. A new clearing-squash technique for study of ovule, development in angiosperms // Amer. J. Bot. 1971. Vol. 20, № 8. P. 785–790.
21. Юдакова О. И., Гуторова О.В., Беляченко Ю. А. Методы исследования репродуктивных структур и органов растений. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2012. 38 с.
22. Куприянов П. Г. Ускоренные методы исследования зародышевого мешка // Выявление апомиктических форм во флоре цветковых растений СССР. Саратов, 1978. С. 155–163.
23. Юдакова О. И., Шакина Т. Н. Псевдогамный апомиксис у *Poa chaixii* Vill. // Изв. высших учеб. заведений. Поволж. регион. 2006. № 5. С. 277–283.
24. Yudakova O. I., Shakina T. N. Apomixis in *Poa chaixii* Vill. and *P. badensis* Haenke // 3rd Inter. Apomixis Conf. Wernigerode, Germany. 27 June – 1 July 2007. Abst. Germany, 2007. P. 29.
25. Шакина Т. Н., Юдакова О. И. Апомиксис у *Poa badensis* Haenke // Бюл. Бот. сада Саратов. ун-та. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2007. Вып. 6. С. 102–104.
26. Шишкинская Н. А., Юдакова О. И., Тырнов В. С. Полигамия // Бот. исследования в азиатской России : материалы XI съезда РБО : в 2 т. Барнаул, 2003. Т. 2. С. 176–177.
27. Шишкинская Н. А., Юдакова О. И., Тырнов В. С. Явление полигамии у растений и его возможные эволюционно-генетические эффекты // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2005. Т. 5, вып. 2. С. 25–32.
28. Юдакова О. И., Шишкинская Н. А. Эмбриологические особенности апомиктических злаков. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. 105 с.
29. Юдакова О. И. Аномалии развития женского гаметофита у апомиктических форм мятликов // Онтогенез. 2009. Т. 40, № 3. С. 38–46.



ЭКОЛОГИЯ

УДК 574.472

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА ФАУНЫ КОРОТКОНАДКРЫЛЫХ ЖУКОВ СЕМЕЙСТВА (COLEOPTERA, STAPHYLINIDAE) НИЖНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

К. А. Гребенников¹, В. В. Аникин²

¹Государственный природный заповедник «Богдинско-Баскунчакский», Ахтубинск
E-mail: kgrebennikov@gmail.com

²Саратовский государственный университет
E-mail: vasanikin@gmail.com

Проанализирована структура распределения коротконадкрылых жуков (Coleoptera, Staphylinidae) в основных ландшафтных комплексах Нижнего Поволжья. Дана оценка разнообразия основных экологических группировок семейства в пределах региона. Выделены исторически сложившиеся экологические комплексы и рассмотрены возможные пути их формирования.

Ключевые слова: коротконадкрылые жуки, экологические группы, структура фауны, Нижнее Поволжье.

Ecological Structure of the Fauna of Rove Beetles (Coleoptera, Staphylinidae) in the Lower Volga Region

K. A. Grebennikov, V. V. Anikin

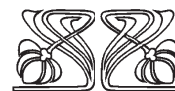
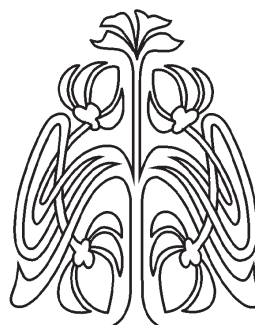
The structure of allocation of the fauna of rove-beetles (Coleoptera, Staphylinidae) in main types of landscapes of the Lower Volga Region is analyzed. Estimate of the diversity of main ecological groups of species of the family in this region is given. Historically formed complexes of rove-beetles in Lower Volga Region distinguished and probable ways of their formation are considered.

Key words: rove beetles, ecological groups, structure of fauna, Lower Volga region.

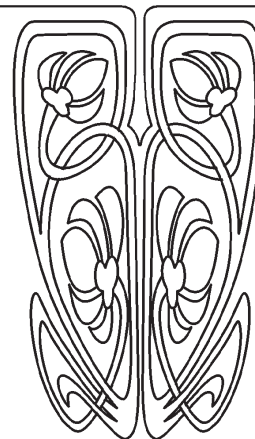
Введение

Коротконадкрылые жуки (Coleoptera, Staphylinidae) – одна из наиболее многочисленных, разнообразных и широко распространенных групп жесткокрылых, как в мировой фауне, так и фауне отдельных регионов, в том числе Нижнего Поволжья. Их экологическая пластичность и разнообразие биологии делают данное семейство одним из важных элементов природных комплексов региона.

До недавнего времени коротконадкрылые жуки Нижнего Поволжья оставались крайне слабо изученными. Существовали лишь отдельные разрозненные указания немногих видов, сделанные в разное время [1–6]. Систематическое изучение группы в пределах региона было начато лишь в конце XX века. В конце 90-х гг. прошлого века и в первых годах текущего был опубликован ряд сводок по фауне коротконадкрылых жуков, включающих в себя территорию Нижнего Поволжья [7–11]. Эти сводки были обобщены в работе автора [12], к настоящему моменту несколько устаревшей. В данной работе указаны сведения об экологии подавляющего большинства



НАУЧНЫЙ
ОТДЕЛ





видов коротконадкрылых жуков, найденных на территории региона, однако отсутствует анализ характера и причин распределения фауны по ландшафтам и местообитаниям – дано лишь процентное соотношение основных экологических группировок и отдельные краткие замечания о структуре фауны.

Данная статья посвящена анализу экологической структуры фауны коротконадкрылых жуков Нижнего Поволжья и отдельных ландшафтных и биотопических комплексов и обсуждению исторических путей формирования такой структуры. Материалом для статьи послужили как уже опубликованные сведения, так и дополнительные, пока не обнародованные, данные автора.

Известная на данный момент фауна коротконадкрылых жуков Нижнего Поволжья насчитывает 345 видов. Это число является, безусловно, не окончательным, однако, несомненно, составляет подавляющее большинство видов, обитающих в регионе. Таким образом, мы полагаем возможным на основе сведений о совокупности известных на данный момент в регионе видов делать достоверные выводы о структуре фауны, в частности экологической.

Материалы и методы исследования

Основным материалом для анализа фауны коротконадкрылых жуков Нижнего Поволжья послужили результаты обработки коллекционных материалов автора и коллег (в первую очередь Е. В. Комарова и О. Г. Брехова, г. Волгоград), собранные в различных районах и ландшафтах на протяжении периода с начала 90-х гг. XX в. до настоящего времени. Данные результаты и их краткий анализ частично публиковались автором ранее [12]. Сбор материала проводился во все фенологические сезоны, кроме зимы, широким спектром общепринятых методик: непосредственный ручной сбор в различных местообитаниях, почвенные раскопки, почвенные и световые ловушки. Общий объем проанализированного материала составляет более 10000 экземпляров.

Кроме того, для анализа использовались имеющиеся в литературе сведения о находках коротконадкрылых жуков в Нижнем Поволжье [1–11] в тех случаях, когда представляется возможным достоверно идентифицировать местообитание, в котором сделана находка.

Непосредственно для анализа собранных данных использовались табличный редактор OpenOffice Calc из пакета Apache OpenOffice 4.0.1 и специализированная программа «Кластерный анализ» версии 4.4.2.1.

Результаты и их обсуждение

В связи с отмеченными выше исключительной экологической пластичностью и широким спектром местообитаний представителей семейства коротконадкрылых жуки населяют все основные типы ландшафтов Нижнего Поволжья. Проведенный анализ показывает распределение видового разнообразия.

Население коротконадкрылых жуков пойменных лесов Нижнего Поволжья насчитывает 38 видов, байрачных лесов – 60, лугово-болотных ландшафтов – 60, непосредственно на берегах водоемов обитает 132 вида коротконадкрылых жуков, солончаки заселяют 38 видов, население зональных степных ландшафтов насчитывает 88 видов, на песчаных массивах выявлено 28 видов, для 50 видов характерны ландшафты не определены.

Таким образом, наибольшим разнообразием в пределах Нижнего Поволжья обладает комплекс коротконадкрылых жуков, связанный с берегами водоемов, меньшее разнообразие характерно для зональных ландшафтов, лугово-болотных и лесных комплексов и наименьшее – для солончаков и песчаных массивов.

Для анализа сходства видового состава коротконадкрылых жуков в основных типах ландшафтов Нижнего Поволжья использовался стандартный коэффициент Жаккара (виды, ландшафтная приуроченность которых не установлена, не учитывались). Результатом анализа стала матрица сходства, представленная в таблице.

На основе приведенной матрицы была построена соответствующая дендрограмма сходства (рисунок).

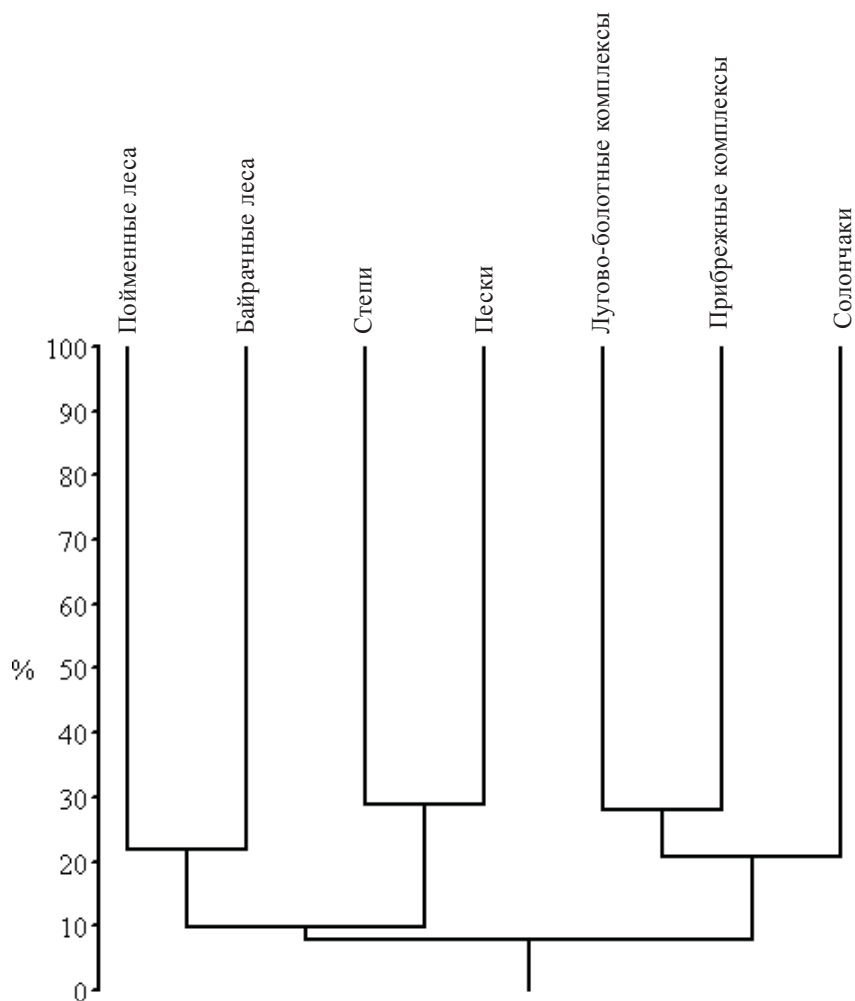
Приведенные таблица и рисунок ясно указывают на значительные различия между выделенными основными типами ландшафтов по видовому составу населяющих их коротконадкрылых жуков. Таким образом, мы можем предполагать, что данные экологические группировки рассматриваемой группы насекомых являются естественными, исторически сложившимися комплексами. В силу этого возможен корректный сравнительный анализ их состава, причин сходства и различий и возможных исторических путей формирования экологических группировок коротконадкрылых жуков Нижнего Поволжья в процессе фауногенеза.

Наибольшее сходство наблюдается между фаунистическими комплексами степей и песков (коэффициент 0,2889). Это представляется вполне естественным в силу сходства природных условий данных ландшафтов. Фауна коротко-



**Коэффициент сходства (Жаккара) фауны коротконадкрылых жуков
основных ландшафтов Нижнего Поволжья**

Местообитание	Пойменные леса	Байрачные леса	Лугово-болотные комплексы	Прибрежные комплексы	Солончаки	Степи	Пески
Пойменные леса	1	0,2174	0,1379	0,0621	0,0694	0,1239	0,0984
Байрачные леса	0,2174	1	0,0556	0,0250	0,0374	0,1259	0,0412
Лугово-болотные комплексы	0,1379	0,0556	1	0,2800	0,2250	0,1654	0,1892
Прибрежные комплексы	0,0621	0,0250	0,2800	1	0,1888	0,0680	0,0526
Солончаки	0,0694	0,0374	0,2250	0,1888	1	0,0678	0,0645
Степи	0,1239	0,1259	0,1654	0,0680	0,0678	1	0,2889
Пески	0,0984	0,0412	0,1892	0,0526	0,0645	0,2889	1



Дендрограмма сходства фауны коротконадкрылых жуков основных ландшафтов Нижнего Поволжья



надкрылых жуков и типичных степей, и песков составлена либо копрофильными видами, связанными с пастбищами, либо специализированными нидиколами, живущими в норах грызунов, либо экологически пластичными видами, живущими в зональном аридном ландшафте лишь в подходящих для них микростациях (понижения, западины с растительными остатками и т.п.). Следует отметить, что основное различие между данными экологическими группировками заключается в отсутствии на песках большинства видов последней из указанных выше групп, проникающих в степные ландшафты. Это, вероятно, связано с большим разнообразием микростаций в типичных степях по сравнению со песками, имеющими более сглаженный рельеф и разреженный растительный покров. Собственно видов, напрямую связанных с эдафическими условиями песков, в ходе нашего явления не выявлено. Специфическими для песков были лишь *Leptacinus (s.str.) astrakhanicus* Grebennikov, 2001, собранный единожды в коровьем навозе, и *Dexiogyia corticina* (Erichson, 1839) – подкорный вид, также собранный единственный раз на стволе сосны в посадках на песках. Литературные сведения о специфических видах, связанных непосредственно с песками, также отсутствуют.

Таким образом, можно заключить, что фауна коротконадкрылых жуков песчаных ландшафтов Нижнего Поволжья представляет лишь наиболее бедный разнообразием, экстремальный вариант зональной степной фауны. В добавление к вышесказанному следует отметить, что полупустынный ландшафт в данной работе рассматривается как ландшафт южных степей. Фауна ландшафта пустынь, расположенных на крайнем юге Нижнего Поволжья, не рассматривается отдельно по причине относительно слабой ее изученности. В целом же население коротконадкрылых жуков зональных аридных ландшафтов наиболее бедно специфическими элементами. Относительное видовое богатство степного комплекса (88 видов) достигается за счет эвритопных видов, способных найти здесь подходящие (часто временные) местообитания. Это выражается и в коэффициентах сходства фаун ландшафтов: степной ландшафт имеет относительно высокое (более 0,1) сходство с большинством других типов ландшафтов, что говорит о сборном характере его фауны.

Также большое сходство (коэффициент 0,28) наблюдается между населением коротконадкрылых жуков лугово-болотных ландшафтов и берегов водоемов. Данное сходство объясняется

большим числом экологически пластичных видов, населяющих все микростации с высоким увлажнением. Вместе с тем, для берегов водоемов характерно наличие большого и специфического для данного типа ландшафта комплекса почвенных альгодетритофагов и миксофагов (роды *Carpelimus* Leach, 1819, *Thinobius* Kiesenwetter, 1844, *Bledius* Leach, 1819), почти не встречающихся в лугово-болотных ландшафтах. Кроме того, ряд других видов (прежде всего рода *Stenus* Latreille, 1797) также встречается лишь близ уреза воды на открытых берегах. Небольшая, но крайне своеобразная группа литоральных видов – обитатели берегов родниковых рек и ручьев Приволжской возвышенности. Будучи связанными с особыми условиями микростаций (стабильный холодный и сильно увлажненный микроклимат), эти виды представляют собой наиболее яркий пример гляциальных реликтов в фауне Нижнего Поволжья. С другой стороны, фауна лугово-болотных ландшафтов также составлена отчасти специфическими видами, характерными лишь для нее. Это прежде всего другие виды упомянутого рода *Stenus*, а также *Paederus* Fabricius, 1775. Указанные виды – активные дневные хищники, населяющие травянистую растительность на заболоченных участках. Своеобразные особенности морфологии (расширенные и опушенные лапки ног и др.) позволяют данным видам активно перемещаться непосредственно по растениям. Таким образом, имея естественное сходство за счет экологически пластичных почвенно-подстилочных видов, лугово-болотные и прибрежные комплексы коротконадкрылых жуков, вместе с тем, обладают значительной спецификой за счет высокоспециализированных видов, связанных непосредственно с особенностями соответствующих ландшафтов. Кроме того, фауна прибрежных местообитаний может варьировать в зависимости от микроклиматических и почвенных условий, однако в целом литоральные виды составляют естественный, ясно отличающийся экологический комплекс.

Особое место в населении коротконадкрылых жуков Нижнего Поволжья занимают обитатели солончаков. Состав данной группы имеет высокое сходство как с фауной лугово-болотных ландшафтов, так и с берегами водоемов (коэффициент сходства 0,225 и 0,1888 соответственно), будучи резко отличен от других ландшафтов (коэффициент менее 0,07). Это сходство, как и в предыдущем случае, объясняется наличием почвенно-подстилочных видов с крайне широкой экологической валентностью, способных выжить в том числе в местах с экстремальной засоленно-



стью почвенного субстрата. Однако значительная специфика комплекса коротконадкрылых жуков солончаков (около трети их видового состава не встречаются ни в одном из других ландшафтов), таксономическая обособленность специфических солончаковых видов и особенности их распространения, которые будут отмечены ниже, позволяют рассматривать данную экологическую группировку как естественно сложившийся отдельный экологический комплекс.

Высокий коэффициент сходства (0,2174) имеет население байрачных и пойменных лесов Нижнего Поволжья. Это связано с наличием как пластичных видов, населяющих оба типа ландшафта и иные стадии, так и подстилочных видов с менее широкой экологией, не выходящих за пределы лесных массивов. Также общим для обоих ландшафтов является комплекс мицетобионтных видов, развивающихся на свежих плодовых телах грибов и не встречающихся в Нижнем Поволжье в открытых ландшафтах. Спецификой населения коротконадкрылых жуков байрачно-лесного комплекса является реликтовый комплекс видов в целом более северного распространения, в Нижнем Поволжье способных обитать лишь в данном ландшафте (и даже в его пределах населяющих обычно лишь немногие местообитания в случае каждого из видов). При отсутствии таких видов комплекс пойменных лесов отличается более выраженным сходством с таковым лугово-болотного ландшафта (коэффициент 0,1379 при 0,025 в случае байрачных лесов). Очевидной причиной данной особенности является особый режим пойменных лесов, ежегодно затопляемых паводками, и их территориальное размещение в едином природном комплексе с водно-болотными территориями пойм.

Таким образом, население коротконадкрылых жуков Нижнего Поволжья может быть разделено на три основных естественных ландшафтных группировки: виды лесных ландшафтов, виды открытых влажных ландшафтов и виды зональных аридных ландшафтов. Каждая из указанных группировок является естественно исторически сложившейся, включает наборы видов, связанных с уникальными для ландшафта микростациями и может быть, в свою очередь, разделена на ряд столь же естественных подгрупп. В случае лесных ландшафтов это население двух типов лесов Нижнего Поволжья – байрачных и пойменных, в случае влажных биотопов – население лугово-болотных ландшафтов, литоральной зоны водоемов и солончаков, в случае аридных ландшафтов – население типичных степей и песков. Две последние из

перечисленных подгрупп имеют наибольшее сходство и могут быть объединены.

Описанное выше разделение, на наш взгляд, имеет исторические причины, связанные с процессом фауногенеза в послеледниковый период. Несомненно, наиболее древняя группа входит в состав населения берегов водоемов. Это небольшая (4–5 видов) группа преимущественно бореомонтанных видов, сохранившихся лишь в нескольких незначительных по площади местообитаниях у выходов холодных грунтовых вод в крупных балках Приволжской возвышенности. Данные виды являются древнейшими гляциальными реликтами в фауне Нижнего Поволжья.

Не столь древний, но безусловно реликтовый характер имеет группа подстилочных видов, специфических для байрачных лесов Нижнего Поволжья. Рассеянность и крайняя ограниченная площадь мест обитания и, зачастую, заметные морфометрические отличия представителей разных популяций в пределах Нижнего Поволжья позволяют утверждать, что данная экологическая группа в регионе является остатком более древнего лесного фаунистического комплекса. Следует отметить, что все эти виды нельзя назвать неморальными в собственном смысле этого слова, так как на основном своем ареале (в пределах лесной зоны) они имеют более широкий экологический спектр. Четкую приуроченность к островным лесным массивам они приобретают лишь в экстремальных для них условиях степной зоны. В отличие от них отдельные европейско-сибирские, в целом характерные для более северных регионов виды, отмечающиеся в поймах крупных рек, могут иметь в Нижнем Поволжье более позднее происхождение. Возможно, их наличие здесь связано с эффектом «пойменного коридора» – распространения за счет особого микроклимата долин крупных рек. В связи с наблюдаемыми историческими изменениями климата, в Нижнем Поволжье выражающимися прежде всего с аридизацией природно-климатических условий, возможно сокращение распространения и численности указанных выше элементов фауны. Это неизбежно приведет к фаунистическому обеднению и снижению своеобразия населения коротконадкрылых жуков соответствующих ландшафтов.

Основная масса околородных, почвенно-подстилочных и других видов коротконадкрылых жуков, известных в Нижнем Поволжье, широко распространена либо во всей Палеарктике, либо в западной ее половине. Эти виды по большей части отличаются широкой экологической валентностью, населяют более или менее широкий



спектр местообитаний и ландшафтов, в значительной степени определяя видимое сходство экологических комплексов.

Западнопалеарктические виды (европейско-средиземноморские, средиземноморско-понтийские и т.д.), очевидно, заселяли территорию региона, распространяясь из древнесредиземноморской области. Иные виды могли быть вселенцами из Восточной Палеарктики. Примечательно, что ряд восточнопалеарктических видов коротконадкрылых жуков получил распространение в Европе в целом и в Нижнем Поволжье на протяжении последнего столетия: *Oxytelus migrator* Fauvel, 1904, *Lithocharis nigriceps* (Kraatz, 1859), *Philonthus spinipes* Sharp, 1874, и, возможно, некоторые другие. Эти преимущественно эвритопные либо копрофильные виды, безусловно, оказали некоторое (хотя и не значительное в силу их небольшого числа) влияние на экологическую структуру фауны. Таким образом, мы можем утверждать, что процесс формирования фауны коротконадкрылых жуков Нижнего Поволжья и ее экологической структуры продолжается и может приобрести новые черты под влиянием глобальных изменений климата. В первую очередь это относится к комплексу, рассмотренному ниже.

Очевидно, наиболее поздним комплексом видов коротконадкрылых жуков, заселивших территорию Нижнего Поволжья, являются виды туранского происхождения. Эти виды в основном имеют четкую биотопическую и ландшафтную приуроченность. Наиболее значительная их часть – обитатели солончаков юга Нижнего Поволжья. Именно эти виды, основной ареал которых связан с Центральной Азией, придают специфику фауне коротконадкрылых жуков ландшафта солончаков, рассмотренную выше. Кроме того, часть туранских видов коротконадкрылых жуков в фауне Нижнего Поволжья являются нидиколами, связанными с норами и гнездами грызунов. Следует отметить, что доля туранских по происхождению видов в юго-восточной части региона, вероятно, выше известной сейчас и по мере дополнительного изучения фауны возрастет за счет скрытно живущих почвенных, норных и иных форм. Кроме того, наблюдаемая в данный исторический период аридизация климата региона, вероятно, приведет к увеличению доли и разнообразия видов центрально-азиатского происхождения. Данная тенденция также может усилить специфику фауны коротконадкрылых жуков ландшафтных комплексов (солончаков, пустынь, песков) южной части Нижнего Поволжья.

Таким образом, специфика ландшафтных комплексов коротконадкрылых жуков Нижнего

Поволжья является исторически обусловленной. Каждый из рассматриваемых нами типов ландшафтов имеет в составе своего населения своеобразные зоогеографические комплексы определенного исторического происхождения. Вместе с тем, каждый из ландшафтных комплексов имеет в целом смешанное происхождение относительно фауногенеза, объединяя в себе виды с различной исторической судьбой.

Выводы

Анализ ландшафтного распределения фауны коротконадкрылых жуков Нижнего Поволжья, проведенный с учетом их приуроченности к местообитаниям и особенностей географического распространения, позволяет выделить их основные естественные исторически сложившиеся экологические группировки. Математические показатели сходства и различия отдельных ландшафтных групп имеют исторические и эволюционные причины. Почти все из рассмотренных экологических групп содержат уникальные наборы видов, связанных с особенностями ландшафтов. Имеющиеся данные о составе и структуре фауны позволяют рассматривать ландшафтные группировки как динамическую структуру, подверженную изменениям в связи с изменениями климата и природных комплексов, а также предвидеть возможные пути данных изменений.

Список литературы

1. Гусаров В. И. Новые и малоизвестные палеарктические стафилиниды (Coleoptera, Staphylinidae) // Энтомологическое обозрение. 1992. Т. 71 (4). С. 775–788.
2. Кириенблат Я. Д. Жуки стафилиниды из нор грызунов на юго-востоке РСФСР // Вестн. микробиологии, эпидемиологии и паразитологии. Саратов, 1936. Т. 15, вып. 2. С. 249–253.
3. Кириенблат Я. Д. Жуки-стафилины в гнездах *Citellus pygmaeus* Pall. // Вестн. микробиологии, эпидемиологии и паразитологии. Саратов, 1937. Т. 16, вып. 1–2. С. 227–242.
4. Becker A. Verzeichniss der um Sarepta vorcommenden Kaefer // Bull. Soc. Nat. Mosc. 1861. Т. 34, 1. P. 305–330.
5. Benick L. Ueber die Variabilitaet der Fuhler- und Beinfarbung einer neuen Art - *Stenus* (Hemistenus) *wuestoffi* - aus Suedrusland // Col. Rdsch. 1941. Bd. 27. S. 133–137.
6. Solsky S. M. Coleopteres de la Russie orientale // Bull. Nat. Mosc. 1869. Т. 42. 461 p.
7. Гильденков А. Ю., Хачиков Э. А. Материалы к фауне *Oxytelinae* (Coleoptera : Staphylinidae) Нижнего Дона и Северного Кавказа // Чтения памяти В. В. Стачинского. Смоленск, 2000. С. 48–52.
8. Гребенников К. А. Новые виды стафилинид (Coleoptera, Staphylinidae) с Нижнего Поволжья // Энтомологическое обозрение. 2001. Т. 80 (2). С. 443–448.



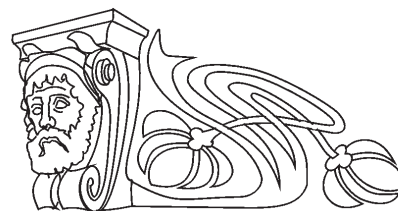
9. Гребенников К. А. Фауна и экологические особенности коротконадкрылых жуков (Coleoptera, Staphylinidae) Нижнего Поволжья. Подсемейство Staphylininae // Энтомологическое обозрение. 2001. Т. 80 (3). С. 603–610.
10. Хачиков Э. А. Материалы к фауне жуков (Coleoptera) Нижнего Дона и Северного Кавказа. Жуки-стафилины (Staphylinidae). Ч. I. Триба Staphylinini. Ростов н/Д, 1997. 27 с.
11. Хачиков Э. А. Материалы к фауне жуков (Coleoptera) Нижнего Дона и Северного Кавказа. Жуки-стафилины (Staphylinidae). Ч. II. Ростов н/Д, 1998. 50 с.
12. Гребенников К. А. Фауна и экологические особенности коротконадкрылых жуков (Coleoptera, Staphylinidae) Нижнего Поволжья // Биоразнообразие насекомых юго-востока Европейской части России. Волгоград, 2002. С. 52–92.

УДК 574.2

НОВЫЕ ДЛЯ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ АССОЦИАЦИИ ГАЛОФИТНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

О. Н. Давиденко

Саратовский государственный университет
E-mail: biosovet@sgu.ru



В статье приводятся данные о составе и структуре девяти новых для Саратовской области ассоциаций галофитной растительности. Дана характеристика ценопопуляций редких видов растений, отмеченных в составе сообществ. Три из изученных сообществ рекомендованы к охране на региональном уровне.

Ключевые слова: галофитная растительность, Саратовская область.

New Associations of Halophytic Vegetation in Saratov Region

O. N. Davidenko

The article is devoted to data of the composition and structure of nine new for Saratov region associations of halophytic vegetation. The cenopopulation characteristic of rare plant species identified in the communities are given. Three of the studied communities are recommended for protection at the regional level.

Key words: halophytic vegetation, Saratov region.

Введение

На территории Саратовской области достаточно широко распространены засоленные почвы со специфической галофитной растительностью, особенно на территории Заволжья. Галофитная растительность наряду со степной изучалась в 1960-е гг. геоботаниками в составе комплексной экспедиции Саратовского университета. А. О. Тарасовым [1–3] дана характеристика ассоциаций, в том числе и галофитной растительности, приведена классификация растительности степей в зависимости от гранулометрического состава почвы и степени ее засоления. Растительность солонцов и солончаков области была предметом детальных исследований С. И. Гребенюк, опубликовавшей ряд обобщающих статей по растительности засоленных почв региона [4–6].

Кроме того, сведения о галофитной растительности области с позиций эколого-флористического подхода имеются в работах Т. М. Лысенко [7, 8]. Но в настоящий момент говорить о выявлении полного синтаксономического разнообразия галофитной растительности Саратовской области еще рано.

Цель исследования

Цель данной работы – характеристика новых для Саратовской области ассоциаций галофитной растительности, выявленных в 2012–2013 гг. в ходе комплексного исследования растительного покрова саратовского Заволжья.

Методы исследования

При отнесении ассоциации к новой для области проводили анализ литературных данных по галофитной растительности на основании публикаций С. И. Гребенюк, А. О. Тарасова и опубликованных ранее данных собственных исследований [9, 10]. Описание сообществ выполнено по стандартной методике [11, 12], при названии ассоциаций использовали доминантно-детерминантный подход. При характеристике видовой структуры сообществ использовали индекс Шеннона [13]. Названия почв даны в соответствии с Классификацией и диагностикой почв СССР [14]. При характеристике редких видов растений в составе изученных сообществ их категория и статус приведены в соответствии с Красной книгой Саратовской области [15]. Все данные по структуре ценопопуляций редких видов растений внесены в региональную электронную базу данных [16]. Названия видов растений даны по сводке С. К. Черепанова [17].

**Результаты исследования и их обсуждение**

Анализ литературных данных показал, что растительные сообщества с доминированием и содоминированием солянки лиственничной (*Salsola laricina*) и курчавки кустарниковой

(*Atraphaxis frutescens*) на засоленных почвах ранее для территории Саратовской области не указывались. Ниже приведена характеристика этих новых ассоциаций. Обобщенные сведения по ассоциациям даны в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика изученных ассоциаций

Ассоциация	Максимальное число видов в сообществе	Общее проективное покрытие, %	Индекс Шеннона
<i>Salsola laricina</i>	13	40–50	2,29–2,36
<i>Salsola laricina</i> + <i>Artemisia pauciflora</i>	7	50–60	1,99–2,23
<i>Salsola laricina</i> + <i>Artemisia santonica</i> + <i>Kochia prostrata</i>	11	40–50	2,54–2,64
<i>Salsola laricina</i> – <i>Festuca valesiaca</i> – <i>Artemisia austriaca</i>	15	45–50	2,28–2,32
<i>Salsola laricina</i> – <i>Poa crispa</i>	7	40–45	1,70–1,89
<i>Tanacetum achilleifolium</i> + <i>Salsola laricina</i>	10	35–45	2,09–2,54
<i>Salsola laricina</i> + <i>Atraphaxis frutescens</i>	10	50–55	2,23–2,48
<i>Atraphaxis frutescens</i>	8	40–50	1,32–1,83
<i>Atraphaxis frutescens</i> + <i>Artemisia pauciflora</i>	10	55–60	1,67–2,03

Акц. *Salsola laricina*

Сообщества акц. *Salsola laricina* были отмечены в Федоровском, Питерском и Новоузенском районах на солонцах автоморфных и светлокаштановых солонцеватых почвах. В этих фитоценозах абсолютно доминирует *Salsola laricina*, остальные виды играют роль второстепенных с проективным покрытием не более 5%. В составе сообществ обычны полукустарнички *Artemisia lerchiana*, *A. pauciflora*, злаки – *Agropyron desertorum*, *Festuca valesiaca*, *Poa crispa*. Травостой разреженный, общее проективное покрытие не более 50%. Индекс Шеннона для сообществ данной ассоциации составляет 2,29–2,36.

Акц. *Salsola laricina* + *Artemisia pauciflora*

Сообщества данной ассоциации достаточно широко распространены в Новоузенском районе, занимают солонцы автоморфные и полугидроморфные. Видовой состав – до 7 видов растений. Кроме доминанта солянки лиственничной в сообществах ассоциации постоянным содоминантом является полукустарничек полынь черная. Обычными видами сообщества, отмеченными с проективным покрытием не более 3%, являются полукустарнички *Artemisia santonica* и *Kochia prostrata*. Из однолетников наиболее характерны *Petrosimonia triandra* и *Bassia sedoides*. Общее проективное покрытие – до 60%. Индекс Шеннона лежит в пределах 1,99–2,23. Так же, как и в предыдущем варианте, сказывается роль пастбищной нагрузки.

Акц. *Salsola laricina* + *Artemisia santonica* + *Kochia prostrata*

Фитоценозы, принадлежащие к данной ассоциации, были описаны в Федоровском районе в окрестностях с. Пензенка и с. Тамбовка в составе комплексной растительности на солонцах полугидроморфных. В составе сообществ 8–11 видов. Помимо трех видов, давших название ассоциации, обычными видами являются полукустарнички *Artemisia lerchiana*, *A. pauciflora*, *A. austriaca*. Из однолетников наиболее обильна *Petrosimonia triandra*, из эфемероидов – *Poa crispa*. Общее проективное покрытие – до 50%. Индекс Шеннона 2,54–2,64.

Акц. *Salsola laricina* – *Festuca valesiaca* – *Artemisia austriaca*

Сообщества данной ассоциации были описаны на солонцах автоморфных в Федоровском и Новоузенском районах. Все описанные фитоценозы названной ассоциации испытывают на себе воздействие выпаса скота. Доминирует в сообществе солянка лиственничная, содоминантами являются типчак и полынок. В составе сообществ 10–15 видов растений. Обычными видами сообществ данной ассоциации являются также полукустарничек *Kochia prostrata* и однолетники *Bassia sedoides* и *Eremopyrum triticeum*. Травостой негустой: значения общего проективного покрытия лежат в пределах 40–50%. Индекс Шеннона не превышает 2,32 единицы.



Асс. *Salsola laricina* – *Poa crispa*

Фитоценозы с доминированием *Salsola laricina* и содоминированием *Poa crispa* также нередко встречаются на территории Федоровского и Питерского районов. По видовому составу и разнообразию это наиболее бедные сообщества: до 7 видов растений. Помимо доминантов отмечены полукустарнички *Artemisia lerchiana* и *Kochia prostrata* и однолетники (*Eremopyrum triticeum*, *Polygonum salsugineum*). Общее проективное покрытие 40–45%. Индекс Шеннона для сообществ этой ассоциации составляет 1,70–1,89. Такая простая структура сообщества связана со значительным пастбищным прессом.

Асс. *Tanacetum achilleifolium* + *Salsola laricina*

Сообщества данной ассоциации были отмечены в Федоровском районе. Они не занимают больших площадей, встречаются вдоль дорог на солонцах автоморфных. В составе сообществ до 10 видов растений. В сообществах этой ассоциации доминирует *Tanacetum achilleifolium*, а *Salsola laricina* выступает в роли содоминанта. В числе сопутствующих видов полукустарнички (*Artemisia pauciflora*, *A. lerchiana*), злаки (*Agropyron desertorum*, *Leymus ramosus*), однолетники (*Polygonum salsugineum*, *Bassia sedoides* и др.). Общее проективное покрытие 35–45%. Индекс Шеннона является одним из наиболее высоких в ряду изученных фитоценозов и составляет 2,29–2,54.

Асс. *Salsola laricina* + *Atraphaxis frutescens*

Фитоценозы ассоциации *Salsola laricina* + *Atraphaxis frutescens* были описаны в Новоузенском районе в окрестностях пруда Андреевский. Сообщества занимают небольшие площади на солонцах полугидроморфных в сочетании с листовичносолянковыми, чернополынными и мятликовыми фитоценозами. В сообществах

насчитывается 7–10 видов. Обычными видами сообществ данной ассоциации, кроме солянки и курчавки являются полукустарнички *Artemisia pauciflora* и *A. lerchiana* и злаки *Agropyron desertorum*, *Festuca valesiaca*. Общее проективное покрытие – до 55%. Индекс Шеннона для сообществ ассоциации *Salsola laricina* + *Atraphaxis frutescens* составил 2,23–2,48.

Асс. *Atraphaxis frutescens*

Сообщества этой ассоциации описаны там же, где и сообщества предыдущей на светлокаштановой солонцеватой почве. По видовому составу они очень схожи, однако по распределению проективных покрытий видов фитоценозы ассоциации *Atraphaxis frutescens* являются наиболее специфичными из всех описанных, о чем свидетельствуют значения индекса Шеннона (1,32–1,83). Общее проективное покрытие – не более 60%.

Асс. *Atraphaxis frutescens* + *Artemisia pauciflora*

Фитоценозы ассоциации *Atraphaxis frutescens* + *Artemisia pauciflora* были описаны в Новоузенском районе в окрестностях пруда Андреевский и пруда Новиковский на солонцах полугидроморфных. В сообществах ассоциации до 10 видов. Помимо доминирующих видов с обилием не более 5% встречаются полукустарничек *Kochia prostrata* и злак *Agropyron desertorum*. Травостой достаточно густой – общее до 60%. Значения индекса Шеннона – 1,67–2,03.

В составе изученных фитоценозов было отмечено четыре вида растений, занесенных в Красную книгу Саратовской области (2006): *Atraphaxis frutescens*, *Chartolepis intermedia*, *Parmelia vagans*, *Tulipa gesneriana*. Один вид – *Tulipa gesneriana* – охраняется и на федеральном уровне. Характеристика ценопопуляций этих видов приведена в табл. 2.

Таблица 2

Характеристика ценопопуляций редких видов растений, отмеченных в составе изученных сообществ

Вид	Категория и статус	Приуроченность к сообществам	Численность особей в ценопопуляциях	Состояние ценопопуляций	Форма антропогенного воздействия
<i>Atraphaxis frutescens</i>	3 (R) – редкий вид	<i>Salsola laricina</i> + <i>Atraphaxis frutescens</i> , <i>Atraphaxis frutescens</i> , <i>Atraphaxis frutescens</i> + <i>Artemisia pauciflora</i>	30–100	Прогрессирующее	Выпас скота
<i>Chartolepis intermedia</i>	3 (R) – редкий вид	<i>Salsola laricina</i> + <i>Atraphaxis frutescens</i>	Единичные особи	Неопределенное	Выпас скота
<i>Parmelia vagans</i>	2 (V) – уязвимый вид	<i>Salsola laricina</i>	Десятки особей	Стабильное	Выпас скота
<i>Tulipa gesneriana</i>	1 (E) – вид, находящийся под угрозой исчезновения	<i>Salsola laricina</i> , <i>Salsola laricina</i> – <i>Poa crispa</i>	30–70	Стабильное	Выпас скота



Выводы

Таким образом, полученные данные расширяют представления о синтаксономическом разнообразии галофитной растительности Саратовской области. Приведенные сведения о структуре ценопопуляций редких видов растений могут быть использованы при работе над третьим изданием Красной книги Саратовской области. На основании проведенных исследований считаем возможным рекомендовать три из изученных сообществ к охране на региональном уровне: фитоценозы асс. *Salsola laricina* + *Atraphaxis frutescens*, асс. *Atraphaxis frutescens* и асс. *Atraphaxis frutescens* + *Artemisia pauciflora*.

Список литературы

1. Тарасов А. О. Растительность, зоны, геоботанические районы // Вопросы биогеографии Среднего и Нижнего Поволжья. Саратов, 1968. С. 7–56.
2. Тарасов А. О. Чернополыньники южного Заволжья // Вопросы ботаники Юго-Востока. Вып. 2. Саратов, 1976. С. 100–107.
3. Тарасов А. О. Основные географические закономерности растительного покрова Саратовской области. Саратов, 1977. 21 с.
4. Гребенюк С. И. Растительность солонцов саратовского Заволжья // Бюл. бот. сада Саратов. ун-та. 2003. Вып. 2. С. 67–74.
5. Гребенюк С. И. Растительность солончаков Саратовской области // Бюл. Бот. сада Саратов. ун-та. 2005. Вып. 4. С. 66–84.
6. Гребенюк С. И. Растительность засоленных почв // Биоразнообразие и охрана природы в Саратов. обл. : эколого-просветительская серия для населения : в 4 кн. Кн. 3. Растительность. Саратов, 2011. С. 60–79.
7. Лысенко Т. М. Галофитная растительность Саратовского Заволжья // Актуальные проблемы геоботаники : материалы III Всерос. школы-конф. : в 2 ч. Ч. 2. Петрозаводск, 2007. С. 3–6.
8. Лысенко Т. М. Галофитная растительность Среднего Поволжья // Поволж. экол. журн. 2005. № 3. С. 214–217.
9. Давиденко О. Н., Невский С. А. Особенности современной структуры и динамики степной и галофитной растительности Саратовского Заволжья // Живые и биокосные системы. 2013. № 3. URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-3/article-17>
10. Давиденко О. Н., Невский С. А., Гребенюк С. И. и др. Современное состояние растительного покрова и перспективы сохранения фиторазнообразия саратовского Заволжья. Саратов, 2013. 148 с.
11. Давиденко Т. Н., Невский С. А., Торгашкова О. Н., Давиденко О. Н. Ботанико-экологический практикум : методы сбора и анализа данных. Саратов, 2011. 67 с.
12. Тарасов А. О., Гребенюк С. И. Методы изучения растительности : полевая практика по экологической ботанике. Саратов, 1981. С. 65–85.
13. Мэгарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М., 1992. 184 с.
14. Классификация и диагностика почв СССР. М., 1977. 221 с.
15. Красная книга Саратовской области. Грибы. Лишайники. Растения. Животные. Саратов, 2006. 528 с.
16. Давиденко О. Н., Невский С. А., Давиденко Т. Н. Региональная интегрированная база данных как основа мониторинга и сохранения редких и исчезающих видов растений Саратовской области // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2011. Т. 11, вып. 1. С. 43–47.
17. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.

УДК 574.3

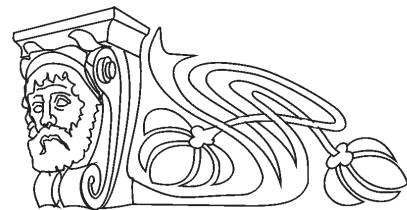
О НЕОБХОДИМОСТИ ПРИДАНИЯ ПРИРОДООХРАННОГО СТАТУСА УРОЧИЩУ «ДАЛЬНЕЕ» САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

С. А. Невский

Саратовский государственный университет
E-mail: biosovet@sgu.ru

В статье обосновывается необходимость придания статуса комплексного памятника природы урочищу «Дальнее». Приводятся данные о разнообразии растительности данного природного объекта и редких видах растений.

Ключевые слова: урочище «Дальнее», охрана природы, редкие виды растений, Саратовская область.



About Necessity of Conferment Conservation Status to the Natural Boundary «Dalnee»

S. A. Nevskiy

In the article the necessity of conferment nature conservation status to the natural boundary «Dalnee» is grounded. The



data about vegetation biodiversity and rare plants species are performed.

Key words: natural boundary «Dalnee», nature conservation, rare plants species, Saratov province.

Введение

Урочище «Дальнее» расположено в Красноармейском районе Саратовской области в 6,5 км юго-западнее с. Некрасово. Данная статья является обобщением исследований по характеристике растительного покрова урочища «Дальнее» [1–5], интерес к которому в последнее время обусловлен нахождением там целого ряда редких видов растений, в том числе смолевки меловой (*Silene cretacea*), указания на произрастание которой в Саратовской области отсутствовали более 150 лет.

Цель работы

Целью данной работы является обоснование необходимости придания природоохранного статуса урочищу «Дальнее» как уникальному для Саратовской области природному объекту, отражающему специфику степных ландшафтов с выходами меловых обнажений.

Методы исследования

В ходе комплексных исследований 2009–2013 гг. была изучена растительность урочища, дана характеристика основных подтипов почв, выявлены характерные ассоциации растительности. Исследования сообществ с участием редких видов растений и структуры их ценопопуляций проводились по общепринятым методикам [6, 7]. Для каждого вида указывается его статус в соответствии с Красной книгой Саратовской области [8], для видов, охраняемых на федеральном уровне – соответствующий статус по Красной книге России [9]. Впервые для указанной территории приводятся данные по структуре и состоянию ценопопуляций и краткая характеристика фитоценоза, в котором отмечен редкий вид. Полученные данные могут служить основой мониторинга состояния растительного покрова урочища «Дальнее» и использоваться при ведении Красной книги Саратовской области.

Разнообразие растительности урочища «Дальнее» оценивали, учитывая три составляющих: состояние фитоценозов, структурное разнообразие, природоохранный статус. Первая составляющая характеризует степень сохранности среды, вторая – структуру местообитаний, третья – показывает целесообразность введения специальных мер охраны.

За основу была взята методика оценки биоценотического потенциала лесного биогеоценоза [10] с изменениями [11, 12], с учетом специфики степной растительности. Индекс состояния растительности оценивался исходя из доли площадей разной степени фитоценотической сформированности в пределах изученного участка по формуле

$$I_s = \sum Q_i f_i,$$

где Q_i – доля суммы площадей с разным уровнем нарушенности от общей площади участка, %; f_i – коэффициенты нарушенности.

Индекс структурного разнообразия рассчитывали по формуле Бриллюэна [13], в которую вместо численных оценок видов и особей подставляли результаты балльной оценки выраженности отдельных структурных параметров степной растительности:

$$H_{str} = -\frac{1}{M} \ln \frac{m_1! m_2! m_3! \dots m_i!}{M!},$$

где m_i – значение i -го элемента структурного разнообразия в баллах; M – суммарная оценка в баллах по всем структурным элементам сообщества.

Общий коэффициент природоохранной значимости вычислялся по формуле

$$R = r_1^i + r_2^i + r_3^i + r_4^i,$$

где r_1, r_2, r_3, r_4 – соответствующие коэффициенты значимости по категориям статуса видов в соответствии с Красной книгой Саратовской области [8]; i – число обнаруженных редких видов по категориям статуса [6].

Показатель обобщенного биоценотического потенциала вычислялся по формуле

$$I_p = I_s \cdot I_{str} \cdot R,$$

где I_s – индекс состояния фитоценоза; I_{str} – индекс структурного разнообразия сообщества; R – коэффициент природоохранной значимости.

Результаты и их обсуждение

Изученный участок представляет собой сложный комплекс местообитаний, отличающихся, прежде всего, по орографическим и эдафическим параметрам. Характерны длинные пологие склоны со смытыми почвами, короткие крутые склоны с протопочвами и обнажениями мела, понижения с намывными почвами и более или менее выровненные участки с почвами зонального ряда. Большая часть территории занята вполне сформированными степными сообществами тырсовой (*Stipa capillata*), типчаковой (*Festuca valesiaca*) и береговокошаровой (*Bromopsis riparia*) формаций, в которых хорошо



представлено разнотравье: грудница мохнатая (*Galatella villosa*), жабрица извилистая (*Seseli tortuosum*), качим высокий (*Gypsophila altissima*), репешок обыкновенный (*Agrimonia eupatoria*) и др. Полукустарнички представлены полынью австрийской (*Artemisia austriaca*), прутняком простертым (*Kochia prostrata*). Флористическое богатство составляет 35–50 видов, общее проективное покрытие 50–80%. Местами встречаются участки типчаково-грудницевого сообщества, в которых видовое богатство ниже (до 30 видов) и общее проективное покрытие не превышает 50%. В целом в настоящее время в этом урочище на структуру растительности не наблюдается воздействия каких-либо антропогенных факторов (выпас скота, сенокошение, рекреация).

Наиболее специфична растительность меловых обнажений. На изученном участке меловые обнажения представляют собой серию участков площадью в несколько сотен квадратных метров, приуроченных к верхним и средним частям склонов юго-восточной экспозиции. Растительность меловых обнажений по видовому составу и структуре резко отличается от окружающей степной. Из общих видов можно отметить ковыль волосатик, овсяницу валисскую, полынь австрийскую, качим высокий, головчатку уральскую (*Cephalaria uralensis*) и некоторые другие, но на меловых обнажениях они встречаются с небольшим обилием и преимущественно на границе со степной растительностью. Видовое богатство сообществ на мелах 15–25 видов, общее проективное покрытие 5–30%.

За период исследования с 2009 по 2013 гг. на территории урочища «Дальнее» было отмечено 25 редких охраняемых видов растений, внесенных в Красную книгу Саратовской области (2006). Из них два вида с категорией и статусом 1 (E) – виды, находящиеся под угрозой исчезновения, 16 видов со статусом 2 (V) – уязвимые виды и 6 видов со статусом 3 (R) – редкие виды.

СТАТУС И КАТЕГОРИЯ 1 (E) – ВИДЫ, НАХОДЯЩИЕСЯ ПОД УГРОЗОЙ ИСЧЕЗНОВЕНИЯ

Смолевка меловая – *Silene cretacea* Fisch. ex Spreng.

Вид внесен в Красную книгу России (2008) с категорией и статусом 3в – редкий вид с узкой экологической амплитудой.

На территории урочища «Дальнее» отмечено три ценопопуляции (ЦП) данного вида на меловых обнажениях.

Смолевка меловая рекомендована к внесению в третье издание Красной книги Саратовской

области со статусом и категорией 1 (E) – виды, находящиеся под угрозой исчезновения [5].

Мытник вздуточашечный – *Pedicularis phytocalyx* Bunge.

Было отмечено несколько особей данного вида в средней части склона юго-западной экспозиции в составе типчаково-тырсового фитоценоза.

Тюльпан Геснера – *Tulipa gesneriana* L.

Внесен в Красную книгу России (2008) с категорией и статусом 2 а, б – вид, сокращающийся в численности. На территории урочища в 2010 г. было отмечено несколько одиночных особей данного вида в составе типчакового фитоценоза. Состояние ЦП оценивается как неопределенное.

СТАТУС И КАТЕГОРИЯ 2 (V) – УЯЗВИМЫЕ ВИДЫ

Левкой душистый – *Matthiola fragrans* Bunge.

Внесен в Красную книгу России (2008) со статусом 3б – редкий вид. На территории урочища зафиксировано семь ЦП на обнажениях мела.

2. Полынь солянковидная – *Artemisia salsooides* Willd.

Вид внесен в Красную книгу России (2008) со статусом 3б – редкий вид. Ценопопуляции этого вида были отмечены на всех меловых обнажениях в пределах урочища.

3. Тимьян клоповый – *Thymus cimicinus* Blum ex Ledeb.

Внесен в Красную книгу России (2008) со статусом 3 а – редкий вид. Данный вид был отмечен на всех обследованных обнажениях мела. Ценопопуляции занимают преимущественно верхние части склонов, образуя густые заросли.

4. Бурачок извилистый – *Alyssum tortuosum* Waldst. et Kit. ex Willd.

На территории урочища отмечено несколько небольших ЦП данного вида, приуроченных к верхним частям склонов с меловыми обнажениями.

5. Брандушка разноцветная – *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng.

В Красной книге РФ (2008) вид указан со статусом 2а – сокращающийся в численности в результате разрушения местообитаний.

На территории урочища описано две крупные ЦП брандушки разноцветной.

6. Прострел раскрытый – *Pulsatilla patens* (L.) Mill.

Ценопопуляции данного вида приурочены в основном к типчаковым, типчаково-тырсовым, тырсовым и разнотравно-тырсовым фитоценозам



в нижних частях склонов и пониженных выположенных участках.

7. Адонис весенний – *Adonis vernalis* L. и 8. Адонис волжский – *Adonis wolgensis* Stev.

Ценопопуляции данных видов широко распространены на территории всего урочища. Были описаны в сообществах типчаковой, тырсовой, пырейной и вейниковой формаций.

9. Рябчик русский – *Fritillaria ruthenica* Wikstr.

Внесен в Красную книгу России (2008) со статусом 3б – редкий вид. На территории урочища ЦП данного вида встречаются нередко, но все они имеют небольшую численность и характеризуются низкими значениями плотности особей.

10. Ветреница лесная – *Anemone sylvestris* L.

Ценопопуляции данного вида отмечаются на территории урочища «Дальнее» в нескольких точках. Самые крупные – в средней части северо-восточного склона в составе типчаково-пырейного и разнотравно-типчакового сообществ.

11. Горечавка перекрестнолистная – *Gentiana cruciata* L.

Единичные особи данного вида были отмечены в 2009 г. в верхней части северо-западного склона в составе разнотравно-грудницево-типчакового фитоценоза. Все отмеченные особи находились в фазе цветения и характеризовались высокими показателями жизнеспособности.

12. Ирис низкий – *Iris pumila* L.

Внесен в Красную книгу России (2008) со статусом 3б – редкий вид. Широко распространенный на территории урочища вид, ЦП которого встречаются практически во всех степных сообществах на разных элементах рельефа.

13. Эфедра двуколосковая – *Ephedra distachya* L.

Данный вид отмечен как на меловых обнажениях, так и в составе сформированных степных сообществ на карбонатной почве.

14. Астрагал пушистоцветковый – *Astragalus dasyanthus* Pall.

Ценопопуляции астрагала пушистоцветкового на территории урочища нередко встречаются в верхних и средних частях световых склонов в составе сообществ тырсовой и типчаковой формаций.

15. Астрагал Цингера – *Astragalus zingeri* Korsh.

Внесен в Красную книгу России со статусом 2а – вид, сокращающийся в численности. На территории урочища вид отмечен в верхних и нижних частях юго-восточных склонов на обнажениях мела.

16. Смолевка Гельманна – *Silene helmannii* Claus.

Внесен в Красную книгу России (2008) со статусом 3д – редкий вид. Небольшая ЦП данного вида отмечена в составе тырсового фитоценоза на юго-западном склоне балки.

СТАТУС И КАТЕГОРИЯ 3 (R) – РЕДКИЕ ВИДЫ

1. Иссоп меловой – *Hyssopus cretaceus* Dubjan.

Внесен в Красную книгу России (2008) со статусом 3в – редкий вид, имеющий узкую экологическую приуроченность. На изученной территории отмечено 15 ЦП, приуроченных к меловым обнажениям склонов юго-восточной экспозиции.

Копеечник крупноцветковый – *Hedysarum grandiflorum* Pall.

Внесен в Красную книгу России со статусом 3в – редкий вид.

На территории урочища отмечено 11 крупных ЦП.

3. Риндера четырехщитковая – *Rindera tetraspis* Pall.

В ходе исследований было изучено четыре ценопопуляции *Rindera tetraspis* в составе степных сообществ на дерновых степных супесчаных и дерновых степных карбонатных почвах.

4. Фиалка сомнительная – *Viola ambigua* Waldst. et Kit.

Несколько некрупных ЦП данного вида были отмечены в нижних частях световых склонов на меловых обнажениях. Численность ЦП – несколько десятков особей, состояние стабильное.

5. Льянка неполная – *Linaria incompleta* Kuprian.

Некрупные ценопопуляции данного вида отмечены в средних и нижних частях южных и юго-западных склонов в составе сообществ типчаковой, мохнатогрудницевой и тырсовой формаций.

6. Василек русский – *Centaurea ruthenica* Lam.

Несколько некрупных ЦП данного вида было отмечено в составе типчаковых фитоценозов в верхних выположенных частях световых склонов.

* * *

Исследование растительного покрова урочища «Дальнее» продолжается. Вероятно, список приуроченных к этой территории редких видов растений будет пополняться в связи с детальным изучением новых местообитаний данной территории.



На основании количественной оценки параметров степных сообществ Урочища «Дальнее» проведены расчеты состояния растительности, структурной сложности сообществ и их при-

родоохранного статуса (таблица). Первые два показателя оценивались для каждой группы фитоценозов с последующим усреднением, а последний – для всего участка в целом.

Количественные значения параметров растительности урочища «Дальнее»

Параметр	Значение параметра	Балльная оценка/коэффициент пересчета
Состояние сообществ		
Доля лишенных растительности участков, %	3	0,2
Доля участков средней фитоценогической сформированности, %	10	0,7
Доля участков высокой фитоценогической сформированности, %	87	1
Структурные параметры		
Число видов	более 20	2
Наличие степного войлока	местами нет	2
Общее проективное покрытие, %	30–60	2
Количество вертикальных ярусов	2	2
Природоохранная значимость		
Число видов, находящихся под угрозой исчезновения	2	2,0
Число уязвимых видов	16	1,8
Число редких видов	6	1,6
Число видов с неопределенным статусом	0	1,4

Оценка растительного покрова территории с определением степени фитоценогической сформированности показала, что индекс состояния территории оценивается в 94,6%, что связано с наличием лишь локальных участков, полностью лишенных растительности. Большая же часть территории занята сформированными степными сообществами.

Индекс структурного разнообразия сообществ по усредненным данным для изученной территории составляет 0,98 (при теоретически возможных значениях индекса от 0 до 1), т. е. достигает достаточно больших значений. Это связано с тем, что, несмотря на наличие отдельных участков простой структурной организации (выходы мела с кальцефильной растительностью), большая часть урочища занята ненарушенными степными сообществами с четкой горизонтальной и вертикальной структурированностью и богатым видовым составом.

Индекс природоохранной значимости местообитания составил 12164 единицы, что соответствует очень высокому уровню. Такое высокое значение индекса обусловлено наличием на территории урочища сразу 25 видов растений, охраняемых на региональном и федеральном уровнях [8–9]. Обобщенный индекс биоценогического

потенциала для изученного участка составил 92,7 R (при максимально возможном значении, исходя из принятой нами шкалы оценок в 100 R). В структуре сети ООПТ Саратовской области [14] больше нет ни одного степного памятника природы со столь высокими показателями структурированности и насыщенности редкими видами.

Выводы

На основании проведенных исследований считаем необходимым рекомендовать урочище «Дальнее» к охране на региональном уровне в статусе памятника природы. Основанием для подобных рекомендаций являются следующие положения:

1) уникальность ландшафтов урочища обусловлена его расположением в сети балок со сложным рельефом, к определенным элементам которого приурочена специфическая степная и петрофитная растительность;

2) композиционное, структурное и функциональное разнообразие растительности урочища очень широко, при этом степень сохранности природных комплексов характеризуется как высокая, т.е. большая часть территории занята естественными малонарушенными степными и кальцефитными фитоценозами;



3) на данный момент на обследованной территории отмечено 25 видов растений, занесенных в Красную книгу Саратовской области [8];

Придание урочищу «Дальнее» статуса комплексного памятника природы (ландшафтного, ботанического) расширит сеть охраняемых объектов Саратовской области, призванных сохранить биоразнообразие региона на видовом, фитоценоотическом и ландшафтном уровнях.

Список литературы

1. Давиденко О. Н., Невский С. А., Давиденко Т. Н. Биоценоотический потенциал урочища «Дальнее» // Науч. тр. национального парка «Хвалынский». Вып. 1. Саратов ; Хвалынский, 2009. С. 118–122.
2. Давиденко О. Н., Невский С. А. Разнообразие растительности урочища «Дальнее» Саратовской области // Принципы и способы сохранения биоразнообразия : материалы IV Всерос. конф. с междунар. участием. 22–26 сентября 2010 г. Йошкар-Ола, 2010. С. 107–110.
3. Гребенюк С. И., Давиденко О. Н., Невский С. А., Архипова Е. А. Характеристика сообществ с участием *Rindera tetraspis* Pall. на территории урочища «Дальнее» // Бюл. Бот. сада Сарат. ун-та. 2010. Вып. 9. С. 44–50.
4. Давиденко О. Н., Невский С. А., Гребенюк С. И. Характеристика ценопопуляций риндеры четырехщитковой на территории урочища «Дальнее» Саратовской области // Науч. тр. нац. парка «Хвалынский». Саратов ; Хвалынский, 2010. Вып. 2. С. 91–95.
5. Давиденко О. Н., Невский С. А., Березуцкий М. А., Архипова Е. А. Эколого-фитоценоотическая характеристика местообитаний и структура ценопопуляций смолевки меловой (*Silene cretacea* Fisch. ex Spreng.) в Саратовской области // Изв. Сам. НЦ РАН. 2011. Т. 13, № 1. С. 74–78.
6. Давиденко Т. Н., Невский С. А., Торгашкова О. Н., Давиденко О. Н. Ботанико-экологический практикум : методы сбора и анализа данных. Саратов, 2011. 67 с.
7. Юнатов А. А. Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей // Полевая геоботаника. М. ; Л., 1964. Т. 3. С. 9–36.
8. Красная книга Саратовской области. Грибы. Лишайники. Растения. Животные. Саратов, 2006. 528 с.
9. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / гл. ред. Ю. П. Трутнев и др.; сост. Р. В. Камелин и др. М., 2008. 855 с.
10. Беднова О. В. Мониторинг биоразнообразия лесных и урбо-экосистем // Мониторинг состояния лесных и городских экосистем / под ред. В. С. Шалаева, Е. Г. Мозолева. М., 2004. С. 39–51.
11. Давиденко О. Н., Невский С. А., Давиденко Т. Н. Биоценоотический потенциал растительности памятника природы «Участок степи у с. Лопуховка» Саратовской области // Вестн. КрасГАУ. 2011. № 12. С. 93–96.
12. Давиденко О. Н., Невский С. А., Давиденко Т. Н. Биоценоотический потенциал растительности памятника природы «Урочище Синяя гора» Саратовской области // Науч. тр. нац. парка «Хвалынский». Саратов ; Хвалынский, 2012. Вып. 4. С. 26–29.
13. Мэггаран Э. Экологическое разнообразие и его измерение. М., 1992. 184 с.
14. Особо охраняемые природные территории Саратовской области. Саратов, 2008. 300 с.

УДК 591.5(470.44)

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ БИОРАЗНООБРАЗИЯ ЖИВОТНОГО МИРА САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

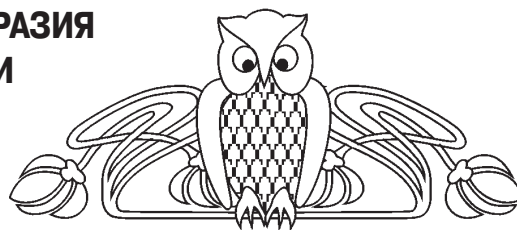
Г. В. Шляхтин, В. В. Аникин, А. В. Беляченко,
Е. Ю. Мосолова, В. Г. Табачишин¹

Саратовский государственный университет

E-mail: biofac@sgu.ru

¹Саратовский филиал Института проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН

E-mail: tabachishinvg@sevin.ru



Представлены материалы по изучению биологического разнообразия беспозвоночных и позвоночных животных природных комплексов Саратовской области за длительный период изучения (с середины XX в.) и сделан обобщенный анализ современного состояния биологического разнообразия региона. В различных экосистемах и биотопах области зарегистрировано

12512 видов беспозвоночных, среди которых наиболее многочисленной группой являются Насекомые (около 12000 видов), Паукообразные (свыше 300), Ракообразные (около 100). Позвоночные представлены 551 видом: Круглоротые и Костные рыбы – 70, Амфибии – 11, Рептилии – 11, Птицы – 337, Млекопитающие – 84 вида. Приводятся также данные о современной численности



и биотопической приуроченности некоторых фоновых и редких видов. Особое внимание уделено сохранению редких и исчезающих видов животных, а также видов, находящихся в угнетенном состоянии. Анализируются факторы, от которых зависит сокращение или увеличение видового разнообразия животных региона и причины динамики видового состава отдельных групп животных.

Ключевые слова: биоразнообразие, фауна, беспозвоночные, рыбы, амфибии, рептилии, птицы, млекопитающие, экосистемы.

Current Status of the Animal World Biodiversity in the Saratov Region

G. V. Shlyakhtin, V. V. Anikin, A. V. Belyachenko, E. Yu. Mosolova, V. G. Tabachishin

Materials on the study of the biological diversity of invertebrate and vertebrate animals in natural complexes of the Saratov region over a long period of survey (since the mid-twentieth century) are presented and a general analysis of the current status of the biological diversity in the region is made. In various ecosystems and habitats of the region, 12512 invertebrate species have been recorded, among which most numerous groups are insects (about 1200 species), spiders (over 300 species), and crustaceans (about 100 species). The vertebrates are presented by 551 species, namely: cyclostomes and bony fishes (68), amphibians (11), reptiles (11), birds (337), and mammals (84 species). Data on the current abundance and biotopical correspondence of some background and rare species are also presented. Particular attention is paid to the conservation of rare and endangered animal species, and the species in a depressed state. The factors which govern the reduction or increase of the animal species diversity in the region and the causes of the species composition dynamics of individual animal groups are analyzed.

Key words: biodiversity, fauna, invertebrates, fish, amphibian, reptile, bird, mammal, ecosystem.

Биоразнообразие является одним из важнейших факторов, влияющих на функционирование экосистем, включая природные комплексы Саратовской области. Исчезновение любого вида может привести к невозможной утрате его функциональной и информационной роли в биологическом круговороте веществ в биосфере – основы жизни на нашей планете. Сокращение биоразнообразия отрицательно сказывается на структуре и функциональных связях экосистем, приводит к их изменению и даже разрушению. Анализ биоразнообразия опирается на инвентаризацию организмов (видов) конкретной территории. В современных условиях происходит самое значительное за последние 65 млн лет исчезновение видов растений и животных, наблюдается деградация и исчезновение многих экологически важных для человечества экосистем [1]. Теоретически рассчитанная скорость исчезновения видов может составлять 4 вида в год [2]. Однако сегодня эта скорость превышает естественный ход эволюции в среднем в 5000 раз [1]. Если средняя продолжительность

существования вида составляет около 4 млн. лет, то половина наземных видов, а их по оценкам разных специалистов в настоящее время на земле существует около 10 млн. видов, может исчезнуть через ближайшие 50 лет [3]. Прямое и косвенное воздействие человека на фауну привело к исчезновению многих видов животных. По вине человека, по данным ЮНЕСКО, за минувшие 400 лет вымерло 130 видов млекопитающих и птиц, из которых 76 – после Первой мировой войны; 550 видов находятся на грани истребления. До 1800 г. по вине человека исчезло 33 вида млекопитающих и 30 видов птиц. С 1801 по 1850 гг. исчезло соответственно 2 и 20 видов, с 1851 по 1900 гг. – 31 и 50, с 1901 по 1950 г. – 40 и 150, с 1951 по 2000 г. – 55 и 110 видов.

В настоящее время на фоне глобального естественного изменения климата и различных природных катаклизмов (извержение вулканов, наводнений, землетрясений, засух и т.п.) усиливается возрастающее, как правило, негативное воздействие многочисленных антропогенных факторов (пожары, аварии на техногенных объектах и железнодорожных и морских путях, атомных электростанциях, масштабные взрывы горюче-смазочных материалов, новые высокотоксичные примеси в выбросах промышленных предприятий, неочищенные сточные воды, террористические диверсии и т.п.) на биоразнообразии природных экосистем. В процессе усиления антропогенного пресса люди осознают связь между состоянием природных экосистем и условиями своей жизни. Это в решающей степени привело к формированию концепции биологического разнообразия. Эта идея была закреплена в Концепции о биологическом разнообразии (1992) и в ряде других международных документах (Рамсарская конвенция, Конвенция о сохранении всемирного культурного и природного наследия, Бернская конвенция, Боннская конвенция, Паневропейская экологическая сеть, Хельсинская конвенция, Афро-Евразийское соглашение об охране путей мигрирующих птиц и др.).

Сокращение биологического разнообразия природных экосистем, превышающее некоторое пороговое значение неизбежно влечет окружающую среду к потере ее устойчивости (принцип Ле Шателье). Одной из главных причин сокращения биологического разнообразия земли является антропогенное и/или естественное разрушение природных экосистем. Общеизвестно, что высокое биоразнообразие присуще мало нарушенным природным экосистемам. Это означает, что снижение биоразнообразия тем сильнее, чем дальше экосистема отдалается от естественного состо-



яния в результате хозяйственной деятельности и нерационального использования природных ресурсов. Например, в саратовском Заволжье, по самым приблизительным оценкам, осталось не более 8–10% нетронутых природных участков, расположенных в балках, оврагах и других непригодных для хозяйственной деятельности территориях. Распаханные же в прошлом столетии целинные участки степей и многие заброшенные в современное время, зарастают рудеральной и сорной растительностью, представленной небольшим числом видов. Вследствие этого в этих местах снижается и видовое разнообразие животных.

Животный и растительный мир севера Нижнего Поволжья богат и разнообразен. Высокое биологическое разнообразие флоры и фауны объясняется физико-географическим положением региона. Многообразие природных условий связано с большой протяженностью территории с запада на восток и с севера на юг, что определяет совместное распространение растений и животных с разными требованиями к среде обитания и порождает смешанный состав растительного и животного мира.

Особенно остро на рубеже веков стоит проблема сохранения редких и исчезающих видов растений и животных. С этой целью издаются различного уровня Красные (зеленые и черные) книги. Первое издание региональной Красной книги Саратовской области было осуществлено в 1996 г. [4]. В нем было приведено описание 155 видов животных (2 вида пиявок, 3 – ракообразных, 72 – насекомых, 1 – миног, 5 – костных рыб, 5 – рептилий, 49 – птиц, 20 видов и подвигов млекопитающих). Во 2-е издание Красной книги Саратовской области (2006) [5] включено 235 видов животных (пиявок – 1, ракообразных – 12, паукообразных – 3, насекомых – 100, миног – 2, костных рыб – 15, рептилий – 7, птиц – 73, млекопитающих – 22).

Большое внимание в современных условиях также должно быть уделено видам, которые вошли в Приложение 3 Красной книги Саратовской области (2006) [5] – «Аннотированный перечень таксонов и популяций, нуждающихся в особом внимании к их состоянию в природной среде». Это таксоны и популяции, сведения о распространении и численности которых, свидетельствуют, что в настоящее время ещё отсутствует необходимость принятия срочных мер по их охране и воспроизводству на государственном (областном) уровне, т.е. включения в Красную книгу Саратовской области. Но в условиях резких локальных и планетарных отклонений температур

и нарастающей антропогенной трансформации природных комплексов они могут оказаться особенно уязвимыми. В Аннотированный перечень животных включено 97 видов, из которых 23 вида беспозвоночных (Ракообразных – 3, Насекомых – 20) и 74 вида позвоночных (Костных рыб – 8, Земноводных – 9, Рептилий – 4, Птиц – 37, Млекопитающих – 14) животных.

Следует обратить внимание и на Приложением 1 – «Аннотированный перечень таксонов и популяций, исключённых из региональной Красной книги». В него вошли таксоны и популяции, данные о восстановлении численности и (или) ареала которых свидетельствуют об отсутствии необходимости принятия срочных мер по их охране и воспроизводству. Отрадно отметить, что в настоящий список включено несколько видов птиц (лебедь-шипун – *Cygnus olor*, пастушок – *Rallus aquaticus*, обыкновенный сверчок – *Locustella noevia*, черноголовая гаичка – *Parus palustris*) и млекопитающих (нетопырь-карлик – *Pipistrellus pipistrellus*, вечерница малая – *Nuctalus leisleri*, кожан поздний – *Eptesicus sarotinus*, горноста́й – *Mustela erminea*, ласка – *Mustela nivalis*, барсук – *Meles meles*), численность которых за последнее десятилетие возросла и опасения за их исчезновение в настоящее время отсутствуют.

ОБЗОР СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ БИОРАЗНООБРАЗИЯ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ И ПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ

Беспозвоночные. В настоящее время тип Членистоногие включает 14 классов животных, но на территории области обитают представители 11 классов: Ракообразные – Crustacea (100 видов), Паукообразные – Araneiodes (около 300), Двупарноногие – Diplopoda (20), Губоногие – Chilopoda (30), Двухвостки – Diplura (5), Пауроподы – Pauropodiodes (4), Бессяжковые – Protura (15), Симфилы – Symphyla (12), Ногохвостки – Collembola (20), Щетинкохвостки – Thysanura (6), Насекомые – Insecta (около 12000).

На рубеже веков произошли ощутимые изменения по многим показателям биоразнообразия фауны беспозвоночных животных на территории большей части ландшафтов Саратовской области. С одной стороны сказался эффект экономического упадка многих сельскохозяйственных предприятий вплоть до полного прекращения возделывания полей, покосов, снижение выпаса скота и т.п., что привело к естественному восстановлению многих лесостепных и степных ландшафтов как в Правобережье, так и в Левобережье. В последнее десятилетие начинают



проявляться последствия смены экономического курса в России в 90-х гг. XX столетия. В полосе типичных, сухих и опустыненных степей сыртовой равнины Заволжья и Прикаспийской низменности имеет место увеличение вегетационного индекса (NDVI), отражающего фитомассу и продуктивность степных фитоценозов. В настоящее время на территории степей Волго-Уральского междуречья произошло сокращение антропогенных нагрузок на экосистемы и около 33 % пашни перешло в залежи, а поголовье скота сократилось так, что пастбищная нагрузка, рассчитанная с использованием официальных данных, составила 0.7 условной головы овец на 1 га пастбищ. Описанные явления совпали с внутривековым гумидным циклом и началом многовекового процесса той же направленности. В связи с изменением климата и хозяйственной деятельности изменяется и природная обстановка: началась быстрая мезофитизация растительности на залежах и пастбищах. В результате этого в степи происходит расселение на юго-восток мезофильных видов беспозвоночных животных и сокращение численности ксерофильных видов со смещением к юго-востоку северных границ их ареалов.

Антропогенная нагрузка на степные экосистемы Волго-Уральского междуречья в течение последнего столетия колебалась в связи с природными и социально-экономическими причинами. Процессы опустынивания, характерные для рассматриваемой территории до 70–80-х гг. XX столетия, в последние два десятилетия сменились мезофитизацией и мезофилизацией степных экосистем. Данное явление, с одной стороны, обусловлено увлажнением климата и увеличением влагообеспеченности растений, а с другой – уменьшением антропогенных нагрузок на степные ландшафты. Соответственно стали «возвращаться» и многие степные и лугово-степные редкие виды беспозвоночных или заметно возросла численность их популяций. Произшедшие климатические сдвиги в Поволжском регионе привели к изменению временных сроков весенних, летних и осенних фенофаз развития растительности и трофически связанных с ней многих групп беспозвоночных. Для отдельных элементов фауны области произошли заметные качественные и количественные перестройки, появились виды из соседних и дальних регионов расширяющие свои северные или южные границы ареалов.

Тем не менее определенные группы беспозвоночных – клещи, насекомые, наземные моллюски имеют локальные популяции, которые

приурочены к действию определенных абиотических факторов, что и приводит к изоляции таких популяций и очень сильно влияет на колебание численности этих групп беспозвоночных животных. В настоящее время изоляционными факторами на территории области являются – р. Волга (как естественная преграда), выходы мела на поверхность (меловые степи), антропогенная изоляция (облесение степных участков, распашка степей, поднятие грунтовых вод в Левобережье приводит к засолению степных ландшафтов, формированию деградированных степных участков), приводящая к появлению современных степных реликтов. Отражением таких изоляционных процессов является наличие узко локальных фаунистических комплексов в районе исследований.

Мозаичность и разнородность экологических условий в Поволжье также является одной из причин симпатрического видообразования на данной территории. Регион сочетает в себе целый ряд ландшафтов: «горные» массивы Правобережья вдоль Волги (от Самарской области до севера Волгоградской области), эрозионно-денудационные равнины и террасы, надпойменные террасы, выровненные поймы, овражно-балочные массивы, плакорные участки равнины, не закрепленные пески, солончаки и т.д. Все это в совокупности с почвенно-геологическими условиями создает большое число биотопов, отличающихся друг от друга набором экологических параметров, что способствует топической изоляции локальных популяций, а в целом обуславливает высокие показатели биоразнообразия и одновременно отличие фаунистических комплексов в одной ландшафтной зоогеографической зоне на территории Саратовской области.

Следует отметить, что увеличение количества видов беспозвоночных также связано с возросшей степенью изученности ряда групп беспозвоночных учеными Саратовского государственного университета за последние десятилетия [6–15]. Белые пятна по распространению ряда видов по области и численности их популяций стали отражаться в трудах коллектива авторов кафедры морфологии и экологии животных СГУ.

Круглоротые и костные рыбы. В многочисленных водоемах Саратовской области в настоящее время встречается 70 видов Круглоротых и Костных рыб [4, 5, 16]. Круглоротые – единственный современный класс бесчелюстных. Это очень древняя (известны с силура) группа позвоночных животных. В области обитает два вида миног – каспийская и украинская, занесенные в Красную книгу области. Костные рыбы фауны Саратовской области относятся к



11 отрядам: Осетрообразных, Сельдеобразных, Лососеобразных, Щукообразных, Угреобразных, Карпообразных, Сомообразных, Колюшкообразных, Трескообразных, Окунеобразных и Скорпенообразных. Наиболее богаты в видовом отношении отряды Карпообразных и Окунеобразных, насчитывающие в своем составе 35 и 11 представителей соответственно. На долю осетрообразных и ососеобразных в фауне региона приходится 6 и 5 видов соответственно, тогда как другие отряды представлены лишь 1–3 видами.

Ихтиофауне региона представлена тремя экологическими группами рыб – проходными, полупроходными и местными или туводными, которые составляют три четверти общего числа видов. Современный видовой состав рыб водоемов Саратовской области претерпел существенные изменения в результате зарегулирования стока р. Волги и созданием каскада водохранилищ, а в ряде случаев – с сильным промышленным загрязнением водоемов. В связи с изменениями гидрологического и гидрохимического режимов основных водотоков области произошли количественные и качественные преобразования их биоценозов, выразившиеся в сокращении и даже полном исчезновении многих видов рыб, обеднении состава гидробионтов, представляющих кормовую базу для рыб. Одновременно с этим фауна рыб региона заметно обогащается за счет искусственных вселенцев и самоакклиматизантов [17]. Из бассейна р. Амур интродуцированы четыре вида растительноядных рыб – белый (*Hypophthalmichthys molitrix*) и пестрый толстолобик (*Aristichthys nobilis*), чёрный (*Mylopharyngodon piceus*) и белый амуры (*Ctenopharyngodon idella*). В качестве самостоятельных вселенцев из северных водоемов проникли европейская корюшка (*Osmerus eperlanus*), европейская ряпушка (*Coregonus albula*) и пелядь (*Coregonus peled*). Но эти рыбы не способны к естественному воспроизводству в наших водоемах. Из рыб случайными «пришельцами» в волжские водохранилища являются понто-каспийские бычки, пуголовки, черноморская игла (*Syngnathus nigrolineatus*), головешка-ротан (*Percottus glenii*) и др. [16]. Не исключено, что кроме них в Волгоградском водохранилище возможно наличие и других вселенцев, но из-за малой численности они пока не обнаружены.

Земноводные, или амфибии, являются самой немногочисленной в видовом отношении группой позвоночных животных Саратовской области. Если мировая фауна амфибий включает около 5000 видов, то фауна региона представлена лишь 11 видами [10, 18, 19]. В области

обитают представители 2-х отрядов: Хвостатых (Caudata) и Бесхвостых (Anura) амфибий. Отряд Хвостатых амфибий представлен 2-мя видами – обыкновенным (*Lissotriton vulgaris*) и гребенчатым (*Triturus cristatus*) тритонами; отряд Бесхвостых включает 9 видов (краснобрюхая жерлянка (*Bombina bombina*), обыкновенная чесночница (*Pelobates fuscus*), зеленая жаба (*Bufo viridis*), серая жаба (*B. bufo*), озерная лягушка (***Pelophylax ridibundus***), прудовая лягушка (*R. lessonae*), съедобная лягушка (*R. esculenta*), остромордая лягушка (*R. arvalis*), травяная лягушка (*R. temporaria*). По типу биотопической приуроченности земноводные области образуют две экологические группировки. Гигрофильная представлена 4 видами (обыкновенным и гребенчатым тритонами, озерной лягушкой и краснобрюхой жерлянкой). Эти виды обитают не только в естественных водоемах, но приспособились к жизни в искусственных водных экосистемах, где могут достигать высокой численности. Мезофильная группировка характеризуется значительным видовым богатством. Эти виды населяют различные естественные и искусственные биотопы. Современная численность 4-х видов (озерная лягушка, зеленая жаба, краснобрюхая жерлянка, чесночница) амфибий относительно высокая, а остальные являются обычными или редкими.

Пресмыкающиеся, или рептилии. В Саратовской области встречаются 1 вид черепах, 4 – ящериц и 6 – змей [10, 18–20]. По типу биотопической приуроченности пресмыкающиеся фауны Саратовской области образуют хорошо выраженные экологические группировки. Гигрофильная связана с околководным местообитанием. Некоторые из них (болотная черепаха – *Emus orbicularis*, обыкновенный уж – *Natrix natrix*) приспособились к обитанию даже в экосистемах искусственных водоемов, главным образом каналов ирригационной системы и прудов рыбхозов, где сейчас достигли высокой численности. Ксерофильная представлена типичными степными и полупустынными видами зонального типа (разноцветная ящурка – *Eremias arguta*, узорчатый полоз – *Elaphe dione*, восточная степная гадюка – *Vipera repardi*). Мезофильная группировка приурочена к лесным местообитаниям. Ее основу составляют виды, связанные с широколиственными и лесостепными формациями (живородящая ящерица – *Zootosa vivipara*, веретеница ломкая – *Anguis fragilis*, обыкновенная медянка – *Coronella austriaca*, гадюка Никольского – *Vipera nikolskii*). Обитание гадюки Никольского связано с интразональными ландшафтами саратовско-



го Правобережья (поймами рек Волги, Хопра, Медведицы и их притоков), а разноцветной ящурки – с участками закрепленных и полужакопленных песков [21–23]. Из 11 видов рептилий области 2 вида (прыткая ящерица – *Lacerta agilis* и обыкновенный уж) относительно многочисленны, 2 вида обычные (болотная черепаха, узорчатый полоз), остальные – редкие.

Птицы. С конца XIX в. имеется несколько обобщающих орнитологических сводок. Наиболее полно авифауна представлена в работах Н.А. Холодковского и А.А. Силантьева [24], И.Б. Волчанецкого [25], И.И. Барабаша и П.Н. Козловского [26, 27], С.Н. Варшавского с соавторами [28], Е.В. Завьялов и др. [29]. Современная ревизия видового состава птиц севера Н. Поволжья позволила установить пребывание на ее территории 337 видов, из которых 202 гнездятся. Размножение еще 14 не подтверждено современными исследованиями, но вполне вероятно. За последние 150 лет из фауны севера Н. Поволжья в силу антропогенных и естественных причин исчезло более 10 видов. В то же время перечень гнездящихся птиц за тот же период пополнился 18 новыми представителями.

Трансформация биогеоценозов Саратовской области под влиянием деятельности человека и флуктуаций климатических показателей стали причиной изменений, происходящих в фауне и населении птиц изучаемого региона. Более половины представителей региональной фауны проявляют позитивные или негативные изменения в своем распространении и численности. Проведенные многолетние исследования динамики орнитофауны, а также опыт подобных работ в других регионах России, позволяют выделить пять основных типов тенденций в динамике орнитонаселения: 1) краткосрочные циклические колебания численности и распространения, не имеющие четкой связи с динамикой климатических показателей (естественные циклические колебания численности); 2) краткосрочные колебания численности и распространения птиц региона, проявляющие достоверную связь с микроклиматическими явлениями; 3) долгосрочные тенденции в трансформации ареалов птиц под воздействием макроклиматических трендов; 4) краткосрочные и долговременные тенденции в динамике распространения вследствие антропогенного воздействия; 5) прогнозируемые и непрогнозируемые массовые инвазии. В отношении каждого из выделенных вариантов динамических явлений и процессов применительно к условиям севера Н. Поволжья известно множество конкретных примеров [30–32].

Результаты учетных работ 2000–2013 гг. позволили уточнить распространение и численность многих гнездящихся видов региона. За последние несколько десятилетий некоторые виды демонстрируют устойчивую склонность к расселению. Например, расширение гнездового ареала наблюдается у индийской камышевки (*Acrocephalus agricola*) [33], северной бормотушки (*Hippolais caligata*), усатой синицы (*Panurus biarmicus*), зеленой пеночки (*Phylloscopus trochiloides*). Среди неворобьиных стремительное расширение гнездовой территории отмечено у большого баклана (*Phalacrocorax carbo*) [34] и сирийского дятла (*Dendrocopos syriacus*) [35]. Среди редких видов расширение ареала и увеличение численности наблюдается у большой белой цапли (*Ardea alba*), ходулочника (*Himantopus himantopus*), среднего дятла (*Dendrocopos medius*) [36]. Вторую группу предположительно расселяющихся, образуют виды, гнездование которых в регионе имеет единичный характер, а проникновение на север Н. Поволжья является весьма активным. К данной категории можно отнести такие виды как белый аист (*Ciconia ciconia*) [37], хохотунья (*Larus cachinnans*) [38], горихвостка-чернушка (*Phoenicurus ochruros*), черноголовый чекан (*Saxicola rubicola*). Причины спонтанного фауногенеза весьма многочисленны, однако в большей степени они имеют естественную природу и не связаны с глобальным антропогенным преобразованием ландшафтов и значимыми климатическими трендами [31].

Активное освоение человеком заволжских степей в XX в. привело к катастрофическому снижению численности и распространения более 40 видов. [31]. В настоящее время значительная часть площадей, занятых ранее под пастбища или возделывание зерновых культур, в саратовском Заволжье выведена из сельскохозяйственного оборота и находится на различных стадиях пастбищной или залежной демультипликативной сукцессии. Однако необходимо отметить, что восстановление степной растительности на обширных территориях зачастую несет негативные последствия, которые наиболее наглядно проявляются в отношении уязвимых видов, обитание которых без умеренного антропогенного воздействия на их местообитание затруднено или совсем невозможно [39]. В частности, зарастание степей высокотравными ковыльниками неизменно приводит к исчезновению сусликов и, в конечном итоге, сокращению числа орлов, курганников и каменок. Прекращение использования под сенокосы и выпас пойменных лугов способствовало их активному зарастанию высокостебельными



видами травянистой растительности и привело к значительному сокращению численности гнездящихся в данных местообитаниях куликов (травника – *Tringa totanus*, поручейника – *Tr. stagnatilis*, большого веретенника – *Limosa limosa*). Запустение бывших пастбищ в Заволжье привело к сокращению численности красавки (*Anthropoides virgo*) [40].

В отношении правобережных районов области необходимо отметить незначительное увеличение численности редких видов хищных птиц: орла-карлика (*Hieraaetus pennatus*), орлана-белохвоста (*Haliaeetus albicilla*), осоеда (*Pernis apivorus*). Вероятно это связано с уменьшением фактора беспокойства и снижением прямого преследования хищников.

Таким образом, при рассмотрении полученных результатов, необходимо учитывать, что они не являются строго постоянными, так как распространение и численность подвержена сильным периодическим колебаниям, обусловленным действием различных факторов. Если рост популяции большинства видов идет относительно медленно, в течение ряда поколений и заметен чаще всего лишь при постоянном длительном мониторинге, то падение численности часто происходит внезапно и иногда очень быстро, в результате каких либо кратковременных неблагоприятных воздействий. Птицы являются одной из самых динамичных групп позвоночных животных, поэтому число их видов на территории области постоянно меняется. С одной стороны, возможно появление на гнездовании новых видов, а с другой вызывает опасение состояние некоторых редких видов, таких, например, как степной орел (*Aquila rapax*), скопа (*Pandion haliaetus*), ситуация в отношении которых без принятия кардинальных мер по их охране может иметь самые негативные последствия.

Млекопитающие. Одна из первых сводок по млекопитающим Саратовской области была опубликована в середине прошлого века [41]. В ней приводятся сведения о распространении в лесостепях, степях и полупустынях нашего региона 65 видов млекопитающих. Второй фаунистический список, касающийся только саратовского Заволжья, был составлен через 18 лет и содержит сведения о 68 видах [42]. В настоящее время в териофауне Н. Поволжья насчитывается 84 вида, относящихся к 6 отрядам (систематика приводится по монографии И. Я. Павлинова [43]: Насекомоядные (Eulipotyphla) – 9 видов, Рукокрылые (Chiroptera) – 14, Зайцеобразные (Lagomorpha) – 3, Грызуны (Rodentia) – 34, Хищные (Carnivora) – 18, Пар-

нокопытные (Artiodactyla) – 6. Увеличение числа видов произошло как в связи с расширением территории изучения млекопитающих региона за последние 60 лет и применением новых методов зоологических и экологических исследований (например, кариологических и молекулярно-генетических в систематике), так и по причинам влияния природных и антропогенных факторов на экологические процессы.

По территории нашего региона млекопитающие распределены неравномерно, что отражает многие структурные особенности ландшафтов, где они обитают. Широко распространенные виды с относительно стабильной численностью (белогрудый еж – *Erinaceus concolor*, обыкновенная полевка – *Microtus arvalis*, малая лесная мышь – *Sylvaemus uralensis*), обыкновенный хомяк – *Cricetus cricetus*, ондатра – *Ondatra zibethicus*, заяц-русак – *Lepus europaeus*, барсук – *Meles meles*, лисица – *Vulpes vulpes*), каменная куница – *Martes foina* и др.) населяют природные биотопы, но сравнительно часто встречаются в агроценозах различного типа, селитебных и иногда даже урбанизированных местообитаниях. Эти территории в Саратовской области абсолютно преобладают по площади, но видовое разнообразие млекопитающих здесь невысокое и составляет 15% всех видов региона.

Широкое распространение имеют лесные виды млекопитающих: мелкие насекомоядные, рыжая вечерница (*Nyctalus noctula*), желтогорлая мышь (*Apodemus flavicollis*), рыжая полевка (*Myodes glareolus*), соня-полчок (*Glis glis*), белка (*Sciurus vulgaris*), лесной хорь (*Mustela putorius*), лесная куница (*Martes martes*), рысь (*Lynx lynx*) и др. В степной териокомплексе входят степной сурок (*Marmota bobak*), малый (*Spermophilus pygmaeus*) и крапчатый суслики (*S. suslicus*), большой тушканчик (*Allactaga major*), ушастый еж (*Hemiechinus auritus*), степная пеструшка (*Lagurus lagurus*), степной хорь (*Mustela eversmanni*), корсак (*Vulpes corsac*), серый хомячок (*Cricetulus migratorius*) и др. Именно с пойменными, овражно-балочными и нагорными лесами, а также степями различных типов, сохранившихся по «неудобьям», и составляющих суммарно 12–13% площади от территории области, связано большинство редких и уязвимых видов млекопитающих (82% видов, занесенных в региональную Красную книгу). За последнее десятилетие возросло значение таких участков, играющих роль резерватов сохранения биоразнообразия; здесь же расположено ряд ООПТ, где обитают многие охраняемые виды [11].



Фауна млекопитающих севера Н. Поволжья формировалась под большим влиянием азиатского и европейского фаунистических комплексов, что нашло отражение в ее современном облике. Процесс стабилизации населения млекопитающих региона в настоящее время продолжается, он достаточно динамичен и обусловлен причинами как природного, так и антропогенного характера. На рубеже веков наиболее заметно негативные последствия деятельности человека проявились на представителях лесного и степного териокомплексов. По разным оценкам, за последние пять лет от 25 до 35% лесов Саратовской области пострадало от аномальной засухи и последующих значительных пожаров, вызванных неосторожным обращением с огнем человека. В некоторых районах была существенно нарушена популяционная структура стено-топных лесных обитателей – лесной куницы, лесного хоря, горностая. В пожарах нередко погибал молодняк сибирской (*Capreolus pygargus*) и охраняемой европейской (*C. capreolus*) косуль, кабана (*Sus scrofa*).

В период масштабной распашки целины в середине прошлого века и по настоящее время продолжается деградация степного териокомплекса. Необратимые изменения ареалов и численности касаются прежде всего степных эндемиков: малой пищухи (*Ochotona pusilla*), перевязки (*Vormela peregusna*), степного хоря [44–46]. Значительное негативное влияние на европейскую косулю, лося (*Ales alces*) и европейскую норку (*Mustela lutreola*) имеют браконьерство и нелегальная спортивная охота.

В нашем регионе встречаются млекопитающие, которые своим появлением или увеличением численности связаны с деятельностью человека. В прошлом в результате акклиматизации наша фауна пополнилась ондатрой, американской норкой (*Neovision vison*), енотовидной собакой (*Nyctereutes procyonoides*), пятнистым (*Cervus nippon*) и благородным (*C. elaphus*) оленями. Современное состояние большинства популяций этих видов стабильное, а американская норка и ондатра в результате широких инвазий расселились практически по всем пригодным водоемам региона. Охранные мероприятия и искусственное подселение привели к увеличению численности локальных популяций степного сурка. За последние шестьдесят лет разрослась крупная голубяшница, пересекающая с севера на юг саратовское Заволжье. Из сопряженных районов Самарской области вдоль нее в степную зону Левобережья проникли многие лесные виды:

желтогорлая мышь – впервые зарегистрированная в 2000 г. [47], рыжая полевка, лесная куница, горностай, сибирская косуля. В последние годы происходит интенсивное заселение мелкими млекопитающими многолетних обширных залежей.

Значимым комплексным фактором, который определяет в настоящее время генезис фауны и заметно изменяет структуру видовой разнообразия млекопитающих, является вековая динамика климата. Опустынивание или остепнение, а затем постепенная мезофитизация обширных территорий много раз сдвигали границы ареалов животных в широтных направлениях. Эти изменения хорошо прослеживаются на флуктуациях численности и ареалов сусликов (малого, крапчатого и рыжеватого) нашего региона [32, 48], а также примерами проникновения из южных регионов страны в Саратовскую область позднего кожана (*Eptesicus serotinus*) и нетопыря Куля (*Pipistrellus kuhlii*), степного кота (*Felis libyca*), шакала (*Canis aureus*), внутривековым расселением к югу соны-полчка [45]. В то же время с севера, из лесной зоны, происходит перемещение на юг рыси, полевки-экономки (*Microtus oeconomus*), рыжей полевки в Заволжье.

В заключение особо следует подчеркнуть, что растения и животные во многих случаях оказываются более чувствительными, чем человек, к техногенным воздействиям. Поэтому для сохранения биологического разнообразия, особенно редких и уязвимых видов, необходимо расширение и эффективное функционирование различного уровня особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и ключевых орнитологических территорий (КОТР). Общая площадь всех категорий ООПТ Саратовской области составляет лишь около 2.5% от площади региона [11]. В настоящее время ООПТ играют роль резерватов – «страховочных полигонов», источников последующего восстановления численности видов, особенно редких и исчезающих. Следовательно, ООПТ – национальные парки, памятники природы, региональные заказники и микрозаказники, ботанические сады и дендрарии, КОТР, различные резерваты и другие формы охраняемых территорий могут обеспечить постоянную или временную (сезонную) охрану видов. На ООПТ и КОТР видам предоставляются «льготные условия», где им обеспечивается надежная охрана от проявления действия различных антропогенных факторов. В современных условиях необходимо отчетливо представлять, что животные, особенно редкие виды, без надежной охраны всегда оказываются в экстремальных ситуациях.



Распространение животных по территории Саратовской области показано на зоогеографических картах в «Учебно-краеведческом атласе Саратовской области» [49].

Список литературы

1. Соколов В. Е., Шатуновский М. И. Можно ли сохранить биоразнообразие? // Вестн. РАН. 1996. № 1. С. 422–424.
2. Рейвен П. Почему это так важно...// Наша планета. 1991. № 11. С. 76–83.
3. Розенберг Г. С., Рянский Ф. Н. Теоретическая и прикладная экология : учеб. пособие. Нижневартовск : Изд-во Нижневарт. пед. ин-та, 2005. 292 с.
4. Красная книга Саратовской области: Растения, грибы, лишайники. Животные. Саратов : Изд-во «Детская книга», 1996. 264 с.
5. Красная книга Саратовской области : Грибы. Лишайники. Растения. Животные /Комитет охраны окружающей среды и природных ресурсов Саратовской области. Саратов : Изд-во Торг.-пром. палаты Саратовской области, 2006. 528 с.
6. Аникин В. В. Чешуекрылые (Lepidoptera) Нижнего Поволжья // Изв. Саратов. гос. университета. Саратов, 2001. Сер. Биол., вып. спец. С. 214–258.
7. Аникин В. В. Редкие и исчезающие виды наземных беспозвоночных Саратовской области // Поволж. экол. журн. Саратов, 2006. Спец. вып. С. 47–56.
8. Аникин В. В. Редкие и исчезающие виды насекомых степных ландшафтов Европы // Биоразнообразие и экологические проблемы сохранения дикой природы : Материалы междунар. науч. конф. молодых ученых, посвящ. 70-летию Национальной Академии наук Армении. Ереван, 2013. С. 21–27.
9. Аникин В. В., Золотухин В. В., Сачков С. А. Предложения к новому списку Красной книги России : степные насекомые Поволжья // Степной бюллетень. 2013. № 37. С. 58–63.
10. Шляхтин Г. В., Завьялов Е. В., Якушев Н. Н., Табачишин В. Г., Аникин В. В., Березуцкий М. А., Кошкин В. А. Биоразнообразие и охрана природы в Саратовской области : эколого-просветительская серия для населения. Кн. I. Позвоночные животные. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2008. 204 с.
11. Шляхтин Г. В., Захаров В. М., Аникин В. В., Беляченко А. В., Березуцкий М. А., Волков Ю. В., Дмитриев С. В., Завьялов Е. В., Кириллова И. М., Костецкий О. В., Кузнецов В. А., Макаров В. З., Мосолова Е. Ю., Табачишин В. Г., Чумаченко А. Н., Филипьев А. О., Хучраев С. О., Якушев Н. Н. Биоразнообразие и охрана природы в Саратовской области : эколого-просветительская серия для населения. Кн. II. Особо охраняемые природные территории – рефугиумы для сохранения биологического разнообразия. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2010. 160 с.
12. Шляхтин Г. В., Аникин В. В., Мосолова Е. Ю. Изменение климата и биоразнообразия животного мира севера Нижнего Поволжья // Вестн. Тамбовского университета. Серия : Естественные и технические науки. 2013. Т. 18, вып. 3. С. 922–927.
13. Сажнев А. С. Распространение жулици рода *Calosoma* в саратовском Правобережье // Поволж. экол. журн. Саратов, 2007. № 4. С. 348–352.
14. Сажнев А. С. История изучения жесткокрылых (Coleoptera) Саратовской области // Естественно-историческое краеведение : прошлое и настоящее : сб. науч. статей и метод. материалов. Саратов, 2009. С. 12–18.
15. Сажнев А. С. Обзор жесткокрылых (Coleoptera) экотонов «вода – суша» Саратовской области // Проблемы изучения краевых структур биотопов : Материалы 3-й Междунар. науч. конф. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2012. С. 194–197.
16. Завьялов Е. В., Ручин А. Б., Шляхтин Г. В., Шашуловский В. А., Сонин К. А., Табачишин В. Г., Малинина Ю. А., Ермолин В. П., Якушев Н. Н., Мосолова Е. Ю. Рыбы севера Нижнего Поволжья. Кн. I. Состав ихтиофауны, методы изучения. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2007. 208 с.
17. Шашуловский В. А., Ермолин В. П. Трансформация структуры ихтиоценоза р. Волги в экосистеме Волгоградского водохранилища // Поволж. экол. журн. 2005. № 2. С. 185–190.
18. Шляхтин Г. В., Голикова В. Л. Методика полевых исследований экологии амфибий и рептилий. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1986. 80 с.
19. Шляхтин Г. В., Табачишин В. Г., Завьялов Е. В., Табачишина И. Е. Животный мир Саратовской области : в 4 кн. Кн. 4. Амфибии и рептилии. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2005. 116 с.
20. Шляхтин Г. В., Табачишин В. Г., Завьялов Е. В., Табачишина И. Е. Редкие и исчезающие виды амфибий и рептилий, рекомендуемые к внесению во второе издание Красной книги Саратовской области // Поволж. экол. журн. 2006. Вып. спец. С. 78–83.
21. Табачишин В. Г., Завьялов Е. В. Распространение и таксономический статус разноцветной ящурки (*Eremias arguta*) в северной части Нижнего Поволжья // Вестн. зоологии. 1998. Т. 34, № 4. С. 51–59.
22. Табачишин В. Г., Завьялов Е. В., Табачишина И. Е. Пространственное размещение разноцветной ящурки – *Eremias arguta* (Pallas, 1773) на севере ареала в Поволжье // Современная герпетология. 2006. Т. 5/6. С. 117–124.
23. Ефимов Р. В., Завьялов Е. В., Табачишин В. Г. Аспекты экологической сегрегации и технология видовой идентификации гадюковых змей (Reptilia: Viperidae, Viperina) в Поволжье на основе генотипирования // Поволж. экол. журн. 2008. № 2. С. 147–153.
24. Холодковский Н. А., Силантьев А. А. Птицы Европы. Практическая орнитология с атласом европейских птиц. СПб., 1901. 632 с.
25. Волчанецкий И. Б. К орнитофауне Волжско-Уральской степи // Тр. НИ Зоолого-биологического ин-та. Сектор экологии. Харьков, 1937. Т. 4. С. 23–78.



26. Барабаш И. И., Козловский П. Н. Материалы по авифауне Нижнего Поволжья // Учен. зап. Саратов. гос. пед. ин-та. Фак. естествознания. 1941. Вып. 7. С. 162–173.
27. Козловский П. Н. К орнитофауне Саратовской области // Учен. зап. Саратов. гос. пед. ин-та. Фак. естествознания. 1949. Вып. 13. С. 55–126.
28. Вариавский С. Н., Тучин А. В., Щепотьев Н. В. Птицы Саратовской области // Орнитофауна Саратовской области (в помощь учителям биологии). Саратов, 1994. С. 14–62.
29. Птицы севера Нижнего Поволжья : в 5 кн. Состав орнитофауны. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2005–2011.
30. Завьялов Е. В., Шляхтин Г. В., Табачишин В. Г., Попов Н. В., Якушев Н. Н., Мосолова Е. Ю. Генезис природных условий и основные направления современной динамики ареалов животных на севере Нижнего Поволжья. Сообщение VII. Динамика распространения птиц под воздействием антропогенных факторов // Поволж. экол. журн. 2004. № 1. С. 20–47.
31. Завьялов Е. В., Шляхтин Г. В., Табачишин В. Г., Якушев Н. Н., Мосолова Е. Ю. Прогностическое моделирование процессов долговременной динамики распространения птиц на севере Нижнего Поволжья. Сообщение I. Ревизия современного состава орнитофауны. Краткие циклические колебания численности // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2009. Т. 9, вып. 1. С. 66–74.
32. Шляхтин Г. В., Захаров В. М., Завьялов Е. В., Беляченко А. В., Дмитриев С. Г., Мосолова Е. Ю., Кузнецов В. А. Влияние изменения климата на биоразнообразии птиц и млекопитающих севера Нижнего Поволжья // Успехи современной биологии. 2011. № 5. С. 453–459.
33. Завьялов Е. В., Табачишин В. Г., Якушев Н. Н., Мосолова Е. Ю. О статусе индийской камышевки *Acrocephalus agricola* в Поволжье // Рус. орнитол. журн. 2003. Т. XII, экспресс-выпуск № 235. С. 990–993.
34. Завьялов Е. В., Мосолова Е. Ю., Табачишин В. Г. Динамика распространения и численность большого баклана (*Phalacrocorax carbo*) в Саратовской области // Рус. орнитол. журн. 2010. Т. 19, экспресс-вып. № 563. С. 639–641.
35. Завьялов Е. В., Табачишин В. Г., Мосолова Е. Ю. Динамика распространения сирийского дятла (*Dendrocopos syriacus*) в Нижнем Поволжье // Вестн. Южн. науч. центра РАН. 2008. Т. 4, № 2. С. 109–112.
36. Завьялов Е. В., Шляхтин Г. В., Мосолова Е. Ю., Табачишин В. Г. Экологические аспекты динамики распространения и численности пестрых дятлов (*Dendrocopos*) на севере Нижнего Поволжья // Изв. Саратов. ун-та. Нов. серия. Сер. Химия. Биология. Экология. 2010. Т. 10, вып. 2. С. 70–77.
37. Аникин В. В., Березуцкий М. А., Завьялов Е. В., Костецкий О. В., Мосолова Е. Ю., Ручин А. Б., Смирнов Д. Г., Табачишин В. Г., Шляхтин Г. В., Якушев Н. Н. Материалы по ведению Красной книги Саратовской области в 2007 году // Вестн. Мордовского ун-та. Сер. Биологические науки. 2008. № 2. С. 4–13.
38. Беляченко А. В., Мосолова Е. Ю., Табачишин В. Г. Распространение и некоторые аспекты экологии хохотуны *Larus cachinnans* в Саратовской области // Рус. орнитол. журн. 2013. Т. 22, № 950. С. 3422–3427.
39. Белик В. П. Масштабные трансформации восточно-европейской авифауны в XX в. и их вероятные причины // Актуальные проблемы изучения и охраны птиц Восточной Европы и Северной Азии : Материалы XI орнитолог. конф. Казань, 2001. С. 75–77.
40. Завьялов Е. В., Табачишин В. Г., Хрустов А. В., Якушев Н. Н. Современное распространение и особенности экологии журавля-красавки в саратовском Заволжье // Беркут. 2003. Т. 12, вып. 1–2. С. 76–82.
41. Елпатьевский В. С., Ларина Н. И., Голикова В. Л. Млекопитающие Саратовской области // Учен. зап. Саратов. ун-та. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1950. Т. XXVI. Вып. Биологический. С. 37–46.
42. Ларина Н. И., Голикова В. Л., Денисов В. П., Девушев Р. А. Видовой состав и распространение млекопитающих // Вопросы биогеографии Среднего и Нижнего Поволжья. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1968. С. 105–132.
43. Павлинов И. Я. Систематика современных млекопитающих. М. : Изд-во МГУ, 2003. 297 с.
44. Ильин В. Ю., Ермаков О. А., Лукьянов С. Б. Новые данные по распространению млекопитающих в Поволжье и Волго-Уральском междуречье // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1996. Т. 101, вып. 2. С. 30–37.
45. Беляченко А. В. Новые данные о распространении некоторых млекопитающих на севере Нижнего Поволжья // Вопр. биологии, экологии, химии и методики обучения. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 2000. Вып. 3. С. 74–76.
46. Рыбакова Н., Майснер Б., Лукьянов С. Б., Ермаков О. А., Тумов С. В. Малая пищуха (*Ochotona pusilla pusilla* Pallas, 1769) как индикатор современного состояния экосистем степного Заволжья // Поволж. экол. журн. 2003. №3. С. 239–250.
47. Беляченко А. В., Сонин К. А. Динамика распространения мелких грызунов по долине р. Большой Иргиз // Водохозяйственный комплекс и экология гидросферы в регионах России : Материалы V Междунар. науч.-практ. конф. Пенза : Изд-во МНИЦ ПГСХА, 2002. С. 26–29.
48. Ермаков О. А. Большой и малый суслики в Поволжье : их распространение и взаимоотношения : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1996. 24 с.
49. 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.

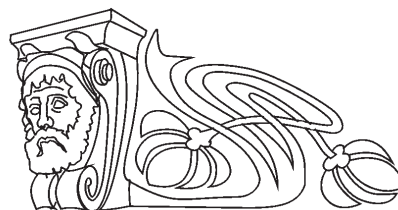


УДК 574.5

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ВОЛГИ В ОКРЕСТНОСТЯХ САРАТОВА

О. Н. Торгашкова, Н. С. Воловик,
А. В. Опарина, Е. С. Левина

Саратовский государственный университет
E-mail: torgashkova88@mail.ru



Проведена оценка степени загрязнения водной среды в нескольких пунктах реки Волги в окрестностях города Саратова методами гидрохимического анализа и фитоиндикации. Определены индексы загрязнения воды и установлены классы качества водной среды.

Ключевые слова: водная среда, качество воды, река Волга, загрязнение, фитоиндикация.

Assessment of the Ecological State of the River Volga in the Vicinity of Saratov

O. N. Torgashkova, N. S. Volovik,
A. V. Oparina, E. S. Levina

The estimation of the degree of water pollution in several points of the Volga River in the vicinity of the city of Saratov hydro-chemical methods of analysis and phytoindication. Indexes defined set of water pollution and water quality classes.

Key words: aquatic environment, water quality, river Volga, pollution, phytoindication.

В настоящее время в условиях интенсивной техногенной нагрузки практически все водные экосистемы претерпели в той или иной степени трансформацию. Вследствие этого особую актуальность приобретает проблема адекватной оценки качества водной среды, без решения которой невозможно эффективно управлять водными экосистемами, которые являются коллекторами всех видов «загрязнения» [1, 2]. Река Волга на своем протяжении несет воды, загрязненные различными веществами, и огромный вклад в ее загрязнение вносит инфраструктура города Саратова. Водохозяйственную обстановку в городе определяет деятельность следующих предприятий: ОАО «Саратовский нефтеперерабатывающий завод», МУПП «Саратовводоканал», ООО «Саратоворгсинтез», ОАО «Саратовский подшипниковый завод», филиалы ОАО «Волжская ТГК» СарГРЭС – ТЭЦ-1, Саратовская ТЭЦ-2. Качество сточных вод, сбрасываемых в водоемы водопользователями, из года в год не улучшается. Лишь единичные предприятия сбрасывают стоки без нарушения установленных нормативов, значительное количество сточных вод продолжает сбрасываться в водоемы без очистки [3]. Антропогенная нагрузка происходит постоянно, а процессы самоочищения реки малозначительны

ввиду того, что загрязнение происходит по всей протяженности реки. Загрязняющие вещества, попадая в природные водоемы, приводят к качественным изменениям воды, которые в основном проявляются в изменении ее физических свойств (например, появление неприятных запахов), а также в изменении химического состава воды, в наличии плавающих веществ на поверхности воды и откладывании их на дне водоемов [4, 5].

Целью настоящей работы являлась оценка степени загрязнения водной среды реки Волги на основе гидрохимических и фитоиндикационных методов. Материалом для данной статьи послужили результаты исследования прибрежно-водной флоры и экологического состояния реки Волги в окрестностях города Саратова. Исследования проводились в 2010–2012 гг. по общепринятым методикам [6,7] в трех пунктах: 1 – выше Саратова в районе с. Пристанное, 2 – рядом с островом Казачий, 3 – ниже Саратова вблизи промышленного комплекса, рядом с железнодорожным мостом.

Для эффективной оценки состояния качества среды использовались не только химические показатели, но и биологические, в связи с тем, что они являются наиболее надежными и объективными, так как состояние биоты определяется качеством среды и четко реагирует на негативные воздействия любого происхождения, независимо от их учета и степени изученности [2]. Они могут быть результатом состоявшегося ранее загрязнения [1], поскольку загрязняющие вещества накапливаются в грунтах и в макрофитах, а их влияние на биоту может быть длительным и постоянным [8].

При оценке состояния водоема проводилась предварительная рекогносцировка местности с целью комплексной характеристики и предварительной оценки экологического состояния водоема [9]. В районе села Пристанное и железнодорожного моста на поверхности воды обнаружена пена и скопления сине-зеленых водорослей, на берегу много мусора.

Сведения о гидрохимических показателях качества воды исследованных пунктов приведены в таблице.



Гидрохимические показатели качества воды изученных участков

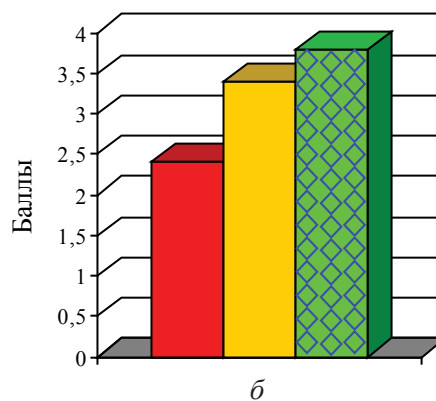
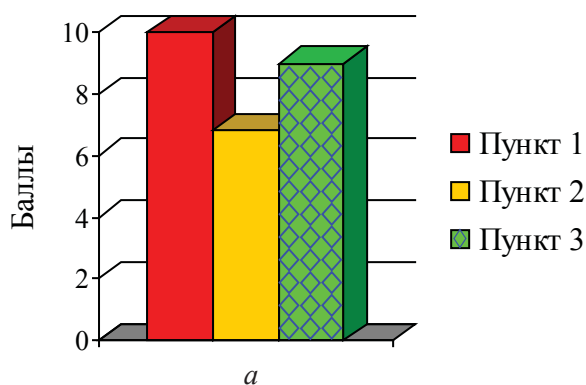
Показатель	ПДК	Пункт 1	Пункт 2	Пункт 3
pH	6,500–8,500	6,630	6,540	6,750
Кислород растворенный, мг/л	4,000–6,000	11,400	10,390	9,500
Жесткость воды, мг-экв/л	7,000	1,500	1,500	3,490
Нитраты и нитриты, мг/л	3,000–45,000	0,001	0,001	0,001
БПК5, мг/л	2,000	1,570	1,800	2,300
ХПК, мг/л	15,000–30,000	40,000	37,000	42,000
СПАВ, мг/л	0,500	< 0,015*	< 0,015*	< 0,015*
Нефтепродукты, мг/л	0,050	0,093*	0,076*	0,085*
Железо общее, мг/л	0,100	0,320*	0,260*	0,270*
Фенолы, мг/л	0,001	0,002	0,002	0,002
Медь, мг/л	0,001	0,004	0,005	0,003
Свинец, мг/л	0,006	0,007	0,009	0,008
Хлориды, мг/л	350,000	10,000	10,000	10,000
Сульфаты, мг/л	500,000	10,000	5,000–10,000	<5,000
Взвешенные частицы, мг/л	10,000	3,400	1,810	6,000

*Данные взяты из [3, 10].

Активная реакция среды находится в пределах допустимых значений. Жесткость не превышает ПДК, вода мягкая, лишь в пункте 3 вода имеет среднюю жесткость. Значения растворенного кислорода превышают ПДК и достаточно высоки в пункте 1. Нитраты, нитриты, хлориды и сульфаты присутствуют в незначительном количестве. Биохимическое потребление кислорода (БПК) исследованной воды превышает ПДК только в пункте 3. Химическое потребление кислорода (ХПК) превышает предельно допустимые показатели и со временем наблюдается его рост. Содержание нефтепродуктов и железа не превышает ПДК, наибольшие значения эти показатели приобретают только в пункте 1. Фенолы, медь, свинец превышают ПДК, по меди большее значение имеет пункт 1, а по свинцу – пункт 3.

Содержание взвешенных частиц и СПАВ в воде пунктов не превышает ПДК, наибольшее содержание взвесей наблюдается вблизи пункта 3.

При комплексной оценке степени загрязненности водной среды одновременно по широкому перечню ингредиентов и показателей качества воды и классифицировании воды по степени загрязненности используется комбинаторный индекс загрязнения (КИЗ). По КИЗ в пунктах 1, 3 наблюдается снижение качества до 5-го класса загрязненности – очень грязная, а пункте 2 вода имеет 4-й класс качества и классифицируется как грязная. В 2011 г. отмечена максимальная величина КИЗ и некоторых ингредиентов, в связи со значительной величиной общего оценочного балла выделяются как лимитирующие показатели загрязненности (рисунок, а).



КИЗ (а) и ОССЗ (б) за 2011 г.



Качество воды пунктов оценивалось также с помощью биологических методов. Достоверным индикатором опасных загрязнений является прибрежное обрастание. В чистых водоемах (пункт 1) эти обрастания ярко-зеленого цвета или имеют буроватый оттенок. Для загрязненных водоемов (пункт 3) характерны белые хлопьевидные образования и обрастания сине-зеленого цвета, так как состоят в основном из цианобактерий, что происходит при избытке в воде органических веществ и повышении общей минерализованности. Аномальное увеличение массы сине-зеленых водорослей наблюдается в сильно нагретых водах. Оно оказывает отрицательное воздействие на водных растительных, поскольку пищевые свойства этих водорослей хуже, чем у водорослей, живущих при нормальной температуре. Кроме того, цианобактерии содержат токсины, способные аккумулироваться в пищевых цепях.

Учитывая специфику структуры и функционирования реки Волги, а также характер антропогенного воздействия на нее, в качестве индикатора использовались макрофиты. Они являются чувствительными анализаторами состояний водной среды, так как эволюционно сформировавшиеся адаптационные признаки у них довольно четко индицируют химический и органический состав воды [11]. Увеличение антропогенной нагрузки на Волгу отражается на состоянии и развитии сообществ макрофитов, которые, накапливая загрязнители, информируют о загрязнении водной среды и служат индикатором ее долгосрочных изменений [12]. Макрофиты, находящиеся под воздействием всего многообразия физических, химических и других факторов, замыкают на себя все процессы, протекающие в экосистеме. При загрязнении водоемов изменяется видовой состав, биомасса и продукция макрофитов, возникают морфологические аномалии, происходит смена доминантных видов, обуславливающих особенности ценоза.

Во время исследования выявлен ряд характерных особенностей развития макрофитов и их сообществ в воде, которые индицируют изменения параметров водной среды. Массовое развитие видов семейства Рясковых (*Lemnaceae*), наибольшее количество которых наблюдается в районе села Пристанное, указывает на неблагоприятное состояние водной экосистемы. В значительном количестве отмечены аномалии в развитии ряски малой (*Lemna minor* L.) и многокоренника обыкновенного (*Spirodela polyrhiza* (L.) Schleiden), которые, помимо эвтрофирования,

свидетельствуют о промышленном или сельскохозяйственном загрязнении. Загрязнение водоема тяжелыми металлами в большей степени отмечается близ о. Казачий, где индикаторами загрязнения воды выступают рдесты: стеблеобъемлющий (*Patamogeton perfoliatus* L.), блестящий (*P. lucens* L.), курчавый (*P. crispus* L.), а также частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica* L.), свидетельствующие о наличии в воде марганца, меди, железа и свинца. Органическое загрязнение и эвтрофирование наиболее заметно ниже Саратова и в меньшей мере выше Саратова. Обогащение воды биогенными веществами приводит к интенсивному развитию водорослей и прибрежных растений, что чаще всего происходит за счет поступления в водоемы сточных вод. Показателями эвтрофирования водоемов являются роголистник темно-зеленый (*Ceratophyllum demersum* L.), сусак зонтичный (*Butomus umbellatus*) и рогоз узколистый (*Typha angustifolia* L.). Рост эвтрофикации воды может сдерживать развитие токсикантов, так как способность водных растений к накоплению и использованию этих веществ делает их активными участниками процесса самоочищения природных вод.

В местах интенсивного поступления промышленных стоков (пункт 3) соотношение видов изменяется, флористический состав обедняется и образуются фитоценозы, представленные видами, наиболее устойчивыми к избытку в воде химических элементов (тростник обыкновенный (*Phragmites communis* Trin.), камыш озерный (*Scirpus lacustris* L.) и др.). На усиленное поступление биогенов они реагируют увеличением продуктивности и гигантизмом, что наблюдается во всех пунктах наблюдения. Существуют также растения, концентрирующие биогенные элементы, которые обладают высоким барьером накопления. Они менее приспособлены к усиленному поступлению биогенных веществ и на начальном этапе загрязнения активно увеличивают фитомассу, а затем при достижении барьера накопления испытывают угнетение, у них начинают нарушаться физиологические процессы, а затем растения исчезают из водоема. К этой группе относятся рдесты, которые проявляют разную чувствительность к загрязнению воды. Рдест блестящий выносит лишь слабое загрязнение, а рдесты курчавый и стеблеобъемлющий могут существовать при сильном загрязнении. На участках водоемов, наиболее загрязненных, сохраняется только рдест гребенчатый. Часто в водоеме присутствуют несколько индикаторных видов, обитающих



в среде разной степени загрязненности. По общей суммарной степени загрязнения (ОССЗ) вода пункта 1 относится ко 2-й степени загрязненности – слабо загрязненная, пункта 2 – к 3-й степени – умеренно загрязненная, вода пункта 3 имеет 4-ю степень загрязненности – сильно загрязненная (рисунок, б).

Накопление в водной экосистеме разнообразных химических веществ, которые в большинстве случаев обладают токсическими свойствами, приводит к нарушению процессов самоочищения природных вод и изменению продуктивности водных экосистем. Биологическое самоочищение водоемов осуществляется за счет жизнедеятельности растений, животных, грибов, бактерий и в большей мере прибрежно-водных растений. Во время исследования обнаружены индикаторы процессов самоочищения водоема: ряска трехдольная (*Lemna trisulca* L.), кубышка желтая (*Nuphar lutea* (L.) Smith), водокрас лягушачий (*Hydrocharis morsus-ranae* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.), рогоз узколистый (*Typha angustifolia* L.), рдест плавающий (*Potamogeton natans* L.), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum*), которые в значительном количестве встречаются выше Саратова. В результате содержание кислорода в воде увеличивается, происходит быстрое окисление органического вещества, ускоряется процесс нитрификации, усиливается потребление фотосинтетиками свободной углекислоты. Таким образом, растения этой группы обеспечивают фитофильтрацию, под влиянием которой увеличивается прозрачность воды, снижается ее минерализация.

По результатам проведенных исследований наблюдается тенденция к переходу от экологически полноценных водоемов к экологически неблагополучным. Биоиндикационный анализ также подтвердил ухудшение экологического состояния водной среды исследованных пунктов, о чем свидетельствуют видовой состав гидрофитов, изменение численности и биомассы доминирующих видов, их качественное и количественное соотношения.

Таким образом, заросли высших водных растений являются фактором, непосредственно участвующим в процессе формирования качества воды в реке. Важная водоохранная роль гидрофитов заключается в их способности

поглощать и аккумулировать токсические загрязнители водной среды. Поглощение высшей водной растительностью токсических веществ и их аккумуляция способствуют самоочищению воды от токсических агентов путем исключения их из круговорота элементов.

Список литературы

1. Забурдаева Е. А. Биоиндикация, диагностика и нормирование качества пресных вод с учетом природных особенностей и назначения водных объектов : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2008. 26 с.
2. Шуйский В. Ф., Максимова Т. В., Петров Д. С. Биоиндикация качества водной среды, состояния пресноводных экосистем и их антропогенных изменений. СПб. : Изд-во МАНЭБ, 2000. 19 с.
3. Доклад об экологической ситуации в Саратовской области в 2010 году. Саратов, 2011. 39 с.
4. Муравьев А. Г. Оценка экологического состояния природно-антропогенного комплекса. СПб. : Кримас, 1997. 39 с.
5. Торгашкова О. Н., Воловик Н. С. Комплексная оценка степени загрязнения водной среды реки Волги // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2012. Т. 12, вып. 4. С. 96–102.
6. РД 52.24.643–2002 Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб. : Гидрометеоздат, 2002. 54 с.
7. Мелехова О. П., Егорова Е. И., Евсеева Т. И. и др. Биологический контроль окружающей среды: биоиндикация и биотестирование. М. : Академия, 2007. 288 с.
8. Полякова Т. Н. Рекомендации по оценке состояния экосистем малых водоемов по организмам макрозообентоса // Изучение водных объектов и природно-территориальных комплексов Карелии, Петрозаводск : Ин-т водных проблем Севера КарНЦ РАН, 2007. 172 с.
9. Боголюбов А. С., Засько Д. Н. Сравнительная комплексная характеристика малых рек и ручьев : метод. пособие по полевой экологии. М. : Экосистема, 1999. 7 с.
10. Доклад об экологической ситуации в Саратовской области в 2011 году. Саратов, 2012. 39 с.
11. Дубынина Д. В., Стойко С. М., Сытник К. М. и др. Макрофиты – индикаторы изменений природной среды. Киев : Наук. думка, 1993. 434 с.
12. Балашов Л. С., Зуб Л. Н., Савицкий А. Л. Типы водоемов Киева по флористическому составу высшей водной растительности // Биология внутренних вод. 2000. № 1. С. 5–11.



СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алешкина Ольга Юрьевна – профессор кафедры анатомии человека Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского, д-р мед. наук. E-mail: aleshkina_ou@mail.ru

Аникин Василий Викторович – профессор кафедры морфологии и экологии животных биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р биол. наук. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

Антонюк Людмила Петровна – ведущий научный сотрудник лаборатории биохимии Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, д-р биол. наук. E-mail: ant306@ibppm.sgu.ru

Архипова Екатерина Александровна – ведущий инженер кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: arhipovaea@mail.ru

Беляченко Александр Владимирович – доцент кафедры морфологии и экологии животных биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: badger13@yandex.ru

Бискуп Полина Владимировна – студентка Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: 4elpolina@rambler.ru

Блюднева Елена Александровна – ведущий биолог УНЦ «Ботанический сад» Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: kashinas2@yandex.ru

Болдырев Владимир Александрович – заведующий кафедрой ботаники и экологии биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р биол. наук. E-mail: boldyrevva@info.sgu.ru

Бурашникова Марина Михайловна – доцент кафедры физической химии Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: burashnikova_mm@mail.ru

Волков Юрий Владимирович – старший преподаватель кафедры физической географии и ландшафтной экологии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: volkovuv@info.sgu.ru

Воловик Наталья Сергеевна – студентка биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: torgaschkova88@mail.ru

Гольдфейн Марк Давидович – заведующий кафедрой охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р хим. наук. E-mail: kozhevnikovnv@info.sgu.ru

Гребенников Константин Алексеевич – заместитель директора по научной работе Государственного природного заповедника «Богдинско-Баскунчакский» (г. Ахтубинск). E-mail: kgrebennikov@gmail.com

Давиденко Ольга Николаевна – доцент кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: biosovet@sgu.ru

Доронин Сергей Юрьевич – заместитель начальника отдела наноаналитики образовательно-научного института наноструктур и биосистем Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р хим. наук. E-mail: soldatenkoem@mail.ru

Евсеева Ольга Сергеевна – студентка Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: evseva-olia@mail.ru

Загоровская Татьяна Михайловна – доцент кафедры анатомии человека Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского, канд. мед. наук. E-mail: selif-ei@yandex.ru

Игнатиев Сергей Владимирович – аспирант Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: ignatiev-s-v@yandex.ru

Касаткин Михаил Юрьевич – доцент кафедры микробиологии и физиологии растений биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: hanin-hariton@yandex.ru

Кашин Александр Степанович – профессор кафедры методики преподавания биологии и экологии биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р биол. наук. E-mail: kashinas2@yandex.ru

Кириллова Ирина Михайловна – директор УНЦ «Ботанический сад» Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: irina0465@mail.ru

Кожевников Николай Владимирович – профессор кафедры охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р хим. наук. E-mail: kozhevnikovnv@info.sgu.ru

Кожевникова Надежда Ивановна – доцент кафедры охраны окружающей среды и безопасности жизнедеятельности биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: kozhevnikovnv@info.sgu.ru



Коробко Валерия Валерьевна – доцент кафедры микробиологии и физиологии растений биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: v.v.korobko@mail.ru

Косюкова Ольга Васильевна – студентка биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: stepanovmv_69@mail.ru

Кочанова Ирина Сергеевна – ассистент кафедры методики преподавания биологии и экологии биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, ведущий биолог УНЦ «Ботанический сад» Саратовского государственного университета, канд. биол. наук. E-mail: kochanova_is@inbox.ru

Кривенько Адель Павловна – профессор кафедры органической и биоорганической химии Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р хим. наук. E-mail: annamatveeva2008@ya.ru

Крицкая Татьяна Алексеевна – аспирант биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: kriczkaya.tatyana@mail.ru

Кузьмина Раиса Ивановна – заведующий кафедрой нефтехимии и техногенной безопасности Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р хим. наук. E-mail: ignatiev-s-v@yandex.ru

Кушнерук Марина Алексеевна – аспирант Института биохимии и физиологии растений и микроорганизмов. E-mail: marina.kushneruk@mail.ru

Левина Елена Сергеевна – студентка биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: torgaschkova88@mail.ru

Лисицкая Надежда Михайловна – ведущий биолог УНЦ «Ботанический сад» Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: kashinas2@yandex.ru

Матикенова Асель Аскарровна – младший научный сотрудник Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: asel.matikeno@yandex.ru

Милкин Александр Александрович – лаборант учебной лаборатории геоинформатики и тематического картографирования Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: aleksandr-milkin@rambler.ru

Монахова Юлия Борисовна – научный сотрудник Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: yul-monakhova@mail.ru

Мосолова Екатерина Юрьевна – ассистент кафедры морфологии и экологии животных биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: ekmosolova@mail.ru

Муштакова Светлана Петровна – заведующая кафедрой общей и неорганической химии Института химии Саратовско-

го государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р хим. наук. E-mail: mushtakovasp@info.sgu.ru

Навотный Олег Игоревич – соискатель кафедры физической химии Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: volga-dv@yandex.ru

Невский Сергей Александрович – доцент кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: biosovet@sgu.ru

Опарина Анастасия Викторовна – студентка биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: torgaschkova88@mail.ru

Остроумова Татьяна Александровна – старший научный сотрудник, куратор коллекции живых зонтичных растений Ботанического сада Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова. E-mail: ostro_t_a@mail.ru

Парфенов Юрий Алексеевич – ведущий научный сотрудник ЛО ЦНИИС (г. Санкт-Петербург), д-р техн. наук. E-mail: rodina.ania2014@yandex.ru

Петрова Надежда Андреевна – заведующая отделом флоры и растительности УНЦ «Ботанический сад» Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: nasch-1@yandex.ru

Полякова Юлия Александровна – биолог УНЦ «Ботанический сад» Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: kashinas2@yandex.ru

Решетов Вячеслав Александрович – профессор кафедры физической химии Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р техн. наук. E-mail: reshetovva@info.chem.ru

Родина Анна Андреевна – аспирант Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: rodina.ania2014@yandex.ru

Ромаденкина Светлана Борисовна – доцент кафедры нефтехимии и техногенной безопасности Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: romadenkina@yandex.ru

Селифонова Екатерина Игоревна – старший научный сотрудник образовательно-научного института наноструктур и биосистем Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: selif-ei@yandex.ru

Сигнаевский Владимир Дмитриевич – аспирант биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: hanin-hariton@yandex.ru

Славкина Елизавета Александровна – студентка биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: lizka-08@yandex.ru



Старичкова Наталия Ивановна – доцент кафедры методики преподавания биологии и экологии биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. с.-х. наук. E-mail: biofak@sgu.ru

Степанов Михаил Владимирович – доцент кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: stepanovmv_69@mail.ru

Степанов Сергей Александрович – заведующий кафедрой микробиологии и физиологии растений биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р биол. наук. E-mail: hanin-hariton@yandex.ru

Табачишин Василий Григорьевич – старший научный сотрудник Саратовского филиала Института проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, заведующий Зоологическим музеем Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: tabachishinvg@sevin.ru

Тиховский Дмитрий Александрович – соискатель кафедры физической химии Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: romadenkina@yandex.ru

Торгашкова Ольга Николаевна – доцент кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: torgaschkova88@mail.ru

Тырнов Валерий Степанович – заведующий кафедрой генетики биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р биол. наук. E-mail: yudakovaoi@info.sgu.ru

Угольникова Екатерина Владимировна – аспирант биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: kashinas@sgu.ru

Хуршудян Грачья Николаевич – студент Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: hradja@mail.ru

Цикин Алексей Максимович – аспирант Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: tsikinalexey@mail.ru

Чернова Римма Кузьминична – профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р хим. наук. E-mail: chernov-ia@yandex.ru

Шляхтин Геннадий Викторович – декан биологического факультета, заведующий кафедрой морфологии и экологии животных биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р биол. наук. E-mail: biofac@sgu.ru

Юдакова Ольга Ивановна – профессор кафедры генетики биологического факультета Саратовского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р биол. наук. E-mail: yudakovaoi@info.sgu.ru



INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Aleshkina Olga Yurievna – Professor, Chair of Human Anatomy, Saratov State Medical University, Doctor of Medical Science. E-mail: aleshkina_ou@mail.ru

Anikin Vasilii Viktorovich – Professor, Chair of Animals Morphology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Doctor of Biological Science. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

Antonyuk Ludmila Petrovna – Leading Researcher, Laboratory of Biochemistry, Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms (Saratov), Doctor of Biological Science. E-mail: ant306@ibppm.sgu.ru

Arhipova Ekaterina Alexandrovna – Chief Engineer, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, PhD. E-mail: arhipovaea@mail.ru

Belyachenko Aleksandr Vladimirovich – Associate Professor, Chair of Animals Morphology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, PhD. E-mail: badger13@yandex.ru

Biskup Polina Vladimirovna – Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: 4elpolina@rambler.ru

Bliudneva Elena Alexandrovna – Leading Biologist, «Botanical garden», Saratov State University. E-mail: kashinas2@yandex.ru

Boldyrev Vladimir Alexandrovich – Head of Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Professor, Doctor of Biological Science. E-mail: boldyrevva@info.sgu.ru

Burashnikova Marina Michailovna – Associate Professor, Chair of Physical Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, PhD. E-mail: burashnikova_mm@mail.ru

Chernova Rimma Kuzminichna – Professor, Chair of Analytical Chemistry and Chemical Ecology, Institute of Chemistry, Saratov State University, Doctor of Chemical Sciences. E-mail: chernov-ia@yandex.ru

Davidenko Olga Nikolaevna – Associate Professor, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, PhD. E-mail: biosovet@sgu.ru

Doronin Sergey Yurievich – Deputy Chief, Department of Nanoanalysis, Educational Research Institute of Nanostructures and Biosystems, Saratov State University, Professor, Doctor of Chemical Sciences. E-mail: SoldatenkoEM@mail.ru

Evseeva Olga Sergeevna – Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: evseva-olia@mail.ru

Grebennikov Konstantin Alexeevich – Vice Director of Science, «Bogdinsko-Baskunchakskiy» State Natura Reserve (Akh-tubinsk). E-mail: kgrebennikov@gmail.com

Goldfein Mark Davidovich – Head of Chair of Environmental Protection and Life Safety, Biological Department, Saratov

State University, Professor, Doctor of Chemical Sciences. E-mail: GoldfeinMD@info.sgu.ru

Ignatyev Sergey Vladimirovich – Graduate Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: ignatiev-s-v@yandex.ru

Kasatkin Michail Yurievich – Associate Professor, Chair of Microbiology and Plant Physiology, Biological Department, Saratov State University, PhD. E-mail: hanin-hariton@yandex.ru

Kashin Alexandr Stepanovich – Professor, Chair of Methods of Teaching of Biology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Doctor of Biological Science. E-mail: kashinas2@yandex.ru

Khurshudian Grachya Nikolaevich – Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: hradja@mail.ru

Kirilova Irina Michailovna – Director, «Botanical garden», Saratov State University. E-mail: irina0465@mail.ru

Kochanova Irina Sergeevna – Assistant, Chair of Methods of Teaching of Biology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Leading Biologist, «Botanical garden», Saratov State University, PhD. E-mail: kochanova_is@inbox.ru

Korobko Valeria Valerievna – Associate Professor, Chair of Microbiology and Plant Physiology, Biological Department, Saratov State University, PhD. E-mail: v.v.korobko@mail.ru

Kosjukova Olga Vasilievna – Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: stepanovmv_69@mail.ru

Kozhevnikov Nikolai Vladimirovich – Professor, Chair of Environmental Protection and Life Safety, Biological Department, Saratov State University, Professor, Doctor of Chemical Science. E-mail: kozhevnikovnv@info.sgu.ru

Kozhevnikova Nadezhda Ivanovna – Associate Professor, Chair of Environmental Protection and Life Safety, Biological Department, Saratov State University, PhD. E-mail: kozhevnikovnv@info.sgu.ru

Kritzkaya Tatyana Alexeevna – Graduate Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: kriczkaya.tatyana@mail.ru

Kriven'ko Adel Pavlovna – Professor, Chair of Organic and Bioorganic Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Doctor of Chemical Science. E-mail: annamatveeva2008@ya.ru

Kushneruk Marina Alexeevna – Graduate Student, Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms (Saratov). E-mail: marina.kushneruk@mail.ru

Kuzmina Raisa Ivanovna – Head of Chair of Petrochemicals and Technological Safety, Institute of Chemistry, Saratov State University, Professor, Doctor of Chemical Science. E-mail: ignatiev-s-v@yandex.ru



Levina Elena Sergeevna – Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: torgaschkova88@mail.ru

Lysytskaya Nadezhda Michailovna – Leading Biologist, «Botanical garden», Saratov State University. E-mail: kashinas2@yandex.ru

Matikenova Asel Askarovna – Junior Researcher, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: asel.matikenova@yandex.ru

Milkin Alexandr Alexandrovich – Assistant, Educational Laboratory of Geoinformation and Thematic Mapping, Saratov State University. E-mail: aleksandr-milkin@rambler.ru

Monachova Yulia Borisovna – Research Associate, Institute of Chemistry, Saratov State University, PhD. E-mail: yul-monakhova@mail.ru

Mosolova Ekaterina Yurievna – Assistant, Chair of Animals Morphology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, PhD. E-mail: ekmosolova@mail.ru

Mushtakova Svetlana Petrovna – Head of General and Inorganic Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Doctor of Chemical Sciences. E-mail: mushtakovasp@info.sgu.ru

Navotnyi Oleg Igorevich – Applicant, Chair of Physical Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: Volga-dv@yandex.ru

Nevskiy Sergey Alexandrovich – Associate Professor, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Ph. D. E-mail: biosovet@sgu.ru

Oparina Anastasia Viktorovna – Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: torgaschkova88@mail.ru

Ostroumova Tatiana Alexandrovna – Senior Research Assistant, «Botanical garden», Moscow State University (Moscow). E-mail: ostro_t_a@mail.ru

Parfyonov Yuri Alexeevich – Leading Researcher, LO ZNIIS (Saint-Petersburg), Doctor of Technical Sciences. E-mail: rodina.ania2014@yandex.ru

Petrova Nadezhda Andreevna – Head of the Department of Flora and Vegetation, «Botanical garden», Saratov State University. E-mail: nasch-1@yandex.ru

Polyakova Yulia Alexandrovna – Biologist, «Botanical garden», Saratov State University. E-mail: kashinas2@yandex.ru

Reshetov Vyacheslav Alexandrovich – Professor, Chair of Physical Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Doctor of Technical Sciences. E-mail: reshetovva@info.chem.ru

Rodina Anna Andreevna – Graduate Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: reshetovva@chem.sgu.ru

Romadenkina Svetlana Borisovna – Associate Professor, Chair of Petrochemicals and Technological Safety, Institute of Chemistry, Saratov State University, PhD. E-mail: romadenkina@yandex.ru

Selifonova Ekaterina Igorevna – Major Research Assistant, Educational Research Institute of Nanostructures and Biosystems, Saratov State University, PhD. E-mail: selif-ei@yandex.ru

Shlyakhtin Gennady Viktorovich – Dean of Biological Department, Head of Chair of Animals Morphology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Professor, Doctor of Biological Science. E-mail: biofac@sgu.ru

Signaevski Voladimir Dmitrievich – Graduate Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: hanin-hariton@yandex.ru

Slavkina Elizaveta Alexandrovna – Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: lizka-08@yandex.ru

Starichkova Natalia Ivanovna – Associate Professor, Chair of Methods of Teaching of Biology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, PhD. E-mail: biofak@sgu.ru

Stepanov Michail Vladimirovich – Associate Professor, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, PhD. E-mail: stepanovmv_69@mail.ru

Stepanov Sergey Alexandrovich – Head of Chair of Microbiology and Plant Physiology, Biological Department, Saratov State University, Professor, Doctor of Biological Science. E-mail: hanin-hariton@yandex.ru

Tabachishin Vasilii Grigorievich – Senior Research Assistant, Saratov Branch of RAS Institute of ecology and evolution problems (Saratov), Head of Zoological Museum, Saratov State University, PhD. E-mail: hrustovav@forpost.ru

Tikhovsky Dmitry Alexandrovich – Applicant, Chair of Physical Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: romadenkina@yandex.ru

Torgashkova Olga Nikolaevna – Associate Professor, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, PhD. E-mail: torgaschkova88@mail.ru

Tsikin Alexey Maximovich – Graduate Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: tsikinalexey@mail.ru

Tyrnov Valery Stepanovich – Head of Chair of Genetics, Biological Department, Saratov State University, Professor, Doctor of Biological Science. E-mail: TyrnovVS@info.sgu.ru

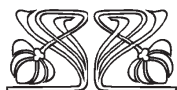
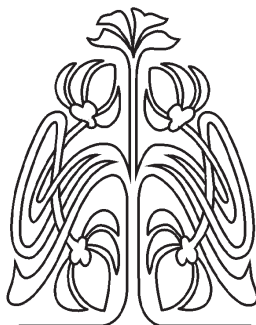
Ugolnikova Ekaterina Vladimirovna – Graduate Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: kashinas@sgu.ru

Volkov Yuri Vladimirovich – Senior Lecturer, Chair of Physical Geography and Landscape Ecology, Saratov State University. E-mail: volkovuv@info.sgu.ru

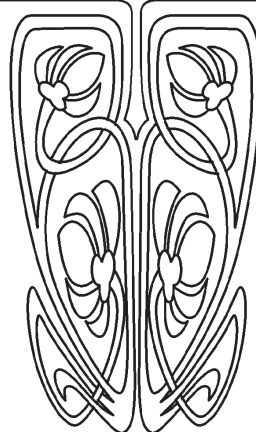
Volovik Natalia Sergeevna – Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: torgaschkova88@mail.ru

Yudakova Olga Ivanovna – Professor, Chair of Genetics, Biological Department, Saratov State University, Doctor of Biological Science. E-mail: yudakovaioi@info.sgu.ru

Zagorovskaya Tatiana Michailovna – Associate Professor, Chair of Human Anatomy, Saratov State Medical University, PhD. E-mail: selif-ei@yandex.ru



ПОДПИСКА



Подписка на I полугодие 2015 года

Индекс издания по каталогу ОАО Агентства «Роспечать» 36013,
раздел 26 «Природа. Мир животных и растений».

Журнал выходит 4 раза в год.

Подписка оформляется по заявочным письмам

непосредственно в редакции журнала.

Заявки направлять по адресу:

410012, Саратов, Астраханская, 83.

Редакция журнала «Известия Саратовского университета».

Тел. (845-2) 52-26-85, 52-50-04; факс (845-2) 27-85-29;

e-mail: ElenaVG-2007@yandex.ru

Каталожная цена одного выпуска 350 руб.