



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

# ИЗВЕСТИЯ

САРАТОВСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
Новая серия



Научный журнал  
2016 Том 16

ISSN 1814-753X  
ISSN 1816-9775

Издается с 2001 года

Серия Химия. Биология. Экология, выпуск 2

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### Научный отдел

#### Химия

**Варыгина О. В., Чернова Р. К., Петрович М. В.** Определение аргинина в смешанных растворах моноаминокарбонных  $\alpha$ -аминокислот 125

**Кулапина О. И., Каренко В. А., Кулапина Е. Г.** Исследование состояния некоторых цефалоспориновых антибиотиков в водных средах спектрофотометрическим методом 130

**Петров Е. П., Гаркушин И. К., Колядо А. В.** Фазовые равновесия в двухкомпонентной системе *n*-нонадекан – циклододекан 136

**Кулапина Е. Г., Кулапина О. И., Каренко В. А.** Потенциометрические сенсоры для определения цефепима в водных и биологических средах 138

**Махмуд Адиба А., Казаринов И. А., Исайчева Л. А., Трепак Н. М.** Кинетика процесса холодного фосфатирования стали 144

**Ахмедов М. М., Гахраманова Е. Б., Агаев А. И.** Исследование условий предварительного обескислороживания сернистых газов метаном и парами серы 151

#### Биология

**Горланова Е. П., Степанов М. В.** Побегообразовательная способность садовых роз английской группы при интродукции в условиях Ботанического сада СГУ 155

**Нечаева О. В., Веденеева Н. В., Вакараева М. М., Тихомирова Е. И., Шуршалова Н. Ф., Заярский Д. А., Беспалова Н. В.** Комплексная оценка токсичности полимерного соединения, обладающего антимикробной активностью 160

**Новокупцев Н. В.** Оптимизация условий культивирования *Azotobacter vinelandii* Д-08 для увеличения выхода экзополисахарида 164

**Воронин М. Ю., Гребенников К. А., Сажнев А. С., Белянина С. И., Мосолова Е. Ю., Алиева З. О., Белоногова Ю. В.** Макрозообентос гипергалинных водоемов Богдинско-Баскунчакского заповедника 168

**Буланый Ю. И.** Новые флористические находки в Саратовской области 170

**Зудина И. В., Ведяева А. П., Булкина Н. В., Иванов П. В., Альзубаиди А. Ф. А.** Изучение воздействия хитозана на процесс заживления костного дефекта в экспериментах *in vivo* и *in vitro* 171

**Бирюкова О. В., Васюков В. М., Чкалов А. В.** Типовые образцы *Campanula l.*, *Chamaecytisus link. polygala l.*, *Thymus l.*, хранящиеся в гербарии Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского (NNSU) 180

**Сажнев А. С., Рига Е. Ю., Забалуев И. А.** Новые данные о фауне мирмекофильных жесткокрылых (Coleoptera) в гнездах муравьев *Formica Rufa* Linnaeus, 1761 (Hymenoptera) на территории Саратовской области 182

**Ерохин П. С., Уткин Д. В., Осина Н. А., Бойко А. В., Кузнецов О. С., Куклев В. Е., Бугоркова Т. В.** Современное состояние изучения ультраструктуры поверхности клеточной стенки микроорганизмов в условиях неблагоприятного воздействия факторов биотической и абиотической природы методами атомно-силовой микроскопии 186

**Идрисова Л. А., Хайрутдинов И. З.** Флуктуирующая асимметрия фолидоза обыкновенного ужа *Natrix Natrix* (Linnaeus, 1758) в западной части Республики Татарстан 190

**Голованов Я. М., Бактыбаева З. Б., Ямалов С. М.** Новые для Республики Башкортостан ассоциации класса *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941 197

**Михайлова И. Д., Лукаткин А. С.** Перекисное окисление липидов в растениях огурца и редиса при действии тяжелых металлов 206

**Лысенко Т. М.** Интразональность и зональные особенности растительности засоленных почв лесостепной и степной зон в Поволжье 211

**Аникин В. В., Кузьмин Е. А.** Нахождение каракурта черного – *Latrodectus tredecimguttatus* (Rossi, 1790) (Aranei, Theridiidae) на территории Саратовской области 220

**Давиденко О. Н., Невский С. А., Давиденко Т. Н.** Состояние ценопопуляций адониса волжского (*Adonis wolgensis* stev.) в Саратовской области 221

**Ибрагимова А. Х., Гиниятуллин Р. Х., Тагирова О. В., Кулагин А. Ю.** Оценка состояния древесных насаждений в селебтно-рекреационной зоне Стерлитамакского промышленного центра 224

**Грищенко К. Г., Седова О. В., Воронин М. Ю., Ионова Е. А., Рязанов С. В.** Современное состояние высшей водной растительности водоема-охладителя Балаковской АЭС под воздействием растительных рыб 231

### Сведения об авторах

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

Зарегистрировано в Министерстве Российской Федерации по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № 77-7185 от 30 января 2001 года.

Зарегистрировано в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС77-56123 от 15 ноября 2013 года

Индекс издания 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 учредителя и редакции:

410012, Саратов, ул. Астраханская, 83

Тел.: (845-2) 51-45-49, 52-26-89

E-mail: izvestiya@sgu.ru

Подписано в печать 17.06.2016.

Формат 60x84 1/8.

Усл. печ. л. 14,16 (15,25).

Тираж 500 экз. Заказ 88-Т.

Отпечатано в типографии Саратовского университета.

#### Адрес типографии:

410012, Саратов, Б. Казачья, 112А

© Саратовский университет, 2016

**ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ**

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

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

Статья должна быть аккуратно оформлена и тщательно отредактирована.

Последовательность предоставления материала:

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

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

Требования к аннотации и библиографическому списку:

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

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

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

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

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

**CONTENTS****Scientific Part****Chemistry**

- Virigina O. V., Chernova R. K., Petrovich M. V.** Definition of Arginine in the Mixed Solutions Monoaminooxidsasy  $\alpha$ -aminoacids 125
- Kulapina O. I., Karenko V. A., Kulapina E. G.** Research of a State of Some the Cephalosporin Antibiotics in Water Environments by Spectrophotometry 130
- Petrov E. P., Garkushin I. K., Kolyado A. V.** Phase Equilibria in the Twocomponent System *n*-nonadecan – Cyclododecane 136
- Kulapina E. G., Kulapina O. I., Karenko V. A.** Potentiometric Sensors for Determination of Cefepime in Water and Biological Environments 138
- Mahmoud Adiba A., Kazarinov I. A., Isaycheva L. A., Trepak N. M.** Kinetics of Cold Steel Phosphating 144
- Ahmadov M. M., Gakhramanova E. B., Agaev A. I.** Study Prior Deoxygenation Sulphurous Gases Methane and Sulhur Vapor 151

**Biology**

- Gorlanova E. P., Stepanov M. V.** Forming Strout Ability of English Rose Garden Party at the Introduction in the Botanical Garden Sgu 155
- Nechaeva O. V., Vedeneeva N. V., Vakaraeva M. M., Tikhomirova E. I., Shurshalova N. F., Zayarskiy D. A., Bespalova N. V.** Complex Assessment of Toxicity of the Polymeric Connection Possessing Antimicrobial Activity 160
- Novokuptsev N. V.** Optimization of Cultivation Conditions of *Azotobacter Vinelandii* D-08 to Increase the Yield of Exopolysaccharide 164
- Voronin M. Yu., Grebennikov K. A., Sazhnev A. S., Belianina S. I., Mosolova E. Yu., Alieva Z. O., Belonogova Yu. V.** Macrozoobenthos of Hyperhaline Waterbodies of Bogdino-Baskunchakski Nature Reserve 168
- Bulany Yu. I.** New Floristic Finds in the Saratov Region 170
- Zudina I. V., Vedyayeva A. P., Bulkina N. V., Ivanov P. V., Alzubaidi A. F. A.** *In Vivo* and *In Vitro* Studies of the Effect of Chitosan on the Bone Defect Repair Process 171
- Biryukova O. V., Vasjukov V. M., Chkalov A. V.** Type Specimens of *Campanula* L., *Chamaecytisus* Link, *Polygala* L., *Thymus* L., Kept in the Herbarium of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod (NNSU) 180
- Sazhnev A. S., Riga E. Yu., Zabaluev I. A.** New Data on the Fauna of Myrmecophilous Beetles (Coleoptera) in the Nests of Ants *Formica rufa* Linnaeus, 1761 (Hymenoptera) for Territory of Saratov Province 182
- Erokhin P. S., Utkin D. V., Osina N. A., Boyko A. V., Kuznetsov O. S., Kuklev V. E., Bugorkova T. V.** Current State of Investigation of Cell Wall Surface of Microorganisms Ultrastructure under the Action of Factors Biotic and Abiotic Nature Using Methods of Atomic Force Microscopy 186
- Idrisova L. A., Khairutdinov I. Z.** Fluctuating Asymmetry of Pholidosis in Grass Snake (*Natrix Natrix*, L., 1758) from Western Part of the Tatarstan Republic 190
- Golovanov Ya. M., Baktybaeva Z. B., Yamalov S. M.** New to the Republic of Bashkortostan Associations of Class *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Nova'k 1941 197
- Michailova I. D., Lukatkin A. S.** Lipid Peroxidation in Cucumber and Radish Seedlings Affected by Heavy Metals 206

**Ecology**

- Lysenko T. M.** Intrazonal and Zonal Aspects of the Saline Soils Vegetation of the Forest-steppe and Steppe Zones in the Volga Region 211
- Anikin V. V., Kuzmin E. A.** The Finding of Black Widow – *Latrodectus Tredecimguttatus* (Rossi, 1790) (Aranei, Theridiidae) on the Territory of Saratov Province 220
- Davidenko O. N., Nevskiy S. A., Davidenko T. N.** Adonis Wolgensis Coenopopulation State in Saratov Region 221
- Ibragimova A. H., Giniyatullin H. R., Tagirova O. V., Kulagin A. Y.** Assessment of Tree Plantations in Residential-recreational Area Sterlitamak Industrial Center 224
- Grishchenko K. G., Sedova O. V., Voronin M. Yu., Ionova E. A., Ryazanov S. V.** Current State of the Higher Aquatic Vegetation of the Balakovo NPS Cooling Reservoir under the Influence of Herbivorous Fishes 231

**Information about the Authors**

237



**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА  
«ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. НОВАЯ СЕРИЯ»**

**Главный редактор**

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

**Заместитель главного редактора**

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

**Ответственный секретарь**

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

**Члены редакционной коллегии:**

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

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

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

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

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

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

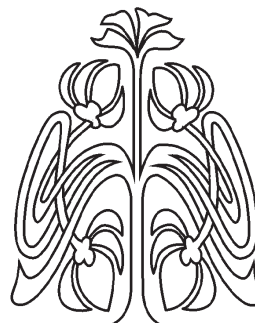
Прозоров Валерий Владимирович, доктор филол. наук, профессор (Саратов, Россия)

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

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

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

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



**EDITORIAL BOARD OF THE JOURNAL  
«IZVESTIYA OF SARATOV UNIVERSITY. NEW SERIES»**

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

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

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

**Members of the Editorial Board:**

Balash O. S. (Saratov, Russia)

Buchko I. Yu. (Saratov, Russia)

Danilov V. N. (Saratov, Russia)

Ivchenkov S. G. (Saratov, Russia)

Kossovich L. Yu. (Saratov, Russia)

Makarov V. Z. (Saratov, Russia)

Prozorov V. V. (Saratov, Russia)

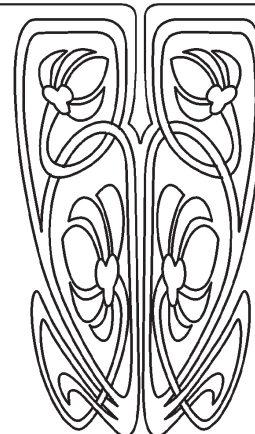
Usanov D. A. (Saratov, Russia)

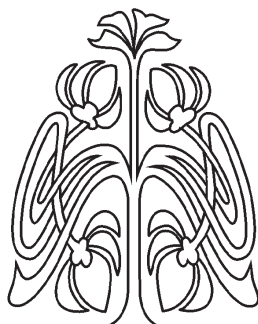
Ustiantsev V. B. (Saratov, Russia)

Shamionov R. M. (Saratov, Russia)

Shlyakhtin G. V. (Saratov, Russia)

**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**

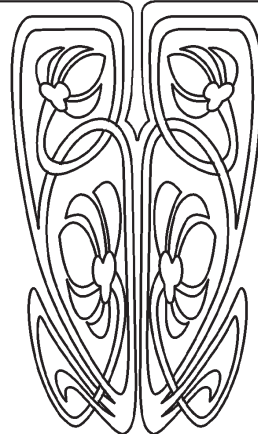
Федотова Ольга Васильевна, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия)

**Ответственный секретарь**

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



**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ**



**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)

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

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

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

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

**Members of the Editorial Board:**

Anikin V. V. (Saratov, Russia)

Boldyrev V. A. (Saratov, Russia)

Gribov L. A. (Moscow, Russia)

Kashin A. S. (Saratov, Russia)

Konnova S. A. (Saratov, Russia)

Kuzmina R. I. (Saratov, Russia)

Mushtakova S. P. (Saratov, Russia)

Rozenberg G. S. (Toliatty, Russia)

Chernova R. K. (Saratov, Russia)

Shipovskay A. B. (Saratov, Russia)



## ХИМИЯ

УДК 543. 25

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ АРГИНИНА В СМЕШАННЫХ РАСТВОРАХ МОНОАМИНОКАРБОНОВЫХ $\alpha$ -АМИНОКИСЛОТ

О. В. Варыгина, Р. К. Чернова, М. В. Петрович

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

Рассмотрено состояние аргинина и моноаминокарбонных  $\alpha$ -аминокислот в водных средах. Построены диаграммы распределения ионизированных форм аргинина и валина при варьировании pH. Показана возможность экспрессного избирательного pH-титриметрического определения аргинина в смешанных растворах моноаминокарбонных  $\alpha$ -аминокислот. Интервал определяемых концентраций 46,3–217,8 мг. Погрешность не превышает 5,5%.

**Ключевые слова:** аргинин, протолитические свойства, моноаминокарбонные  $\alpha$ -аминокислоты, pH-метрическое титрование.

**Definition of Arginine in the Mixed Solutions Monoaminooksidasy  $\alpha$ -aminoacids**

O. V. Virigina, R. K. Chernova, M. V. Petrovich

The state of monoaminooksidasy arginine and  $\alpha$ -amino acids in aqueous media. Built chart the distribution of ionized forms of arginine and valine at varying pH. Pakistan the possibility of Express electoral pH titrations of arginine in mixed solutions monoaminooksidasy  $\alpha$ -amino acids. The interval defined concentrations of 46,3–217,8 mg . Error does not exceed 5.5%.

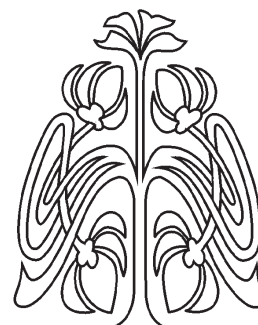
**Key words:** arginine, protolytic properties, monoaminooksidasy  $\alpha$ -amino acids, pH-metric titratio.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-125-130

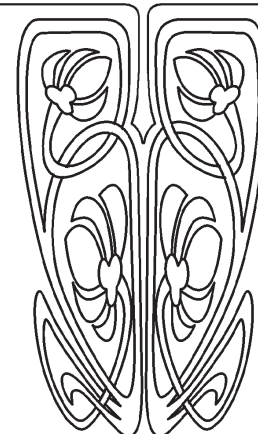
Аргинин (2-амино-5-гуанидинпентановая кислота) – условно-незаменимая  $\alpha$ -аминокислота, является одним из ключевых метаболитов в процессах азотистого обмена (орнитиновый цикл млекопитающих и рыб).

L-аргинин входит в состав пептидов и белков, особенно высоко его содержание (до 85%) в основных белках – гистонах и протаминах. Высокая основность аргинина и соответственно способность образовывать ионные связи с фосфатными группами ДНК обуславливают образование нуклеопротеидов-комплексов: гистон – ДНК – хроматина и протамин – ДНК – гетерохроматина сперматозоидов.

Аргинин является составной частью рецептур гепатопротекторов, иммуномодуляторов, кардиологических препаратов, препаратов для лечения ожоговых и ВИЧ-инфицированных больных, входит в рецептуры средств для парэнтерального питания в послеоперационный период. Лекарства с аргинином стали применяться в геронтологии и онкологии.



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





У взрослого и здорового человека аргинин вырабатывается организмом в достаточном количестве, у детей, пожилых и больных людей уровень синтеза аргинина часто недостаточен, поэтому аргинин массово применяется в различных пищевых добавках. Содержание аргинина в препаратах нормируется.

В связи с этим аргинин (в составе других аминокислот) определяют в основном методами ВЭЖХ, капиллярного электрофореза. Однако эти методы мало пригодны для скринингового обследования лечебных препаратов, экономически и технически не выполнимы в рядовых клинических лабораториях при эпизодическом и единичном определении аргинина в сложных матрицах, в частности, в смесях  $\alpha$ -аминокислот.

В связи с изложенным разработка простых способов идентификации и количественного определения аргинина является актуальной задачей.

В настоящей работе рассмотрена возможность экспрессного избирательного рН-титриметрического определения аргинина в смешанных растворах моноаминокарбоновых  $\alpha$ -аминокислот. Предложенный подход основан на разном состоянии в водных средах аргинина и моноаминокарбоновых  $\alpha$ -аминокислот, что приводит к специфическому изменению рН водных растворов аргинина ( $pH=10,76$ ). Это обусловлено появлением его ионной формы  $R^{++}$ , отсутствующей в водных растворах моноаминокарбоновых  $\alpha$ -аминокислот.

### Реагенты и оборудование

#### *Приготовление растворов аргинина*

*Исходный раствор:* навеску аргинина 0,8710 г растворяли в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью 100 мл.

Для получения 0,0025М раствора навеску аргинина 0,0436 г растворяли в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью 100 мл.

Для титрования аликвоту 5 мл исходного раствора помещали в мерную колбу вместимостью 25 мл, доводили до метки дистиллированной водой. Полученный 0,1М раствор аргинина оттитровывали 0,1М раствором HCl.

*Для построения градуировочного графика 1* аликвоты исходного раствора (5 мл; 10 мл; 15 мл; 20 мл; 25 мл) помещали в мерные колбы вместимостью 25 мл, разбавляли дистиллированной водой. Полученные растворы оттитровывали 0,1М раствором HCl.

*Для построения градуировочного графика 2* аликвоты 0,0025 М раствора аргинина (0,25 мл; 0,5 мл; 1 мл) помещали в мерные колбы вместимостью 25 мл, разбавляли дистиллированной водой, оттитровывали 0,002 М раствором HCl.

### *Методики приготовления смесей*

Для приготовления смеси I аминокислот в мерную колбу вместимостью 100 мл вводили навески: 0,4455 г Ala; 0,5858 г Val; 0,3755 г Gly; 0,6558 г Leu (концентрация каждой аминокислоты составляла 0,05М). В эту смесь добавляли 0,8710 г аргинина. Дистиллированной водой доводили объем до 100 мл.

Для приготовления смеси II аминокислот в мерную колбу вместимостью 100 мл вводили навески: 0,6558 г Ile; 0,8260 г Phe (концентрация каждой аминокислоты составляла 0,05М). В эту смесь добавляли 0,8710 г аргинина. Дистиллированной водой доводили объем до 100 мл.

Для приготовления смеси III аминокислот в мерную колбу вместимостью 100 мл вводили навески: 0,4455 г Ala; 0,5858 г Val; 0,3755 г Gly; 0,6558 г Leu; 0,6558 г Ile; 0,8260 г Phe (концентрация каждой аминокислоты составляла 0,05М). В эту смесь добавляли 0,8710 г аргинина. Дистиллированной водой доводили объем до 100 мл.

Для приготовления смеси IV аминокислот в мерную колбу вместимостью 100 мл вводили навески: 0,0446 г Ala; 0,0586 г Val; 0,0376 г Gly; 0,0656 г Leu; 0,0656 г Ile; 0,0826 г Phe (концентрация каждой аминокислоты составляла 0,005М). В эту смесь добавляли 0,8710 г аргинина. Дистиллированной водой доводили объем до 100 мл.

Из каждой полученной смеси аминокислот брали аликвоты по 5 мл, разбавляли дистиллированной водой до 25 мл и оттитровывали 0,1М HCl.

рН-метрическое определение проводили на иономере марки «рх-150МП» с хлоридсеребряным электродом сравнения.

### Экспериментальная часть

Предварительно нами проводились титрования водных растворов аргинина раствором HCl с последующим построением градуировочного графика. На рис. 1 а, б приведены соответственно кривая титрования водного раствора аргинина и градуировочный график.

На кривых четко выражен скачок титрования, который характеризует переход от формы  $R^{+}$  к форме  $R^{++}$  аргинина (рис. 2). При дальнейшем прибавлении кислоты рН соответственно медленно понижается.

На титрование 43,55 мг аргинина в водном растворе расходуется 2,25 мл титранта ( $C_{ARG}=0,01M$ ). Как следует из рис. 1, б, линейная зависимость наблюдается в интервале концентраций 43,6–217,8 мг аргинина. Возможно титрование более низких концентраций аргинина (0,1–0,4 мг) в варианте микротитрования.

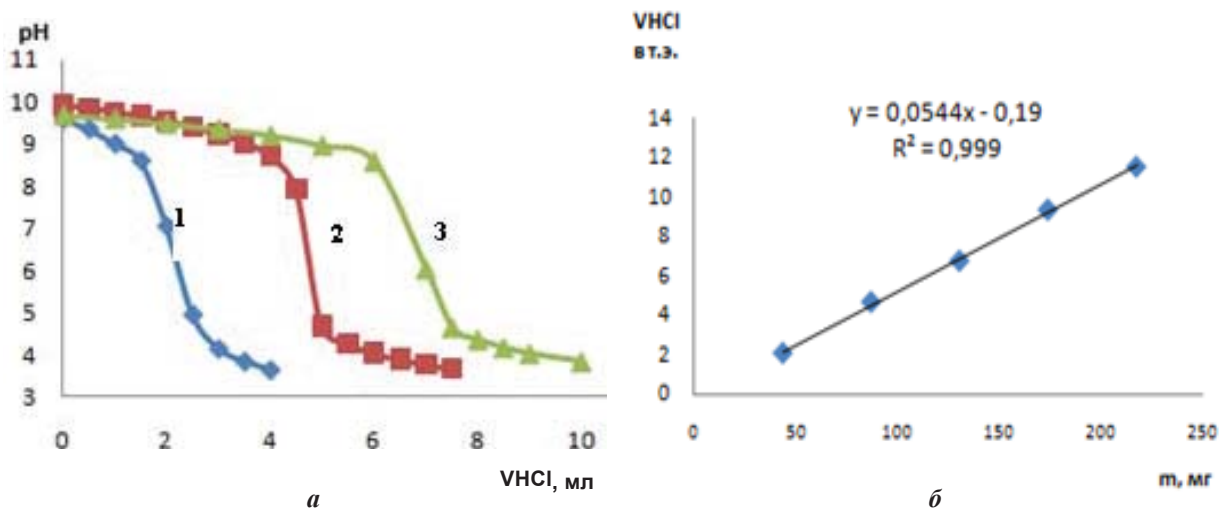


Рис. 1. Кривая pH-метрического титрования (а) 0,01М (1), 0,02М (2), 0,03М (3) растворов аргинина 0,1М раствором HCl; б – градуировочный график для определения аргинина в водном растворе

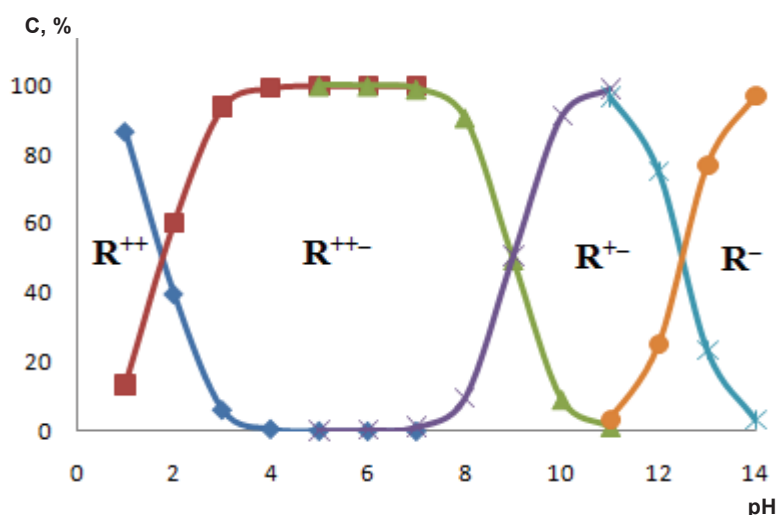


Рис. 2. Диаграмма распределения ионизированных форм аргинина при разных значениях pH

Далее проводились избирательные титриметрические определения аргинина в приготовленных смесях I–IV моноаминокарбоновых  $\alpha$ -аминокислот (рис. 3). Как видно из рис. 3, присутствие других аминокислот, а также смеси всех указанных в табл. 1 аминокислот не изменяет объем титранта в точке эквивалентности.

### Результаты и их обсуждение

Известно, что протолитические свойства  $\alpha$ -аминокислот определяют их многие физико-химические характеристики. К настоящему времени значения констант ионизации  $\alpha$ -аминокислот обобщены и критически оценены в материалах ИЮПАК [1–5]. В табл. 1 обобщены данные о кислотно-основных свойствах аргинина и  $\alpha$ -моноаминокарбоновых кислот, их растворимости и величинах pI.

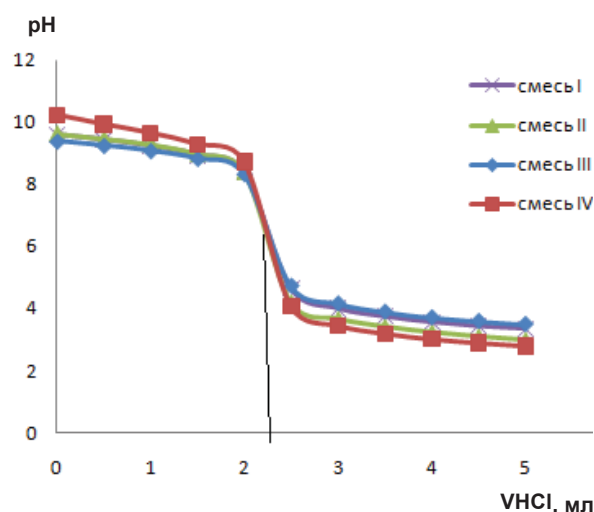


Рис. 3. Кривые pH-метрического титрования 0,05М раствора аргинина в смесях I–IV раствором HCl (0,1М)



Таблица 1

Значения рК ионизации и некоторые характеристики α-аминокислот

№	α-аминокислоты	Обозначение и сокращение	рК						рI	Растворимость в 100 г H <sub>2</sub> O (25°C)		
			α-COOH	β-COOH	γ-COOH	α-NH <sub>2</sub>	>NH <sub>2</sub>	δ-NH <sub>2</sub>			ε-NH <sub>2</sub>	-OH
Аминокислоты												
1	Аргинин H <sub>2</sub> NC(=NH)NH(CH <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> CH(NH <sub>2</sub> )COOH	Arg (R)	1,82			8,99			12,48		11,15	15
Моноаминокислоты												
2	Глицин CH <sub>2</sub> (NH <sub>2</sub> )COOH	Gly (G)	2,35				9,78				5,97	25
3	Аланин CH <sub>3</sub> CH(NH <sub>2</sub> )COOH	Ala (A)	2,35				9,78				6,00	16,6
4	Валин (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH(NH <sub>2</sub> )COOH	Val (V)	2,29				9,74				5,96	8,8
5	Лейцин (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> CHCH <sub>2</sub> CH(NH <sub>2</sub> )COOH	Leu (L)	2,33				9,74				5,98	2,2
6	Изолейцин CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH(CH <sub>3</sub> )CH(NH <sub>2</sub> )COOH	Ile (I)	2,32				9,76				5,94	4,1
7	Фенилаланин C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> CH <sub>2</sub> CH(NH <sub>2</sub> )COOH	Phe (F)	2,20				9,31				5,48	3,0





Для моноаминокарбоновых  $\alpha$ -аминокислот первая константа ионизации соответствует диссоциации  $\alpha$ -COOH-группы, вторая – депротонированию атома азота  $\alpha$  –  $\text{NH}_3^+$  - группы.

Типичное распределение ионизированных форм, характерное для моноаминокарбоновых  $\alpha$ -аминокислот в зависимости от pH, показано на примере валина (рис. 4).

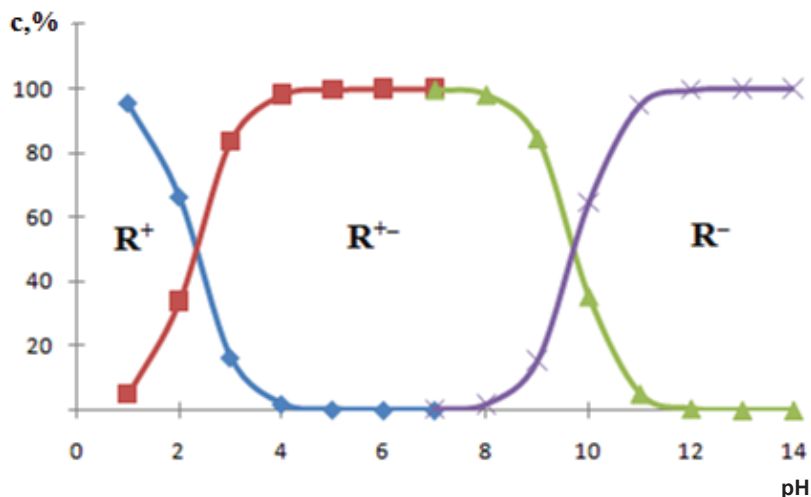
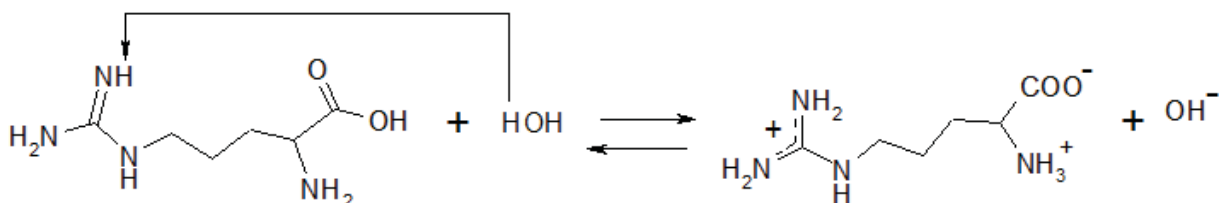


Рис. 4. Диаграмма распределения ионизированных форм валина при разных значениях pH

Аргинин – алифатическая  $\alpha$ -аминокислота, несущая два основных центра: аминогруппу в  $\alpha$ -положении и гуанидиновую группу в  $\sigma$ -положении.

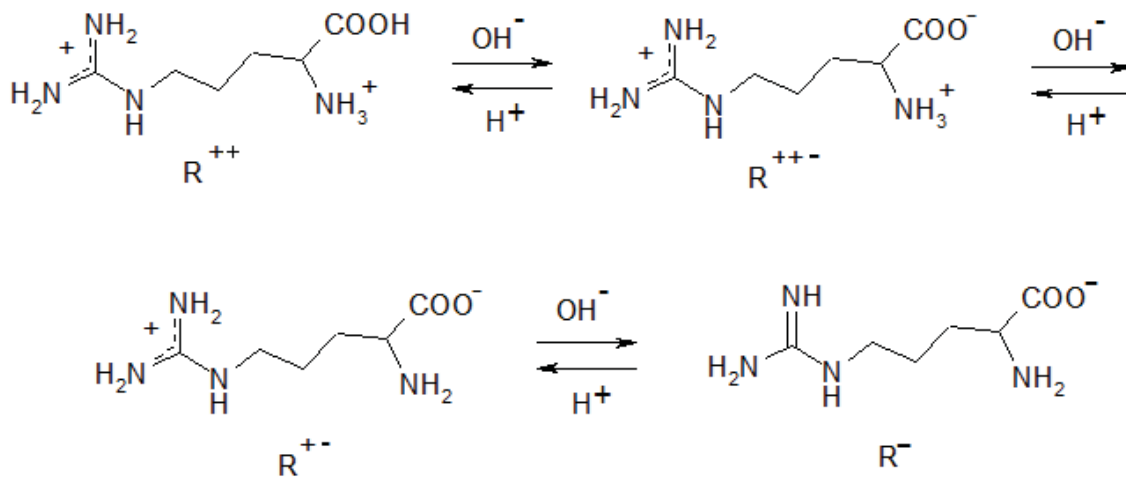
теории Бренстеда – Лоури это свидетельствует о переносе протона от растворителя к протолиту, при этом протонируется гуанидиновая группа, которая благодаря резонансной делокализации заряда при протонировании является сильно основной ( $pK_a = 12,48$ ):

Водные растворы аргинина имеют щелочную реакцию (pH = 10,76). Согласно протолитической



Последовательность образования ионизированных форм аргинина и диаграмма их рас-

пределения в зависимости от pH приведены на рис. 2.





Как следует из вышеприведенных данных, при добавлении аргинина в водные растворы моноаминокарбоновых  $\alpha$ -аминокислот, протонированных только по  $\alpha$ -аминогруппе, имеющих  $pH = 6,64$ , наблюдается увеличение щелочности среды до  $pH=10,76$ . Следовательно, возможно титриметрически, по количеству оттитрованных  $OH^-$  ионов, определить содержание аргинина на фоне моноаминокарбоновых  $\alpha$ -аминокислот. Эта цель и была реализована в данной работе. При этом достигается переход формы  $R^+$  в форму  $R^{++}$  аргинина на фоне не протонируемых в этих условиях форм  $R^+$  моноаминокарбоновых  $\alpha$ -аминокислот (см. рис. 2, 4).

Для оценки правильности определения аргинина в смеси с Ala, Val, Gly, Leu был применен метод «введено–найдено». Для этого в смесь аминокислот вводилось разное количество аргинина (табл. 2). Проведенные pH-потенциометрические определения показали, что в интервале концентраций, указанных на градуировочных графиках, возможно определение аргинина с относительной погрешностью, варьирующей от 3,0 до 5,5%.

Таблица 2

**Пример определения аргинина в смешанном растворе (I) методом «введено–найдено»**

Введено Arg, мг	Найдено Arg, мг	Sr	$\delta, \%$
65,33	61,71 $\pm$ 2,64	0,017	5,5
108,88	103,99 $\pm$ 3,49	0,014	4,5
195,98	190,07 $\pm$ 2,28	0,005	3,0

Проведенные исследования показали, что в интервале концентраций 43,6–217,8 мг возможно прямое избирательное pH-потенциометрическое определение аргинина в различных смешанных растворах моноаминокарбоновых  $\alpha$ -аминокислот с погрешностью, не превышающей 5,5%.

*Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ в сфере научной деятельности (базовая часть) по заданию № 2014/203, код проекта 1255, шифр «ПАВ» Метрология создания и анализа новых практически ценных многокомпонентных систем и материалов.*

### Список литературы

1. Kiss T., Sóvágó I., Gergely A. Critical survey of the stability constants of complexes of glycine // Pure and Appl. Chem. 1991. Vol. 63, № 4. P. 597–638.
2. Berthon G. The stability constants of metal complexes of amino acids with polar side chains // Pure and Appl. Chem. 1995. Vol. 67, № 7. P. 1117–1240.
3. Sóvágó J., Kiss T., Gergely A. Critical survey of the stability constants of complexes of aliphatic amino acids // Pure and Appl. Chem. 1993. Vol. 65, № 5. P. 1029–1080.
4. Pettit L. D. Critical survey of formation constants of complexes of histidine, phenylalanine, tyrosine, L-Dopa and tryptophan // Pure and Appl. Chem. 2009. Vol. 56, № 2. P. 247–292.
5. Yamauchi O., Odani A. Stability constants of metal complexes of amino acids with charged side chains-Part I: Positively charged side chains // Pure and Appl. Chem. 1996. Vol. 68, № 2. P. 469–496.
6. Химическая энциклопедия : в 5 т. Т. 1. М. : Сов. энцикл., 1988.

УДК 543:615.33

## ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ НЕКОТОРЫХ ЦЕФАЛОСПОРИНОВЫХ АНТИБИОТИКОВ В ВОДНЫХ СРЕДАХ СПЕКТРОФОТОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

О. И. Кулапина<sup>1</sup>, В. А. Каренко<sup>2</sup>, Е. Г. Кулапина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет

имени Н. Г. Чернышевского

E-mail: kulapinaeg@mail.ru

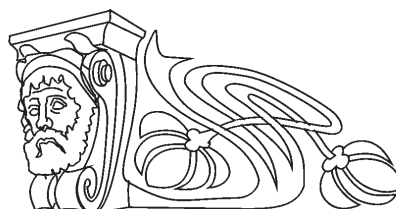
Разработаны экспрессные спектрофотометрические методики оценки подлинности некоторых цефалоспориновых антибиотиков II и III поколений. Показана идентичность препаратов цефотаксима (Россия) и клафорана (Франция), цефуроксима (Россия) и цефуроксим аксетила (Англия).

**Ключевые слова:** цефотаксим, клафоран, цефуроксим, цефуроксим аксетил, лекарственные препараты, водная среда.

### Research of a State of Some the Cephalosporin Antibiotics in Water Environments by Spectrophotometry

O. I. Kulapina, V. A. Karenko, E. G. Kulapina

An express authenticity estimation of some cephalosporin antibiotics of II and III generations are developed by spectrophotometry. An





identity of drugs such as cefotaxime (Russia) and claforan (France), cefuroxime (Russia) and cefuroxime axetil (England) is shown.

**Key words:** cefotaxime, claforan, cefuroxime, cefuroxime axetil, drugs, water environments.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-130-135

### Введение

Бета-лактамы антибиотики применяются для моно- или комбинированной терапии большинства инфекций и лежат в основе современной антибактериальной терапии. К ним относятся пенициллины, цефалоспорины, карбапенемы и монобактамы [1–3].

Основа всех цефалоспоринов представлена дигидротиазолидиновым кольцом, соединенным с  $\beta$ -лактамым кольцом. Антимикробная активность природных цефалоспоринов (цефалоспорин-С) низкая, однако присоединение различных радикалов в положение 7 и в положение 3 резко усиливает их биологическую активность и устойчивость к  $\beta$ -лактамазам [4]. Синтезировано более 50 лекарственных средств этой группы. В настоящее время цефалоспорины занимают ведущее место при лечении различных инфекций в стационаре [5, 6]. В схемах начальной эмпирической терапии инфекций различной локализации в большинстве случаев отдается предпочтение лекарственным средствам цефалоспоринового ряда, поскольку они имеют широкий спектр антимикробной активности, хорошие фармакокинетические характеристики, низкую токсичность и хорошую переносимость; хорошо сочетаются с другими антибактериальными лекарственными средствами; удобны в применении и дозировании (для большинства возможно внутримышечное или внутривенное введение с интервалом 8–12 ч). В зависимости от спектра антимикробной активности цефалоспорины разделяют на 4 поколения (I–IV) [6–9].

В настоящей работе рассматриваются представители цефалоспорины II и III поколений. *Цефалоспорины II поколения* – парентеральные (цефуроксим, цефатакситин) и пероральные (цефуроксим аксетил, цефаклор), активны в отношении грамотрицательных бактерий.

*Цефалоспорины III поколения* – парентеральные (цефотаксим, цефтазидим, цефтриаксон) и пероральные (цефиксим, цефтибутен). Они преимущественно активны в отношении грамотрицательных микроорганизмов и стрептококков/пневмококков. Антипсевдомонадные цефалоспорины III поколения (цефтазидим, цефоперазон) активны в отношении неферментирующих микроорганизмов [7, 8].

В связи с тем что на фармацевтическом рынке появляются фальсифицированные препараты, а также в связи с заменой дорогостоящих импортных лекарств на российские необходимо иметь способ экспрессной идентификации лекарственных препаратов различных фирм-производителей.

В настоящем исследовании разработаны экспрессные спектрофотометрические методики оценки подлинности препаратов цефотаксима (ОАО «Биосинтез» г. Пенза) и его аналога клафорана («Роуссел Лаборатори», Франция), цефуросима (ОАО «АБОЛмед», Россия) и цефуросим аксетила («Зиннат», Glaxo Operations UK Limited, Англия).

### Экспериментальная часть

В работе использовались цефуроксим (цефуробол), цефотаксим, клафоран – порошки для приготовления инъекционных растворов, цефуросим аксетил («Зиннат») – таблетки.

Формулы используемых в работе антибиотиков представлены в табл. 1.

Растворы цефурабола, клафорана, цефотаксима, цефуросим аксетила 0,5 мг/мл готовили путем растворения навесок массой 0,0125 г в небольшом количестве дистиллированной воды, полученные растворы переносили в мерные колбы вместимостью 25 мл и доводили до метки дистиллированной водой. Рабочие растворы концентраций 50–10 мкг/мл готовили разбавлением исходных.

Раствор цефуросим аксетила 0,5 мг/мл (с учетом содержание основного вещества [10]) готовили путем растворения навески (0,0193 г, содержащей 0,0125 г антибиотика) в небольшом количестве дистиллированной воды, фильтровали, полученный раствор переносили в мерную колбу вместимостью 25 мл и доводили до метки дистиллированной водой. Растворы концентраций 50 мкг/мл; 40; 30; 20; 10 мкг/мл готовили разбавлением исходного.

Спектроскопические измерения проводили на спектрофотометре Shadzu UV-1800, совмещенном с IBM PC, использовали кюветы из кварцевого стекла. Кислотность растворов антибиотиков контролировали на pH-метре рХ-150МП со стеклянным и хлоридсеребряным электродами.

Для изучения влияния кислотности на состояние антибиотиков к рабочим растворам ( $C = 50$  мкг/мл) добавляли по каплям 0,1 М раствор гидроксида натрия, создавали pH 7, 8, 9, 10 или 0,1 М раствор HCl – pH 1–6.



Таблица 1

## Формулы используемых в работе антибиотиков

Антибиотик	Формула	М, г/моль	Производитель
Цефурабол Cefur1 (цефуроксим)		424	ОАО «АБОЛмед» Россия
Цефуроксим ацетил Cefur2		510	Glaxo Operations UK Limited, UK
Цефотаксим Клафоран Ctox		455	ОАО «Биосинтез», г. Пенза; «Роусселл Лаборатори», Франция

## Результаты и их обсуждение

Спектрофотометрическое исследование состояния антибиотиков в водных средах. Исследуемые в работе антибиотики относятся к разным поколениям, имеют сложную химическую структуру. Цефуроксим относится к антибиотикам кислотного типа, представляет собой кислоту, а цефуроксим ацетил-эфир в водных растворах гидролизует и превращается в цефуроксим. На рис. 1 представлены спектры поглощения водных растворов цефуроксима и цефуроксим ацетила при различной концентрации.

Интервал линейной зависимости оптическая плотность – концентрация антибиотиков – 10–50 мкг/мл. Сравнение спектров поглощения антибиотиков показало идентичность цефуроксима ( $\lambda_{\max} = 279$  нм,  $\epsilon = 1,5 \cdot 10^{-4}$  л/моль·см) и цефуроксим ацетила.

Обычно антибиотики кислотного типа содержат одну карбоксильную, реже – две карбоксильных группы, либо карбоксильную и сульфоновую группы. В водных растворах эти антибиотики ведут себя как органические кис-

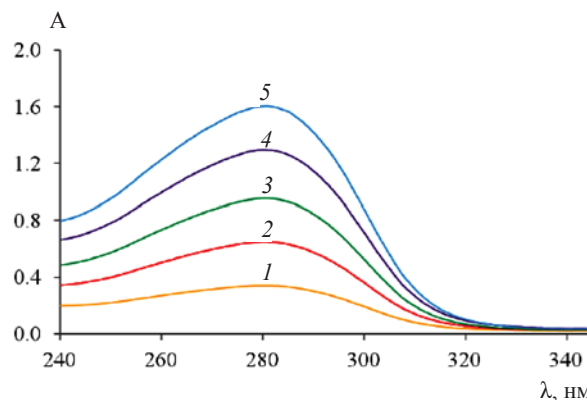


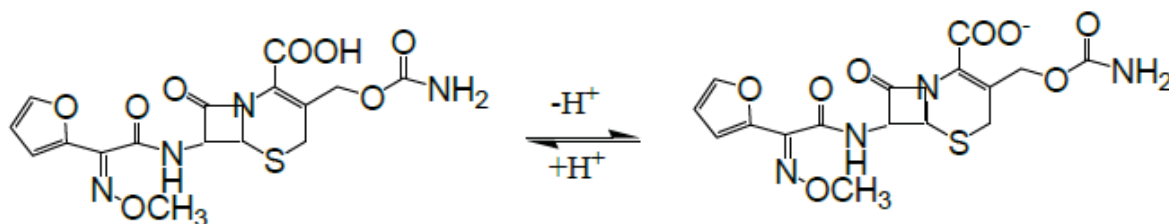
Рис. 1. Спектры поглощения свежеприготовленных водных растворов цефуроксим ацетила, цефурабола при различных концентрациях, мкг/мл: 10 (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4), 50 (5)

лоты, диссоциирующие в одну или две стадии ( $pK_1$  и  $pK_2$  близки [11]).

Все антибиотики этой группы полностью диссоциируют по кислотному типу при pH 5 и выше. В крови человека (т.е. при pH около 7) присутствуют в виде одно- или двухзарядных анионов.



Схема равновесий в растворе цефуроксима:



Цефотаксим и клафоран относятся к антибиотикам амфотерного типа с карбоксильными и аминотиазольными группами, имеют одинаковую химическую структуру, выпускаются

разными производителями. На рис. 2 представлены спектры поглощения водных растворов цефотаксима и клафорана при различной концентрации.

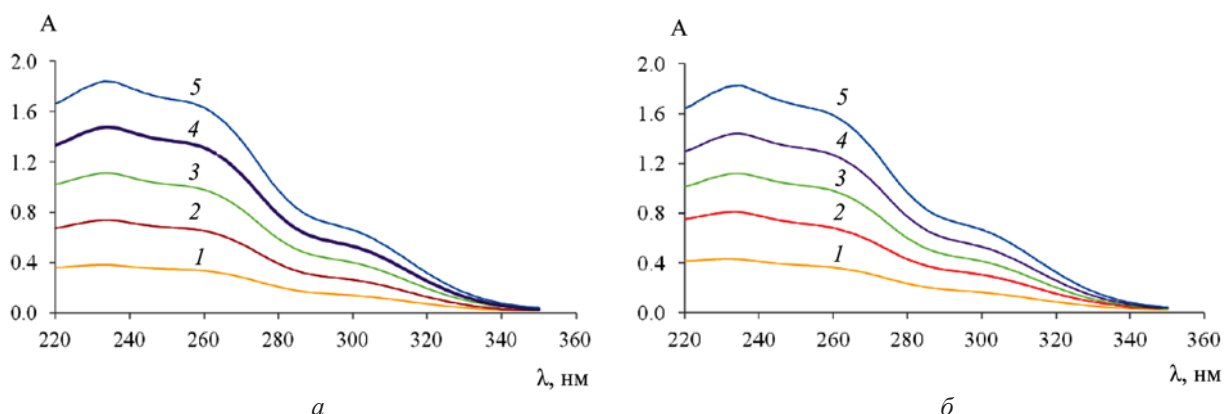


Рис. 2. Спектры поглощения свежеприготовленных водных растворов: а – цефотаксима, б – клафорана при различных концентрациях, мкг/мл: 10 (1), 20 (2), 30 (3), 40 (4), 50 (5)

Сравнение спектров поглощения исследованных антибиотиков показало идентичность цефотаксима ( $\lambda_1 = 232$  нм,  $\varepsilon_1 = 1,6 \cdot 10^{-4}$ , л/моль·см;  $\lambda_2 = 262$  нм,  $\varepsilon_2 = 1,5 \cdot 10^{-4}$ , л/моль·см) и клафорана

( $\lambda_1 = 232$  нм,  $\varepsilon_1 = 1,6 \cdot 10^{-4}$ , л/моль·см;  $\lambda_2 = 262$  нм,  $\varepsilon_2 = 1,4 \cdot 10^{-4}$ , л/моль·см).

Основные оптические характеристики антибиотиков представлены в табл. 2.

Таблица 2

Основные оптические характеристики водных растворов антибиотиков

Антибиотик	$\lambda$ , нм	$\varepsilon \cdot 10^{-4}$ , л/моль·см	$y = a + bx$	Коэффициент корреляции, $R_2$
Цефурабол	274	1,5	$y = 0.0371x - 0.0149$	0,9998
Цефуроксим аксетил	279	1,4	$y = 0.0318x + 0.0152$	0,9997
Цефотаксим	232	1,6	$y = 0.0367x + 0.0105$	1
	262	1,5	$y = 0.0326x + 0.0024$	1
Клафоран	232	1,6	$y = 0.0339x + 0.0106$	0,9983
	262	1,4	$y = 0.0296x + 0.0068$	0,9958

Исследовано влияние кислотности среды на состояние антибиотиков в водных средах. В течение 7 суток измеряли pH серии растворов антибиотиков ( $C = 10; 20; 30; 40; 50$  мкг/мл) с помощью универсальной индикаторной бумаги. Для

раствора с наибольшей концентрацией (50 мкг/мл) pH контролировали на pH-метре со стеклянным и хлоридсеребряным электродами. Показано, что кислотность растворов ( $C = 50$  мкг/мл) незначительно изменяется во времени (табл. 3).



Таблица 3

Изменение кислотности (рН) водных растворов антибиотиков во времени,  $C = 50$  мкг/мл

Препарат	Сутки						
	1	2	3	4	5	6	7
Цефурабол	6,16	6,20	6,24	6,27	6,28	6,30	6,31
Цефуроксим ацетил	6,36	6,45	6,58	6,67	6,75	6,81	6,89
Цефотаксим	6,00	6,12	6,16	6,18	6,24	6,26	6,29
Клафоран	6,15	6,18	6,21	6,24	6,26	6,30	6,33

Спектры поглощения цефуроксим ацетила и цефуроксима идентичны представлены на рис. 3, спектры поглощения цефотаксима и клафорана

при различной кислотности среды – на рис. 4. Спектры антибиотиков идентичны при различной кислотности среды (рН 7,00–10,00).

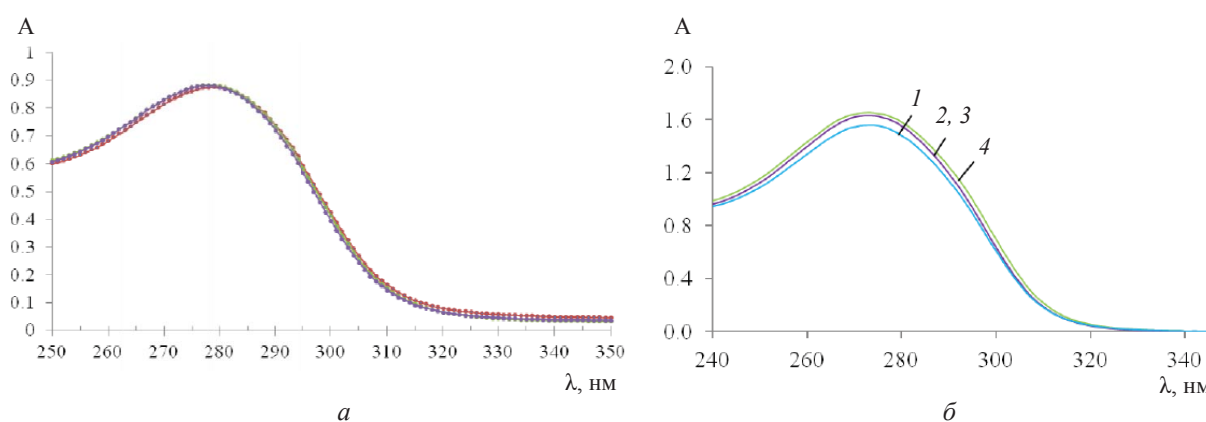


Рис. 3. Спектры поглощения свежеприготовленных растворов: *a* – цефуроксим ацетила, *б* – цефурабола при различных рН: 7,00 (1), 8,00 (2), 9,00 (3), 10,00 (4)

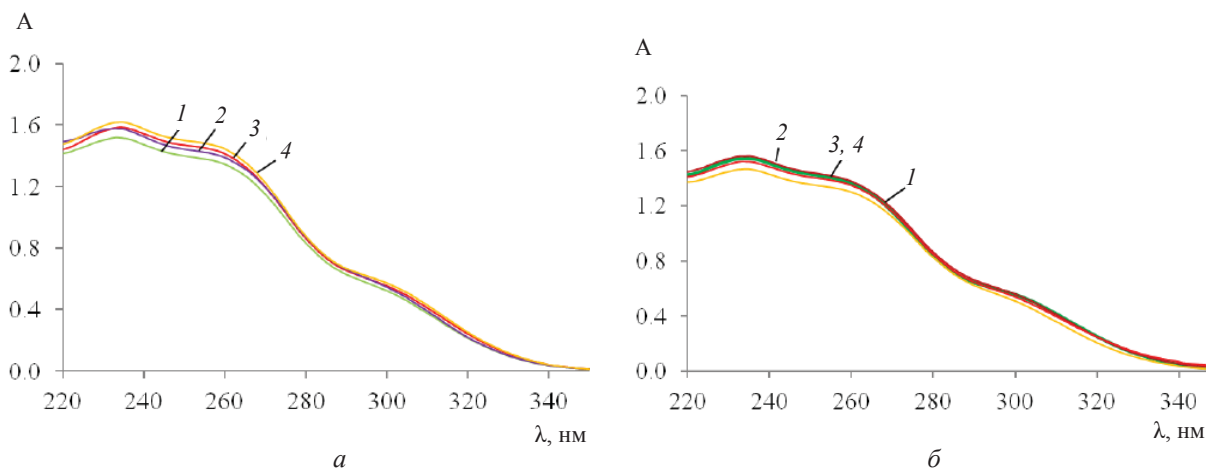


Рис. 4. Спектры поглощения свежеприготовленных растворов: *a* – цефотаксима, *б* – клафорана при различных рН: 7,00 (1), 8,00 (2), 9,00 (3), 10,00 (4)

Цефотаксим содержит в боковой цепи аминотиазольную группу [11]. Слабоосновный атом азота тиазольного цикла способен присоединять протон. Если молекула не содержит других активных в кислотно-основных взаимодействиях

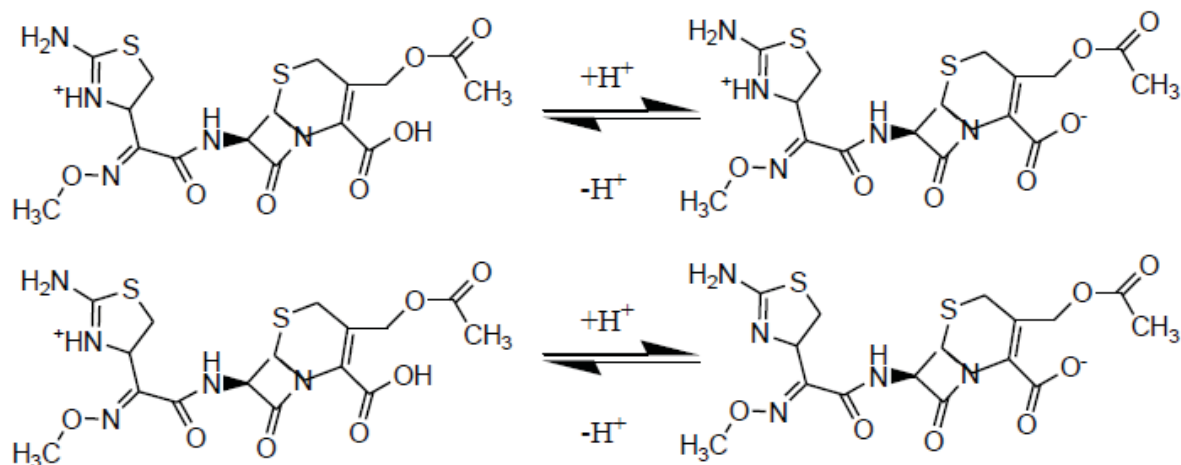
групп, то для таких соединений определяются две константы кислотной диссоциации. При этом  $K_1$  соответствует диссоциации карбоксильной группы катиона с образованием цвиттер-иона  $H_2L^{\pm} \leftrightarrow L^- + H^+$ , а  $K_2$  – диссоциации протона,



координированного аминотиазольной группой, с образованием аниона  $\text{HL}^{\pm} \leftrightarrow \text{L}^- + \text{H}^+$ . Эти антибиотики существуют в виде катиона (в сильно-кислой среде), цвиттер-иона (в слабокислой) и аниона (в нейтральной и щелочной). Некоторые цефалоспорины содержат одну аминотиазольную и две карбоксильные группы. Для этих соединений характерны три константы диссоциации.  $K_1$  соответствует диссоциации карбоксильной

группы, связанной с цефем-группой,  $K_2$  – диссоциации карбоксильной группы боковой цепи,  $K_3$  – диссоциации протона, координированного тиазольным циклом. В кислой среде эти антибиотики существуют в виде катиона или цвиттер-иона, в нейтральной и щелочной – в виде аниона или, при наличии четвертичного атома азота, в виде цвиттер-иона.

Схема равновесий в растворе цефотаксима:



Таким образом, проведенные исследования показали идентичность препаратов цефотаксима и клафорана, цефуроксима (цефурабола) и цефуроксим ацетила (Зиннат).

*Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ в сфере научной деятельности (базовая часть) по заданию № 4.121.22.2014/к, шифр «Флуорофор».*

#### Список литературы

1. Савельев В. С., Гельфанд Б. Р. Антибактериальная терапия абдоминальной хирургической инфекции. М. : Литтерра, 2006. 168 с.
2. Романцов М. Г., Горячева Л. Г., Коваленко А. Л. Противовирусные и иммуотропные препараты в детской практике. СПб. : МедиКа, 2009. 119 с.
3. Шевола Д., Дмитриева Н. В. Антибиотикопрофилактика в медицинской практике. М. : Принт-Партнер, 2000. 128 с.
4. Солдатенков А. Т., Коледина Н. М., Шидрин И. В. Основы органической химии лекарственных веществ. М. : Мир ; Бином ; Лаборатория знаний, 2007. 191 с.
5. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках. М. : Наука, 2004. 528 с.
6. Яковлев В. П., Яковлев С. В. Рациональная анти-микробная фармакотерапия. М. : Литтерра, 2007. 784 с.
7. Богомолова Н. С., Орешкина Т. Д., Большаков Л. В. Перспективы использования цефалоспоринового антибиотика четвертого поколения в хирургии // Антибиотики и химиотерапия. 2003. Т. 48, № 7. С. 20–22.
8. Яковлев В. П. Настоящее и будущее цефалоспоринов IV поколения цефепима // Антибиотики и химиотерапия. 2003. Т. 48, № 7. С. 3–4.
9. Кулапина О. И., Кулапина Е. Г. Антибактериальная терапия. Современные методы определения антибиотиков в лекарственных и биологических средах. Саратов : Саратовский источник, 2015. 91 с.
10. Кулапина Е. Г., Каренко В. А., Кулапина О. И. Определение основного вещества в препаратах цефалексина и цефуроксим ацетила // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2016. Т. 16, вып. 1. С. 25–28.
11. Алексеев В. Г. Бионеорганическая химия пенициллинов и цефалоспоринов. Тверь : Изд-во Твер. гос. ун-та, 2009. 104 с.



УДК 543.226: 541.123.3

## ФАЗОВЫЕ РАВНОВЕСИЯ В ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СИСТЕМЕ Н-НОНАДЕКАН – ЦИКЛОДОДЕКАН

Е. П. Петров, И. К. Гаркушин, А. В. Колядо

Самарский государственный технический университет  
E-mail: e.p.petrov@yandex.ru

Методом низкотемпературного дифференциального термического анализа с использованием дифференциального сканирующего калориметра теплового потока впервые была исследована система н-нонадекан – циклододекан. Исследованная система относится к эвтектическому типу. Сплав эвтектического состава содержит 37,0 мас % циклододекана и плавится при температуре 20,4 °С.

**Ключевые слова:** н-нонадекан, циклододекан, фазовые равновесия, ликвидус, эвтектика.

### Phase Equilibria in the Twocomponent System n-nonadecane – Cyclododecane

E. P. Petrov, I. K. Garkushin, A. V. Kolyado

Method of low-temperature differential thermal analysis using a differential scanning calorimeter of heat flow was first studied system n-nonadecane – cyclododecane. The studied systems are of the eutectic type. Alloy of eutectic composition contains 37,0 wt % of cyclododecane and melts at a temperature of 20.4 °C.

**Key words:** n-nonadecane, cyclododecane, phase equilibria, liquidus, eutectic.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-136-137

### Введение

Современная энергетика ориентирована на развитие экологически чистых способов получения электроэнергии. В климатических районах с преобладанием солнечных дней в году в качестве альтернативного источника энергии могут выступать установки, в которых применяется передача сфокусированного тепла солнечного излучения к рабочему телу паровой турбины. При этом используется промежуточный теплоноситель, который передает тепло воде. Применяющийся промежуточный теплоноситель должен обладать рядом свойств: быть дешевым и доступным, обладать широким температурным диапазоном, выдерживать большое число циклов «нагрев–охлаждение», обладать низкой токсичностью и не оказывать коррозионного воздействия на металлические материалы. Анализ данных литературы показывает, что в качестве таких теплоносителей могут быть использованы н-алканы, а также их смеси, в том числе включающие циклоалканы.

В качестве объектов исследования для поиска новых теплоносителей выбрана система

н-нонадекан (н- $C_{19}H_{40}$ ) – циклододекан ( $C_{12}H_{24}$ ). Предварительный прогноз фазовой диаграммы данной двухкомпонентной системы осуществлялся с использованием теории идеальных растворов, в рамках которой было применено упрощённое уравнение растворимости (уравнение Шредера – Ле Шателье) [1, 2]:

$$\ln X_A = \frac{\Delta_m H_A (T_e - T_A)}{RT_e T_A},$$

где  $X_A$  – мольная доля компонента А в расплаве;  $\Delta_m H_A$  – мольная энтальпия плавления вещества А, Дж/моль;  $T_e$  – температура плавления эвтектического состава, К;  $T_A$  – температура плавления чистого компонента А, К;  $R$  – мольная газовая постоянная, равная 8.314 Дж/моль К.

При нормальном давлении  $C_{19}H_{40}$  имеет две модификации [3]. Фаза II переходит в гексагональную фазу I (ротационный переход) при  $t = 21.5^\circ\text{C}$  с  $\Delta H = 14.2$  кДж/моль и  $\Delta V = 13.8$  см<sup>3</sup>/моль. Плавится фаза I при  $31.5^\circ\text{C}$  с  $\Delta H = 37.6$  кДж/моль и  $\Delta V = 46$  см<sup>3</sup>/моль [3]. Первым был исследован состав, отвечающий расчётному значению эвтектики. На кривой нагревания сплава состава, отвечающего расчётному составу эвтектики, отмечено два термоэффекта ( $22.1^\circ\text{C}$  и  $20.4^\circ\text{C}$ ). По характеру термограмм было выявлено, что расчётная температура эвтектики не отвечает экспериментально найденному значению. В связи с этим было проведено исследование фазовых равновесий в системе методом ДТА для выявления координат эвтектики.

### Результаты и их обсуждение

Экспериментальное исследование проводили с использованием установки на базе дифференциального сканирующего калориметра теплового потока (микрокалориметр ДСК) [4]. Через термостатируемый кожух с помощью термостата U10 постоянно пропускалась вода температурой  $40 \pm 0,1^\circ\text{C}$ . Нагревание исследуемых составов проводили со скоростью 4 град/мин. Погрешность в измерении температуры составляла  $\pm 0.3^\circ\text{C}$ . Составы готовили из веществ заводского изготовления квалификаций «ч» и «р.а.»

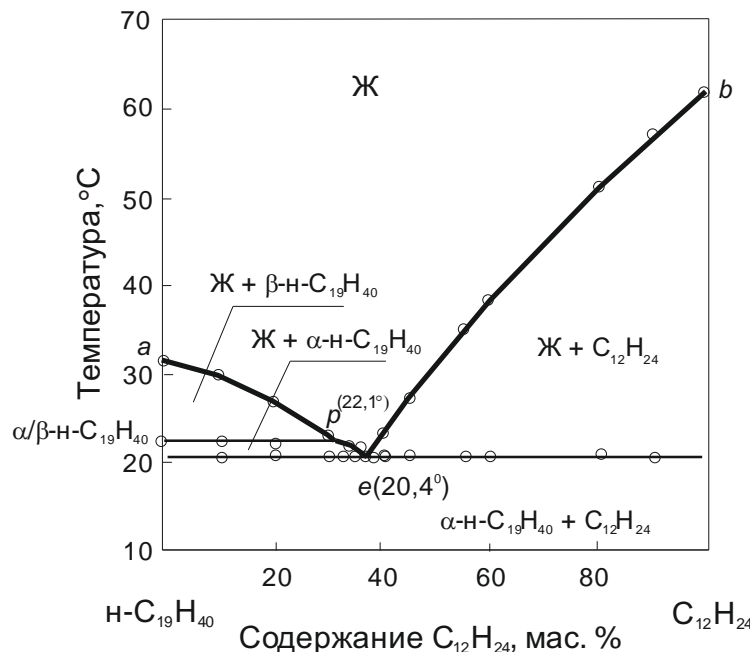




с содержанием основного вещества не менее 99 мас. % методом точных навесок. Термограммы снимали в диапазоне от минус 70 до плюс 70 °С.

Фазовая диаграмма системы н-нонадекан – циклододекан была построена по совокупности кривых нагревания 13 смесей (рисунок, таблица). Система н-нонадекан – циклододекан относится к системам эвтектического типа. Сплав эвтектического состава содержит 63.0 мас. % н-С<sub>19</sub>H<sub>40</sub>; 37.0 мас. % С<sub>12</sub>H<sub>24</sub> и имеет температуру кристаллизации 20.4°С. Фазовая диаграмма системы

представлена пятью полями: выше ликвидуса *aeb* – Ж; ниже линии ликвидуса Ж + α-н-С<sub>19</sub>H<sub>40</sub>; Ж + β-н-С<sub>19</sub>H<sub>40</sub>; Ж + н-С<sub>12</sub>H<sub>24</sub>; ниже линии ликвидуса – α-н-С<sub>19</sub>H<sub>40</sub> + С<sub>12</sub>H<sub>24</sub>. Поля соприкасаются по трём линиям моновариантных состояний: линия *ap*: Ж ⇌ β-н-С<sub>19</sub>H<sub>40</sub>; *pe*: Ж ⇌ α-н-С<sub>19</sub>H<sub>40</sub>; линия *eb*: Ж ⇌ С<sub>12</sub>H<sub>24</sub>. Линии моновариантных равновесий пересекаются с линией трёхфазного нонавариантного равновесия в точке, отвечающей составу жидкой фазы двойной эвтектики (Ж ⇌ α-н-С<sub>19</sub>H<sub>40</sub> + С<sub>12</sub>H<sub>24</sub>).



Фазовая диаграмма системы н-нонадекан – циклододекан

**Растворимость компонентов системы н-С<sub>19</sub>H<sub>40</sub> – С<sub>12</sub>H<sub>24</sub>**

Содержание, мас. %		Температура, °С
С <sub>19</sub> H <sub>40</sub>	С <sub>12</sub> H <sub>24</sub>	
100.0	0.0	31.5
90.0	10.0	29.4
80.0	20.0	27.2
75.0	25.0	23.1
70.0	30.0	22.1
65.0	35.0	21.3
63.0	37.0	20.4
60.0	40.0	23.0
55.0	45.0	27.4
45.0	55.0	35.1
40.0	60.0	38.4
10.0	90.0	51.0
0.0	100.0	62.0

1. Система н-нонадекан–циклододекан относится к системам эвтектического типа, сплав эвтектического состава содержит 63.0 мас. %

н-С<sub>19</sub>H<sub>40</sub>, 37.0 мас. % С<sub>12</sub>H<sub>24</sub> и имеет температуру кристаллизации 20.4°С.

2. Сплав, отвечающий эвтектическому составу в исследованной системе, может быть использован в качестве среднетемпературного теплоносителя в гелиоэнергетике и теплоэнергетике.

**Список литературы**

1. Рид Р., Праусниц Дж., Шервуд Т. Свойства газов и жидкостей : справ. пособие. Л. : Химия, Ленингр. отд-ние, 1982. 592 с.
2. Гаркушин И. К., Колядо А. В., Дорохина Е. В. Расчёт и исследование фазовых равновесий в двойных системах из органических веществ. Екатеринбург : УрО РАН, 2011. 191 с.
3. Wurflinger A., Schneider G. M. Investigation of the Rotational Transition of several n-alkanes // Berichte der Bunsengesellschaft. 1973. Bd. 77, № 2. S. 121.
4. Мощенский Ю. В. Дифференциальный сканирующий калориметр ДСК-500 // Приборы и техника эксперимента. 2003. № 6. С. 143–144.



УДК 543:615.33

## ПОТЕНЦИОМЕТРИЧЕСКИЕ СЕНСОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕФЕПИМА В ВОДНЫХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДАХ

Е. Г. Кулапина<sup>1</sup>, О. И. Кулапина<sup>2</sup>, В. А. Каренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

<sup>2</sup>Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского

E-mail: kulapinaeg@mail.ru

Разработаны потенциометрические сенсоры на основе органического ионообменника цефепим-тетрафенилборат, чувствительные к цефепиму. Установлен оптимальный состав мембран. Исследованы поверхностные и объемные свойства мембран сенсоров. По стационарным сопротивлениям оценена константа диссоциации электродноактивного компонента в фазе мембраны. Показана возможность ионометрического определения цефепима в водных и биологических средах.

**Ключевые слова:** цефепим, потенциометрические сенсоры, водные и биологические среды.

### Potentiometric Sensors for Determination of Cefepime in Water and Biological Environments

E. G. Kulapina, O. I. Kulapina, V. A. Karenko

Potentiometric cefepime sensors based on an organic ion-exchanger such as cefepime with tetraphenylborate are developed. The optimum membrane composition is established. The surface and volume properties of membranes are investigated. The constant of dissociation of the ion-exchanger in a membrane phase is calculated by stationary resistance. Potentiometric determination of cefepime in water and biological environments is present.

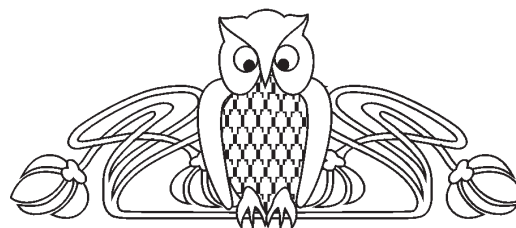
**Key words:** cefepime, potentiometric sensors, water and biological environments.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-138-143

### Введение

С момента открытия цефалоспоринов – одного из наиболее популярных классов антибиотиков – прошло чуть более 65 лет. За эти годы они по праву заняли достойное место в арсенале средств борьбы человека с инфекциями [1].

Основа всех цефалоспоринов представлена дигидротиазолидиновым кольцом, соединенным с  $\beta$ -лактамным кольцом. Синтезировано более 50 лекарственных средств этой группы. В схемах начальной эмпирической терапии инфекций различной локализации в большинстве случаев отдается предпочтение лекарственным средствам цефалоспоринового ряда, поскольку они имеют широкий спектр антимикробной активности, хорошие фармакокинетические характеристики, низкую токсичность и хорошую переносимость, хорошо сочетаются с другими антибактериаль-



ными лекарственными средствами, удобны в применении и дозировании.

Цефалоспорины IV поколения относятся к высокоэффективным антибиотикам с биполярной структурой. Цефемовое ядро этих антибиотиков несет отрицательный заряд, четвертичный азот циклопентопиридиновой группы – положительный заряд, что придает молекуле структуру цвиттер-иона [2].

Цефалоспорины IV поколения (цефепим и цефпиром) имеют наиболее широкий спектр активности среди цефалоспоринов. Они являются парентеральными лекарственными средствами, частично противостоят гидролизу плазмидными  $\beta$ -лактамазами [3, 4].

Важное свойство цефепима заключается в том, что он часто сохраняет активность даже в отношении штаммов, резистентных к цефалоспорином III поколения. Цефепим является парентеральным лекарственным средством, проявляет высокую активность в отношении неферментирующих микроорганизмов, действует на грамотрицательные и грамположительные микроорганизмы, способен быстро поступать внутрь микробной клетки [3, 4].

Несмотря на все достоинства цефалоспориновых антибиотиков IV поколения, авторами [5] опубликован обзор, в котором продемонстрировано увеличение смертности больных с нейтропенической лихорадкой при лечении цефепимом по сравнению с терапией другими  $\beta$ -лактамными антибиотиками. Установлено увеличение смертности больных с инфекциями разных локализаций при лечении цефепимом на 26 % по сравнению с терапией другими  $\beta$ -лактамными антибиотиками [6].

Представляется разумным воздерживаться от использования цефепима при нейтропенической лихорадке и, по-видимому, при инфекциях кожи и мягких тканей, в то время как этот антибиотик остается действенным средством лечения больных с пневмониями и инфекциями других локализаций как в виде монотерапии, так и, при



необходимости, в сочетании с другими антибиотиками (например, метронидазолом) [1].

Для определения цефалоспориновых антибиотиков в различных лекарственных препаратах, фармацевтических составах, в биосредах используются электрохимические, спектроскопические, хроматографические, микробиологические, иммунологические методы, капиллярный электрофорез [7, 8].

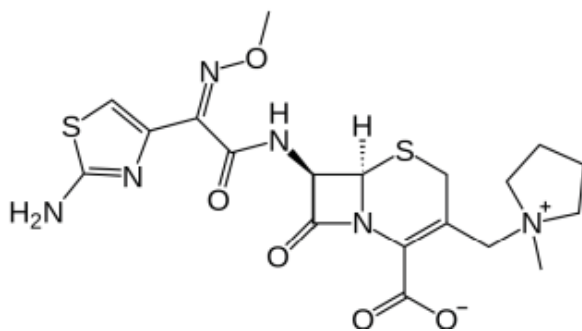
Одним из перспективных методов определения антибиотиков в фармацевтических формах и биологических жидкостях является прямая потенциометрия и потенциометрическое титрование с использованием различных сенсоров [7, 8].

Предложены ионоселективные электроды на основе органических ионообменников; в качестве противоиона использовался тетрадециламмоний. Определены основные электрохимические характеристики потенциометрических сенсоров: интервал линейности, время отклика электрода, дрейф потенциала, предел обнаружения, коэффициенты потенциометрической селективности. Показана возможность применения предложенных сенсоров для определения некоторых цефалоспориновых антибиотиков в фармацевтических формах и биологических субстратах (кровь, плазма, смешанная слюна); предел обнаружения  $10^{-6}$  М [7].

Настоящее исследование посвящено разработке нового потенциометрического сенсора с пластифицированной мембраной, чувствительного к цефепиму, оценке его электроаналитических характеристик в водных средах и ротовой жидкости.

### Экспериментальная часть

Цефепим. *Коммерческое название препарата:* «Цефепим»; *фирма-производитель:* «Линкольн Парентеральс», Индия; *форма выпуска:* порошок для приготовления раствора для внутривенного и внутримышечного введения; *состав:* 1 флакон содержит цефепима гидрохлорида в пересчете на цефепим – 1 г.



Раствор цефепима  $1 \cdot 10^{-2}$  М концентрации готовили растворением навески препарата  $m = 0,1200$  г в дистиллированной воде в мерной колбе вместимостью 25 мл. Рабочие растворы концентрацией  $1 \cdot 10^{-3} - 1 \cdot 10^{-6}$  М готовили последовательным разбавлением исходных.

Исследуемые мембраны содержали в качестве инертной матрицы поливинилхлорид, растворитель-пластификатор (дибутилфталат) и электродноактивный компонент цефепим-тетрафенилборат (cefep-TФБ). С учетом сложности состояния цефепима необходимо было создать кислотность, при которой цефепим существует в виде катиона ( $\text{pH} = 2$ ), поэтому синтез электродноактивного компонента (ЭАК) проводили из кислого раствора. Получали ЭАК смешением 50 мл 0,01 М ТФБ, 50 мл 0,01 М раствора цефепима и 5 мл 0,1 М HCl в стеклянном стакане. Осадок выпадал в течение 1 суток. Затем осадок центрифугировали и высушивали в сушильном шкафу при температуре  $30^\circ\text{C}$  в течение 2–3 часов.

Попытки синтезировать соединение цефепим-катионы тетраалкиламмония не привели к положительным результатам, так как в щелочной и нейтральной средах цефепим существует в виде цвиттер-иона [9].

**Приготовление пластифицированных мембран** осуществляли по следующей методике: навески ЭАК и растворителя-пластификатора дибутилфталата (ДФБ) помещали в бюкс, затем при перемешивании на магнитной мешалке прибавляли 1,5 мл тетрагидрофурана (ТГФ) и постепенно – навеску поливинилхлорида (ПВХ). Перемешивание продолжали до полной гомогенизации смеси (соотношение ПВХ: ДФБ по массе равно 1:3). Полученную мембранную композицию выливали в чашку Петри и оставляли на воздухе до полного удаления ТГФ на строго горизонтальной поверхности для получения мембраны одинаковой толщины. Мембраны имели вид эластичных пленок и хранились над парами растворителя-пластификатора. Изготовлены серии мембран с концентрацией ЭАК 1–5%. В работе использовались электроды с пластифицированными мембранами с жидкостным заполнением.

К отшлифованному торцу поливинилхлоридной трубки приклеивали селективные мембранные диски, диаметр которых соответствовал диаметру трубки. Клей получали растворением 0,5 г ПВХ и 0,25 г ДФБ в 5 мл ТГФ. После высыхания клея внутрь трубки заливали 1,5 мл стандартного  $1 \cdot 10^{-3}$  М раствора хлорида натрия и 1,5 мл  $1 \cdot 10^{-3}$  М раствора цефепима (соотношение по объему 1:1).



**Подготовка электродов к работе.** Ионоселективные электроды требуют предварительного кондиционирования, так как отклик некондиционированных электродов замедлен и плохо воспроизводим. Перед работой электроды кондиционировали в  $10^{-3}$  М растворе антибиотика в течение суток.

Электрохимические характеристики изучали методом ЭДС с использованием элемента с переносом:

$\text{Ag, AgCl, KCl}_{\text{нас}}/\text{исслед.раствор}/\text{мембрана}/\text{внутр.раствор}/\text{AgCl, Ag}$

Контакт между полуэлементами осуществляли с помощью солевого мостика, заполненного насыщенным раствором хлорида калия.

ЭДС цепи измеряли на иономере И-160 М при температуре  $20 \pm 3^\circ \text{C}$  (погрешность измерения ЭДС  $\pm 1$  мВ); электрод сравнения – стандартный хлоридсеребряный ЭВМ-1МЗ. Измерения ЭДС в анализируемых растворах проводили от меньшей концентрации к большей. Для ускорения достижения значения потенциала внешний раствор перемешивали на магнитной мешалке.

**Время установления стационарного потенциала** электродов проводили при скачкообразном изменении концентраций лекарственных веществ на порядок. Измерения проводили в интервале концентраций  $1 \cdot 10^{-4} - 1 \cdot 10^{-3}$  М от растворов с меньшей концентрацией к растворам с большей концентрацией.

**Контроль pH** растворов проводили на рН-метре рХ 150 мП со стеклянным (ЭСЛ-63-07) и хлоридсеребряным (ЭВМ-1МЗ) электродами.

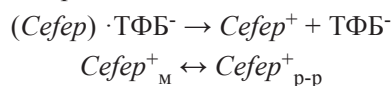
**Произведение растворимости ( $K_s$ )** определяли методом потенциометрического титрования. Точку эквивалентности находили графически.

**Для исследования объемных свойств мембран** под током была использована четырехэлектродная система, состоящая из пары платиновых (токопроводящих) и пары хлоридсеребряных (региструемых) электродов. Измерения проводились в гальваностатическом режиме при силе тока 5 мкА в течение 3 часов. Направление тока поляризации изменялось каждый час. При этом оценивалось падение напряжения на мембране при прохождении через ячейку постоянного тока и электрическое сопротивление мембран, контактирующих с раствором цефепима различных концентраций.

### Результаты и их обсуждение

Электродные функции сенсоров выполняются в растворах цефепима в интервале концентраций  $1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-4}$  М с угловыми

коэффициентами ( $52 \pm 4$ ) мВ/рС. Потенциалопределяющей является реакция ионного обмена на границе раздела мембрана – раствор с предварительной диссоциацией ионообменника в фазе мембраны:



При проведении серийных анализов важным фактором, определяющим возможность применения ИСЭ, является время отклика на изменение концентрации раствора. Показано, что стационарное значение потенциала сенсоров на основе *Cefep*-ТФБ с  $C_{\text{ЭАК}} = 1,3,5\%$  устанавливается соответственно через 100, 80, 60 с ( $C_{\text{cefep}} = 1 \cdot 10^{-4}$  М,  $1 \cdot 10^{-3}$  М).

Коэффициенты потенциометрической селективности, определенные методом бионных потенциалов, по отношению к некоторым цефалоспориновым антибиотикам оказались равными  $6,2 \cdot 10^{-2}$  (цефотаксим, цефуроксим);  $6,9 \cdot 10^{-2}$  (цефалексин).

**Дрейф потенциала** составил 2–4 мВ/сут. Как правило, дрейф потенциала ИСЭ обусловлен изменением в структуре поверхности электрода и растворением ионообменника в исследуемом растворе.

Для определения **срока службы** снимались электродные функции сенсора на основе *Cefep*-ТФБ ( $C_{\text{ЭАК}} = 3\%$ ) в свежеприготовленных растворах цефепима на протяжении длительного времени и по изменению угла наклона электродной функции судили о чувствительности данного электрода к антибиотику. Срок службы сенсоров составил 2–3 мес.

*Оценены некоторые физико-химические характеристики* электродноактивных компонентов в водных средах и фазе мембраны. Стехиометрическое соотношение компонентов и растворимость ионных ассоциатов определяли методом потенциометрического титрования  $1 \cdot 10^{-3}$  М раствора ТФБ  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствором цефепима и  $1 \cdot 10^{-3}$  М раствора цефепима  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствором ТФБ. В качестве индикаторного электрода использовался сенсор на основе *Cefep*-ТФБ ( $C_{\text{ЭАК}} = 3\%$ ). Пример кривой потенциометрического титрования представлен на рис. 1.

Соотношение реагирующих компонентов в органическом ионообменнике оказалось равным 1:1.

Для оценки величины произведения растворимости ( $K_s$ ) ионного ассоциата использован подход потенциометрического титрования по реакции осаждения с использованием электрода,

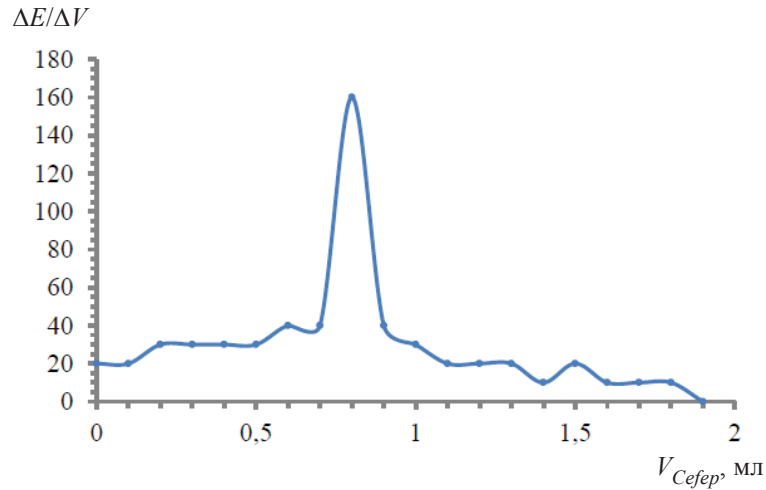


Рис. 1. Дифференциальная кривая титрования 10 мл  $1 \cdot 10^{-3}$  М раствора ТФБ  $1 \cdot 10^{-2}$  М раствором цефепима

обратимого к титруемому иону и с учетом того, что электрод сохраняет функцию на титруемый ион после точки эквивалентности [10]. Величину  $K_s$  труднорастворимых соединений рассчитывали по формуле

$$K_s = 10^{\frac{E-E_0}{S}} \cdot \frac{C_{\text{тит.}}(V_2 - V_{\text{к.т.т.}})}{V_1 - V_2},$$

где  $E$  – значение потенциала, найденное по кривой титрования после к.т.т., мВ;  $E_0$  – начальная величина потенциала при  $V_{\text{ант.}} = 0$ , мВ;  $S$  – угловой коэффициент электродной функции, мВ/рС;  $V_1$  – объем аликвоты, взятой для титрования, мл;  $V_2$  – объем титранта после к.т.т.;  $V_{\text{к.т.т.}}$  – объем титранта в к.т.т., мл;  $C$  – концентрация титранта, моль/л.

Произведение растворимости оказалось равным  $(9,8 \pm 0,1) \cdot 10^{-9}$ .

С целью получения некоторых данных о транспорте ионов в мембранах на основе *Cefep*-ТФБ была определена зависимость сопротивления мембран от времени при различных концентрациях электродноактивного компонента. Электрическое сопротивление мембраны определяли по закону Ома:

$$R = U/I, \text{ Ом},$$

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

Временные зависимости сопротивления мембран на основе *Cefep*-ТФБ представлены на рис. 2.

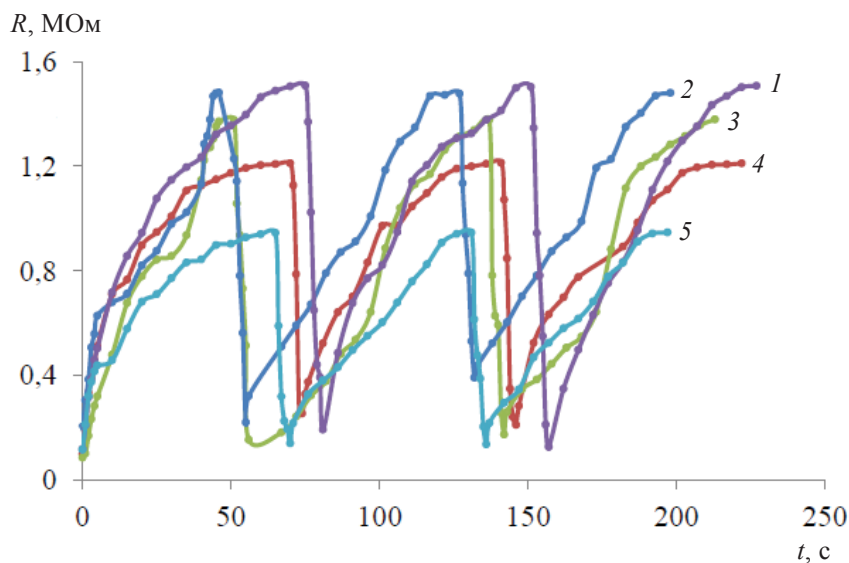


Рис. 2. Зависимость сопротивления мембран от времени при смене полярности в  $1 \cdot 10^{-3}$  М растворе цефепима; цифры на кривых соответствуют концентрации ЭАК



При увеличении концентрации электро-одноактивных компонентов, стационарное сопротивление мембран уменьшается, что связано с увеличением концентрации ионообменных центров в фазе мембраны (рис. 3).

По величинам стационарного сопротивления графическим методом Краусса–Брея [11] рассчитывали кажущиеся константы диссоциации электро-одноактивных соединений в фазе мембраны. При этом полагали, что равновесие между ионами и ассоциатами при низких концентрациях подчиняется закону разбавления Оствальда:  $K_d = a^2c / (1 - a^2)$ , где  $c$  – общая молярная концентрация соединения,  $a$  – степень

диссоциации [12]. Выражая  $a$  через относительную эквивалентную электропроводность  $\lambda/\lambda_0$  ( $\lambda$  – эквивалентная электропроводность,  $\lambda_0$  – предельная электропроводность), получаем следующее выражение для константы диссоциации:  $K_d = c\lambda^2 / (\lambda_0^2(1 - \lambda/\lambda_0))$ . Константу диссоциации мембранноактивных компонентов оценивали с помощью метода Фуосса–Крусса, преобразуя последнее выражение как  $1/\lambda = 1/\lambda_0 + (\lambda c) / K_d \lambda_0^2$  [12]. Рассчитанная таким образом кажущаяся константа диссоциации органического ионообменника *Cefep-TФБ* в мембранной фазе оказалась равной  $(4,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-3}$ .

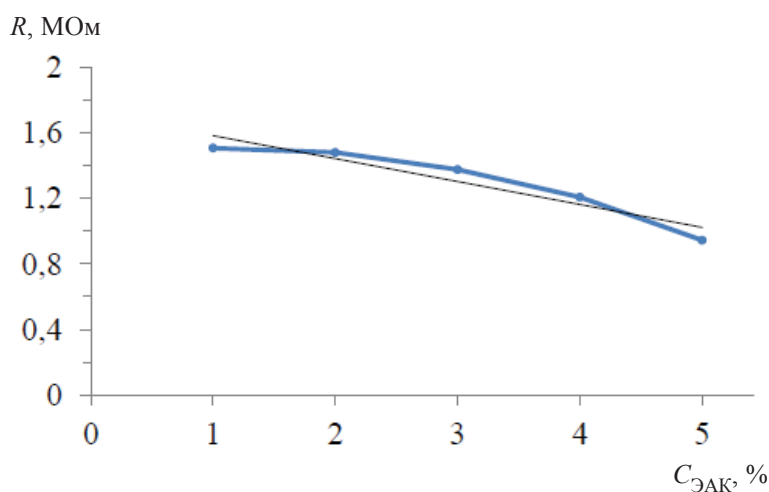


Рис. 3. Зависимость стационарного сопротивления мембран на основе *Cefep-TФБ* от концентрации электро-одноактивного компонента в мембране

Исследованы также зависимости сопротивления мембраны от времени при смене поляр-

ности при различной концентрации цефепима (рис. 4).

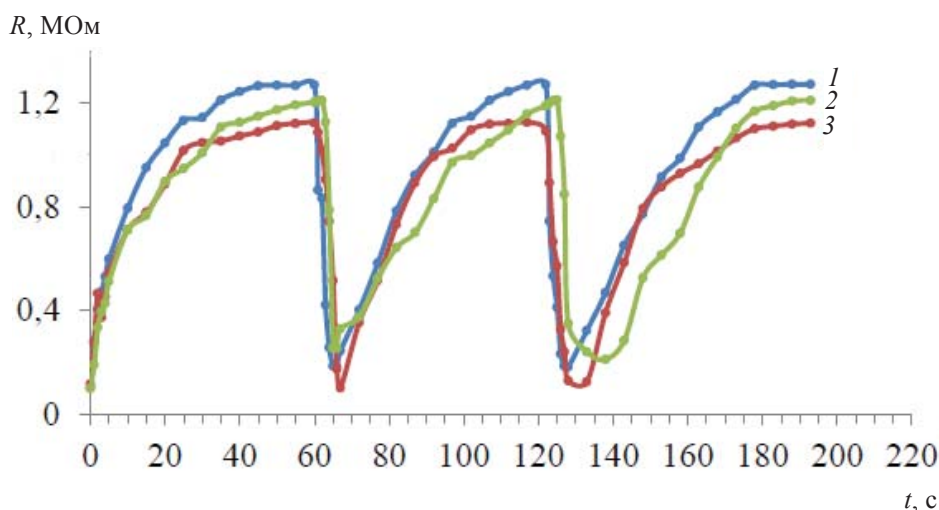


Рис. 4. Зависимость сопротивления мембраны на основе *Cefep-TФБ* от времени при различной концентрации цефепима,  $M: 1 \cdot 10^{-4}$  (1);  $1 \cdot 10^{-3}$  (2);  $1 \cdot 10^{-2}$  (3);  $C_{ЭАК} = 4\%$



Стационарное сопротивление мембран уменьшается с возрастанием концентрации цефепима в примембранных растворах, что свидетельствует о проникновении антибиотика в среду мембран (рис. 5).

*Поведение сенсора на основе Cefep-TФБ на фоне ЖРП*

Пробоподготовка жидкости ротовой полости (ЖРП). Сбор ЖРП производили не ранее, чем через 15 мин после еды, перед сбором

рекомендуется прополоскать ротовую полость. В чистые полиэтиленовые пробирки собирали ЖРП, центрифугировали ее в течение 10 мин, при скорости 3500 об/мин для осаждения белков. Надосадочную жидкость отбирали в ячейку (3–5 мл), погружали индикаторный и хлоридсеребряный электроды и при перемешивании измеряли величину ЭДС. Предварительно индикаторный электрод кондиционировали в ЖРП без антибиотика.

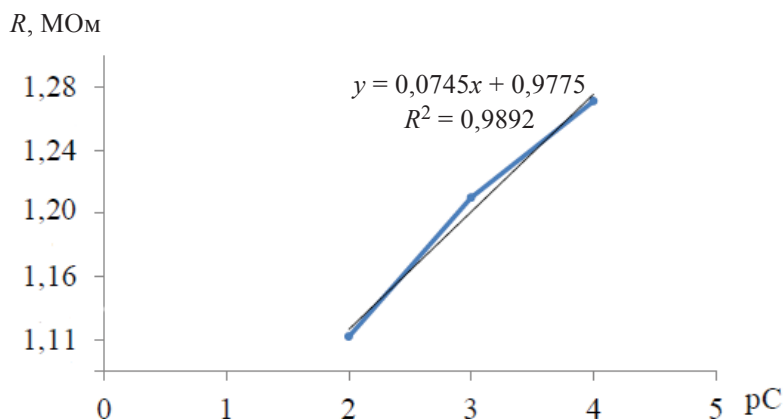


Рис. 5. Зависимость стационарного сопротивления мембраны на основе Cefep-TФБ с от концентрации растворов цефепима.  $C_{ЭАК} = 4\%$

Интервал линейности электродной функции составил  $1 \cdot 10^{-2} - 1 \cdot 10^{-4}$  М, при этом уменьшается угловой коэффициент, что свидетельствует о белковом отравлении поверхности сенсора.

Проведено определение цефепима на фоне ЖРП в модельных растворах; относительная погрешность составляет 8–10%.

*Работа выполнена в рамках Госзадания Минобрнауки РФ в сфере научной деятельности (базовая часть) по заданию № 4.121.22.2014/к, шифр «Флуорофор».*

#### Список литературы

1. Березняков И. Г. Цефепим сегодня и завтра // *Болезни и антибиотики*. 2011. Т. 5, № 2. С. 95–103.
2. Яковлев С. В. Цефепим – цефалоспориновый антибиотик IV поколения // *Антибиотики и химиотерапия*. 1999. № 7. С. 32–37.
3. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках. М. : Наука, 2004. 528 с.
4. Богомолова Н. С., Орешкина Т. Д., Большаков Л. В. Перспективы использования цефалоспоринового антибиотика четвертого поколения в хирургии // *Антибиотики и химиотерапия*. 2003. Т. 48, № 7. С. 20–22.
5. Paul M., Yahav D., Fraser A., Leibovici L. Empirical antibiotic monotherapy for febrile neutropenia : systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials // *J. Antimicrob. Chemother.* 2006. Vol. 57. P. 89–176.
6. Yahav D., Paul M., Fraser A., Sarid N, Leibovici L. Efficacy and safety of cefepime : a systematic review and meta-analysis // *Lancet Infect. Dis.* 2007. Vol. 7. P. 48–338.
7. Кулапина Е. Г., Снесарев С. В., Кулапина О. И., Баринава О. В. Некоторые проблемы обеспечения избирательности и чувствительности определения антибиотиков в лекарственных и биологических средах // *Проблемы аналитической химии* : в 20 т. Т. 16. Фармацевтический анализ. М. : Аргамак-Медиа. 2013. С. 326–361.
8. Кулапина О. И., Кулапина Е. Г. Антибактериальная терапия. Современные методы определения антибиотиков в лекарственных и биологических средах. Саратов : Сарат. источник, 2015. 91 с.
9. Алексеев В. Г. Бионеорганическая химия пенициллинов и цефалоспоринов. Тверь : Твер. гос. ун-т, 2009. 104 с.
10. Марьянов Б. М. Методы линеаризации в инструментальной титриметрии. Томск : Изд-во Томск. ун-та, 2001. 154 с.
11. Фиалков Ю. Я., Житомирский А. Н., Тарасенко Ю. А. Физическая химия неводных растворов. Л. : Химия, Ленингр. отд-ние, 1973. 376 с.
12. Кулапина Е. Г., Барагузина В. В., Кулапина О. И., Чернов Д. В. Электрохимические свойства мембран на основе ассоциатов  $\beta$ -лактамных антибиотиков с тетрадециламмонием // *Электрохимия*. 2005. Т. 41, № 8. С. 981–986.



УДК 621.794.62: 546.3

## КИНЕТИКА ПРОЦЕССА ХОЛОДНОГО ФОСФАТИРОВАНИЯ СТАЛИ

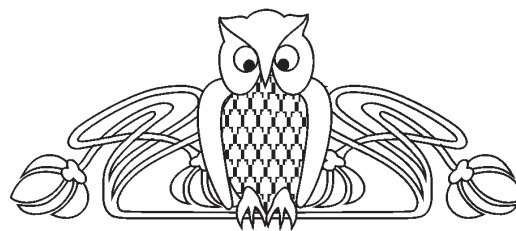
Адиба А. Махмод<sup>1</sup>, И. А. Казаринов<sup>2</sup>,  
Л. А. Исайчева<sup>3</sup>, Н. М. Трепак<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Университет Дияла, Ирак

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

<sup>3</sup>Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова

E-mail: kazarinovia@mail.ru



С помощью комплекса физико-химических и электрохимических методов изучен процесс холодного фосфатирования (25°C) углеродистой стали марки Ст3 в цинк-нитрат-фосфатной системе. Подтверждена электрохимическая природа процесса фосфатирования стали в данных условиях. Определены пути усовершенствования процесса фосфатирования с целью получения на стали коррозионно-стойких фосфатных покрытий: модифицирование фосфатирующего раствора неорганической кремнийсодержащей добавкой и последующая обработка фосфатных пленок в водном растворе, содержащем соединения кремния.

**Ключевые слова:** сталь марки Ст3, фосфатирование, кинетика, добавки, коррозионная стойкость, дополнительная обработка.

### Kinetics of Cold Steel Phosphating

Adiba A. Mahmoud, I. A. Kazarinov,  
L. A. Isaycheva, N. M. Trepak

The process of cold phosphating (25°C) of the carbon steel St3 in the zinc nitrate-phosphate system was studied using a set of physical, chemical and electrochemical methods. The electrochemical nature of steel phosphating in the given conditions was confirmed. Ways of improving the phosphating process to obtain corrosion-resistant phosphate coatings on steel were identified: modifying the phosphating solution with an inorganic silicon-containing additive and the subsequent processing of phosphate films in an aqueous solution containing silicon compounds.

**Key words:** St3 steel, phosphating, kinetics, additives, corrosion resistance, additional processing.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-144-150

### Введение

Проблема антикоррозионной защиты различных металлических изделий и конструкций остается актуальной и в настоящее время. По доступности, стоимости сырья, простоте исполнения как метод подготовки поверхности металлов и сплавов под лакокрасочные и другие виды покрытий или смазочные материалы особого внимания заслуживает химическое фосфатирование поверхности [1–10].

Анализ литературных источников свидетельствует о том, что фосфатирование является сложным физико-химическим процессом и получение коррозионно-стойких фосфатных по-

крытий (ФП) зависит от ряда факторов: состава фосфатирующих растворов, природы металла, температуры, состояния поверхности обрабатываемого металла, вида последующей обработки фосфатных пленок и др. [1–6].

Преимущественно для фосфатирования углеродистых сталей используются растворы, в которых образование ФП происходит при повышенной температуре, что приводит к неоправданно высоким энергетическим затратам и невозможности обработки деталей, деформация которых недопустима. В меньшей степени представлены растворы для фосфатирования стали, работающие при температуре ниже 40°C, и, как правило, они являются многокомпонентными [1, 8, 11].

Задача данного исследования состояла в изучении кинетики процесса холодного фосфатирования углеродистой стали марки Ст3 с целью получения на ней ФП с повышенными защитными свойствами.

### Методика эксперимента

В качестве исследуемого материала использовалась углеродистая сталь марки Ст3. Перед фосфатированием и электрохимическими измерениями стальные электроды подвергались шлифовке мелкозернистой шкуркой, обезжиривались этиловым спиртом, затем промывались дистиллированной водой.

Изучение процесса фосфатирования стали проводилось в растворах на основе цинк-фосфатсодержащего (ЦФС) и цинк-нитратсодержащего (ЦНС) сырья (0.65 М  $Zn^{2+}$  + 0.3 М  $PO_4^{3-}$  + 1.0 М  $NO_3^-$ , pH = 1.95) с различными добавками, в том числе кремнийсодержащей добавкой, условно обозначаемой СД-С, при температуре (25±1)°С. Электрохимические исследования проводились в модельных растворах, имитирующих по содержанию фосфатов, нитратов, модифицирующих добавок и кислотности фосфатирующий раствор (0.3 М  $H_3PO_4$  + 1.0 М  $HNO_3$  + 0.7 М СД-С + NaOH, pH 1.95).





Использовался комплекс различных экспериментальных методов: потенциодинамический (1В/мин), методы определения массы растворившегося металла ( $m$ ) и массы фосфатной пленки ( $p$ ) [12], капельный метод определения защитных свойств ФП ( $\gamma$ ) [13], электронная микроскопия (MIRA 2LMU,  $\times 5000$ )\*, рентгенофазовый анализ (ДРОН-3, фильтрованное  $Fe_{K\alpha}$  излучение), метод импедансной спектроскопии (измерительный комплекс «Autolab»; для обработки результатов которой применялась программа ZView) и др. В качестве электрода сравнения применялся насыщенный хлоридсеребряный электрод. В работе все потенциалы даны относительно стандартного водородного электрода.

### Результаты и их обсуждение

Исследования были начаты с изучения возможности получения коррозионно-стойких ФП на стали марки Ст3 в универсальной цинк-

фосфатной системе, разработанной на кафедре физической химии СГУ для холодного фосфатирования ряда металлов и сплавов [14].

В данном растворе были получены ФП с достаточной защитной способностью при комнатной температуре и на стали, но он был недостаточно технологичен из-за сложности его приготовления. Для устранения этого недостатка был разработан более технологичный фосфатирующий состав на основе ЦФС и ЦНС сырья отечественного производства. В этом растворе была изучена кинетика формирования ФП на Ст3 при температуре 25°C.

Как показывают приведенные на рис. 1 данные, уже на первых минутах фосфатирования наблюдается образование ФП, о чем свидетельствуют изменения массы растворяющегося сплава ( $m$ ), массы фосфатной пленки ( $p$ ), а также смещение потенциала ( $E$ ) в область положительных значений.

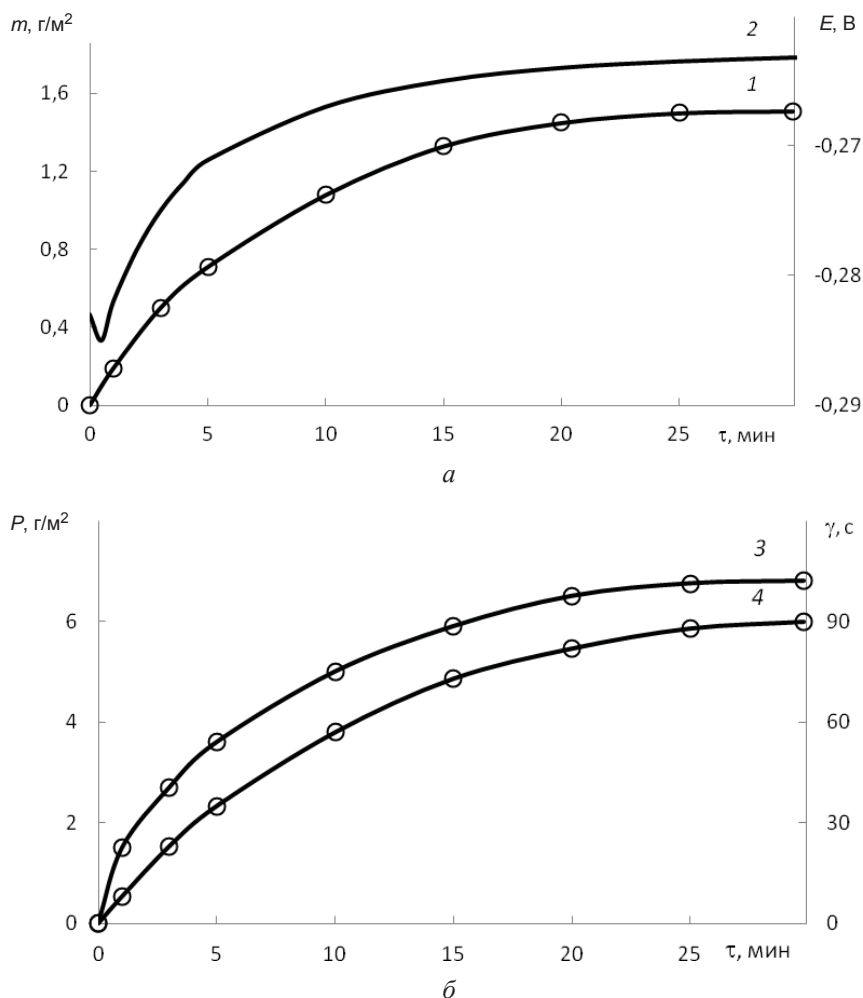


Рис. 1. Изменение: а – массы растворившегося металла (1), потенциала (2); б – массы (3) и коррозионной стойкости (4) фосфатных покрытий, полученных на стали марки Ст3 в цинк-нитрат-фосфатном растворе



На поверхности стали при погружении ее в фосфатирующий раствор, согласно современной теории фосфатирования, разработанной для черных, а затем развитой для некоторых цветных металлов [1, 6–8, 15], протекают электрохимические процессы анодного растворения металла и катодного восстановления окислителей, присутствующих в растворе, идущих с поглощением ионов водорода и вызывающих увеличение pH приэлектродного слоя, что подготавливает условия для достижения произведения растворимости труднорастворимых фосфатов. Первоначальный период фосфатирования стали отличается синхронным изменением скорости роста ФП и скорости растворения фосфатируемого металла. Именно электрохимические процессы, лежащие в основе фосфатирования, подготавливают условия для образования и формирования структуры фосфатного слоя, т.е. для процесса кристаллизации.

С помощью электронно-микроскопических исследований была изучена морфология ФП в процессе их формирования в цинк-нитрат-фосфатном растворе на Ст3. На фотографиях микроструктуры поверхности ФП уже в первые минуты фосфатирования наблюдается большое число первоначальных зародышей кристаллизации (рис. 2, а). Основное формирование фосфатной пленки на Ст3 в данных условиях практически заканчивается к 25–30-й мин фосфатирования. Масса ФП достигает 6.6–7.0 г/м<sup>2</sup>, коррозионная стойкость – 90 с. Для этой стадии характерен рост кристаллов, их смыкание и образование сплошного кристаллического покрытия (см. рис. 2, б). Фосфатная пленка, сформированная на Ст3 в этом растворе, была равномерная, крупнокристаллическая с направленной ориентацией и четко выраженной огранкой кристаллов.

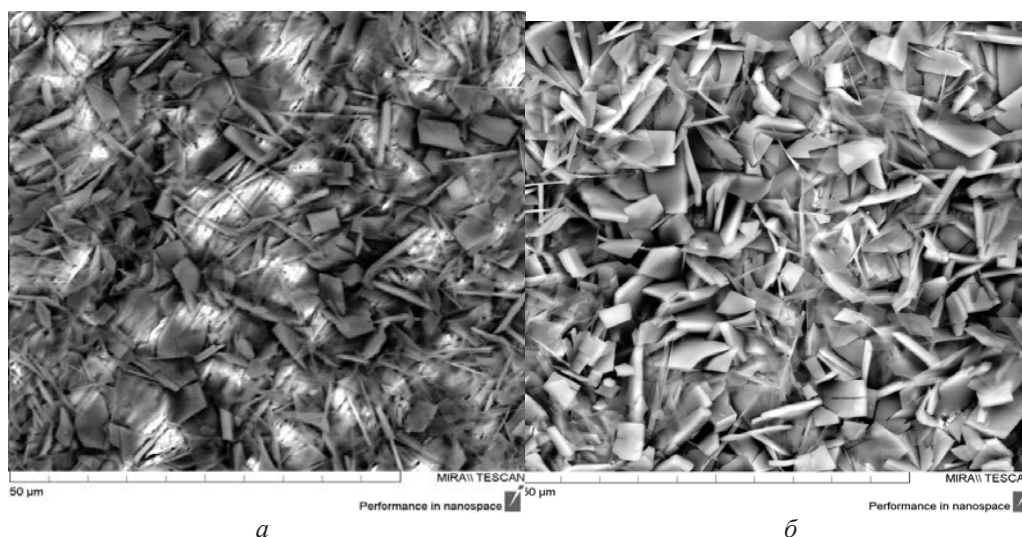


Рис. 2. Микроструктура фосфатных покрытий, полученных на стали марки Ст3 в цинк-нитрат-фосфатном растворе при различных временах фосфатирования, мин: а – 3, б – 30 (MIRA 2LMU ×5000)

Элементный анализ поверхности ФП, полученных на Ст3 в цинк-нитрат-фосфатном растворе при различной продолжительности фосфатирования (табл. 1), показал, что для периода развитого пленкообразования установлено увеличение содержания фосфора и цинка в фосфатных пленках по сравнению с начальной стадией ее формирования.

Рентгенограммы поверхности зафосфатированных образцов Ст3 в цинк-нитрат-фосфатном растворе имели основные рефлексы (цифрами обозначены межплоскостные расстояния в ангстремах, в скобках даны интенсивности дифракционных линий относительно наиболее интенсивной, принятой за 100): 9.11 (100); 5.34

Таблица 1  
Элементный состав ФП, полученных на стали в цинк-нитрат-фосфатном растворе при различной продолжительности фосфатирования

Время фосфатирования, мин	Массовая доля элементов, %			
	O	P	Fe	Zn
3	21.1	6.6	54.9	17.4
10	28.5	10.5	30.2	30.8
30	29.6	10.7	27.8	37.9

(3.7); 5.031 (7.8); 4.958 (8.4); 4.584 (100); 3.882 (8.9); 3.461 (10.5); 2.96 (5.7); 2.846 (15.2); 2.74 (6.35); 2.345 (6.8); 2.287 (26.7); 2.233 (12.6); 2.101 (7.3); 1.941 (13.6); 1.892 (7.9); 1.833



(6.3); 1.634 (6.8); 1.526 (23.6); 1.23 (11.5), относящиеся к тетрагидрату третичного фосфата цинка –  $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$  [16]. Следовательно, основная масса ФП образуется по объемному механизму, т. е. через раствор. Не исключено, что первичные пассивирующие слои образуются по поверхностному механизму, т. е. за счет специфической адсорбции фосфат-ионов и взаимодействия их с металлом основы [17].

Особо отметим, что повышение количества легирующих элементов в стали оказывало большое влияние на поведение стали при фосфатировании, на качество получаемых пленок. Наличие в стали в повышенном количестве Cr, Ni и др. резко снижало способность ее к фосфатированию.

Результаты фосфатирования стали различных марок (табл. 2) согласуются с данными

электрохимических исследований. Принимая электродный потенциал за показатель пассивности–активности поверхности, отмечено (рис. 3), что на высоколегированной стали устанавливался на начальной стадии фосфатирования наиболее положительный потенциал и меньший ток взаимодействия с фосфатирующим раствором ( $j = 9.8 \cdot 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ ), чем ток взаимодействия углеродистых сталей 50 и Ст3 ( $j = 7.8 \cdot 10^{-4} \text{ A/cm}^2$  и  $j = 8.5 \cdot 10^{-4} \text{ A/cm}^2$ ), то есть электрохимические процессы протекают с меньшей скоростью и формирование фосфатного покрытия затруднено. На Ст3 в цинк-нитрат-фосфатном растворе качественное ФП формируется к 20–25-й мин фосфатирования, против 30 мин на стали 50, а сталь марки 12Х18Н10Т в данном растворе не фосфатируется. Все это подтверждает электрохимическую природу фосфатирования исследуемых объектов.

Таблица 2

Элементный состав стали различных марок

Марка стали	Массовая доля элементов, %									
	C	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu	Si	As	Ti
Ст3	0.14	0.441	–	–	0.15	–	0.146	0.70	–	–
50	0.51	0.60	0.04	0.03	0.25	0.25	0.25	0.27	0.08	–
12Х18Н10Т	–	–	–	–	12	18	–	–	–	10

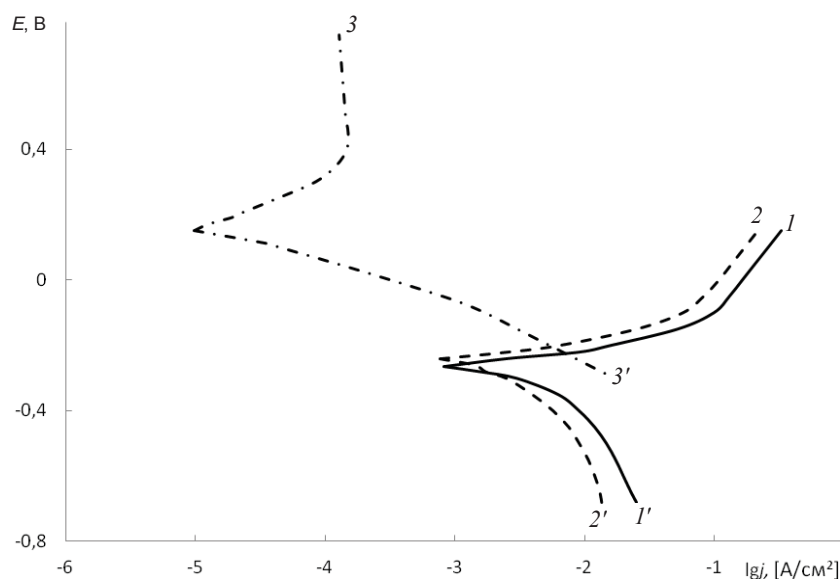


Рис. 3. Анодные (1, 2, 3) и катодные (1', 2', 3') поляризационные кривые, снятые в цинк-нитрат-фосфатном растворе при температуре 25°C на сталях различных марок: 1, 1' – Ст3; 2, 2' – 50; 3, 3' – 12Х18Н10Т

Как отмечалось ранее (см. рис. 1), даже по истечении 30 мин фосфатирования Ст3 в базовом фосфатирующем растворе коррозионная стойкость ФП не превышала 90 с.

Попытка улучшить качество ФП, сформированных на Ст3 в данных условиях, за счет изменения концентрации основных солеобразующих ионов ( $Zn^{2+}$ ,  $PO_4^{3-}$ ) и окислителей процесса



( $\text{NO}_3^-$ ) не дало нужных результатов. Поэтому далее проводилось совершенствование фосфатирующего состава путем введения в цинк-нитрат-фосфатную систему различных по своей природе и свойствам добавок (оксидно-солевых добавок, комплексообразователей, соединений металлов более электроположительных чем железо, N-, Si-, В-содержащих соединений и др.).

Из всей серии изученных растворов был выбран фосфатирующий раствор с эффективной кремнийсодержащей солевой добавкой, условно обозначаемой СД-С. Изучение влияния концентрации добавки СД-С (0.000035–0.11 моль/л) на процесс фосфатирования показало, что наибольшая защитная способность

фосфатной пленки прослеживалась при ее концентрации 0.07 моль/л.

Исследование кинетики образования ФП в данном растворе (рис. 4) показало, что по сравнению с цинк-нитрат-фосфатным раствором в фосфатирующем растворе с солевой добавкой СД-С на стали скорость формирования ФП возрастает, особенно на начальной стадии, что способствует в дальнейшем более ускоренному формированию ФП. К 15–20-й мин фосфатирования все характеристики ФП практически стабилизируются. При этом фосфатные пленки отличались большей защитной способностью по сравнению с ФП, полученными в базовом растворе ( $\gamma = 150\text{--}170$  с против  $\gamma = 90$  с).

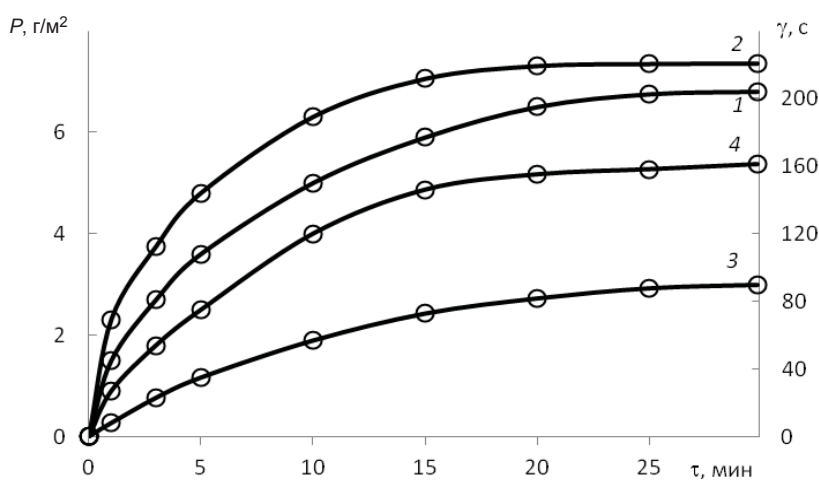


Рис. 4. Изменение массы (1, 2) и коррозионной стойкости (3, 4) фосфатных покрытий, полученных на стали марки Ст3 в цинк-нитрат-фосфатном растворе (1, 3) и цинк-нитрат-фосфатном растворе с добавкой СД-С (2, 4)

Подтверждением изменения качества фосфатных пленок, сформированных в цинк-нитрат-фосфатном растворе в данных условиях, являются и результаты импедансных измерений ФП на Ст3 в 0,1 М растворе сульфата натрия. Доказательством повышенной защитной способности ФП, полученных в фосфатирующем растворе в присутствии кремнийсодержащей добавки и без нее, служит почти десятикратное увеличение сопротивления пленок ( $R = 5886 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$  против  $R = 650 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$ ), измеренного импедансным методом.

В соответствии с данными электрохимических исследований введение выявленной солевой добавки в модельный раствор приводило к увеличению скорости электрохимического растворения Ст3 при потенциалах фосфатирования (рис. 5). Анализируя возможные причины влияния этой добавки, следует иметь в виду, что это связано, вероятно, с изменением свойств поверхности стали в ее присутствии.

ФП, сформированные в растворе с эффективной солевой добавкой СД-С, были крупнокристаллическими, но для них характерны большая равномерность и однородность по сравнению с покрытиями, полученными в базовом растворе. Данная добавка, видимо, влияет не только на скорость электрохимических процессов, но и на процесс кристаллизации.

Согласно ускоренным коррозионным испытаниям в 3%-ном растворе NaCl образцы стали с ФП, полученными в оптимальных условиях, по защитным свойствам отвечали требованиям ГОСТ 9.302-88 (отсутствовали точки коррозии основного металла после 15-минутной экспозиции образцов в 3 %-ном растворе хлорида натрия).

Этот раствор можно рассматривать и как универсальный, в котором при комнатной температуре могут быть получены коррозионно-стойкие покрытия на сталях разных марок: Ст3, 10, 45, 50, 08КП.

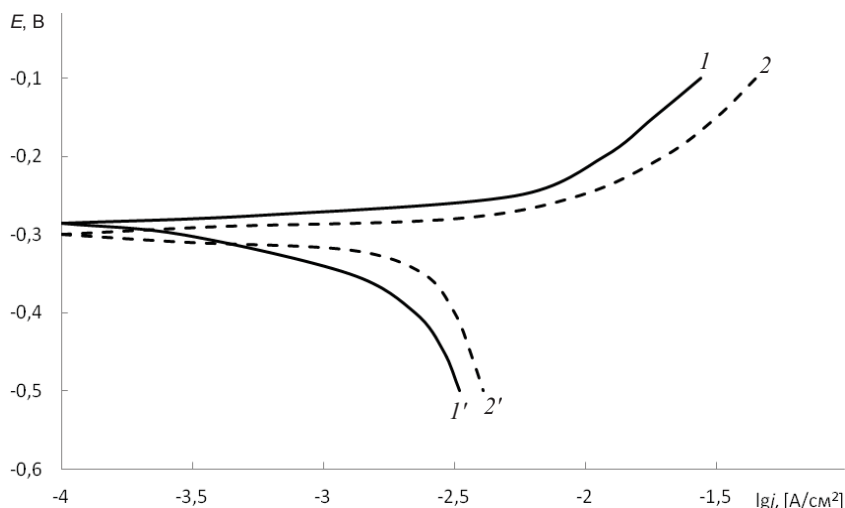


Рис. 5. Анодные (1, 2) и катодные (1', 2') поляризационные кривые на стали марки Ст3 в модельных растворах (рН 1.95): 1, 1' – 0.3 М  $\text{H}_3\text{PO}_4$  + 1.0 М  $\text{HNO}_3$  + NaOH; 2, 2' – 0.3 М  $\text{H}_3\text{PO}_4$  + 1.0 М  $\text{HNO}_3$  + 0.7 М СД-С + NaOH

ФП пронизаны огромным количеством микропор, площадь которых составляет от 0.1 до 1 % фосфатированной поверхности. Поэтому в практике противокоррозионной защиты металлов большое внимание уделяют дополнительным мерам повышения защитных свойств фосфатных пленок. Одна из них – заключительная обработка ФП пассиваторами, которые в дефектах покрытия химически взаимодействуют с непокрытым металлом.

Для повышения коррозионной стойкости ФП с помощью кремнийсодержащих соединений была использована методика «химической сборки покрытий». С этой целью производилась последующая обработка ФП в водном растворе, содержащем соединения кремния, в течение 5 мин. С помощью однофакторного эксперимента была

установлена оптимальная концентрация кремнийсодержащего соединения (0.00035 моль/л).

Как следует из рис. 6 коррозионная стойкость ФП, полученных на Ст3 в цинк-нитрат-фосфатном растворе с добавкой СД-С и с последующей обработкой в кремнийсодержащем водном растворе, была равна  $\gamma = 200\text{--}220$  с против  $\gamma = 150\text{--}170$  с в том же растворе, но без последующей обработки. По-видимому, на ФП образуется силикатная пленка, имеющая адсорбционную природу и при дополнительной обработке в растворе силиката пленка самозалечивается. Кроме того, дополнительная обработка в растворе с силикатом исключала операции промывки после фосфатирования, то есть давала переход к малоотходной технологии.

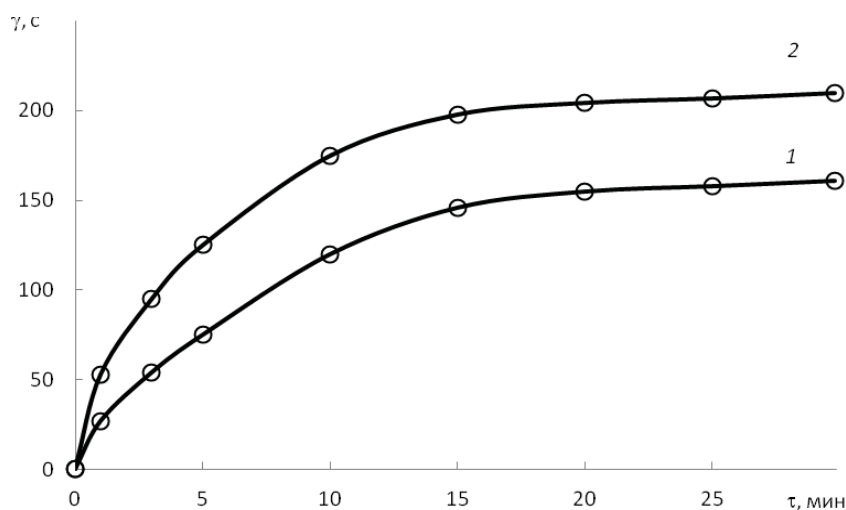


Рис. 6. Изменение коррозионной стойкости фосфатных покрытий, полученных на стали марки Ст3 в цинк-нитрат-фосфатном растворе с добавкой СД-С: 1 – без дополнительной обработки; 2 – с дополнительной обработкой в кремнийсодержащем растворе



Таким образом, в соответствии с установленными кинетическими особенностями процесса холодного фосфатирования стали марки Ст3 предложен цинк-нитрат-фосфатный раствор с кремнийсодержащей добавкой СД-С для ускоренного получения ( $\tau_{\text{фосф}} = 15$  мин против  $\tau_{\text{фосф}} = 30$  мин) на ней ФП с заданными функциональными свойствами. Показана целесообразность использования метода «химической сборки твердых веществ» для формирования коррозионно-стойких фосфатных пленок.

Такие ФП могут быть рекомендованы в качестве подслоя под различные виды покрытий и ингибирующие смазки для повышения надежности антикоррозионной защиты изделий из углеродистых сталей в различных условиях эксплуатации.

Авторы выражают благодарность за проведенный анализ морфологии поверхности фосфатных покрытий заведующему лаборатории диагностики наноматериалов и структур Образовательного-научного института наноструктур и биосистем Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского А. М. Захаревичу.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части Государственного задания в сфере научной деятельности (Задание № 2014/203, код проекта 1255).*

#### Список литературы

1. Хаин И. И. Теория и практика фосфатирования металлов. Л. : Химия, 1973. 312 с.
2. Мачевская Р. А., Бабакина Н. А., Музылев С. В., Хегай И. К. Оценка основных факторов, влияющих на фазовый состав и кристаллическую структуру цинкфосфатных покрытий на стали // Исследования в области техники и технологии лакокрасочных покрытий. М. : НИИТЭХИМ, 1974. вып. 3. С. 3–9.
3. Ильина Л. К., Дворкина Р. М., Трепак Н. М., Кучинская М. М. Подготовка поверхности цветных металлов методом фосфатирования // Лакокрасочные материалы и их применение. 1977. № 1. С. 27–29.
4. Круглова Л. Н., Мачевская Р. А. Влияние состояния поверхности стали на кинетику кристаллизации цинкфосфатных слоев // Лакокрасочные материалы и их применение. 1986. № 2. С. 37–40.
5. Ильина Л. К., Лямина Л. А., Кучинская М. М., Трепак Н. М., Богданова Т. И., Корох Н. И. Покрытие пленочным ингибированным нефтяным составом для фосфатирования стали // Физикохимия поверхности и защита материалов. 1991. Т. 27, № 3. С. 500–502.
6. Ваграмян Т. А., Григорян Н. С., Мазурова Д. В., Абрашов А. А., Акимова Е. Ф. Фосфатирование. Современное состояние и перспективы развития в России // Коррозия : материалы, защита. 2011. № 2. С. 20–27.
7. Козлова Л. А., Окулов В. В. Фосфатирование. Теория и практика. Ч. 3. Фосфатирование перед окраской // Гальванотехника и обработка поверхности. 2000. Т. 8, № 3. С. 40–48.
8. Грилихес С. Я. Оксидные и фосфатные покрытия металлов. Л. : Машиностроение, 1985. 280 с.
9. Акользин А. П. Противокоррозионная защита стали пленкообразователями. М. : Металлургия, 1989. 53 с.
10. Абрашов А. А., Григорян Н. С., Ваграмян Т. А., Акимова Е. Ф. Совершенствование растворов кристаллического фосфатирования // Гальванотехника и обработка поверхности. 2010. № 3. С. 48–52.
11. Микиш Ю. И., Рутаевичус А. И. Холодное фосфатирование стали с добавками производных тиобензилдиазола // Защита металлов. 1996. Т. 32, № 2. С. 196–199.
12. ГОСТ 9.402-2004. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию. М., 2004. 38 с. (Единая система защиты от коррозии и старения).
13. ГОСТ 9.302-88. Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Методы контроля. М., 1988. 38 с. (Единая система защиты от коррозии и старения).
14. Ильина Л. К., Кучинская М. М. Раствор для холодного фосфатирования стали // Исследования в области химических источников тока : межвуз. науч. сб. Саратов : Изд-во Саратов. ун-та, 1979. Вып. 6. С. 107–110.
15. Ильина Л. К., Дворкина Р. М., Трепак Н. М., Овчинникова В. Н. Роль электрохимических процессов при фосфатировании цветных металлов // Тез. докл. VIII Всесоюз. науч.-техн. конф. Казань, 1977. С. 104.
16. Powder Diffraction File, Inorganic, JCPDS. Swartwore, Pennsylvania, USA, 1987.
17. Флорианович Г. М. Механизм активного растворения металлов группы железа // Итоги науки и техники. Коррозия и защита от коррозии. М. : ВИНТИ, 1978. Т. 6. С. 136–176.

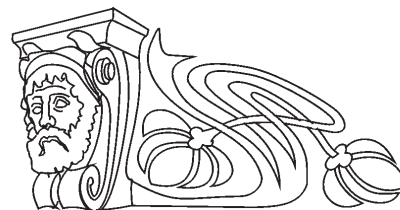


УДК 546.21.22.221;547.211

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ОБЕСКИСЛОРОЖИВАНИЯ СЕРНИСТЫХ ГАЗОВ МЕТАНОМ И ПАРАМИ СЕРЫ

М. М. Ахмедов, Е. Б. Гахраманова, А. И. Агаев

Институт химических проблем имени академика М. Ф. Нагиева  
Национальной АН Азербайджана, Баку  
E-mail: roma-fk@mail.ru



Целью данного исследования явилось предварительное обескислороживание исходного сернистого газа от свободного кислорода метаном и парообразной серой до каталитической зоны реактора. Было установлено, что применение в качестве обескислороживающего агента метана приводит к значительному повышению скорости процесса, а парообразной серы – к повышению выхода серы за счёт повышения концентрации диоксида серы в поступающей на катализатор газовой смеси.

**Ключевые слова:** кислород, сера, сернистый газ, метан.

### Study Prior Deoxygenation Sulphurous Gases Methane and Sulphur Vapor

M. M. Ahmadov, E. B. Gakhramanova, A. I. Aagaev

The aim of this study was consumption is preliminary deoxygenation source of sulfur dioxide from methane-free oxygen and sulfur vapor to the catalytic's reactor. It has been found that, the use of deoxygenated methane as agent leads to a significant increase in process speed and vaporized sulfur to improve the sulfur yield by increasing the concentration of sulfur dioxide entering in the catalyst of gaz mixture.

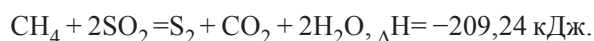
**Key words:** oxygen, sulfur, sulfur dioxide, methane.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-151-154

В настоящее время при производстве цветных металлов, в частности меди и никеля, используется в основном пирометаллургический способ, основанный на плавке предварительно подготовленного металлургического сырья на воздухе, или воздушно-кислородное дутье с получением металлургического штейна и отходящих сернистых газов, концентрация которых зависит от содержания серы в сырье, концентрации кислорода в дутье и технологии плавки [1, 2].

В последние годы на отдельных предприятиях для повышения производительности печи и концентрации  $SO_2$  в отходящих газах наряду с подогревом воздуха стали использовать воздух, обогащённый кислородом. При этом с увеличением содержания кислорода в дутье соответственно возрастает концентрация  $SO_2$  в отходящих газах, что существенно повышает эффективность их утилизации с получением серы или серной кислоты.

Теоретическими расчётами [3] и экспериментальным путём установлено, что температура восстановления, поддерживаемая в реакторе, зависит в основном от содержания кислорода в перерабатываемом газе. Это объясняется весьма большим тепловым эффектом взаимодействия метана и парообразной серы с кислородом, который значительно превышает тепловой эффект возможных реакций восстановления диоксида серы указанными восстановителями:



Расчёты показали, что каталитический процесс при переработке сернистого газа осуществим лишь на газах, содержащих в своём составе до 2,5% кислорода.

В связи с изложенным возникает необходимость в разработке процесса восстановления диоксида серы, применяемого при высоком содержании кислорода в сернистом газе.

Целью данной работы является предварительное обескислороживание исходного сернистого газа от свободного кислорода метаном и парообразной серой до каталитической зоны реактора.

### Методика эксперимента

Обескислороживание сернистого газа и дальнейшее его восстановление осуществляли в лабораторном реакторе, состоящем из зоны окисления метана и парообразной серы до  $CO_2$ ,  $CO$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $SO_2$  и зоны восстановления, в которой процесс превращения диоксида серы в элементную серу и сероводород протекает более медленно.

В исследованиях применялась газовая смесь состава, % (об.):  $SO_2$ –20;  $O_2$ –10; остальные  $N_2$ . Указанная последовательность реакции позволяет осуществить стадийное восстановление сернистых газов. На первой стадии взаимодействуют только кислород и соответствующее количество метана, а на второй стадии на



катализаторе восстанавливается диоксид серы. При этом в опытах предварительное количество восстановителя (метана или парообразной серы), подаваемое в процессе, рассчитывалось из условий его полного окисления свободным кислородом отходящего сернистого газа. Основная же часть восстановителя (метан), необходимого для восстановления диоксида серы, в эквивалентном количестве подавалась непосредственно на входе в каталитическую зону реактора. Количество кислорода и диоксида серы определялось параллельно перед входом на катализатор.

Анализ исходной и конечной газовой смеси проводился хроматографическим способом [4].

### Результаты и их обсуждение

В первую очередь, была исследована зависимость степени обескислороживания исходного газа метаном от температуры (700–1000°C) при различных объёмных скоростях газовой смеси (500–2000 ч<sup>-1</sup>). Результаты этих опытов показаны на рис. 1.

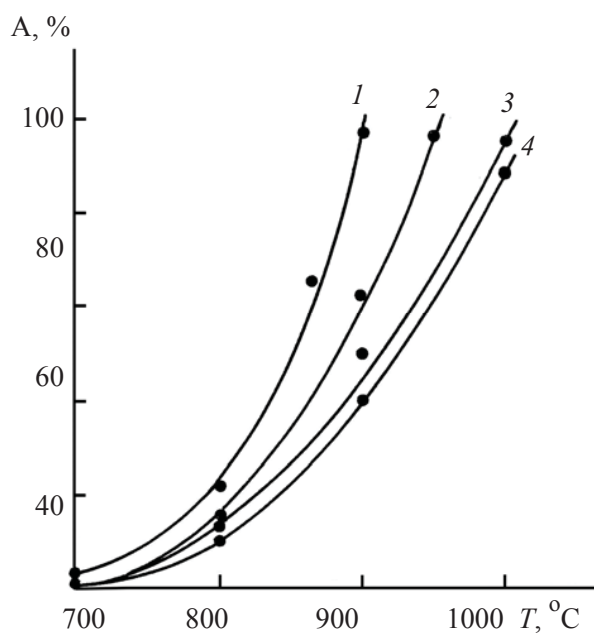


Рис. 1. Зависимость степени обескислороживания (А, %) исходного газа метаном от температуры (Т, °С) при различных объёмных скоростях газовой смеси (V, ч<sup>-1</sup>). 1 – 600; 2 – 1000; 3 – 2000; 4 – 3000 ч<sup>-1</sup>

Как видно на рис. 1, с повышением температуры в пределах 800–1000°C наблюдается резкое повышение степени обескислороживания исходного сернистого газа. Оптимальная объёмная скорость газовой смеси зависит от температуры процесса обескислороживания.

Как показали результаты этих опытов, количество диоксида серы остаётся неизменным, так как при наличии кислорода диоксид серы с метаном в отсутствие катализатора практически не реагирует. Это подтверждает механизм взаимодействия диоксида серы с метаном при наличии кислорода и совершенно не согласуется с данными, приведёнными в работе.

Далее с целью снижения температуры обескислороживания исходных сернистых газов перед процессом восстановления диоксида серы в качестве обескислороживающего агента использовалась парообразная сера.

Процесс обескислороживания исходного газа парообразной серой в полом реакторе осуществлялся при различных температурах (500–700°C), объёмных скоростях газовой смеси (4000–10000 час<sup>-1</sup>) и отношениях серы и кислорода (0,8–1,4) : 1. Результаты этих опытов приведены в табл. 1 и 2.

Из данных табл. 1 и 2 следует, что оптимальными режимными параметрами процесса являются: температура 600–650°C; объёмная скорость газовой смеси 6000–8000 час<sup>-1</sup>; отношение парообразной серы и кислорода S и O<sub>2</sub> (1:1,2) : 1. При этих условиях степень обескислороживания исходного газа составляет 45–98%.

Данные табл. 1 и 2 также свидетельствуют о более высокой скорости взаимодействия парообразной серы со свободным кислородом сернистого газа по сравнению с метаном. Из состава конечной газовой фазы видно, что при проведении процесса в пределах температур 500–600°C и объёмной скорости газовой смеси 8000–10000 час<sup>-1</sup> остаточное количество кислорода составляет 3,6 и 3,9% (при степени обескислороживания 70–72%), что вполне удовлетворяет требованиям, предъявляемым к сернистым газам, подвергающимся восстановлению каталитическим методом.

После установления оптимальных условий предварительного (до каталитической зоны реактора) взаимодействия метана или парообразной серы со свободным кислородом сернистого газа проведены исследования по восстановлению обескислороженного сернистого газа на катализаторе «красный шлам».

На рис. 2 показаны результаты сравнительных опытов по восстановлению предварительно обескислороженного метаном сернистого газа метаном сернистого газа и газа, не содержащего свободный кислород, при температуре 800°C и различных объёмных скоростях газовой смеси.





Таблица 1

Результаты обескислороживания сернистого газа парообразной серой ( $S_2 : O_2 = 1:1$ )

Температура, °C	Объёмная скорость, час <sup>-1</sup>	Содержание компонентов в газе, % (об.)						Степень обескислороживания, %
		исходное			конечное			
		SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
550	4000	13,5	8,7	77,8	19,7	2,5	77,5	71,3
550	8000	13,0	8,0	79,0	18,1	3,9	78,0	70,0
600	4000	12,9	9,7	77,4	22,6	–	77,4	100,0
600	6000	14,0	8,0	78,0	21,7	0,3	78,0	97,2
600	8000	13,5	9,1	77,4	21,0	1,6	77,4	88,2
600	10000	13,0	9,0	79,0	18,4	3,6	78,0	72,4
600	4000	12,9	9,8	77,3	22,7	–	77,3	100,0
650	6000	13,1	10,1	76,8	23,2	–	76,8	100,0
650	8000	12,0	10,0	78,0	21,6	0,4	78,0	96,7
650	10000	12,8	9,7	77,5	19,8	2,7	77,5	79,0
700	4000	14,0	8,5	77,5	22,5	–	77,5	100,0

Таблица 2

Результаты обескислороживания сернистого газа парообразной серой

Температура, °C	Объёмная скорость, час <sup>-1</sup>	Отношение S : O <sub>2</sub>	Содержание компонентов в газе, % (об.)						Степень обескислороживания, %
			исходное			конечное			
			SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	
600	6000	0,8:1	13,8	8,4	77,8	20,5	1,7	77,8	87,7
600	6000	1:1	14,0	8,0	78,0	21,7	0,3	78,0	97,8
600	6000	1,2:1	13,9	8,3	77,8	22,0	0,2	77,8	98,6
600	6000	1,4:1	14,1	9,0	76,9	22,9	0,2	76,9	98,6
650	8000	0,8:1	13,1	9,2	77,7	20,5	1,8	77,7	86,2
650	8000	1:1	12,9	9,1	78,0	21,4	0,6	78,0	95,4
650	8000	1,2:1	12,0	10,0	78,0	21,6	0,4	78,0	96,7
650	8000	1,4:1	13,1	8,7	78,2	22,5	0,3	78,2	97,8

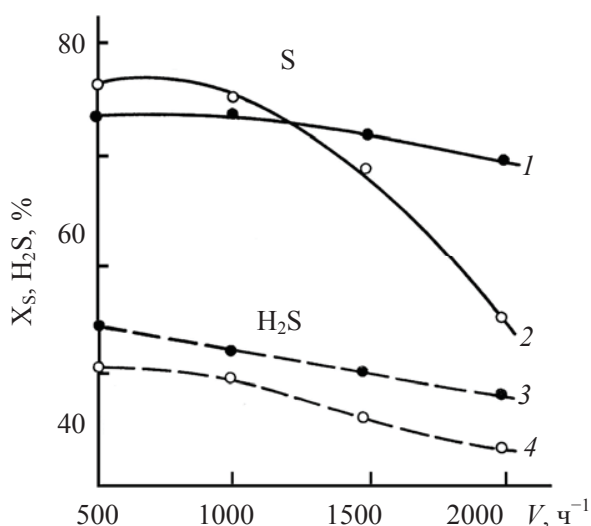
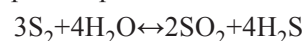


Рис. 2. Зависимость выхода серы и сероводородов ( $X_S, H_2S, \%$ ) от объёмной скорости газовой смеси ( $V, \text{ч}^{-1}$ ) при восстановлении  $SO_2$  метаном: 1, 4 – исходный газ без кислорода; 2, 3 – предварительно обескислороженный газ ( $t = 850^\circ\text{C}; CH_4 : SO_2 = 0,5; C_{SO_2} = 20\%$ )

Как видно на рис. 2, в случае восстановления предварительно обескислороженного сернистого газа (по сравнению с газом без свободного кислорода) выход серы до объёмной скорости газовой смеси  $1000 \text{ час}^{-1}$  на 6–7% меньше, а сероводорода – больше, т.е. при относительно низких скоростях наблюдается повышение селективности реакций получения сероводорода. Последнее явление может быть объяснено тем, что в составе предварительно обескислороженной газовой смеси, поступающей на слой катализатора, содержащий 8–10% водяного пара. Взаимодействие последнего с образующейся в процессе серой по реакции



приводит к повышению количества сероводорода в продуктах реакции.

Данные рис. 2 вполне согласуются с данными, полученными ранее при восстановлении диоксида серы в присутствии свободного кислорода



(т.е. в первом случае также наблюдалась высокая скорость восстановления диоксида серы).

Указанное явление также можно объяснить высокой скоростью взаимодействия продуктов конверсии метана ( $H_2$  и  $CO$ ) с диоксидом серы.

Как указывалось выше, в случае применения в качестве обескислороженного газа агента парообразной серы, концентрация диоксида серы в составе газа, поступающего на катализатор, повышается по сравнению с исходным значением на 48,5%.

Таким образом, применение в качестве обескислороживающего агента метана приводит к значительному повышению скорости процесса, а парообразной серы – к повышению выхода серы за счёт повышения концентрации диоксида серы в поступающей на катализатор газовой смеси.

Таким образом, с целью проведения процесса восстановления диоксида серы каталитическим способом осуществлено предварительное обескислороживание (до каталитической зоны реактора) исходного сернистого газа от свободного кислорода метаном. Установлена высокая скорость диоксида серы, что объясняется первичной конверсией метана с кислородом с получением более активных восстановителей ( $H_2$ ,  $CO$ ).

Оптимальными параметрами процесса являются: температура обескислороживания 850–1000°C; объёмная скорость 500–3000 ч<sup>-1</sup>;

степень обескислороживания 95–96%. Выход элементарной серы после первой ступени при температуре 800–850°C 65–68%.

В качестве обескислороживающего агента применяют парообразную серу (температура 600–650°C, объёмная скорость 6000–8000 час<sup>-1</sup>; отношение  $S:H_2=1,2-1,4:1$ , степень обескислороживания 87–97%). Концентрация диоксида серы в составе газа, поступающего на катализатор, повышается, по сравнению с исходным значением, на 48,5%.

#### Список литературы

1. *Ерёмин О. Г.* Исследование и разработка эффективной технологии получения серы из отходящих газов автогенных процессов плавки металлургического сырья : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2005. 301 с.
2. *Абрамов Н. П., Ерёмин О. Г., Барышев А. А.* Опыт освоения производства серы из отходящих газов печей автогенной плавки на НГМК // Цветные металлы. 1978. № 7. С. 26–28.
3. *Шишкина Л. Д., Калнин Е. И.* Исследование процесса высокотемпературного восстановления сернистого ангидрида метаном в присутствии кислорода // Цветные металлы. 1978. № 7. С. 25–27.
4. *Доброгивер И. Г., Шалаева Г. В., Бонн В. А.* Хроматографический анализ газовой фазы процесса получения элементарной серы из металлургических газов. М. : Межотрасл. информ., 2005. 124 с.



## БИОЛОГИЯ

УДК 582.711.71:581.2

### ПОБЕГООБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ САДОВЫХ РОЗ АНГЛИЙСКОЙ ГРУППЫ ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В УСЛОВИЯХ БОТАНИЧЕСКОГО САДА СГУ

Е. П. Горланова, М. В. Степанов

УНЦ «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского  
E-mail: gorlanova1999oleg@mail.ru, stepanovmv\_69@mail.ru

В статье представлены данные интродукционного изучения роз. Приведены результаты исследований по формированию и развитию побегов пяти сортов роз садовой группы селекции Остина в условиях ботанического сада Саратовского университета. Анализируются особенности соотношения генеративных и вегетативных побегов с учетом декоративности сорта. Изучалась способность сортов к возобновлению габитуса куста после зимнего периода времени. Рассматриваются возможности использования данных сортов роз для озеленения населенных мест Нижнего Поволжья.

**Ключевые слова:** роза, сорта группы Остина, побег, побегообразование.

#### Forming Strout Ability of English Rose Garden Party at the Introduction in the Botanical Garden Sgu

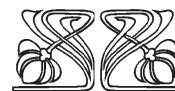
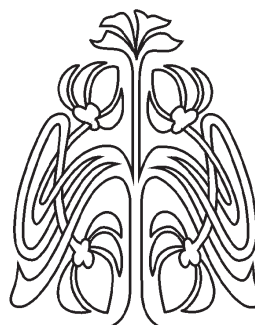
E. P. Gorlanova, M. V. Stepanov

The article presents the results of the roses hybrid introduction. The results of the research on the formation and development of shoots of five sorts of roses that refer to garden group Austin s selection in the conditions of the «Botanical Garden» Education and Research Ctnter are presented. The features of the relation of generative and vegetative shoots has been studied as decorative signs. We have studied the ability of the sorts to the resumption of bush size after winter period. The possibilities of using these sorts for landscape gardening in the Lower Volga region.

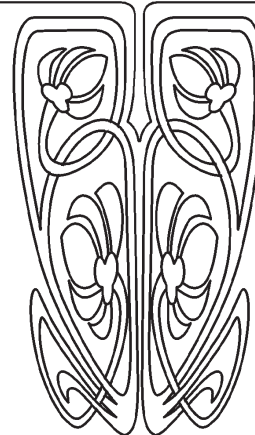
**Key words:** rose, grade group in Austin, shoot, shoot formation.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-155-160

Среди цветочно-декоративных растений, широко используемых в озеленении, розам принадлежит одно из ведущих мест. Они привлекают огромным разнообразием окрасок, форм и ароматов цветков, побегов и листьев. Обширные коллекции садовых и парковых роз исследовались длительное время в крупнейших ботанических садах, таких как Главный ботанический сад (ГБС) РАН (Москва) [1], Ботанический сад Ботанического института (БИН) РАН (С.-Петербург) [2, 3], Центральный Сибирский ботанический сад Сибирского отделения РАН (Новосибирск) [4], Самарский ботанический сад [5] и др. На сегодняшний день достигнуты большие успехи в изучении произрастания роз. Однако многие сорта роз, и не только их [6], привозимые в г. Саратов, являются неакклиматизированными и погибают при выращивании в открытом грунте. Поэтому



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





необходимо дальнейшее изучение особенностей культивирования роз в нашей климатической зоне. Возделывание роз осложняется дополнительными мероприятиями по уходу, тем не менее, учитывая их высокие декоративные качества, в Ботаническом саду СГУ проводятся интродукционные исследования. Группа сортов роз Остина наиболее новая из выведенных селекционерами. Публикаций об изучении этой группы в условиях нашего региона нами не найдено.

Важной особенностью роз, позволяющей растениям восстанавливаться после зимы, является способность ежегодно образовывать новые побеги и репродуктивные органы. Побегообразовательная способность обеспечивает восстановление кроны куста даже после сильного обмерзания. Способностью восстанавливать габитус куста обладают все виды и сорта, но степень ее выраженности является их биологической характеристикой. У каждого сорта она может варьировать в зависимости от условий произрастания.

Цель данной работы – выявление побегообразовательной способности роз английской селекции Д. Остина в климатических условиях г. Саратова и апробирование наиболее адаптированных к местным условиям сортов.

По климатическому районированию г. Саратов находится в восточной части континентальной европейской области с недостаточным увлажнением. Засушливые годы повторяются в среднем раз в два года. Зимний период характеризуется сильными морозами и частыми оттепелями в декабре–феврале, что особо неблагоприятно для растений из других флористических областей. Около 35% осадков приходится на холодный период (ноябрь–март). Снежный покров в среднем появляется в Саратове в первой декаде ноября, тогда как устойчивый снежный покров наблюдается с начала декабря. При этом в ноябре часто температура опускается ниже  $-10^{\circ}\text{C}$ , и отсутствие снежного покрова может привести к вымерзанию растений. Холодный период с отрицательными температурами наблюдается с ноября по середину марта. В этот период розы находятся в состоянии вынужденного покоя под искусственным укрытием. Самым холодным месяцем является январь (с абсолютным минимумом  $(-37,6)^{\circ}\text{C}$ ). Время положительных температур – с апреля по сентябрь, за этот период сорта данной группы полностью восстанавливают габитус. Растения и проходят все стадии вегетативного роста с образованием цветка и семян. Лето длится в среднем 4,5 месяца. В это время года средняя температура колеблется от

$+21$  до  $+24^{\circ}\text{C}$ . Самым теплым месяцем является июль, с максимальной температурой  $+40,2^{\circ}\text{C}$ . В этот период, как правило, погода стоит сухая и малооблачная. Часто с конца июня и до середины августа наблюдается сильная продолжительная жара, когда температура не опускается ниже  $+30^{\circ}\text{C}$ . Длительная высокая температура является положительным фактором для выращивания роз при условии дополнительного полива. Средняя годовая температура воздуха в Саратове положительна ( $+4,1^{\circ}\text{C}$ ). В течение года средняя месячная температура изменяется от  $-12,5^{\circ}\text{C}$  в январе и до  $+20,9^{\circ}\text{C}$  в июле. Летние осадки довольно неравномерны во времени. В среднем за три летних месяца в правобережье выпадает до 160 мм осадков, дожди часто носят ливневый характер. Месячное количество осадков может складываться из одного-двух дождей. При таком распределении осадков для успешного произрастания роз в условиях Саратова летом необходим дополнительный полив. Нередки малоснежные зимы, когда высота снежного покрова не превышает 50 см. Для благополучной перезимовки растений данной группы такая высота снежного покрова является достаточной [7].

Согласно классификации современных садовых роз, английские розы входят в группу кустарниковых роз, или шрабов (Shrub). Д. Остин получил розы, в которых объединялись лучшие качества старинных и современных сортов. От старинных сортов группа унаследовала форму цветка – чашевидную или розетковидную, высокую махровость, красивую форму куста, сильный аромат. Носителями этих качеств были галльские, дамасские и бурбонные розы. Недостатками их были однократное цветение, невысокая устойчивость к заболеваниям, бедность окрасок – преобладали белые, розовые, иногда пурпурные тона. Для устранения нежелательных свойств при скрещивании использовали современные группы роз – чайно-гибридные и розы флорибунда. Они обеспечили повторность цветения и широкий спектр окрасок – желтые, оранжевые, алые. В результате многократных скрещиваний и тщательного отбора была получена очень интересная группа роз, которая сочетает в себе аромат и шарм старинных роз, красивый и сильный куст, богатую гамму окрасок, включая кремовые, абрикосовые, медные тона; высокую устойчивость к заболеваниям, высокую зимостойкость [1].

В 2006 г. в ГБС РАН Ботаническим садом СГУ были приобретены растения пяти сортов роз английской селекции: L. D. Braithwaite, Collette, Crocus Rose, Sebastian Kneipp, Sharifa Asma.



Посадочный материал был получен в виде привитых саженцев. С полученных растений были взяты черенки для укоренения и на следующий год корнесобственные растения были высажены в грунт [8].

С 2008 г. проводятся фенологические и морфобиометрические наблюдения за корнесобственными саженцами английских роз по методике госсортоиспытания [9, 10]. Описание морфологических признаков сортов роз велось по стандарту каталогов-справочников [1]. Растения указанных сортов выращиваются на участке южной экспозиции на черноземе обыкновенном на едином агрофоне [11]. По результатам собственных наблюдений за акклиматизацией в Саратове было составлено краткое описание сортов.

Сорт *L. D. Braithwaite* – бутоны заостренные, ярко-бордового цвета. Цветки розетковидные, малинового цвета, не выгорают. Диаметр цветка 11–14 см, махровость – 85 лепестков, аромат сильный, сладковатый, как у старинных роз. На цветоносном побеге формируется от одного до трех цветков. Лист зеленый. Побеги густо покрыты шипами среднего и мелкого размеров. Куст густой, прямостоячий, среднерослый до 110 см.

Сорт *Colette* – бутоны округлые светло-розовые. Цветки светло-оранжевого цвета выгорают до лососевого, диаметр пять–семь сантиметров, махровость до 55 лепестков, с нежным ароматом. На цветоносном побеге формируется от трех до семи цветков. Листья светло-зеленые. Побеги дугообразные прочные, сильно разветвленные. Высота куста 130 см.

Сорт *Crocus rose* – бутоны круглые, светло-бежевые. Цветки розетковидные, нежно-абрикосовые в центре, кремовые по краям. Диаметр цветка 5–8 см, махровые – до 75 лепестков, аромат слабый. На цветоносном побеге формируется от трех до семи – пяти цветков. Побеги прямые, имеют шипы среднего размера. Листья зеленые, кожистые, средние. Куст густой, прочный, сильно разветвленный высотой до 120 см.

Сорт *Sharifa Asma* – бутоны круглые, светло-розовые. Цветки чашевидные, при распускании нежно-розовые в центре, почти белые по краям. Диаметр цветка 8–10 см, махровость – 60 лепестков, аромат сильный с фруктовыми нотами. На цветоносном побеге формируется от восьми до пятнадцати цветков. Лист темно-зеленый кожистый с глянцевой верхней поверхностью. Побеги прямые, шипы среднего размера в небольшом количестве. Куст раскидистый, густой, с прочными прямостоящими побегами высотой до 120 см.

Сорт *Sebastian Kneipp* – бутоны округлые белые. Цветки светло-кремовые с оттенком розового, диаметр цветка от пяти до семи сантиметров, махровость – 65 лепестков. На цветоносном побеге формируется от пяти до двенадцати цветков. Куст прямостоячий сильно разветвленный. Побеги прочные с большим количеством шипов различных размеров. Высота куста до 210 см.

С 2012 г. при изучении биоморфологических признаков основное внимание было направлено на исследование побегообразовательной способности в течение вегетационного периода, поскольку данный признак является одним из важных показателей, характеризующих декоративность сорта, его устойчивость к неблагоприятным климатическим факторам. Биометрические параметры растений фиксировались в период первой волны массового цветения, так как во второй период происходит рост жировиков и, как следствие этого, наблюдается очень большая вариабельность признаков.

Для сохранения растения необходимо зимнее укрытие, без него в нашей климатической зоне происходит полное вымерзание куста. Материалом для укрытия служат земля, опилки, хвоя и др.

За трехлетние наблюдения установлено, что начало вегетации изученных роз приходится на последнюю декаду марта — первую декаду апреля, сразу же после снятия зимнего укрытия. Отрастание побегов в данное время происходит очень медленно, так как температурный режим этого периода характеризуется резкими перепадами температур. При резком снижении температур рост побега замедляется или останавливается совсем. В последней декаде апреля — начале мая происходит интенсивный рост, в связи с возрастанием среднесуточной температуры до +10 °С. На резкое повышение температуры растения изученных сортов реагируют по-разному. У сорта *Colette* одновременно с ростом побегов происходит бутонизация без замедления роста побегов. У сортов *L. D. Braithwaite*, *Crocus Rose* и *Sharifa Asma* сначала начинается активный рост побегов, а затем он замедляется, но не прекращается с началом фазы бутонизации. У сорта *Sebastian Kneipp* фаза бутонизации начинается лишь по окончании роста побегов. Рост побегов второго и третьего порядка у растений всех сортов происходит менее интенсивно в конце июля. Количество перезимовавших побегов и побегов, образованных в этот период, отображено в табл. 1.



Таблица 1

## Количество побегов, шт.

Название сорта	Порядки побегов							
	1		2		3		4	
	перезимовавших	возобновления	перезимовавших	возобновления	перезимовавших	возобновления	перезимовавших	возобновления
L. D. Braithwaite	1,8 ± 0,81	2,7 ± 1,12	1,2 ± 0,64	7,1 ± 2,59	0	12,6 ± 5,61	0	3,4 ± 2,29
Colette	3,3 ± 1,24	4,1 ± 0,94	5,3 ± 2,38	11,3 ± 1,93	9,8 ± 0,53	48,2 ± 11,49	0	3,9 ± 2,34
Crocus Rose	9,5 ± 5,28	14,1 ± 3,61	17,3 ± 3,68	26,1 ± 5,64	1,7 ± 0,68	54,7 ± 6,33	0	16,4 ± 6,31
Sebastian Kneipp	3,3 ± 1,57	6,1 ± 1,51	7,1 ± 1,42	12,7 ± 5,23	1,7 ± 3,37	14,8 ± 5,65	0	3,2 ± 6,51
Sharifa Asma	7,2 ± 2,14	4,4 ± 5,29	1,7 ± 3,24	18,3 ± 5,91	0	3,6 ± 1,23	0	1,2 ± 0,57

Примечание. Здесь и в остальных таблицах  $M \pm m$ .

Из табл. 1 видно, что количество побегов первого порядка сильно варьирует в пределах группы и зависит от свойств сорта. Наибольшее количество их присутствует у сортов *Crocus Rose* и *Sharifa Asma*. У сортов *L. D. Braithwaite* и *Sharifa Asma* в зимний период времени остается незначительное количество побегов первого порядка, еще меньше побегов второго порядка, побеги третьего и четвертого порядков не зимуют вовсе и их восстановление происходит за счет почек возобновления предыдущего порядка в следующем вегетационном периоде. Количество перезимовавших побегов третьего порядка у сортов *Colette* и *Crocus Rose* незначительно отличается между собой, а у сортов *Sebastian Kneipp* и *L. D. Braithwaite* наименьшее, среди изученных. Побеги первого порядка, образованные в конце лета – начале осени, из базальной части куста являются стадийно молодыми, что приводит к их гибели и неудовлетворительной перезимовке

всего растения. В связи с этим необходимо их удаление в конце августа.

За вегетационный период у данной группы роз отмечен интенсивный рост побегов в два периода. Первый период роста (весенне-летний) начинается с первой четверти апреля и заканчивается в первой четверти июня, второй (летне-осенний) — с середины августа до конца сентября. В первый период отмечено формирование растения за счет роста побегов второго порядка и из почек возобновления в базальной части куста. Во второй период происходит рост побегов второго, третьего и четвертого порядков, начало которого часто зависит от времени летней обрезки (удаления отцветших соцветий).

Исследованные сорта имеют различную степень ветвления и габитус кустов. Побеги третьего и четвертого порядков присутствуют у растений не всех сортов. Размеры кустов и наличие побегов различных порядков представлено в табл. 2.

Таблица 2

## Размеры растений и структура побегов

Название сорта	Высота куста, см	Диаметр куста, см	Число побегов, шт.			
			Порядки побегов			
			1	2	3	4
L. D. Braithwaite	103,4 ± 8,15	108,5 ± 6,23	4,2 ± 1,51	8,3 ± 4,24	12,6 ± 5,62	3,4 ± 2,29
Colette	115,4 ± 12,53	114 ± 11,48	7,1 ± 3,37	16,3 ± 3,78	56,1 ± 12,51	16,3 ± 3,81
Crocus Rose	117 ± 7,73	134,6 ± 5,61	23,6 ± 7,23	43,2 ± 8,14	56,3 ± 9,63	16,4 ± 6,31
Sebastian Kneipp	207,6 ± 16,61	117,3 ± 4,19	9,4 ± 2,64	19,2 ± 6,92	15,3 ± 3,24	3,2 ± 6,48
Sharifa Asma	111,8 ± 5,67	144 ± 4,79	16,4 ± 7,51	13,7 ± 5,16	3,6 ± 1,23	1,2 ± 0,61

Из табл. 2 видно, что наименьшие показатели размеров куста в период массового цветения отмечены у сорта *L. D. Braithwaite*, а наибольшие – у *Sebastian Kneipp*. Среднее число побегов изменяется от 26 шт. у сорта *L. D. Braithwaite* до 139 шт. у сорта *Crocus Rose* на одно растение. Наибольшее количество побегов всех порядков образует сорт *Crocus Rose* (139 шт.) и *Colette*

(80 шт.). Количество побегов первого порядка сильно варьируется в пределах группы и зависит от свойств сорта, наибольшее количество их отмечено у сортов *Crocus Rose* и *Sharifa Asma*. Образование побегов второго и третьего порядков происходит за счет пазушных почек и начинается в конце июня. Побеги второго порядка являются побегами, образующими «скелет куста» наравне



с побегами первого порядка, образованными из почек в базальной части куста. Следует отметить, что сорта L. D. Braithwaite, Colette, Crocus Rose развивают большое количество побегов третьего и четвертого порядков, а сорта

L. D. Braithwaite и Sharifa Asma – второго порядка.

Оценивая декоративность сорта, необходимо учитывать размеры (длину и диаметр) растений. Морфобиологические показатели побегов приведены в табл. 3.

Таблица 3

Размеры побегов, см

Название сорта	Порядки побегов							
	1		2		3		4	
	длина	диаметр	длина	диаметр	длина	диаметр	длина	диаметр
L. D. Braithwaite	67,2 ± 4,21	3,1 ± 0,73	98,6 ± 8,31	1,1 ± 0,65	27,8 ± 5,14	0,5 ± 0,16	8,1 ± 2,61	0,2 ± 0,18
Colette	71,2 ± 12,83	3,1 ± 0,62	95,2 ± 23,5	1,3 ± 0,21	13,6 ± 2,33	0,5 ± 0,18	7,4 ± 2,8	0,2 ± 0,16
Crocus Rose	53,2 ± 10,36	1,8 ± 0,82	89,9 ± 8,93	0,9 ± 0,47	34,2 ± 3,85	0,4 ± 0,22	20,4 ± 8,71	0,3 ± 0,16
Sebastian Kneipp	142,1 ± 11,31	2,6 ± 0,91	178,5 ± 15,12	1,2 ± 0,15	64,2 ± 15,31	1,2 ± 0,21	49,4 ± 5,24	0,3 ± 0,12
Sharifa Asma	10,7 ± 3,92	1,8 ± 0,13	89,2 ± 17,81	1,6 ± 0,9	31 ± 8,91	0,9 ± 0,19	10,8 ± 2,49	0,2 ± 0,12

Анализируя табл. 3, есть основания говорить о том, что высота растения часто формируется побегами первого порядка, образованными весной из базальной части куста, и побегами второго порядка, находящимися на перезимовавших побегах. В зависимости от биологической особенности сорта длина годовых приростов побегов первого порядка колеблется от 3 до 132 см. Перезимовавшие побеги первого порядка могут к моменту снятия укрытия иметь высоту до 120 см, но в дальнейшем выглядят не декоративно, так как они полностью покрыты морозобойными трещинами и подвергаются санитарной обрезке.

Одним из ведущих показателей успешной адаптации растений служит наличие и обильность цветения. Высокий показатель образования цветков в условиях ботанического сада свидетельствует о достаточном количестве для изученных сортов освещения, влаги и питательных веществ. Интенсивное образование генеративных побегов характеризует сорта как высокодекоративные. Одним из показателей декоративности является соотношение генеративных и вегетативных побегов. Количество генеративных и вегетативных побегов нарастания представлено в табл. 4.

Таблица 4

Количество побегов нарастания, шт.

Название сорта	Число побегов							
	1 порядка		2 порядка		3 порядка		4 порядка	
	генеративные	вегетативные	генеративные	вегетативные	генеративные	вегетативные	генеративные	вегетативные
L. D. Braithwaite	2,9 ± 0,43	1,5 ± 0,58	6,1 ± 3,23	2,2 ± 0,81	7,7 ± 3,23	4 ± 1,24	2,6 ± 0,48	1,2 ± 0,31
Colette	5,1 ± 1,23	2,1 ± 1,49	15,1 ± 3,19	1,4 ± 0,41	47,1 ± 6,33	9,1 ± 5,42	2,7 ± 0,84	1,3 ± 1,13
Crocus Rose	17,4 ± 3,38	6,2 ± 2,42	34,6 ± 6,14	9,3 ± 2,31	49,6 ± 5,76	7,4 ± 3,24	8,1 ± 3,51	7,9 ± 1,34
Sebastian Kneipp	5,3 ± 1,59	4,1 ± 0,78	17,5 ± 2,41	1,5 ± 3,23	11,3 ± 2,61	4,2 ± 0,51	2,4 ± 1,33	1,3 ± 0,87
Sharifa Asma	13,9 ± 2,53	2,9 ± 3,51	12,1 ± 2,24	1,08 ± 0,21	2,5 ± 1,18	1,1 ± 0,28	1,1 ± 0,61	1,01 ± 0,34

Как следует из табл. 4, у изученных растений генеративных побегов больше вегетативных. Образование цветов на побегах различных порядков отмечено у всех сортов. Практически каждый побег оканчивается либо несколькими цветками (Crocus Rose и Sharifa Asma), либо одним (L. D. Braithwaite).

По результатам наблюдений следует отметить, что у изученных сортов надземная часть состоит из многочисленных отдельно стоящих ветвей разного возраста. Главный ствол имеет

преимущественно лишь у растений первого года и сохраняется обычно в течение одного-двух лет, а затем отмирает, сменяясь более сильными скелетными побегами. Центральная ось каждого побега куста является приростом нулевого порядка ветвления. Отходящие от него боковые разветвления являются уже побегами второго порядка. Побеги нулевого порядка ветвления после перезимовки становятся однолетними, а еще через год — двухлетними. Годичный прирост образуется из генеративно-вегетативных побегов.



Одновременно с ростом центральной оси стебля часто образуются сильные боковые ответвления.

Учитывая то, что годичный прирост ветвей после перезимовки поражается морозобойными трещинами и впоследствии либо отмирает, либо подлежит обрезке, можно утверждать, что преобладающая часть побегов является по сути однолетними. Сохранение многолетних побегов зависит от особенностей сорта. Побегового порядка сохраняются у сортов Colette, Crocus Rose, Sebastian Kneipp в течение четырех лет, у L. D. Braithwaite — трех, у Sharifa Asma — двух лет. Рост побегов в длину независимо от порядка их ветвления происходит в основном в течение одного вегетационного периода.

По результатам наших наблюдений, изученные сорта обладают высокой побегообразовательной способностью, являются адаптированными к нашим условиям и их можно рекомендовать к использованию в озеленении г. Саратова.

#### Список литературы

1. Былов В. Н., Михайлов Н. Л., Сурина Е. И. Розы: итоги интродукции. М.: Наука, 1988. 440 с.
2. Саков С. Г. Происхождение садовых роз и направление работы в их селекции. М.; Л.: Наука, 1965. 24 с.
3. Козьминский И. И., Вечерябина Т. Л. Розы в Ленинграде. Л.: Лениздат, 1972. 176 с.
4. Васильева О. Ю. Интродукция роз в Западной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1999. 184 с.
5. Рузаева И. В. Эколого-физиологические изменения годичных побегов у роз различных групп при подготовке к зимнему периоду // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2007. Т. 9, № 4. С. 1097–1002.
6. Егорова О. А., Степанов М. В., Марченкова Е. С. Темпы развития *Penstemon digitalis* Nutt при интродукции в Ботаническом саду // Бюл. Бот. сада Саратов. гос. ун-та. 2014. Вып. 12. С. 106–110.
7. Учебно-краеведческий атлас Саратовской области / В. В. Аникин [и др.]; гл. ред. А. Н. Чумаченко, отв. ред. В. З. Макаров. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2013. 144 с.
8. Савина Т. А. Оценка некоторых декоративно-хозяйственных качеств английских роз. Предварительные наблюдения // Бюл. Бот. сада Саратов. гос. ун-та. 2009. Вып. 8. С. 185–188.
9. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М.: Колос, 1968. 224 с.
10. Краткое пособие по математической обработке данных фенологических наблюдений / АН СССР Главный бот. сад; Совет бот. садов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1972. 4 с.
11. Гришин П. Н., Кравченко В. В., Болдырев В. А. Почвы Саратовской области, их происхождение, состав и агрохимические свойства. Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 2011. 176 с.

УДК 579.61

## КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО СОЕДИНЕНИЯ, ОБЛАДАЮЩЕГО АНТИМИКРОБНОЙ АКТИВНОСТЬЮ

О. В. Нечаева<sup>1</sup>, Н. В. Веденева<sup>2</sup>, М. М. Вакараева<sup>2</sup>, Е. И. Тихомирова<sup>2</sup>, Н. Ф. Шуршалова<sup>3</sup>, Д. А. Заярский<sup>2</sup>, Н. В. Беспалова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского

E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

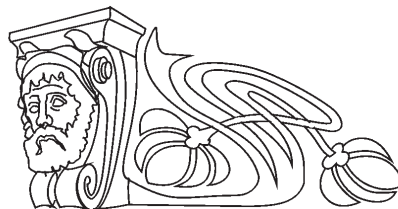
<sup>2</sup>Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.

E-mail: ecology@sstu.ru

<sup>3</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

E-mail: francissella@rambler.ru

Проведена комплексная оценка токсичности полимерного соединения — полиазилидинаммония, модифицированного гидрат-ионами йода, обладающего высокой антимикробной активностью. Установлено, что рабочие концентрации исходного препарата, а также его варианты с различным содержанием гидрат-ионов йода не вызывают гибели биотест-объектов *Daphnia magna* Straus. Исследование острой токсичности исследуемых соединений на белых лабораторных мышах путем перорального и



внутрибрюшинного введения позволило отнести их к IV классу токсичности, поскольку не удалось установить показатели LD<sub>50</sub>, а показатели LD<sub>0</sub> составили 2000 мг/кг м.т. Полученные результаты открывают перспективы использования исследуемого полимерного соединения в качестве эффективного антимикробного препарата с широким спектром действия.

**Ключевые слова:** полиазилидинаммоний, антимикробная активность, биотест-объекты, токсичность.

#### Complex Assessment of Toxicity of the Polymeric Connection Possessing Antimicrobial Activity

O. V. Nechaeva, N. V. Vedeneva, M. M. Vakaraeva, E. I. Tikhomirova, N. F. Shurshalova, D. A. Zayarskiy, N. V. Bespalova

The complex estimation of toxicity of the polymer compounds — polyazolidin ammonium, modified hydrate ions of iodine, which has high





antimicrobial activity was held. It is established that working concentrations of parent drug and its variants with different hydrate ions of iodine content do not cause death of biotestobjects of *Daphnia magna* Straus. Study of acute toxicity of test compounds on white laboratory mice by oral and intraperitoneal methods allowed to carry them to the IV toxicity class, as LD<sub>50</sub> indicators could not be established while LD0 figures were 2000 mg / kg bw. The results hold promise for the test polymer to be used as an effective antimicrobial agent with a broad spectrum of action.

**Key words:** poly azolidin ammonium, antimicrobial activity, biotestobjects, toxicity.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-160-164

В настоящее время для лечения инфекционных заболеваний человека и животных широкое применение находят химиотерапевтические препараты. В практической медицине и ветеринарии используются порядка тысячи эффективных антимикробных средств. Однако одним из значительных недостатков является их токсическое воздействие на различные системы органов макроорганизма, проявляющееся при их длительном и систематическом приеме. Например, аминогликозиды I и II поколений обладают выраженным нейротоксическим действием, так как приводят к атрофии VIII пары черепно-мозговых нервов, в результате у пациентов наблюдается потеря слуха и вестибулярные расстройства [1–3]. Нефротоксичностью характеризуются аминогликозиды, полиены, полипептиды, макролиды, гликопептиды. Противогрибковые препараты (полиены) оказывают общетоксическое действие на организм. Угнетение кроветворения вызывают тетрациклины, левомицетин. Тератогенным эффектом обладают антибиотики группы тетрациклинов, воздействие которых приводит к нарушению развития костной и хрящевой ткани у плода, нарушает формирование зубной эмали. Кроме того, многие антибиотики обладают иммунодепрессивным свойством, что ведет к развитию вторичных иммунодефицитов и ослаблению напряженности иммунитета. Например, левомицетин подавляет антителообразование, тетрациклин угнетает фагоцитоз.

Поэтому актуальной остается проблема поиска биологически активных соединений, которые сочетали бы в себе высокую антимикробную активность и низкую токсичность. Большой научный интерес представляют на настоящий момент исследования антимикробных свойств биосовместимых полимеров, использование которых в медицинской и ветеринарной практике позволяет повысить локальную концентрацию и устойчивость действующего вещества к ферментам микроорганизмов, снизить токсичность и увеличить длительность действия [4, 5]. Од-

ним из наиболее эффективных полимерных соединений, характеризующихся антимикробной активностью, является полиазолидинаммоний, модифицированный гидрат-ионами йода, для которого ранее была установлена высокая антибактериальная активность в отношении стандартных и клинических штаммов грамположительных и грамотрицательных бактерий [6]. Однако исходно низкое содержание гидрат-ионов йода, как основного действующего вещества в его составе, приводило к высоким значениям минимальной подавляющей концентрации полимера в отношении условно-патогенных микроорганизмов. Поэтому для повышения эффективности исследуемого препарата было проведено насыщение исходного полимерного соединения гидрат-ионами йода [7–9].

Целью нашей работы явилось комплексное изучение показателей острой токсичности полимерного соединения – полиазолидинаммония, модифицированного гидрат-ионами йода, с различным содержанием гидрат-ионов йода.

#### Материал и методы

Объектом исследования явилось полимерное соединение – полиазолидинаммоний, модифицированный гидрат-ионами йода (ПААГ-М). Для оценки острой токсичности полимерного соединения использовали 4 варианта препаратов: в ПААГ-М<sub>2</sub> концентрация гидрат-ионов йода составляла 100 мкг/мл, в ПААГ-М<sub>4</sub> – 200 мкг/мл, в ПААГ-М<sub>10</sub> – 500 мкг/мл и в ПААГ-М<sub>15</sub> – 750 мкг/мл.

Исследование показателей острой токсичности полимерного соединения и его модифицированных аналогов проводилось в два этапа. На первом этапе исследования была проведена предварительная оценка токсичности исследуемых соединений с использованием биотест-объектов, в качестве которых были выбраны представители низших ракообразных *Daphnia magna* Straus. Эти организмы являются крайне чувствительными к загрязняющим веществам различной природы и поэтому широко используются для оценки токсичности различных соединений и сточных вод [10, 11].

Согласно методике оценку воздействия ПААГ-М и его модифицированных аналогов, присутствующих в исследуемой среде, проводили по показателям смертности дафний (*D. magna* Straus) в сравнении с контрольной культурой.

Острую токсичность полимерных соединений на *D. magna* определяли по их смертности за определенный период. Критерием острого токсического действия соединения служила



гибель 50 % и более биотест-объектов за 48 ч в исследуемой пробе по сравнению с контрольными пробами, в которых все рачки сохраняли свою жизнеспособность.

В экспериментах по оценке острой токсичности определяли несколько показателей:

1) ЛК<sub>100-48</sub> – летальная концентрация соединений, вызывающая гибель 100% тест-организмов;

2) ЛК<sub>50-48</sub> – средняя летальная концентрация соединения, которая вызывает гибель 50% и более тест-организмов;

3) БК<sub>10-48</sub> – безвредная концентрация, вызывающая гибель за 48 ч не более 10% тест-объектов;

4) БК<sub>0-48</sub> – минимальная безвредная концентрация препаратов, при которой гибель организмов не наблюдалась.

Острая токсичность была определена для различных концентраций полимерных соединений. Для этого готовили двойные последовательные разведения соединений от максимальной (1000 мкг/мл) к минимальной (2 мкг/мл) в воде объемом 100 мл. Биотестирование осуществляли в пробирках объемом 100 см<sup>3</sup>, в которые вносили по 50 см<sup>3</sup> воды, содержащей определенные концентрации исследуемых препаратов. В пробирки помещали по десять дафний в возрасте 6–24 ч. Культивирование дафний проводили в климатостате при освещении лампами в 400–600 люкс (40 Вт) в течение 8–10 ч в сутки и температуре +22°C. Все опыты проводили в трех повторностях [12].

Для определения острого токсического действия ПААГ-М и его модифицированных аналогов рассчитывали процент погибших дафний в опытных пробах ( $A$ , %) по сравнению с контрольными:

$$A = \frac{X_K - X_T}{X_K} \cdot 100\%,$$

где  $X_K$  – количество выживших дафний в контроле;  $X_T$  – количество выживших дафний в опытных пробирках.

Если  $A \leq 10\%$ , то считалось, что исследуемые соединения не обладали острой токсичностью (безвредная концентрация). Если  $A \geq 50\%$ , то исследуемые препараты характеризовались острой токсичностью (средняя летальная концентрация).

Кроме того, в экспериментах учитывалось поведение дафний (характер передвижения, активность), степень наполнения кишечника пищей, поскольку токсические агенты нарушают метаболические процессы в организме животных. Также учитывали количество сброшенных

эфиопиумов, так как установлено, что в результате реакции на токсикант происходит линька дафний и сбрасывание эфиопиума.

На следующем этапе работы определение острой токсичности полимерных соединений проводили на белых лабораторных мышах. В эксперимент были взяты белые половозрелые нелинейные мыши (самцы, масса 20 г), которые прошли карантин в течение 14 дней для адаптации при групповом содержании в клетках. В течение всего периода у животных контролировали клиническое состояние ежедневно путем визуального осмотра.

Содержание экспериментальных животных соответствовало действующим Санитарным правилам по устройству, оборудованию и содержанию вивариев (1973). Мыши контрольных и экспериментальных групп находились на стандартной диете, которая соответствовала действующим нормам [13].

Определение острой токсичности ПААГ-М и его модифицированных аналогов проводили путем однократного внутрибрюшинного введения животным различных концентраций препаратов, а также перорально [14]. Количество мышей на одну дозу препарата составило 5 голов.

Внутрибрюшинное введение препаратов проводили в объеме 0,2 мл, пероральное – в виде раствора в дозе 0,5 мл с помощью зонда в желудок. Введение соединений осуществляли в определенное время суток.

Наблюдение за животными проводили после введения препаратов в течение 14 суток. В первый день после введения соединений мыши находились под непрерывным наблюдением. В ходе наблюдения учитывали физиологическое состояние животных, количество погибших и выживших особей. На основании полученных результатов проводили оценку токсичности изучаемых соединений путем определения величины LD<sub>50</sub> [15, 16, 17].

### Результаты и их обсуждение

Острое токсическое действие различных концентраций исследуемых соединений оценивали по смертности *Daphnia magna* Straus за 48 ч экспозиции. Через 24 ч экспозиции все особи дафний в опытных и контрольных растворах были живые, активно плавали, не наблюдалось никаких дополнительных морфологических изменений.

Через 48 ч экспозиции подсчитывали количество выживших и погибших особей во всех опытных и контрольных растворах полимерного соединения. На основании полученных результа-



тов рассчитывали процент погибших дафний по отношению к контролю, после чего были опреде-

лены показатели острой токсичности, результаты которых представлены в таблице.

**Показатели острой токсичности исследуемых соединений, мкг/мл**

№	Лабораторный шифр соединения	ЛК <sub>100-48</sub>	ЛК <sub>50-48</sub>	БК <sub>10-48</sub>	БК <sub>0-48</sub>
1	ПААГ-М <sub>2</sub>	–	–	1000-3,2	1000-3,2
2	ПААГ-М <sub>4</sub>	–	–	1000-3,2	1000-3,2
3	ПААГ-М <sub>10</sub>	–	–	1000-3,2	1000-3,2
4	ПААГ-М <sub>15</sub>	–	–	1000-3,2	1000-3,2

Оценка острой токсичности ПААГ и его модифицированных аналогов на биотест-объектах не позволила установить показатели ЛК<sub>100-48</sub> и ЛК<sub>50-48</sub>, поскольку все исследуемые концентрации полимерных соединений не вызвали гибели биотест-объектов с сохранением нормальной физиологической активности. По показателям жизнеспособности дафний для всех вариантов ПААГ значения БК<sub>10-48</sub> и БК<sub>0-48</sub> располагались в интервале от 1000 до 3,2 мкг/мл. Таким образом, предварительная оценка токсичности ПААГ и его модифицированных аналогов позволила отнести их к нетоксичным соединениям.

Предварительное определение острой токсичности с помощью биотестирования позволяет использовать меньшее количество лабораторных животных, что значительно снижает стоимость проводимых исследований.

Для оценки острой токсичности полимерных соединений при внутрибрюшинном и пероральном способах введения рассчитывали величину средней смертельной дозы LD<sub>50</sub> по методике И. П. Ашмарина и А. А. Воробьева [12].

После введения максимально возможной дозы образцов исследуемых препаратов ежедневно фиксировалось:

- общее состояние мышей и стабильное поведение без изменений;
- интенсивность и характер двигательной активности выраженные;
- наличие судорог не наблюдалось;
- координация движений и тонус скелетных мышц в норме;
- реакция на тактильные, болевые, звуковые и световые раздражители выражена;
- частота и глубина дыхательных движений и ритм сердечных сокращений без изменений;
- состояние волосяного и кожного покрова хорошее;
- окраска слизистых оболочек и размер зрачка без изменений;
- фекалии сформированы, дефекация безболезненная;

- частота мочеиспускания и окраска мочи не изменилась;
- аппетит выраженный, потребление воды не увеличилось;
- масса тела стабильная.

Основные параметры острой токсичности вычислены методом Литчфилда и Уилкоксона. Исходя из полученных данных, ПААГ-М и его модифицированные аналоги имели следующие параметры: LD<sub>50</sub> – не выявлено, LD<sub>0</sub> = 2000 мг/кг м.т.

Таким образом, нам не удалось установить значение, LD<sub>50</sub> для ПААГ-М и его модифицированных аналогов. Кроме того, после введения исследуемых препаратов различными способами у экспериментальных животных отсутствовали побочные эффекты. Это позволило нам отнести ПААГ-М и его модифицированные аналоги к малоопасным соединениям IV класса токсичности. Следовательно, полученные нами результаты позволяют рассматривать ПААГ-М, а также его производные как перспективные нетоксичные антимикробные препараты широкого спектра действия.

**Список литературы**

1. Стречунский Л. С., Белоусова Е. Б., Козлов С. Н. Практическое руководство по антиинфекционной химиотерапии. М. : Борис, 2002. С. 6–8.
2. Зверев В. В. Медицинская микробиология, вирусология и иммунология : учебник : в 2 т. / под ред. В. В. Зверева, М. Н. Бойченко. М. : ГЭОТАР–Медиа, 2010. 448 с.
3. Поляк М. С. Антибиотикотерапия. Теория и практика. СПб. : ИнфомМед, 2009. 424 с.
4. Серебренникова Е. С., Давыдова В. Л., Гурина С. В., Иозеп А. А. Изучение антимикробной активности некоторых производных альгиновой кислоты // Проблемы медицинской микологии. 2013. № 4. С. 60–62.
5. Панарин Е. Ф., Лавров Н. А., Соловский М. В., Шальнова Л. И. Полимеры – носители биологически активных веществ / под ред. Е. Ф. Панарина, Н. А. Лаврова. СПб. : Изд-во Профессия, 2014. 304 с.



6. Нечаева О. В., Тихомирова Е. И., Заярский Д. А., Вакараева М. М. Антимикробная активность полиазолидинаммония, модифицированного гидрат-ионами йода // ЖМЭИ. 2015. № 3. С. 88–92.
7. Вакараева М. М., Ульянов В. Ю., Нечаева О. В., Лунева И. О., Тихомирова Е. И., Шаповал О. Г., Заярский Д. А. Оценка антимикробной активности полиазолидинаммония, модифицированного гидрат-ионами йода, в зависимости от его физико-химических характеристик // Саратов. науч.-мед. журн. 2015. Т. 11, № 3. С. 255–257.
8. Нечаева О. В., Заярский Д. А., Вакараева М. М., Веденева Н. В., Тихомирова Е. И. Изучение биологической активности полиазолидинаммония, модифицированного гидрат-ионами галогенов, и его модификаций в отношении микроорганизмов // Вестн. развития науки и образования. 2014. № 1. С. 32–36.
9. Шуришалова Н. Ф., Миндибекова Д. Е., Заярский Д. А., Нечаева О. В. Изучение антибактериальной активности новых препаратов на основе модифицированного биосовместимого полимера // Наука и образование в жизни современного общества : сб. науч. тр. по материалам междунар. науч.-практ. конф., (Тамбов, 30 апреля 2015 г.) : в 14 т. Тамбов, 2015. Т. 10. С. 156–159.
10. Федорова А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды. М. : Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. 288 с.
11. Методическое руководство по биотестированию воды / Утверждено Минприродой России от 27 апреля 2001 г. ; Руководство по определению методов биотестирования токсичности вод, донных отложений, загрязняющих веществ и буровых растворов. М. : РЭФИА, НИА-Природа, 2002.
12. Ашмарин И. П., Воробьев А. А. Статистические методы в микробиологических исследованиях. Л. : Изд-во мед. лит, 1986. 184 с.
13. Санитарные правила по устройству, оборудованию и содержанию экспериментально-биологических клиник (вивариев) (утв. Главным государственным санитарным врачом СССР 6 апреля 1973 г. № 1045-73). URL: <https://www.tsvps.ru/fsvps/laws/182.html> (дата обращения: 22.02.2016).
14. Методические рекомендации по изучению общетоксического действия фармакологических средств. Материалы фармкомитета РФ (Протокол № 13 от 25 декабря 1997 года) / сост. Е. В. Арзамасцев, Т. А. Гуськова, С. С. Либерман. URL: <https://www.medline.ru/public/fund/pharmcom/3.phtml> (дата обращения: 25.03.2016).
15. Лойт А. О., Савченков М. Ф. Токсикологическая оценка новых химических веществ : в 2 ч. Ч. 1. Иркутск : Изд-во Иркут. ун-та, 1992. С. 74–83.
16. Гуськова Т. А. Оценка безопасности лекарственных средств различных фармакологических групп // Новые препараты в фармакологии. 2003. № 9. С. 20–30.
17. Хабриев Р. У. Руководство по экспериментальному (доклиническому) изучению новых фармакологических веществ. М. : Медицина, 2005. 832 с.

УДК 674.812-419.4

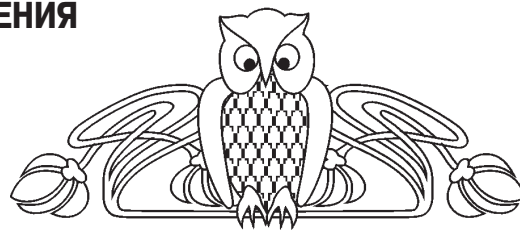
## ОПТИМИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ КУЛЬТИВИРОВАНИЯ *AZOTOBACTER VINELANDII* Д-08 ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ВЫХОДА ЭКЗОПОЛИСАХАРИДА

Н. В. Новокупцев

Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва,  
Саранск  
E-mail: nikolay.novokuptsev@yandex.ru

В исследовании проведена оптимизация условий культивирования *Azotobacter vinelandii* Д-08 на питательных средах с различным содержанием мелассы – 20, 30, 40 и 50% (по массе). Установлено, что максимальное накопление полисахарида наблюдается на 72-м ч роста штамма в среде с 50% содержанием мелассы, которое составило 13,78 г/л. Результаты метода гель-хроматографии показали, что полученный полисахарид имеет молекулярную массу 0,93532 кДа и 312,5014 кДа. В ходе проведения ИК-спектроскопии Фурье и анализа полученных спектров идентифицирован исследуемый полисахарид, который по своим характеристическим пикам в областях 923 см<sup>-1</sup> и 830 см<sup>-1</sup> фуранозного кольца соответствует полисахариду левану.

**Ключевые слова:** *Azotobacter vinelandii* Д-08, микробный полисахарид, леван, меласса, ИК-спектроскопия.



### Optimization of Cultivation Conditions of *Azotobacter Vinelandii* D-08 to Increase the Yield of Exopolysaccharide

N. V. Novokuptsev

In current research the optimization of culture conditions *Azotobacter vinelandii* D-08 on nutrient mediums with different content of molasses – 20, 30, 40 and 50% (by weight) was conducted. It is established that the maximum accumulation of polysaccharides was 13,78 g/l and it was observed at growth of the strain on the medium containing 50% molasses for 72 hours. The results of the method of gel permeation chromatography showed that the obtained polysaccharide has a molecular weight of 0.93532 kDa



and 312.5014 kDa. Carrying out of FT-IR-spectroscopy and analysis of the obtained spectrum allowed to find characteristic peaks in the areas  $923\text{ cm}^{-1}$  and  $830\text{ cm}^{-1}$  that corresponded to the furanose ring of the polysaccharide levan.

**Key words:** *Azotobacter vinelandii* D-08, microbial polysaccharide, levan, molasses, IR-spectroscopy.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-164-168

Полисахариды – это природные биополимеры, которые обладают уникальными свойствами и имеют широкий спектр применений [1, 2]. Значительный прогресс был достигнут в развитии отрасли по получению микробных внеклеточных полисахаридов (экзополисахаридов (ЭПС)), которые обладают новыми и уникальными промышленными свойствами [3, 4]. В настоящее время особенный интерес представляет использование микробных полисахаридов в качестве биологического связующего звена с целью получения древесных биокомпозиционных материалов [5–8]. Исследуемая бактерия *Azotobacter vinelandii* способна активно потреблять в качестве источника углерода сахарозу [9, 10]. В результате при культивировании данного микроорганизма на питательной среде, содержащей мелассу как источник сахарозы, образуются полисахариды [10, 11]. В связи с этим целью нашего исследования стал подбор условий культивирования штамма *Azotobacter vinelandii* Д-08 на питательных средах с различным содержанием мелассы для максимального накопления полисахарида и идентификации его структуры.

### Материал и методы

Для поддержания культуры бактерий и получения посевного материала *A. vinelandii* Д-08 выращивали в биологических пробирках с использованием плотной агаризованной питательной среды следующего состава, г/л:  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,2;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 0,8;  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,2;  $\text{CaSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 0,2;  $\text{FeCl}_3$  – 0,05;  $\text{Na}_2\text{MnO}_4$  – 0,05; дрожжевой экстракт – 0,5; сахароза – 20,0; агар-агар – 20,0, pH среды 6,8–7,2. Продолжительность культивирования 24 ч при 28°C.

Для получения инокулята *A. vinelandii* Д-08 использовали жидкую сахарозосодержащую среду того же состава без агара. Культивирование осуществляли в конических колбах объемом 250 мл, содержащих 100 мл среды. Исходным посевным материалом являлась культура на скошенной агаризованной среде, с которой делали смыв десятью миллилитрами приготовленной питательной среды. Суспензией микроорганизмов в количестве 10 мл засеивали посевные колбы со 100 мл среды. Культивирование *A. vinelandii*

проводили в термостатируемом шейкере Environmental shaker – Inkubator ES – 20/60 («BioSan», Рига, Латвия) 24 ч при 250 об/мин и температуре 28°C, pH среды 6,8–7,2. Режим стерилизации всех сред 121°C в течение 20 мин.

Осуществляли культивирование в конических колбах на 250 мл, содержащих 100 мл среды со свекловичной мелассой – 20, 30, 40 и 50% (по массе) при внесении посевного материала (инокулята) в количестве 10%.

Измерение pH питательных сред и полученных культуральных жидкостей бактерии *A. vinelandii* Д-08 проводили потенциометрическим методом с помощью портативного pH meter Waterproof марки HI 98129 («Hanna Instruments», Германия).

Экзополисахариды выделяются осаждением из культуральной жидкости. Полисахарид может быть осажден из супернатанта добавлением полярного органического растворителя, смешивающегося с водой, типа спирта или ацетона [12].

Для определения количества ЭПС проводили следующие операции: доводили массы фильтров до постоянного веса, осаждали ЭПС из супернатанта 96 % этиловым спиртом, определяли массу сухого ЭПС. Для осаждения ЭПС брали 5 мл супернатанта, к которому добавляли 10 мл 96% этилового спирта, выдерживали раствор сутки при комнатной температуре. Далее центрифугировали при 6000 об/мин в течение 15 мин с целью отделения осажденного экзополисахарид. Надосадочную жидкость сливали. К осадку полисахарида добавляли 10 мл 96% этилового спирта, тщательно перемешивали и снова центрифугировали. Такую операцию повторяли два раза. В результате получали экзополисахарид от светло-коричневой до кремово-белой окраски. Затем полученный осадок экзополисахарид переносили на предварительно взвешенные и высушенные фильтры и высушивали при 105°C до постоянной массы.

Для измерения вязкости культуральной жидкости бактерий *A. vinelandii* использовали вискозиметр портативный роторный для определения вязкости растворов Viscotester VT-04F («RION», Токио, Япония).

Определение молекулярной массы изучаемого экзополисахарид проводили методом гель-фильтрации на установке высокого давления KNAUER HPLC Pump 64 («KNAUER», Берлин, Германия). Для этого делали разведение полученной культуральной жидкости дистиллированной водой в 2 раза с последующим ее центрифугированием в течение 15 мин при 7000 об/мин.



ИК-спектроскопию Фурье проводили с целью подтверждения природы полисахарида [13, 14]. Выделенный и очищенный полисахарид, культуральная жидкость и КВг подвергались дополнительному высушиванию в течение 12–16 ч при 60 °С. Брали навеску 2–4 мг выделенного и очищенного биополимера культуральной жидкости и 100 мг КВг и измельчали в агатовой ступке. Переносили полностью в пресс-форму для изготовления таблеток. Прессовали при помощи ручного гидравлического пресса при давлении 210 бар в течение 15 минут. Спектры регистрировались на приборе ИК-фурьеспектрометр IR Prestige – 21 («Shimadzu Corporation», Токио, Япония) и обрабатывались с помощью программы IRsolution.

### Результаты и их обсуждение

Нами установлено, что при культивировании исследуемого штамма содержание полисахарида возрастает (рис. 1, 2).

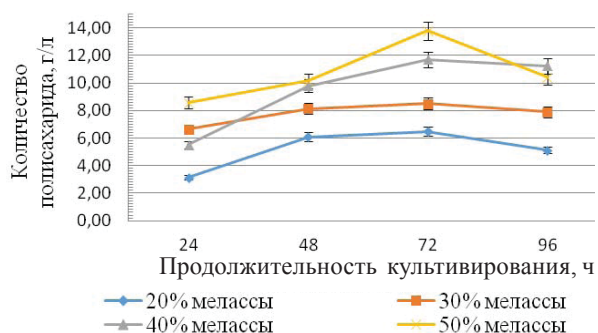


Рис. 1. Динамика накопления полисахарида в культуральной жидкости при культивировании *A. vinelandii* Д-08 при 250 об/мин и температуре 28 °С

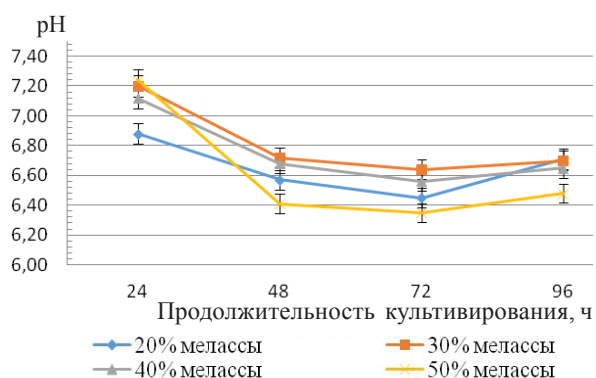


Рис. 2. Динамика изменения pH культуральной жидкости при культивировании *A. vinelandii* Д-08 при 250 об/мин и температуре 28 °С

Наибольшее накопление полисахарида наблюдается к 72 ч культивирования во всех опытах. При этом максимальное накопление было

установлено в среде, содержащей 50% мелассы, которое составило 13,78 г/л, что объясняется наибольшим содержанием сахарозы в данной среде (см. рис. 1).

Известно, что образование левана происходит за счет фермента левансахаразы, который гидролизует сахарозу на фруктозу и глюкозу. Фруктоза переносится на полимерную цепь, образуя полисахарид леван, а глюкоза включается в процессы метаболизма – используется для питания штамма *A. vinelandii* Д-08 и окисляется с образованием органических кислот [15]. В связи с этим снижается pH среды. Данные хроматограммы, полученной методом гель-фильтрации, показали, что синтезирован полисахарид с двумя разными молекулярными массами. Молекулярная масса первого пика составила 312,5014 кДа, второго пика – 0,93532 кДа.

Для идентификации исследуемого полисахарида использован метод ИК-спектроскопии Фурье. Известно, что бактерии *A. vinelandii* являются продуцентами левана и альгината [16]. Согласно паспорту штамма, выданного Всероссийской коллекцией промышленных микроорганизмов, *A. vinelandii* Д-08 при культивировании на стандартной среде продуцирует леван. Однако в своей работе мы использовали нестандартную среду, и чтобы убедиться в том, что и при этих условиях штамм синтезирует полисахарид леван, с учетом, что метод ИК-спектроскопии является одним из самых эффективных для идентификации веществ, мы провели сравнительный анализ Фурье ИК-спектров левана, выделенного из культуральной жидкости и коммерческого препарата альгината. Полученные результаты представлены на рис. 3. Как видно из рис. 3, кривые 1, 2, в ИК-спектрах альгината и левана имеются полосы поглощения, характерные для всех полисахаридов – 3000–3500 см<sup>-1</sup> (колебания ОН-групп), 2900–2950 см<sup>-1</sup> (колебания СН<sub>2</sub>-групп), 1010–1050 см<sup>-1</sup> (колебания С-О-С групп сахаров). В то же время в ИК-спектрах альгината (см. рис. 3, кривая 1) наблюдаются полосы поглощения в области 1616 и 1419 см<sup>-1</sup>, обусловленные присутствием карбоксилат-ионных групп, характерных для альгинатов. В ИК-спектрах левана эти полосы отсутствуют, но четко прослеживаются пики поглощения в области 923 и 830 см<sup>-1</sup>, обусловленные колебаниями ν(CO) групп и свидетельствующие о присутствии фуранозного кольца, характерного для левана [17–21].

Таким образом, сравнительный анализ ИК-спектров левана и альгината показал, что при культивировании бактерий *A. vinelandii* Д-08 на

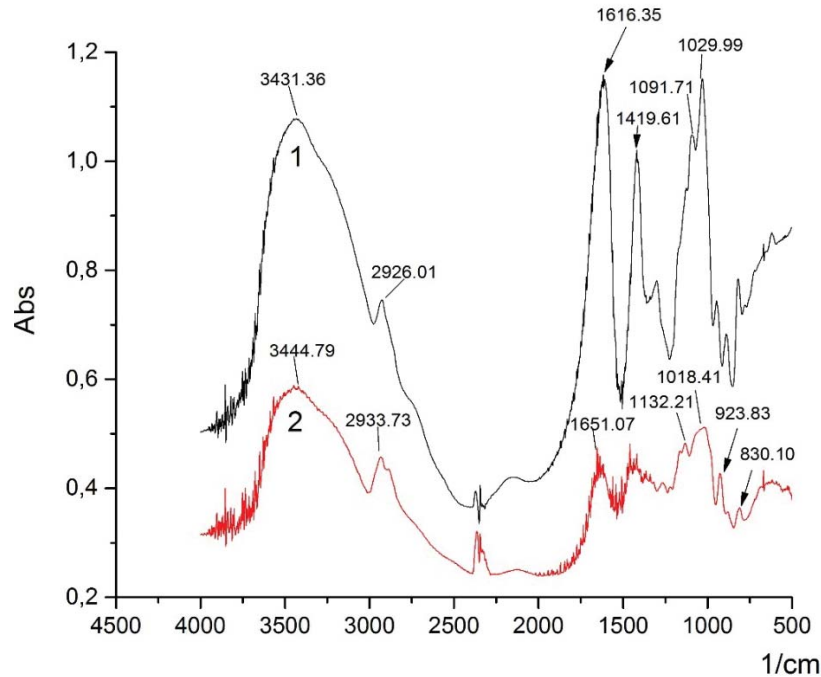


Рис. 3. ИК-спектры полисахарида альгината (1) и исследуемого полисахарида, синтезируемого *A. vinelandii* Д-08 (2)

средах, содержащих отходы перерабатывающей промышленности, образуется полисахарид леван и наибольшее его количество синтезируется через 72 ч от начала культивирования на среде с содержанием мелассы 50%.

Работа выполнена в рамках фундаментальной НИР 53/45-14 «Создание высокопродуктивных штаммов бактерий и получение на их основе биокomпозиционных материалов», поддержанной Правительством РФ [15.684.2014К] от 17 июля 2014 г.

#### Список литературы

1. Аркадьева З. А., Безбородов А. М., Блохина И. Н. Промышленная микробиология. М.: Высш. шк., 1989. 688 с.
2. Kumar A. S., Mody K., Jha B. Bacterial exopolysaccharides – a perception // J. of Bas. Microbiol. 2007. Vol. 47, iss. 2. P. 103–117.
3. Freitas F., Alves V. D., Reis M. A. M. Advances in bacterial exopolysaccharides: from production to biotechnological applications // Trends in Biotechnology. 2011. Vol. 29, iss. 8. P. 388–398.
4. Nicolaus B., Kambourova M., Oner E. T. Exopolysaccharides from extremophiles: from fundamentals to biotechnology // Environmental Technology. 2010. Vol. 31, iss. 10. P. 1145–1158.
5. Revin V., Novokuptsev N., Kadimaliev D. Preparation of Biocomposites using Sawdust and Lignosulfonate with a Culture Liquid of Levan Producer *Azotobacter vinelandii* as a Bonding Agent // Bioresources. 2016. Vol. 11, iss. 2. P. 3244–3258.
6. Ревин В. В., Шутова В. В., Новокупцев Н. В. Биокomпозиционные материалы на основе ультрадисперсных частиц древесины и левана, полученного путем микробного биосинтеза *Azotobacter vinelandii* Д-08 // Фундаментальные исследования. Технические науки. 2016. № 1. С. 53–57.
7. Ревин В. В., Шутова В. В., Кадималиев Д. А., Атыкян Н. А., Ведяшкина Т. А., Ивинкина Т. И. Теоретические и прикладные основы получения биокomпозиционных материалов с помощью биологических связующих. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. 280 с.
8. Шутова В. В., Ведяшкина Т. А., Ивинкина Т. И., Ревин В. В. Получение клеевых составов и материалов при использовании культуральной жидкости полисахаридсинтезирующих микроорганизмов // Изв. вузов. Сер. Строительство. 2010. № 3. С. 31–36.
9. Лияськина Е. В., Ревин В. В., Грошев В. М., Лияськин Ю. К. Биотехнология бактериальных полисахаридов: учеб. пособие. Саранск: Изд-во Мордов. гос. ун-та, 2010. 120 с.
10. Четвериков С. П., Логинов Я. О., Пикульцова С. А., Черкасова Д. В., Логинов О. А. Оптимизация условий культивирования и биосинтеза экзополисахарида *Azotobacter vinelandii* // Башкир. хим. журн. 2006. Т. 13, № 5. С. 8–11.
11. Пат. 2073712 Российская Федерация, С12N1/20, С12P19/04, С12N1/20, С12R1:065 Штамм бактерий *Azotobacter vinelandii* (Limpan) – продуцент экзополисахарида / Краснопевцева Н. В., Чернягин А. В., Яроцкий С. В.; заявитель и патентообладатель Товарищество с ограниченной ответственностью

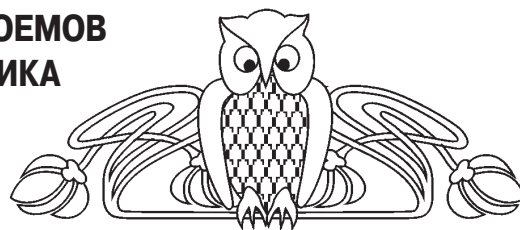


- «ИТИН» РФ. – 93000503/13 ; заявл. 05.01.2003 ; опубл. 20.02.1997, Бюл. № 23. 3 с.
12. Sutherland I. W. Biotechnology of microbial exopolysaccharides // Cambridge Studies in Biotechnology 9. Cambridge : Cambridge University Press, 1990. 163 p.
  13. Базарнова Н. Г., Карпова Е. В., Катраков И. Б., Маркин В. И., Микушина И. В., Ольхов Ю. А., Худенко С. В. Методы исследования древесины и ее производных : учеб. пособие. Барнаул : Изд-во Алт. гос. ун-та, 2002. 160 с.
  14. Смит А. Прикладная ИК-спектроскопия / пер. с англ. М. : Мир, 1982. 328 с.
  15. Yanase H., Maeda M., Hagiwara E., Yagi H., Taniguchi K., Okamoto K. Identification of functionally important amino acid residues in Zymomonas mobilis levansucrase // J. of Biochemistry. 2002. Vol. 132, iss. 4. P. 565–572.
  16. Larsen B., Haug A. Biosynthesis of alginate. Part I. Composition and structure of alginate produced of Azotobacter vinelandii (Lipman) // Carbohydrate Research. 1971. Vol. 17, iss. 2. P. 287–296.
  17. Barone J. R., Medynets M. Thermally processed levan polymers // Carbohydrate Polymers. 2007. Vol. 69. P. 554–561.
  18. Mahmood S. J., Siddique A. Ionic studies of sodium alginate isolated from Sargassum terrarium (brown alga) karachi coast with 2,1-electrolyte // J. of Saudi Chem. Soc. 2010. Vol. 14. P. 117–123.
  19. Srikanth R., Sundhar Reddy C., Siddartha G., Ramaiah M. J., Uppuluri K. B. Review on production, characterization and applications of microbial levan // Carbohydrate Polymers. 2015. Vol. 120. P. 102–114.
  20. Grube M., Bekers M., Upite D., Kaminska E. IR-spectroscopic studies of Zymomonas mobilis and levan precipitate // Vibrat. Spectroscopy. 2002. Vol. 28, iss. 2. P. 277–285.
  21. Abdel-Fattash A. F., Mahmoud D. A., Esawy M. A. Production of levansucrase from Bacillus subtilis NRS 33a and enzyme synthesis of levan and fructooligosaccharides // Current Microbiology. 2005. Vol. 51, iss. 6. P. 402–407.

УДК 574.587

## МАКРОЗООБЕНТОС ГИПЕРГАЛИННЫХ ВОДОЕМОВ БОГДИНСКО-БАСКУНЧАКСКОГО ЗАПОВЕДНИКА

М. Ю. Воронин<sup>1</sup>, К. А. Гребенников<sup>2</sup>, А. С. Сажнев<sup>3</sup>, С. И. Белянина<sup>4</sup>,  
Е. Ю. Мосолова<sup>1</sup>, З. О. Алиева<sup>1</sup>, Ю. В. Белоногова<sup>3</sup>



<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

<sup>2</sup>Государственный заповедник «Богдинско-Баскунчакский», Ахтубинск

<sup>3</sup>Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок

<sup>4</sup>Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского

E-mail: voroninmj@yandex.ru

### Macrozoobenthos of Hyperhaline Waterbodies of Bogdino-Baskunchakski Nature Reserve

M. Yu. Voronin, K. A. Grebennikov, A. S. Sazhnev,  
S. I. Belianina, E. Yu. Mosolova,  
Z. O. Alieva, Yu. V. Belonogova

В результате впервые проведенного исследования макрозообентоса гипергалинных водоемов (р. Горькая и прибрежная зона оз. Баскунчак) Богдинско-Баскунчакского заповедника (Астраханская область) отмечено 14 таксонов: полужесткокрылых – 3 (из семейства Corixidae: *Cymatia rogenhoferi* (Fieber, 1864), *Paracorixa concinna* (Fieber, 1848) и *Sigara assimilis* (Fieber, 1848)), хирономид – 2 (*Baeotendipes noctivaga* Kieffer, 1911, *Orthocladus* sp.), прочих двукрылых – 4 (личинки представителей семейств Limoniidae, Dolichopodidae, Ephydriidae и Tabanidae (род *Chrysops*)), жесткокрылых – 5 (Dytiscidae: *Cybister* (s. str.) *lateralimarginalis* (DeGeer, 1774) и *Dytiscus circumflexus* Fabricius, 1801, *Helophorus* (*Rhopalohelophorus*) *kirgisticus* Knisch, 1914 (Helophoridae), *Berosus* (*Enoplurus*) *frontifoveatus* Kuwert, 1888 (Hydrophilidae) и *Ochthebius* (s. str.) *zugmayeri* Kniz, 1909 (Hydraenidae)).

**Ключевые слова:** гипергалинные водоемы, макрозообентос, Богдинско-Баскунчакский заповедник.

Macrozoobenthos assay carried out in hyperhaline waterbodies (Gor'kaya river and Lake Baskunchak littoral) of Bogdino-Baskunchakski nature reserve yielded 14 taxa: bugs – 3 (from family Corixidae: *Cymatia rogenhoferi* (Fieber, 1864), *Paracorixa concinna* (Fieber, 1848) and *Sigara assimilis* (Fieber, 1848)), chironomids – 2 (*Baeotendipes noctivaga* Kieffer, 1911, *Orthocladus* sp.), other dipterans – 4 (Limoniidae, Dolichopodidae, Ephydriidae and Tabanidae (род *Chrysops*) larvae), beetles – 5 (Dytiscidae: *Cybister* (s. str.) *lateralimarginalis* (DeGeer, 1774) and *Dytiscus circumflexus* Fabricius, 1801, *Helophorus* (*Rhopalohelophorus*) *kirgisticus* Knisch, 1914 (Helophoridae), *Berosus* (*Enoplurus*) *frontifoveatus* Kuwert, 1888 (Hydrophilidae) and *Ochthebius* (s. str.) *zugmayeri* Kniz, 1909 (Hydraenidae)).

**Key words:** hyperhaline waterbodies, Macrozoobenthos, Bogdino-Baskunchakski nature reserve.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-168-170

Гипергалинные водоемы – характерный элемент ландшафта аридных территорий. Фауна





этих водоемов представлена специфическими видами, приспособленными к обитанию в экстремальных условиях. В европейской части Российской Федерации они встречаются достаточно редко и имеют локальное распределение, будучи приуроченными в значительной степени к соляно-купольным ландшафтам. Экосистемы гипергалинных водоемов и их биоразнообразие остаются недостаточно изученными. Так, до настоящего времени изучение видового состава бентосных животных гипергалинных водоемов Богдинско-Баскунчакского заповедника не проводилось [1].

Целью нашей работы было определение видового состава макрозообентоса гипергалинных водоемов Богдинско-Баскунчакского заповедника.

### Материал и методы

Отбор качественных проб макрозообентоса проводился гидробиологическим скребком на глубинах до 1 м 19–20 апреля 2014 г. в р. Горькая на территории Богдинско-Баскунчакского заповедника и в прибрежной зоне оз. Баскунчак (в местах выхода пресных родников у балки Белая); 25–26 апреля 2015 г. в прибрежной зоне оз. Баскунчак в местах выхода пресных родников близ урочища «Серебристые тополя». В 2015 г. в р. Горькая были отобраны 3 количественные пробы бентоса гидробиологическим скребком с шириной полосы захвата 0,2 м. Скребком проводили по дну по линейке. Обработку проб осуществляли по общепринятым гидробиологическим методикам [2]. Видовое определение проводили по [3, 4].

Пробы воды для определения солености отбирали в 2015 г. Соленость определяли путем выпаривания на вакуумном испарителе.

Отобранных в 2014 г. личинок хирономид фиксировали в смеси 96% этилового спирта и ледяной уксусной кислоты (3:1). Препараты политенных хромосом готовились по этилорсеиновой методике [5]. Определение проводили по Е. А. Макаренко (1999) и В. Я. Панкратовой (1983) [6, 7].

### Результаты и их обсуждение

Соленость воды весной 2015 г. в р. Горькая была 118,75 г/л, в прибрежной зоне оз. Баскунчак 10,28 г/л.

В составе макрозообентоса р. Горькая обнаружен один вид хирономид: *Baeotendipes noctivaga* Kieffer, 1911 (хромосомный набор  $2n = 6$ ), жук-скоморох *Cybister* (s. str.) *lateralimarginalis* (DeGeer, 1774) (Dytiscidae). В при-

брежной зоне в скоплении органики обнаружены личинки двукрылых семейств Dolichopodidae и Ephydriidae. В количественных пробах бентоса на глубине 0,5 м отмечены только личинки хирономид: 80 экз./м<sup>2</sup> (min – 80, max – 420); 0,08 г/м<sup>2</sup> (min – 0,08, max – 0,8).

На поверхности воды отмечены мертвые имаго *Dytiscus circumflexus* Fabricius, 1801 (Dytiscidae), мелкие жуки *Helophorus* (*Rhopalohelophorus*) *kirgisticus* Knisch, 1914 (Helophoridae), *Berosus* (*Enoplurus*) *frontifoveatus* Kuwert, 1888 (Hydrophilidae) и полужесткокрылые сем. Corixidae: *Cymatia rogenhoferi* (Fieber, 1864), *Paracorixa concinna* (Fieber, 1848) и *Sigara assimilis* (Fieber, 1848). *H. kirgisticus* для территории Богдинско-Баскунчакского заповедника приводится впервые [1].

В пробах из прибрежной зоны оз. Баскунчак у балки Белая было обнаружено два вида личинок хирономид: *B. noctivaga* и *Orthocladus* sp. (хромосомный набор  $2n = 6$ ), жук *Ochthebius* (s. str.) *zugmayeri* Kniz, 1909 (Hydraenidae), личинки двукрылых: *Chrysops* sp. (Tabanidae) и семейства Limoniidae.

В пробах из прибрежной зоны оз. Баскунчак близ урочища «Серебристые тополя» отмечен один вид *Paracymus aeneus* (Germar, 1824) (Hydrophilidae).

Для исследованных особей *B. noctivaga* из р. Горькая была отмечена высокая фенотипическая изменчивость гигантских хромосом из клеток слюнных желёз, которая не наблюдалась у этого вида в других гипергалинных водоёмах России, ранее исследованных нами.

*B. noctivaga* в пробах из прибрежной зоны оз. Баскунчак имеет сходное строение политенных хромосом с особями, обитающими в р. Горькая. Для вида *Orthocladus* sp. отмечена высокая степень фенотипической изменчивости гигантских хромосом, не наблюдаемая ранее у видов этого рода. Отмеченные особенности структуры политенных хромосом связаны с тем, что у хирономид, обитающих в экстремальных условиях, изменяется активность генома, что выражается в изменении фенотипа гигантских хромосом слюнных желез личинок.

Жуки-скоморохи были отловлены с поверхности воды р. Горькая. Из-за высокой солености воды нырнуть на глубину они не могли и даже в случае опасности плавали по поверхности. Кроме скоморохов, на поверхности р. Горькая находилось большое количество мертвых личинок хирономид, мелких жуков и полужесткокрылых. При вскрытии жуков-скоморохов в пищеварительном тракте обнаружены многочисленные останки личинок хирономид (головные капсулы).



*O. zugmayeri* находились в пленке фитобентоса, покрывавшего дно родника, впадающего в оз. Баскунчак.

Выражаем благодарность научному сотруднику лаборатории экологии рыб Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН (Борок) Д. Д. Павлову за помощь в проведении экспериментальной работы.

### Список литературы

1. Амосов П. Н., Александрова А. В., Бухарицин П. И., Голвачев И. В., Землянская И. В., Змитрович И. В., Каганов В. В., Карпенко Н. Т., Капралов С. А., Кулаков В. Г., Кутлусурина Г. В., Моргун Д. В., Муханов А. В., Новожилов Ю. К., Польшова Г. В., Попов А. В., Попов Е. С., Ребриев Ю. А., Сафронова И. Н., Светашева Т. Ю. Состояние и многолетние изменения природной среды на территории Богдинско-Баскунчакского заповедника / ред. И. Н. Сафронова, П. И. Бухарицин, А. В. Бармин. Волгоград : ИПК «Царицын», 2012. 360 с.
2. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах. Зообентос и его продукция / сост. А. А. Салазкин, М. Б. Иванова, В. А. Огородникова. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 52 с.
3. Кутикова Л. А., Старобогатов Я. И. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР. Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1977. 510 с.
4. Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий : в 6 т. Т. 1. Низшие беспозвоночные. СПб. : Наука, 1994. 396 с. ; Т. 2. Ракообразные. 1995. 628 с. ; Т. 3. Паукообразные. Низшие насекомые. 1997. 444 с. ; Т. 4. Высшие насекомые. Двукрылые. 1999. 1000 с. ; Т. 5. Высшие насекомые. Ручейники. Чешуекрылые. Жесткокрылые. Сетчатокрылые. Большешкрылые. Перепончатокрылые. 2001. 840 с. ; Т. 6. Моллюски. Полихеты. Немертины. 2004. 528 с.
5. Демин С. Ю., Шобанов Н. А. Кариотип комара *Chironomus entis* из группы *plumosus* в европейской части СССР // Цитология. 1990. Т. 32, № 10. С. 1046–1054.
6. Макаренко Е. А. Chironomidae. Комары-звонцы // Определитель пресноводных беспозвоночных России и сопредельных территорий : в 6 т. Т. 4. Высшие насекомые. Двукрылые. СПб. : ЗИН РАН, 1999. С. 210–296.
7. Панкратова В. Я. Личинки и куколки подсемейства Chironominae фауны СССР (Diptera, Chironomidae). Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1983. 296 с.

УДК 582.579.2

## НОВЫЕ ФЛОРИСТИЧЕСКИЕ НАХОДКИ В САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Ю. И. Буланый

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского  
E-mail bul-yurij@yandex.ru

Приводятся сведения о нахождении новых видов флоры Саратовской области *Hibiscus triynum* и *Thesium moesiicum*, а также уточняется распространение редких в Саратовской области *Sonchus palustris* и *Conringia orientalis*.

**Ключевые слова:** *Hibiscus triynum*, *Thesium moesiicum*, *Sonchus palustris*, *Conringia orientalis*, Саратовская область.

### New Floristic Finds in the Saratov Region

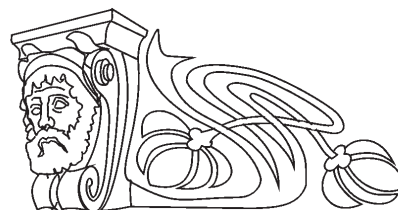
Yu. I. Bulany

Provides information about finding new species of flora of the Saratov region *Hibiscus triynum* and *Thesium moesiicum*, and clarifies the distribution of rare in the Saratov region *Sonchus palustris* and *Conringia orientalis*.

**Keywords:** *Hibiscus triynum*, *Thesium moesiicum*, *Sonchus palustris*, *Conringia orientalis*, Saratov region.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-170-171

В ходе ботанических экспедиций летом 2015 г. по Саратовской области были найдены новые



виды для флоры области и обнаружены новые места произрастания редких видов.

*Hibiscus triynum* L. – г. Саратов, 3-й Рабочий проезд, сорное, у забора. 27.09.2015. Ю. Буланый. – Новый вид для флоры Саратовской области. В настоящее время распространяется по европейской части России. Отмечается как заносный вид в Воронежской, Курской, Ивановской и Московской областях [1].

*Thesium moesiicum* Velen. – г. Саратов, меловой склон в Октябрьском ущелье. 27.09.2015. Ю. Буланый. – Новый вид для флоры Саратовской области. Европейский вид, встречается на меловых, известняковых и глинистых склонах, солонцах [2].

*Sonchus palustris* L. – Саратовская область, Лысогорский р-н, с. Широкий Карамыш, разнотравный луг на берегу р. Карамыш. 11.07.2015. Ю. Буланый. – Евразийский вид. В Саратовской области известен только с Правобережья. Указывается для Татищевского, Хвалынского, Балтайского районов. В SARAT хранится сбор:



Саратовская область, Балтайский район, с. Царевщина. Болото, переходящее на притеррасную часть поймы р. Алай. 27.VII.1934. А. Чигуряева. Рекомендуется для внесения в список редких и охраняемых видов растений.

*Conringia orientalis* (L.) Dumort. – Саратовская область, Лысогорский р-н, с. Широкий Карамыш, сорное, край полевой дороги в пойме р. Карамыш. 11.07.2015. Ю. Буланый. – Евразийский вид. В SARAT хранятся сборы из Саратовской области: 1) Новоузенский у., Камышлейский орошаемый участок, среди посевов пшеницы. 10.VI.1925. Булычев. 2) Пугачёв, не доезжая совх. Аржановского, в балочке близ дороги. 17.VI.1928. И. Тереножкин. 3) Собрано около бывших Смирновских дач. 9.VI.1936. В. Семёнова, Л. Можяева. 4) окр. с. Разбойщина. 7.VI.1951. Р. Иванова. 5) Фёдоровский р-н, о. Льяной, сорное в посевах. 18.VI.1952. Д. С. Минаев.

6) с. Лысье Горы, ячменное поле. 30.VI.1956. Косырева, Воронина. 7) там же, луг в пойме р. Медведицы. 28.VI.1956. Русакова. 8) Саратов, 7-я Дачная, залежь. 20.VI.1959. Школьникова. 9) Перелюбский р-н, с. Куцеба, сыртовый склон. 12.VI.1961. М. Н. Шигаева.

Собранные гербарные образцы хранятся в Гербарии кафедры ботаники и экологии Саратовского государственного университета им. Н. Г. Чернышевского (SARAT).

#### Список литературы

1. *Маевский П. Ф.* Флора средней полосы европейской части России. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2006. 600 с.
2. *Цвелёв Н. Н.* Сем. Santalaceae R.Br. – Санталовые // Флора Восточной Европы: в 11 т. Т. 9. СПб.: Мир и семья-95, 1996. С. 403–407.

УДК 615.466: 616.31-085

## ИЗУЧЕНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ХИТОЗАНА НА ПРОЦЕСС ЗАЖИВЛЕНИЯ КОСТНОГО ДЕФЕКТА В ЭКСПЕРИМЕНТАХ *IN VIVO* И *IN VITRO*

И. В. Зудина<sup>1</sup>, А. П. Ведяева<sup>2</sup>, Н. В. Булкина<sup>2</sup>,  
П. В. Иванов<sup>3</sup>, А. Ф. А. Альзубейди<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

E-mail: ivzudina@mail.ru

<sup>2</sup>Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского

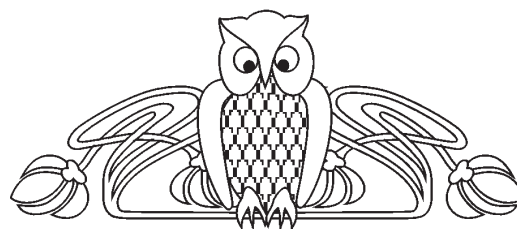
E-mail: navo@bk.ru

<sup>3</sup>Пензенский государственный университет

E-mail: stomatology@pnzgu.ru

Цель исследований *in vivo* и *in vitro* состояла в изучении молекулярных и клеточных механизмов противовоспалительного и ранозаживляющего действия барьеров из хитозана при их использовании для направленной регенерации тканей (GTR) на модели кроликов. Иммуноферментный анализ (ELISA) сыворотки крови кроликов, выполненный в динамике лечения дефектов кости альвеолярного отростка, подтвердил способность хитозана быстро купировать воспаление путем супрессии продукции цитокина ФНО. Данные, полученные в исследованиях *in vitro*, показывают, что хитозан стимулирует фибробласты и эпителиальные клетки к синтезу фактора роста эндотелия сосудов (VEGF) и гранулоцитарно-макрофагального колониестимулирующего фактора (GM-CSF) в раннем послеоперационном периоде. Это может иметь важные клинические последствия, поскольку успех лоскутной операции в значительной степени зависит от срока инициации ангиогенеза и неоваскуляризации.

**Ключевые слова:** хитозан, костный дефект, техника направленной тканевой регенерации, цитокины, ангиогенные факторы.



#### *In Vivo* and *in Vitro* Studies of the Effect of Chitosan on the Bone Defect Repair Process

I. V. Zudina, A. P. Vedyeva, N. V. Bulkina,  
P. V. Ivanov, A. F. A. Alzubaidi

The objective of our *in vivo* and *in vitro* studies was to examine the molecular and cellular mechanisms of the anti-inflammatory and wound-healing effects of chitosan barriers when used for guided tissue regeneration (GTR) in a rabbit model. An ELISA test of the rabbit blood serum conducted during the treatment of alveolar bone defects has confirmed the ability of chitosan to reduce inflammation fast by suppressing the TNF- cytokine production. Our *in vitro* data show that chitosan stimulates fibroblasts and epithelial cells to synthesize the vascular endothelial growth factor (VEGF) and the granulocyte-macrophage colony-stimulating factor (GM-CSF) in the early post-surgery period. This could have important clinical implications because the success of flap surgery largely depends on the *time of* initiation of angiogenesis and neovascularization.

**Key words:** chitosan, bone defect, guided tissue regeneration technique, cytokines, angiogenic factors.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-171-179



## Введение

По данным ВОЗ (Информационный бюллетень № 318, май 2012 г.) тяжелая форма пародонтита обнаруживается у 15–20% людей среднего возраста (35–44 года). Пародонтит – воспалительное заболевание пародонта, характеризующееся повреждением зубодесневого соединения и прогрессирующей деструкцией тканей десны и кости межзубных перегородок, что нередко становится причиной расшатывания и выпадения здоровых зубов. Эффективным хирургическим методом лечения этого заболевания является лоскутная операция в технике направленной регенерации тканей пародонта (НРТ). В процессе хирургического вмешательства стоматолог отслаивает слизисто-надкостничный лоскут и устраняет поддесневые зубные отложения и патологические ткани пародонтального кармана. Направленная регенерация тканей достигается путем наложения на костный дефект специальных аллогенных, ксеногенных или аллопластических барьеров, разобщающих регенерирующие с разной скоростью ткани, для предотвращения прорастания десневого эпителия в область восстановления структур периодонтальной связки.

Несмотря на большое разнообразие материалов, предлагаемых на мировом фармацевтическом рынке для хирургической пародонтологии, наблюдаемый в последнее десятилетие рост интереса к конструированию новых биосовместимых и биорезорбируемых барьеров обусловлен отсутствием гарантированного восстановления тканей пародонта после проводимого лечения. По мнению ряда исследователей, положительный исход лоскутной операции определяется прежде всего способностью барьера фиксировать кровяной сгусток *in situ* в течение первых двух месяцев, вплоть до достижения им необходимой зрелости [1]. Однако резорбция имплантированного материала в тканях в течение столь длительного периода времени будет неизменно сопровождаться ответной воспалительной реакцией, чреватой развитием разного рода осложнений. Очевидно, что повышение эффективности лечения пародонтита методом НРТ можно достичь путем применения барьеров из материалов, обладающих выраженным противовоспалительным действием и способных ускорять течение репаративно-регенеративных процессов и таким образом сокращать время пребывания имплантата в тканях.

Для решения данной задачи крайне перспективным материалом, на наш взгляд, является гетерополисахарид хитозан (2-амино-2-дезоксид-

β-D-глюкан, ХТЗ), который, как ранее было установлено, обладает противовоспалительным, антибактериальным и иммуностропным действием. Целый ряд отечественных препаратов, включающих в свой состав ХТЗ, уже применяется при терапевтическом лечении некоторых воспалительных заболеваний пародонта [2–5]. Для этих лечебных средств характерна способность быстро купировать воспалительный процесс, приостанавливать деструкцию тканей, улучшать кровоснабжение и уменьшать подвижность зубов. Недавно на модели воспроизведенного пародонтита у кроликов было экспериментально показано, что аппликации аскорбата ХТЗ существенно ускоряют процессы заживления раны и формирования костного регенерата за счет быстрого купирования воспалительного процесса в тканях и восстановления архитектоники микроциркуляторного русла [6].

В настоящем исследовании предприняты попытки определить клеточно-молекулярные механизмы стимуляции хитозаном репаративно-регенеративных процессов в ране при применении техники НРТ на животной модели. Полученные данные позволят пролить свет на некоторые аспекты биологической активности хитозана и будут востребованы при создании более совершенных фармацевтических материалов на его основе, в полной мере отвечающих требованиям врачей и позволяющих преодолевать такие нежелательные процессы, как отторжение тканевого трансплантата, инфицирование и др.

## Материал и методы

Образцы барьера в форме пористых пленок ХТЗ со средневязкостной молекулярной массой 200 кДа и степенью деацетилирования 82 мольн.% (ЗАО «Биопрогресс», Россия) были любезно предоставлены специалистами лаборатории высокомолекулярных соединений ОНИ НС и БС при СГУ им. Н. Г. Чернышевского (г. Саратов).

Исследования *in vivo* проводили на модели половозрелых кроликов породы Шиншилла (6 особей) с использованием техники НРТ, дополненной имитацией деструкции межальвеолярных перегородок при пародонтите. Кроликам под наркозом отслаивали слизисто-надкостничный лоскут и хирургической шаровидной фрезой в кости альвеолярной части нижней челюсти в проекции корня зуба делали углубления диаметром и глубиной 3–4 мм. После того как костный дефект заполнялся кровяным сгустком, на область деструкции для изоляции раны накладывали биорезорбируемый барьер таким образом, чтобы



он перекрывал дефект на 2–3 мм по периметру. Далее проводилось ушивание краев раны путем наложения первичных узловых швов (рис. 1).

Для получения сыворотки на 3-, 7- и 14-е сутки после имплантации у кроликов собиралась кровь из краевой вены уха.

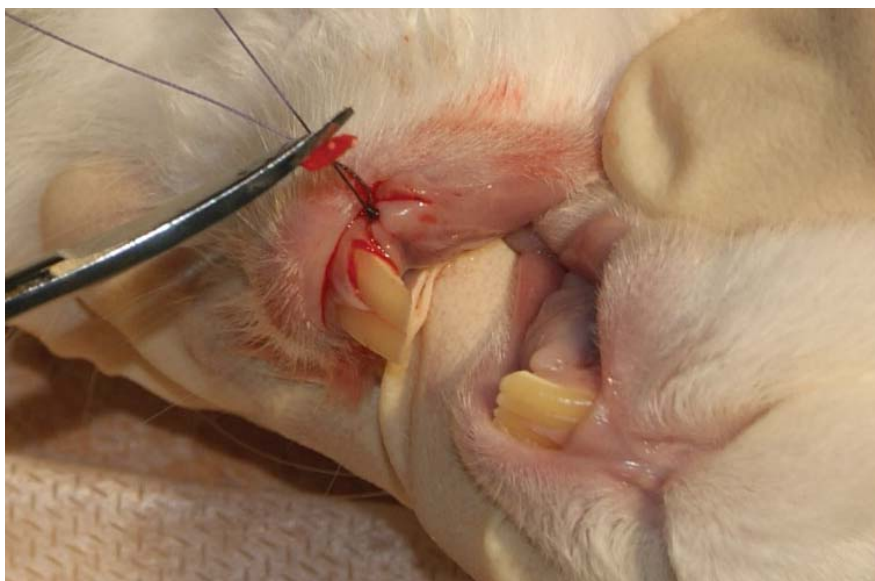
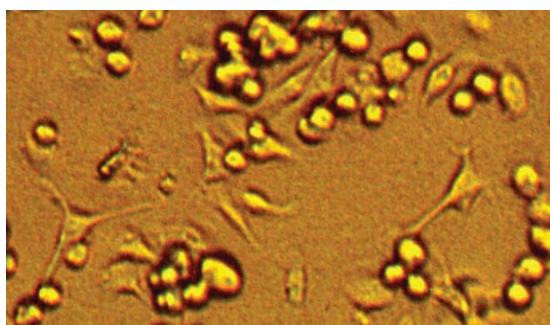


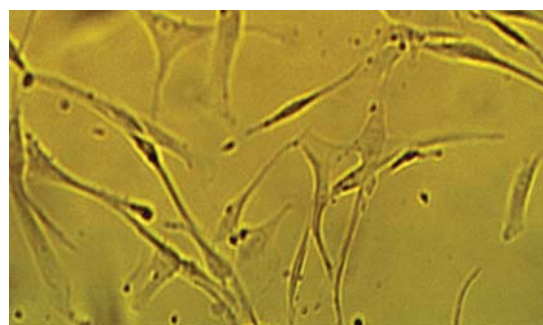
Рис. 1. Этап ушивания краев раны при лечении дефекта кости альвеолярного отростка с использованием техники направленной тканевой регенерации

В исследованиях *in vitro* в качестве тестовых культур использовали стандартную линию эпителиоподобных клеток МА-104 (коллекция НИИ цитологии РАМН, г.Санкт-Петербург, РФ) и клеточные линии человеческих фибробластов, которые были выделены из фрагментов кожи, полученных от здоровых доноров при пластических операциях. Культивирование клеток осуществляли во флаконах (Costar, США) с питательной средой ДМЕМ (Dulbecco's Modified Eagle's Medium), дополненной 10%-ной эмбриональной телячьей сывороткой («HyClone», США). В каждый флакон вносили стандартизированные суспензии клеток МА-104 или человеческих фибробластов из расчета 300 тыс. клеток на  $1\text{см}^2$ . Флаконы с

клетками помещали в  $\text{CO}_2$ -инкубатор и выращивали при  $37^\circ\text{C}$  в течение 2 часов. Через 2 ч, когда при микроскопировании на поверхности пластика отмечались адгезия и распластывание клеток (рис. 2), во флаконы вносили равные по размеру и увлажненные средой ДМЕМ стерильные фрагменты пленки из ХТЗ или мембраны BioGide. Наблюдение за адгезией и пролиферацией клеток проводили на инвертированном микроскопе Биолам П. В качестве контроля рассматривали клеточные культуры, растущие в питательной среде без добавления тестируемых материалов. Через 4 ч после внесения образцов и потом ежедневно через каждые 24 ч из флаконов отбирали питательную среду в объеме 100 мкл.



а



б

Рис. 2. Адгезия к поверхности пластика и распластывание эпителиоподобных клеток МА-104 (а) и фибробластов (б), увеличение  $\times 150$



Питательную среду во флаконах не меняли до окончания срока наблюдения. Для объективизации исследования в каждой изучаемой группе проводили по три опытных посева.

Концентрацию цитокинов ФНО $\alpha$ , ИЛ-1 $\beta$ , MCP-1, VEGF (фактор роста эндотелия сосудов), GM-CSF (гранулоцитарно-макрофагальный колониестимулирующий фактор) определяли методом твердофазного иммуноферментного анализа (ИФА) на фотометре Stat Fax 4200 (Awareness Technology, США) с использованием ИФА-наборов компаний: Cusabio Biotech co., Ltd. (Китай), MyBioSource (США) и ЗАО Вектор-Бест (Россия).

### Результаты и их обсуждение

**Исследования *in vivo*.** Ответную реакцию тканей пародонта на контакт с ХТЗ изучали на модели кроликов с использованием техники НРТ, дополненной имитацией деструкции межальвеолярных перегородок при пародонтите. Следует отметить, что при любом хирургическом вмешательстве происходит дезорганизации капиллярно-тканевых систем, и от того, с какой скоростью протекает восстановление кровообращения в поврежденных тканях, зависит успех репаративно-регенеративных процессов. В связи с этим о сроках инициации и темпах восстановления микроциркуляторного русла в области костного дефекта судили по изменению концентрации в крови фактора роста эндотелия сосудов (VEGF). Данный цитокин является основным регулятором ангиогенеза, поскольку стимулирует митогенез и миграцию эндотелиальных клеток в область страдающих от гипоксии поврежденных тканей, что в итоге приводит к увеличению числа микрососудов и повышению плотности их расположения [7,8].

Интенсивность развивающейся в месте хирургического вмешательства воспалительной реакции, а также реакцию организма на имплантацию барьеров оценивали по динамике колебаний

концентрации провоспалительных цитокинов (ФНО $\alpha$ , ИЛ-1 $\beta$ ) и фактора рекрутинга и транспорта моноцитов из костного мозга в фокус воспаления MCP-1/(CCL2).

Прооперированные животные были разделены на две группы в зависимости от имплантируемого материала. В группе сравнения (группа № 1,  $n=3$ ) кроликам вшивалась коллагеновая мембрана Bio-Gide (Geistlich, Швейцария); в экспериментальной группе (группа № 2,  $n=3$ ) – пленка ХТЗ.

Использование биорезорбируемого барьера из ХТЗ в технике НРТ выявило способность этого гетерополисахарида оказывать сильное противовоспалительное действие и обеспечивать быстрое заживление раны и восстановление дефекта кости альвеолярного отростка. При плановом осмотре животных с имплантированным хитозановым барьером было установлено, что операционные раны заживали первичным натяжением, термометрические показатели колебались в пределах нормы. Не было зафиксировано ни одного случая общей реакции на имплантат или осложнений в виде коллатерального отека, аллергии и нагноения швов. Практически с первых суток после операции кролики активно питались и были подвижны. У животных из группы сравнения №1 раны также заживали первичным натяжением, однако отмечались повышение температуры тела и отечность тканей десны, а также угнетенное состояние и плохой аппетит, что, по всей видимости, было вызвано испытываемым ими дискомфортом в области оперативного вмешательства.

Имуноферментный анализ сыворотки крови животных, проведенный в динамике лечения, позволил установить, что на 3-и сутки после операции в крови кроликов из группы № 1 содержание провоспалительных цитокинов ФНО $\alpha$  и ИЛ-1 $\beta$  возросло относительно значения до операции в 17,6 ( $p \leq 0,05$ ) и 18,4 ( $p \leq 0,05$ ) раза соответственно (таблица). Также отмечался существенный рост

Содержание цитокинов в сыворотке крови кроликов в динамике лечения костного дефекта с применением разобщающих барьеров из ХТЗ и коллагена (Bio-Gide)

Группа	Срок наблюдения, сут	Среднее значение концентрации цитокина, пкг/мл			
		ФНО $\alpha$	ИЛ-1 $\beta$	VEGF	MCP-1
№ 1, (BioGide)	3	28,2 $\pm$ 1,8	40,5 $\pm$ 3,8	0	2,0 $\pm$ 0,0
	7	4,4 $\pm$ 0,9	18,5 $\pm$ 1,3	40,0 $\pm$ 3,3	0
	14	14,5 $\pm$ 4,3	24,0 $\pm$ 2,0	0	17,0 $\pm$ 0,8
№ 2, (ХТЗ, 200 кДа)	3	1,5 $\pm$ 0,1	0	21,1 $\pm$ 1,4	0
	7	14,8 $\pm$ 3,8	10,2 $\pm$ 0,9	95,4 $\pm$ 7,5	0
	14	11,0 $\pm$ 1,7	0	0	4,5 $\pm$ 0,1
Норма*		1,6 $\pm$ 0,1	2,2 $\pm$ 0,1	7,5 $\pm$ 1,7	0

Примечание. (\*) – среднее значение концентрации цитокина в сыворотке крови кроликов до оперативного вмешательства.



концентрации хемоаттрактанта для циркулирующих моноцитов MCP-1. При этом активатор ангиогенеза VEGF обнаружен не был. У кроликов из экспериментальной группы № 2 концентрация ФНО $\alpha$  в крови к 3-м суткам полностью нормализовалась, а цитокины ИЛ-1 $\beta$  и MCP-1 не детектировались. В то же время уровень ангиогенного фактора VEGF поднялся в 2,8 ( $p \leq 0,05$ ) раза относительно значения до операции.

По профилю цитокинов, выявленных в крови кроликов группы №1 на 3-и сутки, можно заключить, что хирургическое вмешательство и имплантация мембраны Bio-Gide индуцировали классическую активацию тканевых макрофагов (M1), что выразилось в выбросе ключевых активаторов воспаления ФНО $\alpha$  и ИЛ-1 $\beta$  с последующим развитием острой воспалительной реакции, отека мягких тканей и обильной лимфогистиоцитарной инфильтрации. Лишь к 7-м суткам отмечалось снижение концентраций провоспалительных цитокинов. Однако их значения существенно ( $p \leq 0,05$ ) превышали соответствующие показатели до операции (ФНО $\alpha$  – в 2,8 раза, ИЛ-1 $\beta$  – в 8,4 раза), что свидетельствует о медленном затухании воспалительной реакции в поврежденных тканях в этот период.

Сильный противовоспалительный эффект, который наблюдался при использовании барьеров из ХТЗ, по всей видимости, был обусловлен способностью молекул гетерополисахарида индуцировать альтернативную активацию тканевых макрофагов (M2), которые, как известно, нивелируют воспаление, стимулируют процессы репарации и регенерации поврежденных тканей через продукцию ряда хемокинов, ангиогенных факторов (VEGF), аргиназы-1, но не ФНО $\alpha$  и ИЛ-1 $\beta$  [9–11]. Поэтому в пользу ранней инициации репаративно-регенерационных процессов у кроликов из группы №2 свидетельствует не только крайне низкий уровень провоспалительных цитокинов в крови на 3-и сутки, но и рост концентрации VEGF. Как видно из таблицы, у кроликов из этой группы экспрессия VEGF достигает своего пика к 7-м суткам, а к 14-м полностью прекращается. У кроликов из группы сравнения повышение уровня VEGF наблюдается гораздо позднее – лишь на 7-е сутки, и концентрация этого фактора в крови в 2,4 ( $p \leq 0,05$ ) раза ниже, чем у кроликов из группы №2 в этот же срок. Таким образом, на основании мониторинга концентрации VEGF в крови кроликов можно заключить, что восстановление микроциркуляторной сети и топологическое упорядочение ее конструкции в присутствии ХТЗ начинается в более ранние сроки и проходит более интенсивно.

Переход воспалительного процесса в пролиферативную фазу у кроликов из обеих групп сопровождался повторным подъемом уровня цитокинов ФНО $\alpha$  и ИЛ-1 $\beta$  в сыворотке крови (см. таблицу). У кроликов из группы сравнения он наблюдался на 14-е сутки, у кроликов из группы № 2 – на 7-е. Высокая концентрация ИЛ-1 $\beta$  необходима для стимуляции роста и пролиферации фибробластов [12]. Именно с этого момента фибробласты начинают массивно проникать в локус повреждения и заполнять костный дефект соединительной тканью различной степени зрелости, формируя при этом первичную соединительнотканную мозоль.

Повышение уровня ФНО $\alpha$  инициирует продукцию MCP-1. Под действием MCP-1 моноциты мигрируют из кровеносного русла и костного мозга в фокус воспаления, где после дифференцировки и созревания превращаются в остеокласты, тканевые макрофаги и включаются в процесс резорбции имплантатов [13]. Оказалось, что у кроликов с имплантированными барьерами, содержащими ХТЗ, возрастание пула моноцитов в области лоскутной операции оказывается несколько отсроченным во времени. Так, индукция экспрессии MCP-1 в группе № 1 наблюдалась на 3-и и 14-е сутки, а в группе № 2 – только на 14-е сутки (см. таблицу). Наблюдаемая разница между группами в динамике продукции этого цитокина, по всей видимости, обусловлена различиями в молекулярно-клеточных механизмах биорезорбции барьеров, состоящих из разных по природе полимеров. Кроме того, этот факт наводит на мысль, что высокие уровни продукции VEGF, наблюдаемые в группе №2 в ранние сроки после хирургического вмешательства, могут быть обеспечены не за счет макрофагов M2, а за счет окружающих имплантат тканей и клеток, прежде всего, фибробластов и эпителиоцитов. Для подтверждения данного предположения потребовались дополнительные исследования *in vitro* с использованием чистых клеточных линий.

**Исследования *in vitro*.** Для установления участия окружающих имплантат тканей в индукции процесса реваскуляризации хирургической раны проводили *in vitro* сравнение секреторной активности чистых линий резидентных клеток при их прямом контакте с барьерами из ХТЗ и из коллагена (Bio-Gide). В частности, изучали биосовместимость имплантатов с культурами эпителиальных клеток MA-104 и человеческих фибробластов и динамику колебаний концентрации ФНО $\alpha$ , VEGF и GM-CSF в культуральной жидкости.



Установлено, что присутствие фрагментов пленки ХТЗ или мембраны BioGide в питательной среде существенно не отражается на скорости пролиферации клеток (рис. 3). На 3-и сутки после посева все тестируемые культуры

формировали полноценный монослой, а форма клеток соответствовала таковой в норме, что свидетельствовало о высокой биосовместимости и хороших биологических свойствах исследуемых материалов.

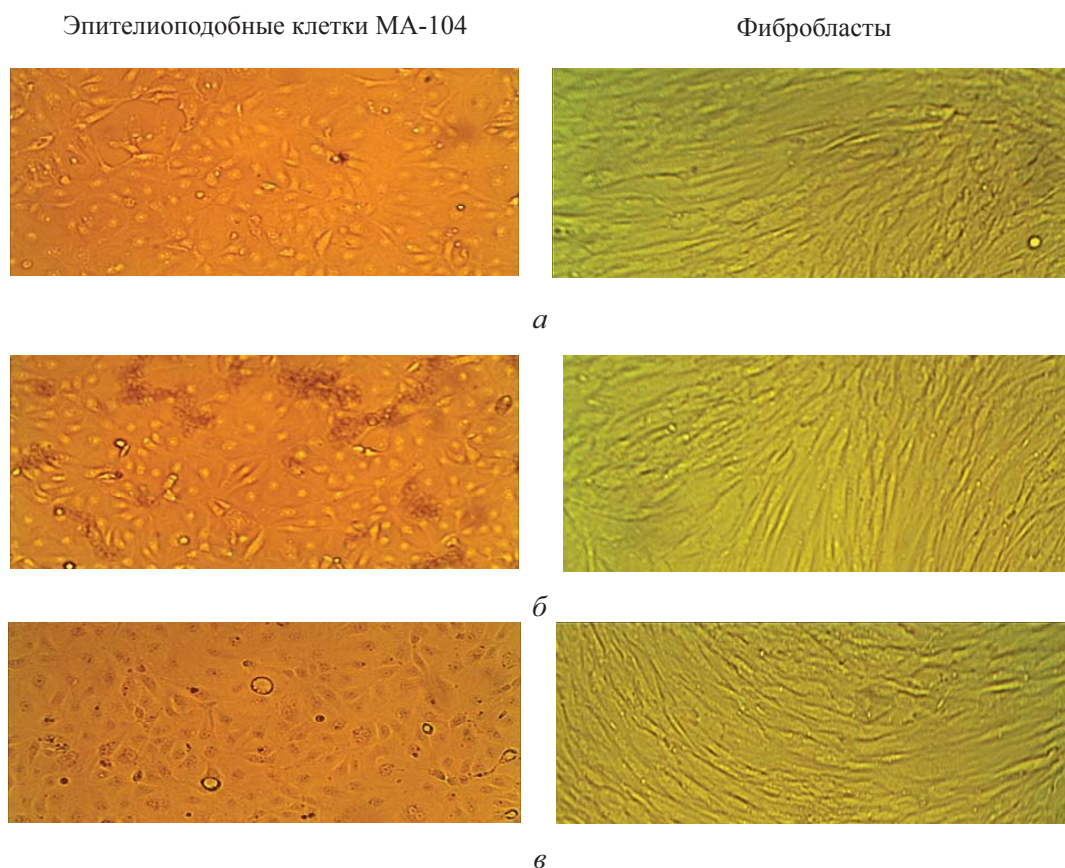


Рис. 3. Морфология культур клеток МА-104 и фибробластов через 72 ч культивирования на пластике в отсутствие (*a*) и в присутствии пленки из ХТЗ (*б*) или мембраны BioGide (*в*), увеличение  $\times 100$

Сравнительный анализ динамики колебаний уровня цитокинов в среде роста клеток в отсутствие (контроль) или в присутствии разобщающих барьеров позволил выявить ряд закономерностей. Так, культуры клеток МА-104 и фибробластов продуцировали цитокин ФНО $\alpha$  в интервале близких значений: от 0 до 120 пкг/мл. В то же время максимальные значения концентрации факторов VEGF и GM-CSF у клеток МА-104 более чем на порядок превышали таковые у фибробластов (рис. 4).

В средах контрольных культур концентрация ФНО $\alpha$  достигала максимум через 24 ч, а затем плавно снижалась к третьим суткам (см. рис. 4, *a, б*). Аналогичная динамика наблюдалась в эксперименте с мембраной Bio-Gide, с тем лишь отличием, что концентрация ФНО $\alpha$  в среде роста клеток МА-104 во всех точках измерения

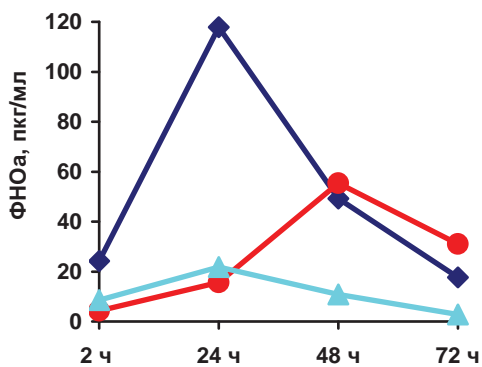
была статистически значимо ниже ( $p \leq 0,05$ ) таковой в контроле. В присутствии барьера из ХТЗ концентрация ФНО $\alpha$  в среде роста фибробластов была крайне низка весь период наблюдения, а в среде роста клеток МА-104 она неуклонно росла и ко 2-м суткам превышала таковую в контроле в 1,1 ( $p \geq 0,05$ ) раза, а в эксперименте с мембраной Bio-Gide – в 5,1 ( $p \leq 0,05$ ) раза. Тем не менее в первые сутки совместного с ХТЗ культивирования и фибробласты, и эпителиальные клетки продуцировали ФНО $\alpha$  существенно ниже контроля ( $p \leq 0,05$ ).

Динамика изменения уровня VEGF в среде роста клеток МА-104 во всех группах была сходной (см. рис. 4, *в*). Концентрация этого фактора постепенно нарастала и к 3-м суткам достигала максимума, а к 4-м снижалась до значений, близких к таковым в первые часы культивирования.



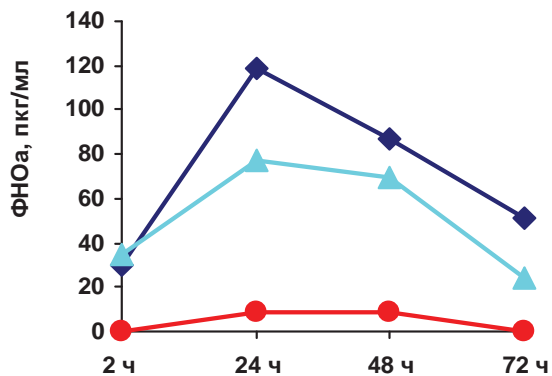


Эпителиоподобные клетки MA-104

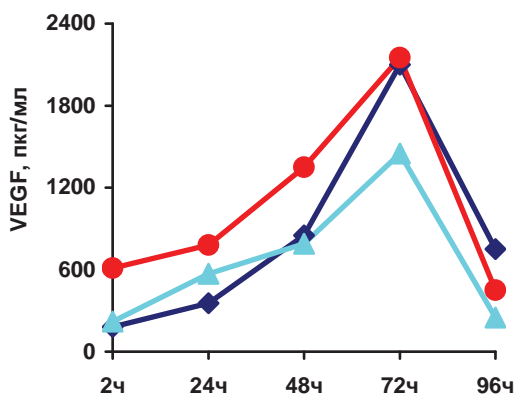


а

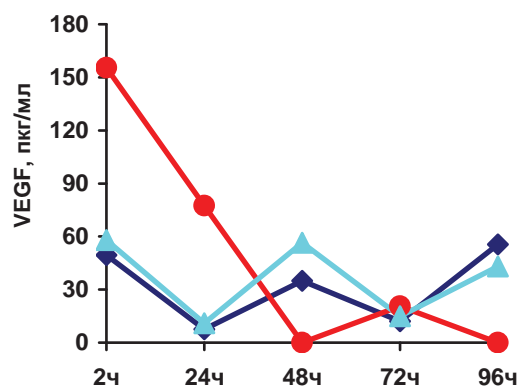
Фибробласты



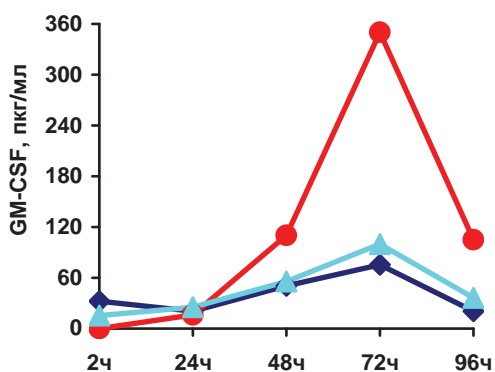
б



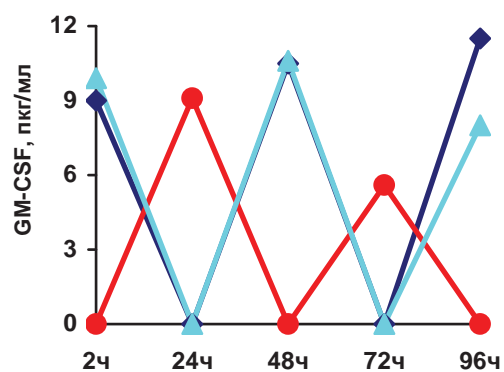
в



г



д



е

◆ Контроль    ● XT3    ▲ BioGide

Рис. 4. Динамика колебаний концентрации FНОα и факторов VEGF и GM-CSF в питательной среде в процессе культивирования клеток без (контроль) и совместно с барьерами из XT3 и коллагена (BioGide)



Однако следует отметить, что во всех точках измерения уровень VEGF был существенно ниже в среде с мембраной Bio-Gide, чем в среде с ХТЗ. Динамика и уровень продукции VEGF фибробластами в контроле и в среде с мембраной из коллагена практически не отличались (см. рис. 4, з). В то же время в среде с барьером из ХТЗ концентрация VEGF в первые часы культивирования в 3,1 ( $p \leq 0,05$ ) раза превышала таковую в контроле и в 2,7 ( $p \leq 0,05$ ) раза в среде с мембраной Bio-Gide, а через сутки – в 10,3 и 7 раз соответственно. В последующие трое суток концентрация VEGF в среде с барьером из ХТЗ колебалась на уровне тех же значений, что и в двух других группах ( $p \geq 0,05$ ).

Анализ выявил сходство в динамике экспрессии факторов VEGF и GM-CSF у эпителиоподобных клеток MA-104 (см. рис. 4, в, д). Как и в случае с VEGF, концентрация GM-CSF в культуральной среде достигала максимума к 3-м суткам, а затем отмечалось ее резкое падение. Причем на 3-и сутки уровень GM-CSF в среде с барьером из ХТЗ превышал таковой в контроле в 4,6 ( $p \leq 0,05$ ) раза, а в среде с Bio-Gide – в 3,5 ( $p \leq 0,05$ ) раза; на 4-е сутки – в 5,1 ( $p \leq 0,05$ ) и 2,9 ( $p \leq 0,05$ ) раза соответственно. При культивировании фибробластов в контроле и в среде с коллагеновой мембраной значения концентрации GM-CSF практически совпадали ( $p \geq 0,05$ ) во всех точках измерения (см. рис. 4, е). В среде с ХТЗ наблюдался суточный сдвиг инициации продукции этого фактора. Однако интервал колебаний концентрации GM-CSF (от 0 до 9,1 пкг/мл) практически не отличался от такового в контроле (от 0 до 11,5 пкг/мл) и в среде с Bio-Gide (от 0 до 10,6 пкг/мл).

Полученные данные подтверждают сделанное нами предположение, что фибробласты и эпителиальные клетки участвуют в обеспечении ранней инициации ангиогенеза в присутствии ХТЗ за счет способности этого гетерополисахарида индуцировать продукцию VEGF. Однако, как оказалось, такая стимуляция не длительна: в культуральной среде *in vivo* и в сыворотке крови кроликов *in vivo* вслед за резким подъемом уровня VEGF отмечалось быстрое снижение концентрации этого цитокина. Это крайне важно, поскольку непрерывное и длительное воздействие высоких концентраций VEGF на ткани может спровоцировать развитие отека [14] или иницировать остеокластогенез и резорбцию костной ткани через индукцию экспрессии цитокинов ИЛ-6, ММП-1 и ММП-2 стромальными клетками костного мозга [15, 16]. Более того, зарубежными исследователями было показано,

что в зонах с повышенным уровнем VEGF могут оседать VEGFR1-позитивные гемопоэтические клетки, которые, продуцируя специфический набор адгезионных молекул и протеаз, привлекают опухолевые клетки и стимулируют их размножение [17].

Вероятно, что в присутствии ХТЗ резкое снижение уровня VEGF в культуральной среде (см. рис. 4, в) опосредовано одновременным ростом в ней концентрации GM-CSF (см. рис. 4, д). Как известно, GM-CSF участвует в активной регуляции концентрации VEGF в тканях путем стимуляции моноцитов к синтезу растворимого рецептора sVEGFR-1, который распознает и связывает свободно циркулирующие молекулы VEGF и таким образом ограничивает неоангиогенез [18, 19]. И если VEGF играет важнейшую роль на ранних стадиях ангиогенеза, инициируя формирование примитивных трубчатых структур из одного слоя эндотелиальных клеток и потому ломких и склонных к кровоизлияниям, то повышение уровня GM-CSF в тканях обеспечивает увеличение плотности новообразованных сосудов, их созревание и стабилизацию [20].

Не так давно было показано, что обработка ран очищенным рекомбинантным белком GM-CSF существенно ускоряет их заживление [21]. По всей видимости, наблюдаемая в наших экспериментах высокая скорость заживления операционных ран у кроликов из группы № 2, обусловлена способностью ХТЗ стимулировать эпителиальные клетки к продукции GM-CSF в крайне высоких концентрациях (см. рис. 4, д).

### Выводы

В экспериментах *in vivo* установлено, что барьеры, включающие в свой состав ХТЗ, благотворно влияют на процессы заживления раны и восстановления костного дефекта при хирургическом вмешательстве с применением техники НРТ. ХТЗ способствует быстрому купированию воспалительной реакции за счет супрессии продукции ФНО $\alpha$ .

Доказано *in vitro*, что при контакте с ХТЗ резидентные клетки – фибробласты и эпителиоциты – синтезируют VEGF и GM-CSF в высоких концентрациях, что важно для ранней инициации процессов неоваскуляризации и ангиогенеза.

### Список литературы

1. Грудянов А. И., Чупахин П. В. Методика направленной регенерации тканей. Подсадочные материалы. М. : ООО «Медицинское информационное агентство», 2007. 64 с.



2. Булкина Н. В., Ведяева А. П., Токмакова Е. В., Попкова О. В. Опыт применения аскорбата хитозана в комплексной терапии заболеваний пародонта // Саратовский научно-медицинский журн. 2013. Т. 9, № 3. С. 372–375.
3. Зудина И. В., Булкина Н. В., Иванов П. В., Ведяева А. П., Иванова Е. В. Противовоспалительный эффект аскорбата хитозана в комплексной терапии заболеваний пародонта // Рос. стоматол. журн. 2013. № 2. С. 16–19.
4. Способ лечения хронического катарального гингивита : пат. 2240770 РФ / Солнцев А. С., Большаков И. Н., Старостенко Т. Д., Майгуров А. А., Насибов С. М. Опубл. 2004.
5. Способ лечения хронического пародонтита: пат. 2301064 РФ / Большаков И. Н., Солнцев А. С., Майгуров А. А., Насибов С. М., Еремеев А. В. Опубл. 2005.
6. Иванов П. В. Патогенетическое обоснование и внедрение в практику новых регенеративных методов лечения генерализованного пародонтита : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Саратов, 2013. 51 с.
7. Asahara T., Masuda H., Takahashi T., Kalka C., Pastore C., Silver M., Kearne M., Magner M., Isner J. M. Bone marrow origin of endothelial progenitor cells responsible for postnatal vasculogenesis in physiological and pathological neovascularization // *Circ Res.* 1999. Vol. 85, № 3. P. 221–228.
8. Hoeben A., Landuyt B., Highley M. S., Wildiers H., Van Oosterom A. T., De Bruijn E. A. Vascular endothelial growth factor and angiogenesis // *Pharmacol. Rev.* 2004. Vol. 56, № 4. P. 549–580.
9. Hoemann C. D., Chen G., Marchand C., Tran-Khanh N., Thibault M., Chevrier A., Sun J., Shive M. S., Fernandes M. J., Poubelle P. E., Centola M., El-Gabalawy H. Scaffold-guided subchondral bone repair : implication of neutrophils and alternatively activated arginase-1+ macrophages // *Amer. J. Sports Med.* 2010. Vol. 38, № 9. P. 1845–1856.
10. Schraufstatter I. U., Zhao M., Khaldoyanidi S. K., Discipio R. G. The chemokine CCL18 causes maturation of cultured monocytes to macrophages in the M2 spectrum // *Immunology.* 2012. Vol. 135, № 4. P. 287–298.
11. Eaton K. V., Yang H. L., Giachelli C. M., Scatena M. Engineering macrophages to control the inflammatory response and angiogenesis // *Exp. Cell Res.* 2015. Vol. 339, № 2. P. 300–309.
12. Ono M., Inkson C. A., Kilts T. M., Young M. F. WISP-1/CCN4 regulates osteogenesis by enhancing BMP-2 activity // *J. Bone Miner Res.* 2011. Vol. 26, № 1. P. 193–208.
13. Khan U. A., Hashimi S. M., Bakr M. M., Forwood M. R., Morrison N. CCL2 and CCR2 are essential for the formation of osteoclasts and foreign body giant cells // *J. Cell Biochem.* 2016. Vol. 117, № 2. P. 382–389.
14. Endo I., Mitsui T., Nishino M., Oshima Y., Matsumoto T. Diurnal fluctuation of edema synchronised with plasma VEGF concentration in a patient with POEMS syndrome // *Intern. Med.* 2002. Vol. 41. P. 1196–1198.
15. Henriksen K., Karsdal M., Delaisse J. M., Engsig M. T. RANKL and vascular endothelial growth factor (VEGF) induce osteoclast chemotaxis through an ERK1/2-dependent mechanism // *J. Biol. Chem.* 2003. Vol. 278. P. 48745–48753.
16. Yang Q. VEGF enhancement of osteoclast survival and bone resorption involves VEGF receptor-2 signaling and beta3-integrin // *Matrix Biol.* 2008. Vol. 27. P. 589–599.
17. Kaplan R. N., Riba R. D., Zacharoulis S., Bramley A.H., Vincent L., Costa C., MacDonald D. D., Jin D. K., Shido K., Kerns S. A., Zhu Z., Hicklin D., Wu Y., Port J. L., Altorki N., Port E. R., Ruggero D., Shmelkov S. V., Jensen K. K., Rafii S., Lyden D. VEGFR1-positive haematopoietic bone marrow progenitors initiate the pre-metastatic niche // *Nature.* 2005. Vol. 438. P. 820–827.
18. Eubank T. D., Roberts R., Galloway M., Wang Y., Cohn D. E., Marsh C. B. GM-CSF induces expression of soluble VEGF receptor-1 from human monocytes and inhibits angiogenesis in mice // *Immunity.* 2004. Vol. 21, № 6. P. 831–842.
19. Roda J. M., Wang Y., Sumner L. A., Phillips G. S., Marsh C. B., Eubank T. D. Stabilization of HIF-2 $\alpha$  induces sVEGFR-1 production from tumor-associated macrophages and decreases tumor growth in a murine melanoma model // *J. Immunol.* 2012. Vol. 189, № 6. P. 3168–3177.
20. Zhao J., Chen L., Shu B., Tang J., Zhang L., Xie J., Liu X., Xu Y., Qi S. Granulocyte/Macrophage Colony-Stimulating Factor Influences Angiogenesis by Regulating the Coordinated Expression of VEGF and the Ang/Tie System // *PLoS ONE.* 2014. Vol. 9, № 3. e92691.
21. Yan H., Chen J., Peng X. Recombinant human granulocyte-macrophage colony-stimulating factor hydrogel promotes healing of deep partial thickness burn wounds // *Burns.* 2012. Vol. 38. P. 877–881.



УДК 581.9

## ТИПОВЫЕ ОБРАЗЦЫ *CAMPANULA L.*, *CHAMAECYTISUS LINK*, *POLYGALA L.*, *THYMUS L.*, ХРАНЯЩИЕСЯ В ГЕРБАРИИ НИЖЕГОРОДСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ИМЕНИ Н. И. ЛОБАЧЕВСКОГО (NNSU)

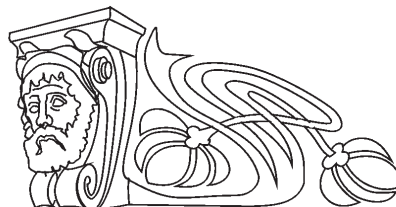
О. В. Бирюкова<sup>1</sup>, В. М. Васюков<sup>2</sup>, А. В. Чкалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского

E-mail: bashmaktus@yandex.ru, biofor@yandex.ru

<sup>2</sup>Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти

E-mail: vvasjukov@yandex.ru



В статье приведены основные этапы создания и развития Гербария Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского (NNSU) начиная с 20-х годов прошлого века, показаны основные направления проведенных флористических исследований. Обозначен современный статус Гербария. Дан список основных видов растений, описанных с территории области. Показана необходимость поиска и идентификации аутентичных образцов. Представлены результаты изучения типовых образцов, хранящихся в NNSU. Выделены типовые образцы аборигенных для Нижегородской области растений: 1 изотип *Campanula wolgensis* P. A. Smirn., 1 изотип *Chamaecytisus zingeri* (Nenuk. ex Litw.) Klaskova, 16 синтипов *Polygala pinetorum* Alechin; а также типы двух крымских видов тимьянов: 1 голотип *Thymus karadagensis* Zefir. и 1 изотип *Thymus maeoticus* Zefir.

**Ключевые слова:** *Campanula*, *Chamaecytisus*, *Polygala*, *Thymus*, типовые образцы, Гербарий Нижегородского государственного университета (NNSU).

### Type Specimens of *Campanula L.*, *Chamaecytisus Link*, *Polygala L.*, *Thymus L.*, Kept in the Herbarium of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod (NNSU)

O. V. Biryukova, V. M. Vasjukov, A. V. Chkalov

The article describes basic stages of creation and development the Herbarium of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod (NNSU), since the 20-s of the last century, shows the main areas of floristic researches. Designated the current status of the Herbarium. Given a list of the main species of plants described from the territory of the region. The necessity of the search and identification of authentic samples is shown. Results of revision on the type in the in the Herbarium of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod (NNSU) are presented. Type samples of native species were selected: 1 isotypes *Campanula wolgensis* P. A. Smirn., 1 isotypes *Chamaecytisus zingeri* (Nenuk. ex Litw.) Klaskova, 16 syntypes *Polygala pinetorum* Alechin; also types of Crimean thymes: 1 holotypes *Thymus karadagensis* Zefir. and 1 isotypes *Thymus maeoticus* Zefir.

**Key words:** *Campanula*, *Chamaecytisus*, *Polygala*, *Thymus*, type samples, Herbarium of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod (NNSU).

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-180-182

Гербарий Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского (NNSU)

создан в 1925 г., когда заведующим кафедрой ботаники, позже переименованной в кафедру морфологии и систематики растений, был назначен С. С. Станков – крупнейший знаток флоры и растительности Крыма [1]. В исследованиях растительного мира Крыма также принимали участие студенты и аспиранты: Н. И. Рубцов, Н. М. Чернова, Л. А. Привалова, Е. В. Лукина, выпускница кафедры Л. А. Симанская. Таким образом, благодаря многочисленным научным работам и многолетнему сотрудничеству с Никитским ботаническим садом, был собран обширный материал отечественной флоры Крыма, хранящийся и в настоящее время в общем отделе Гербария ННГУ.

Позже университету был передан гербарий Естественно-исторического музея Нижегородского губернского земства [2]. С тех пор кафедра оказалась единственным в городе центром, где были сосредоточены флористические документы области. В конце 1920-х гг. свыше 30000 листов гербария поступило в фонды ННГУ в результате работы Нижегородской геоботанической экспедиции (1926–1928 гг.) под руководством проф. В. В. Алехина [3, 4].

В настоящее время Гербарий ННГУ зарегистрирован в международной базе данных «The Index Herbariorum» и имеет акроним NNSU. Фонды гербария ННГУ насчитывают около 83 000 образцов. Среди них особое место занимают областной и общий отделы, являющиеся основной частью гербария [5].

Одним из итогов работ упомянутой выше экспедиции стало открытие на тот момент 7 новых для науки видов: *Alchemilla basilii* P. A. Smirn. (*A. orbiculata* Alechin), *A. nemoralis* Alechin, *A. Juzepczukii* Alechin, *Artemisia propingua* P. A. Smirn., *Euphorbia rossica* P. A. Smirn., *Polygala pinetorum* Alechin, *Stipa praecapillata* Alechin [1]. Позже был описан с территории области еще ряд



видов: *Campanula wolgensis* P. A. Smirn., *Arenaria syreistschikowii* P. A. Smirn., *Corispermum volgicum* Klokov, *Stipa glabrata* (P. A. Smirn.) Martin., *Chamaecytisus zingeri* (Nenuk. ex Litw.) Klaskova, *Alchemilla prasina* Juz., *A. substrigosa* Juz., *Trapa turbinata* V. N. Vassil. [6]. В последние годы одним из авторов данной статьи был описан ряд видов рода *Alchemilla* L.: *A. abramovii* Czakalov, *A. kemlensis* Czakalov, *A. maradykovensis* Czakalov, *A. mininzonii* Czakalov, *A. pustynensis* Czakalov, *A. schmakovii* Czakalov, *A. tichomirovii* Czakalov, *A. vorotnikovii* Czakalov, *A. zimoenkensis* Czakalov, *A. tzvelevii* Czakalov и др. [7].

Необходимо отметить, что не все перечисленные таксоны в настоящее время являются основными, некоторые из них сведены в ранг синонимов. Тем не менее наличие типовых образцов таксонов любого ранга имеет огромное научное значение.

Инвентаризация типовых образцов в фондах гербариев, в том числе региональных, является весьма актуальной. Поиск и выделение аутентичных образцов обеспечивают сохранность и доступность их для изучения специалистов-ботаников [8].

В результате изучения фондов Гербария NNSU выделены 20 типовых образцов видов из родов *Campanula* L. (*Campanulaceae*), *Chamaecytisus* Link (*Fabaceae*), *Polygala* L. (*Polygalaceae*), *Thymus* L. (*Lamiaceae*) и приведены далее.

***Campanula wolgensis*** P. A. Smirn. 1947, Бюл. Моск. общ. исп. прир., отд. биол. 3: 57.

Описан из Среднего Поволжья. По протологу: «Prov. Gorki, olim Nishni Novgorod, distr. Lakojanov, inter Pelja Kazennaja et Kotschkari, in declivitate septentrionali prope flum. Pelja» (holotypus MW).

Isotypus: «Нижегородская губ., Лукояновский у., между с. Пеля Казенная и Кочкари. По северному склону лога, отходящего от р. Пельки, 14 VI 1926, leg. В. В. Алехин и Д. Аверкиев, det. В. Алехин» (NNSU).

***Chamaecytisus zingeri*** (Nenuk. ex Litw.) Klaskova, 1958, Preslia, 30: 214. ≡ *Cytisus ruthenicus* Fisch. ex Wol. var. *zingeri* Nenuk. ex Litw. 1917, в Маевский, Фл. Ср. России, изд. 5: 133.

Описан из бассейна Оки. По протологу: «Var. *zingeri* Nenuk. (in litt.) – бобы и веточки голые, форма найденная в разн. местах, отмеченная (но не названная) в Сб. свед. В. Цингера».

Isotypus: «Нижегородская губ. Балахн. у., Чернорецкая казенная лесная дача, по борovým полянам и вырубкам, 1914, leg. I. Schvetzov» (NNSU).

***Polygala pinetorum*** Alechin, 1929, Пред. отчет раб. Нижегород. геобот. экспед. в 1928 г., 4: 92.

Описан из Среднего Поволжья. По протологу:

«[Нижегородская губ.], Лысковский, Нижегород., б. Балахнин., Семеновск., Краснобаковский у.у.».

1–2) Syntypus: «[Нижегородская губ.], пустыри из-под хвойного леса, окр. ст. Игумново МН ж.д., Балахнинский у., 17 VIII 1924, leg. Н. Покровский, det. В. Алехин (1929)», 2 экз. (NNSU).

3–5) Syntypus: «[Нижегородская губ., Балахнинский у.], Игумново, полоса отчуждения ж.д., 5 VI 1927, leg. [Н. Покровский], det. В. Алехин (1929)», 3 экз. (NNSU).

6) Syntypus: «[Нижегородская губ.], недалеко от 1-го виадука (полотно), на пустыре, ст. Черное МН ж.д., Чернорецк. вол., Бал. у., 27 V 1901, leg. Н. Покровский, det. В. Алехин (1929)» (NNSU).

7) Syntypus: «На высококом сухом поле близ леса у д. Красный Яр, окр. с. Воскресенского, Ниж. губ. Макарьевск. уезд, 28 VII 1904, leg. неизв., det. В. Алехин (1929)» (NNSU).

8) Syntypus: «Нижегородская губ., Южарское поле (?) около д. Красное, 27 VI 1908, det. В. Алехин (1929)» (NNSU).

9–11) Syntypus: «[Нижегородская губ., Балахнинский у.], Игумново, сосновый бор, 8 VI 1927, leg. [Н. Покровский], det. В. Алехин (1929)», 3 экз. (NNSU).

12) Syntypus: «Нижегородская губ., мелкий смешанный лес по песчаным буграм за дер. Борок Лысковского уезда в версте от деревни, рядом с поймой, 9 VI 1925, leg. Е. Кукулина, det. В. Алехин (1929)» (NNSU).

13) Syntypus: «[Нижегородская губ.], поляна в сосновом лесу, окр. д. Борка, Работк. в., Макарьевский у., 16 VI 1902, leg. Н. Покровский, det. В. Алехин (1929)» (NNSU).

14–15) Syntypus: «Нижегородская губ., Красно-Баковский уезд, еловый лес на пути от дер. Чухломы, к кордону Сабельному, 22 VII 1928, leg. Н. Кац и Л. Скворцова, det. В. Алехин (1929)», 2 экз. (NNSU).

16) Syntypus: «[Нижегородская губ.], вырубки хвойного леса (сосна), Ивановская казенная лесная дача, Сем. у., 18 VII 1926, leg. Н. Покровский, det. В. Алехин (1929)» (NNSU).

Примечание. *P. pinetorum* Alechin обычно считается синонимом *P. wolfgangiana* Besser ex Szafer, Kulcz. et Pawl. (1924, Rosl. Polske: 325), но, по нашему мнению, заслуживает ранга самостоятельного вида.

***Thymus karadagensis*** Zefir. 1951, Бот. мат. (Ленинград), 14: 351.

Описан из Крыма (Карадаг). По протологу: «Tauria, Karadag, in declivitate septentrionale montis Zub, 7 VIII 1929, Pupkova. – Карадаг, северный склон горы Зуба, 7 VIII 1929, цв., Пупкова».



**Holotypus:** «Южный Крым, Карадаг, С. склон г. Зуба, 7 VIII 1929, fl., leg. В. Пупкова, det. Б. Зефилов (9 VII 1949)» (NNSU).

***Thymus maeoticus*** Zefir. 1951, Бот. мат. (Ленинград), 14: 354.

Описан из Крыма (Арабатская стрелка). По протологу: «Tauria, Geniczesk, Arabatschaja strelka, mare Maeotis, 13 V 1914, Meyer. – Геническ, Арабатская стрелка (Азовское море), 13 V 1914, Мейер» (holotypus LE).

**Isotypus:** «Крымъ, Геническъ, Арабатская стрелка (Азовское море), 13 V 1914, leg. К. Мейеръ, det. Б. Зефилов (9 VII 1949)» (NNSU).

При цитировании этикеток соблюдена оригинальная орфография. Этикетки некоторых образцов не были снабжены полными данными (не указаны наименования губернии, уезда и т.п.) и мы посчитали необходимым указать их, поместив в квадратных скобках.

В настоящее время перечисленные типовые образцы хранятся отдельно от основных коллекций.

#### Список литературы

1. Выдающиеся ботаники-нижегородцы : метод. пособие для студентов с.-х. института. Горький, 1990. 50 с.
2. Станков С. С., Елевтерская З. М. Коллекторы и

коллекции по флоре Нижегородской губернии. Н. Новгород, 1928. Вып. 6. С. 123–160.

3. Алехин В. В. Объяснительная записка к геоботаническим картам (современной и восстановленной) Нижегородской губ. Л., 1935. 66 с.
4. Юлова Г. А. Вклад нижегородских ботаников в изучение флоры и растительности Нижегородской губернии в 20-е годы // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. 1999. № 1. С. 154–158.
5. Бирюкова О. В. Гербарий Нижегородского университета им. Н. И. Лобачевского : прошлое и настоящее // Ботанические коллекции – национальное достояние России : сб. науч. ст. Всерос. (с междунар. участием) науч. конф., посвящ. 120-летию Гербария имени И. И. Спрыгина и 100-летию Русского ботанического общества. Пенза, 2015. С. 18–20.
6. Васюков В. М., Сенатор С. А., Раков Н. С., Сакнов С. В. Виды сосудистых растений, описанные с правобережья Средней Волги // Бот. журн. 2015. Т. 100, № 1. С. 44–59.
7. Чкалов А. В. Новые виды *Alchemilla* L. из Центральной России // Turczaninowia. 2011. Т. 14, № 3. С. 14–27.
8. Соколова И. В. Концепция типов : исторический очерк, современные положения и некоторые аспекты практического применения // Ботанические коллекции – национальное достояние России : сб. науч. ст. Всерос. (с междунар. участием) науч. конф., посвящ. 120-летию Гербария имени И. И. Спрыгина и 100-летию Русского ботанического общества. Пенза, 2015. С. 130–132.

УДК 595.76: 591.9

## НОВЫЕ ДАННЫЕ О ФАУНЕ МИРМЕКОФИЛЬНЫХ ЖЕСТКОКРЫЛЫХ (COLEOPTERA) В ГНЕЗДАХ МУРАВЬЕВ *FORMICA RUF*A LINNAEUS, 1761 (HYMENOPTERA) НА ТЕРРИТОРИИ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

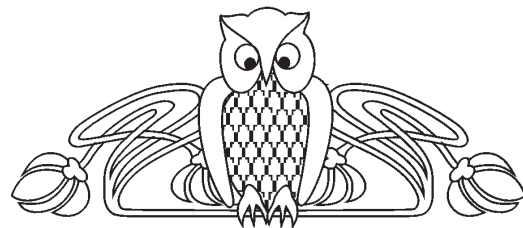
А. С. Сажнев<sup>1</sup>, Е. Ю. Рига<sup>2</sup>, И. А. Забалуев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН, Борок  
E-mail: sazh@list.ru

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского  
E-mail: e.riga@mail.ru

<sup>3</sup>Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова,  
E-mail: fatsiccor66@mail.ru

Цель данной работы – изучение видового состава, экологических особенностей и доминантной структуры мирмекофильных жесткокрылых в гнёздах муравьёв вида *Formica rufa* Linnaeus, 1761 на территории Саратовской области. Исследования проводились преимущественно на территории природного парка Кумысная поляна (Саратов) и Национального парка «Хвалынский». Для сбора материала применялись стандартные методы почвенной зоологии: просеивание субстрата из гнёзд муравьёв и лабораторный анализ отобранных проб. В результате обра-



ботки материала обнаружено 10 видов жесткокрылых насекомых, относящихся к 5 семействам, из которых новыми для территории Саратовской области являются 9 видов. Рассмотрена таксономическая и доминантная структура жуков-мирмекофилов в гнёздах муравьёв *F. rufa* и установлено, что эвдоминантами являются нейтральные синойки *Monotoma angusticollis* (Gyllenhal, 1827) и *Scydmaenus hellwigii* (Herbst, 1792).

**Ключевые слова:** мирмекофильные жесткокрылые, Coleoptera, Саратовская область.



**New Data on the Fauna of Myrmecophilous Beetles (Coleoptera) in the Nests of Ants *Formica rufa* Linnaeus, 1761 (Hymenoptera) for Territory of Saratov Province**

**A. S. Sazhnev, E. Yu. Riga, I. A. Zabaluev**

The aim of this article is to investigate the species composition, ecological characteristics and myrmecophily Coleoptera dominant structure in nests of ants of the species *Formica rufa* Linnaeus, 1761 in the territory of the Saratov region. The studies were conducted mainly in the natural Park of Kumis Polyana (Saratov) and the National Park "Khvalynskiy". To collect material were determined using standard soil methods of Zoology: screening of the substrate from the nests of ants and laboratory analysis of selected samples. As a result of processing of the material revealed 10 species insects of Coleoptera belonging to 5 families, of which 9 species are new for the territory of the Saratov region. In this article was considered taxonomic structure and dominant beetle myrmecophila in the nest of ant *F. rufa* and found that eudominant are neutral senoikia *Monotoma angusticollis* (Gyllenhal, 1827) and *Scydmaenus hellwigii* (Herbst, 1792).

**Key words:** myrmecophilous beetles, Coleoptera, Saratov Province.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-182-185

**Введение**

Мирмекофилия – это способ совместного сосуществования организмов с муравьями в их гнездах и колониях или около них. Такие ассоциации известны для очень многих видов животных и растений, среди которых существенную часть составляют разнообразные таксономические группы жесткокрылых насекомых. Такое сожительство является выгодным для мирмекофилов: для одних видов оно обеспечивает кормовую базу, для других служит защитой от неблагоприятных условий внешней среды, является фактором снижения межвидовой конкуренции. Поэтому для понимания и оценки роли экологических связей между муравьями и их симбионтами в первую очередь необходимо установление видового состава и доминантной структуры мирмекофилов того или иного вида муравьев.

**Материал и методы**

В рамках продолжающегося изучения фауны мирмекофильных жесткокрылых Саратовской области [1, 2] в мае и сентябре 2015 г. был собран энтомологический материал (Scydmaenidae, Staphylinidae, Histeridae, Endomychidae, Tenebrionidae), который и стал основой для настоящей статьи. Исследования проводились в основном в окрестностях природного парка Кумысная поляна (Саратов) и Национального парка «Хвалынский» (Хвалынский р-н). Материал собирался путем просеивания субстрата из гнезд муравьев вида *Formica rufa* через почвенные сита. Данный метод особенно эффективен в ранневесенний

и осенний периоды по причине низкой активности муравьев и максимальной концентрации мирмекофилов в эти сроки [3]. Пробы брались в тройной повторности из различных слоев наружного купола муравейника (верхний, средний и нижний). Отобранные жуки фиксировались в 70% спирте либо морились этилацетатом и укладывались на ватные матрасики. Камеральная обработка проводилась при помощи микроскопов МБС-9 и МБС-10 с препарированием отдельных экземпляров и приготовлением временных препаратов половых аппаратов имаго. При установлении структуры доминирования фауны мирмекофилов применялась шкала Ренконена [4] с изменениями [3]. Согласно данной шкале, виды подразделяются на следующие группы: эудоминанты – виды с обилием более 20%; доминанты – виды с обилием от 5 до 20%; субдоминанты – виды с обилием от 2 до 5%; рецеденты – виды с обилием от 1 до 2%; субрецеденты – виды с обилием менее 1%.

**Результаты и их обсуждение**

Ранее нами с территории Саратовской области для гнезд муравьев рода *Formica* были указаны 12 видов жесткокрылых из 6 семейств [2]. Ниже представлен аннотированный список мирмекофильных жуков, обнаруженных в гнездах *F. rufa* в 2015 г., из них новые для Саратовской области отмечены знаком «\*».

Семейство Scydmaenidae

\**Euconnus (Napochus) claviger* (P.W.J. Müller & Kunze, 1822)

Материал: Кумысная Поляна, 28.09.2015 (3 экз.).

Экология: мирмекофил, в муравейниках *Formica gr. rufa* [5].

\**Euconnus (Neonapochus) maeklinii* (Mannerheim, 1844)

Материал: Кумысная Поляна, 21.09.2015 (1♂).

Экология: мирмекофил, в муравейниках *Lasius* и *Formica gr. rufa* [5].

\**Stenichnus scutellaris* (P.W. J. Müller & Kunze, 1822)

Материал: НП «Хвалынский», база СГУ, 14.05.2015 (1♂).

Экология: мирмекофил, связан с муравьями видов *F. rufa*, *Formica cunicularia* Latreille, 1798, *Lasius fuliginosus* (Latreille, 1798) [6].

Семейство Staphylinidae

\**Euplectus signatus* (Reichenbach, 1816)

Материал: Кумысная Поляна, 28.09.2015 (1♂, 1♀).



Экология: факультативный мирмекофил. Встречается в гнёздах *F. rufa* и *Formica polyctena* Förster, 1850 [3, 7], а также в навозе и растительных остатках [8].

\**Leptacinus formicetorum* Märkel, 1841

Материал: НП «Хвалынский», база СГУ, 14.05.2015 (1 экз.).

Экология: мирмекофил, в муравейниках *F. rufa* и *F. polyctena* [3, 7].

\**Oxypoda (Bessopora) formiceticola* Märkel, 1841

Материал: НП «Хвалынский», база СГУ, 14.05.2015 (4 экз.).

Экология: мирмекофил, в муравейниках *F. rufa* и *F. polyctena* [3, 7].

*Atheta crassicornis* (Fabricius, 1792)

Материал: Кумысная Поляна, 21.09.2015 (1♀).

Экология: в плодовых телах различных напочвенных и ксилотрофных грибов [9, 10]. Нахождение в муравейнике, по-видимому, случайно. Для Саратовской области вид ранее приводился в работе Б.В. Красущого [9].

Семейство Histeridae

\**Hetaerius ferrugineus* (Olivier, 1789)

Материал: Энгельс, пос. Лесной, 20.05.2012 (1 экз.).

Экология: мирмекофил, энтомопедофаг, обитатель гнёзд различных муравьёв, обычно рода *Formica*, но также у *Lasius*, *Myrmica* и *Tetramorium* [11]. Единственный экземпляр собран на заиленном берегу небольшого водоёма без видимого присутствия муравьёв.

Семейство Endomychidae

\**Symbiotes gibberosus* (Lucas, 1846)

Материал: Кумысная Поляна, 28.09.2015 (1 экз.).

Экология: вид связан с развивающимися на гнилой древесине и коре лиственных деревьев грибами [12]. Имаго и личинки спорофаги [13]. Факультативный мирмекофил, часто встречается среди муравьёв и в муравейниках [14].

Семейство Tenebrionidae

\**Myrmexichenus subterraneus* Chevrolat, 1835

Материал: НП «Хвалынский», база СГУ, 14.05.2015 (25 экз.).

Экология: мирмекофил, в основном в гнёздах *Formica* [3, 7]. Находка вида дополняет список Tenebrionidae Саратовской области [15, 16].

В качестве дополнительного материала в гнёздах *F. rufa* в районе Кумысной поляны нами отмечены личинки бронзовки *Protaetia metallica* (Herbst, 1782) (Coleoptera: Scarabaeidae: Cetoniinae), а также панцирные клещи *Pergalumna*

*nervosa* (Berlese, 1914) (Acari: Oribatida: Galumnidae) и ложноскорпионы *Chernes* cf. *cimicoides* (Fabricius, 1793) (Pseudoscorpionida: Chernetidae), любезно определённые В. Б. Колесниковым (Воронеж).

Таким образом, с учетом предыдущих работ [1, 2] для гнёзд муравьёв *F. rufa* на территории Саратовской области отмечено 22 вида мирмекофильных жесткокрылых из 9 семейств. Наиболее богато представлены семейства Staphylinidae (10 видов) и Scydmaenidae (4 вида). Несомненно, список не полный, и дальнейшие работы в этой области позволят значительно расширить его.

При разделении отмеченных нами жесткокрылых на экологические группировки отмечено значительное преобладание нейтральных синойков, которые безразлично относятся к муравьям и их молоди, питаются пищевыми отходами, разлагающимся гнездовым материалом или, например, клещами. В то же время подобная система деления на экологические группы мирмекофилов по взаимосвязям с муравьями несовершенна, в действительности поведение даже нейтральных синойков значительно сложнее.

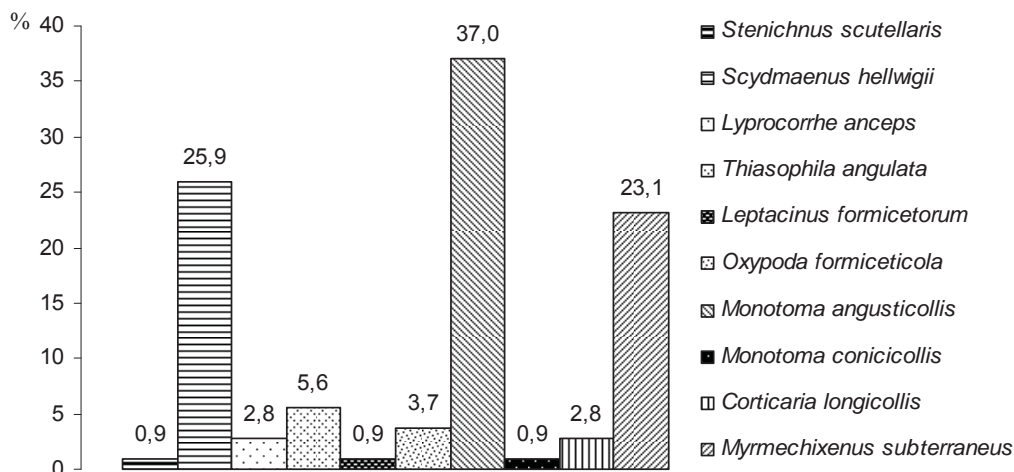
Проведенные на территории национального парка «Хвалынский» в 2014–2015 гг. количественные сборы мирмекофильных жесткокрылых позволили рассмотреть доминантную структуру их фауны в гнёздах *F. rufa* (рисунок).

Среди 10 выявленных за время исследования видов мирмекофилов в пробах к эдодоминантам относятся *Monotoma angusticollis* (Gyllenhal, 1827) (37,0%) и *Scydmaenus hellwigii* (Herbst, 1792) (25,9%), доминантам – *Myrmexichenus subterraneus* (23,1%) и *Thiasophila angulata* (Erichson, 1837) (5,6%), субдоминантам – *Oxypoda formiceticola* (3,7%), *Lyprocorrhe anceps* (Erichson, 1837) (2,8%) и *Corticaria longicollis* (Zetterstedt, 1838) (2,8%), субрецидентам – *Stenichnus scutellaris*, *Leptacinus formicetorum* и *Monotoma conicicollis* Aubé, 1837.

Учитывая наши параллельные сборы в других регионах Поволжья (Самарская, Ульяновская области) и данные литературы [3, 7], практически весь комплекс обнаруженных видов жесткокрылых свойственен гнёздам муравьёв рода *Formica*, за исключением явных факультативных мирмекофилов.

Таким образом, с учетом предыдущих работ [1, 2] для гнёзд муравьёв *F. rufa* отмечено 22 вида мирмекофильных жесткокрылых, из которых 9 видов приводятся как новые для фауны Саратовской области. Установлена доминантная структура мирмекофилов в гнёздах *F. rufa* на территории национального парка «Хвалынский».





Доля видов мирмекофильных жесткокрылых в гнездах *F. rufa* (НП «Хвалынский», 2014–2015 гг.)

ский». Отмечено, что эудоминантами являются нейтральные синойки *Monotoma angusticollis* и *Scydmaenus hellwigii*.

Можно заключить, что фауна мирмекофильных жуков в Саратовской области изучена фрагментарно, стоит ожидать нахождения новых видов из семейств Scydmaenidae, Staphylinidae, Histeridae, Ptiliidae и др., что со временем будет сделано. Но наиболее перспективны работы по изучению экологии и биологии мирмекофилов, исследование их симбиотических связей с муравьями, поведенческих особенностей мирмекофильных жесткокрылых. Несомненно, дальнейшие работы в этом направлении позволят лучше понять сложные взаимоотношения мирмекофилов с муравьями.

#### Список литературы

1. Гребенников К. А., Рига Е. Ю. История изучения жуков-мирмекофилов Среднего и Нижнего Поволжья // Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье. Вып. 11. Саратов, 2014. С. 26–30.
2. Сажнев А. С., Рига Е. Ю., Забалуев И. А. Новые виды мирмекофильных жесткокрылых для фауны Саратовской области // Энтомологические и паразитологические исследования в Поволжье. Вып. 12. Саратов, 2015. С. 71–74.
3. Солодовников И. А., Плискевич Е. С. Видовой состав мирмекофильных жесткокрылых в гнездах *Formica polyctena* Foerster, 1850 (Insecta, Coleoptera) Белорусского Поозерья // Вестн. УО «МГПУ имени И. П. Шамякина». Сер. Биологические науки. Мозырь, 2014. № 1(42). С. 55–60.
4. Renkonen O. Statisch-ökologische Untersuchungen über die terrestrische Käferwelt der finnischen Bruchmoore // Soc. Zool. Bot. Fennica Vanamo. 1938. Bd. 6, vol. 1. 231 s.
5. Franz H., Besuchet C. Familie: Scydmaenidae // Die Käfer Mitteleuropas. Vol. 3, Adephaga 2, Palpicornia, Histeroidea, Staphyloidea 1. Goecke & Evers, Krefeld, 1971. P. 271–303.
6. Jaloszyński, P. Revision of subgenera of *Stenichnus* Thomson, with review of Australo-Pacific species (Coleoptera, Staphylinidae, Scydmaeninae) // Zootaxa. Auckland, New Zealand : Magnolia Press, 2013. Vol. 3630, № 1. P. 39–79.
7. Солодовников И. А., Плискевич Е. С. Видовой состав мирмекофильных жесткокрылых в гнездах *Formica rufa* Linnaeus, 1761 (Insecta, Coleoptera) Белорусского Поозерья // Вестн. УО «МГПУ имени И. П. Шамякина». Сер. Биологические науки. Мозырь, 2014. № 2(80). С. 43–51.
8. Besuchet C. Familie: Pselaphidae // Die Käfer Mitteleuropas. Vol. 5 : Staphylinidae II (Hypocyphinae, Aleocharinae). Goecke & Evers, Krefeld, Germany, 1974. P. 305–362.
9. Красуцкий Б. В. Мицетофильные жесткокрылые Урала и Зауралья : в 2 т. Т. 2. Система «Грибы–насекомые». Челябинск, 2005. 213 с.
10. Nikitsky N. B., Schigel D. S. Beetles in polypores of the Moscow region : checklist and ecological notes // Entomol. Fennica. 2004. Т. 15. P. 6–22.
11. Крыжановский О. Л., Рейхардт А. Н. Жуки надсемейства Histeroidea (семейства Sphaeritidae, Histeridae, Synteliidae). Фауна СССР. Жесткокрылые. Т. V, вып. 4. М. ; Л. : Наука, 1976. 435 с.
12. Никитский Н. Б., Бибин А. Р., Долгин М. М. Ксилофильные жесткокрылые Кавказского государственного природного биосферного заповедника и сопредельных территорий. Сыктывкар, 2008. 452 с.
13. Shockley F. W., Tomaszewska K. W. First larval description for *Symbiotes gibberosus* (Lucas) (Coleoptera: Endomychidae) // Ann. Zool. Warszawa, 2007. Vol. 57, № 4. P. 751–755.
14. Hölldobler B., Wilson E. O. The Ants. Harvard University Press, Cambridge, MA, 1990. 752 p.
15. Сажнев А. С. К фауне жуков-чернотелок (Coleoptera : Tenebrionidae) Саратовской области // Рус. энтомол. журн. 2012. Т. 21, № 1. P. 39–43.
16. Сажнев А. С. Дополнения к фауне чернотелок (Coleoptera : Tenebrionidae) Саратовской области // Эверсманния. Энтомологические исследования в России и соседних регионах. Тула, 2015. Вып. 43–44. С. 54.



УДК 616.934: 578.233: 53.086

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ УЛЬТРАСТРУКТУРЫ ПОВЕРХНОСТИ КЛЕТОЧНОЙ СТЕНКИ МИКРООРГАНИЗМОВ В УСЛОВИЯХ НЕБЛАГОПРИЯТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ФАКТОРОВ БИОТИЧЕСКОЙ И АБИОТИЧЕСКОЙ ПРИРОДЫ МЕТОДАМИ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ



П. С. Ерохин, Д. В. Уткин, Н. А. Осина, А. В. Бойко,  
О. С. Кузнецов, В. Е. Куклев, Т. В. Бугоркова

Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб», Саратов  
E-mail: rusrap1@microbe.ru

В статье приведены основные сведения о применении атомно-силовой микроскопии для изучения влияния факторов биотической и абиотической природы на ультраструктуру и морфологические особенности микроорганизмов.

**Ключевые слова:** микроорганизмы, атомно-силовая микроскопия, шероховатость, сила адгезии, биотические факторы, абиотические факторы.

**Current State of Investigation of Cell Wall Surface of Microorganisms Ultrastructure under the Action of Factors Biotic and Abiotic Nature Using Methods of Atomic Force Microscopy**

P. S. Erokhin, D. V. Utkin, N. A. Osina, A. V. Boyko,  
O. S. Kuznetsov, V. E. Kuklev, T. V. Bugorkova

This article presents data about current application of atomic force microscopy for study the influence factors biotic and abiotic nature on ultrastructure and morphological features of microorganisms.

**Key words:** microorganisms, atomic force microscopy, roughness, biotic factors, abiotic factors.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-186-189

В микробиологии световая микроскопия является бесспорным лидером среди всех методов визуализации в силу доступности, относительной простоты приготовления исследуемых образцов, а также возможности изучения биологических структур в близких к природным условиям. Слабой стороной оптических приборов является ограниченная дифракционным пределом разрешающая способность. Именно поэтому ультраструктуру микроорганизмов удалось изучить и описать лишь с появлением электронной микроскопии в 40-е гг. XX в. Однако электронная микроскопия, до настоящего времени являющаяся единственным методом визуализации нанометрового разрешения, имеет ряд недостатков, главные из которых – сложность приготовления препаратов и необходимость проведения исследований в условиях высокого вакуума.

В 1981 г. Гердом Биннигом и Генрихом Рорером был изобретен сканирующий зондовый микроскоп (Нобелевская премия 1986 г.), в основе работы которого лежит регистрация взаимодействия, возникающего между зондом и поверхностью образца при сканировании. В настоящее время существует целое семейство зондовых микроскопов, один из которых – атомно-силовой микроскоп (АСМ) – наиболее активно используется для изучения биологических образцов микронного и субмикронного уровня организации благодаря простой процедуре пробоподготовки и возможности визуализации объектов практически в любой биологической среде.

Существование бактерий во многом зависит от влияния различных условий среды обитания. При воздействии неблагоприятных факторов окружающей среды реализуются адаптационные свойства микроба, которые могут проявляться в обратимых или необратимых изменениях поверхностных структур клетки [1]. Они могут быть зарегистрированы с использованием ряда методов микроскопической техники, в том числе атомно-силовой микроскопии (АСМ) [2]. АСМ позволяет оценить морфологические и механические параметры бактерий, изменяющиеся под влиянием биотических и абиотических факторов.

Так, под действием катионных антимикробных пептидов, например магаинина 2, отмечено изменение упруго-механических свойств *Escherichia coli*: снижение значений модуля Юнга на 25,89 % [3]. Для клеток *Bacillus cereus* снижение этого показателя составило 41,44 % [3]. Действие антибиотика ампициллина на клетки *B. cereus* вызывало несколько типов изменений у микробной клетки, которые стало возможно оценить с помощью АСМ не только качественно, но и количественно. При сравнении с контрольными показателями часть бактериальных клеток изменила свои линейные размеры в сторону снижения длины в 1,2–1,7 раза, увеличения ширины в 1,8–2,0 раза, некоторые клетки при-



няли сферическую форму. Другой показатель поверхности клеточной стенки – шероховатость ( $R_q$ ) возрос до  $11,37 \pm 3,54$  нм, что в 4–5 раз превышает контрольные значения [3]. Аналогичные результаты были получены с помощью АСМ и другими исследователями [4, 5]. Например, при изучении влияния ванкомицина и оритаванцина на *Helicobacter pylori* отмечено резкое снижение линейных размеров клеток и увеличение шероховатости их поверхности [4].

При использовании полуконтактного метода, а также методов рассогласования и отображения фазы в реальном времени была изучена морфология клеточной стенки бактерий, обработанных катионным антимикробным пептидом (КАМП) или пептидом CM15 [2, 6]. Установлено, что в клетке происходит формирование пор диаметром от 2 до 4 нм, а также увеличивается средняя квадратичная шероховатость их поверхности. При этом действие препаратов на грамположительные бактерии проявлялось в меньшей степени, чем на грамотрицательные [2, 6].

С помощью полуконтактного метода и метода постоянной высоты АСМ рядом исследователей выявлена зависимость степени разрушения клеток *E. coli* от концентрации и времени воздействия антибиотика на патогенные микроорганизмы [7, 8]. Ранее нами с помощью бесконтактного режима АСМ (в жидкости) показано, что при воздействии неомицина В сульфата и гентамицина на штаммы *E. coli*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* наблюдалось снижение высоты (толщины) бактерий на 50% через 33 мин экспозиции [8]. Кроме того, для каждого вида бактерий минимальная концентрация антибактериального препарата, оказывающего влияние на клетку, была различной. Были установлены минимальные концентрации антибиотика, влияющие на микробную клетку для каждого вида бактерий [8].

Под воздействием антибиотиков происходили изменения не только толщины бактерий, но и индекса I (соотношение ширины бактерий к их высоте), которые указывают на запуск защитных механизмов бактериальной клеткой, а также увеличение шероховатости поверхности клетки и силы адгезии. При этом изменение последних показателей зависело от степени воздействия антибактериальных препаратов. Максимальное воздействие оказывал антибактериальный препарат в концентрациях от 20 до 40 мкг/мл.

Под воздействием муцина в различных физиологических условиях – на воздухе, в воде и среде культивирования наблюдаются изменения линейных размеров *E. coli* и *Proteus mirabilis* R45

[9], например, длины, ширины и высоты. Более того, с применением методов постоянной высоты АСМ и туннельной микроскопии была установлена динамика изменений длины, ширины и высоты в зависимости от физиологических условий – на воздухе, в воде и среде культивирования.

Метод модуляции силы также был успешно использован для изучения адгезионного взаимодействия химиотерапевтических веществ с поверхностью различных материалов, а также для изучения лекарственного и других воздействий факторов внешней среды на микроорганизмы [10, 11] – антибактериальных препаратов и интерферонов.

В настоящее время накоплен достаточно большой опыт использования атомно-силовой микроскопии для оценки воздействия на бактериальную клетку неорганических и органических веществ, биологически активных соединений, а также вирусных частиц (на примере бактериофагов).

С использованием метода рассогласования АСМ [12] было изучено взаимодействия холерных бактериофагов со штаммами *V. cholerae*. Установлено, что через 30 мин инкубации диагностических бактериофагов с вибрионами происходят заметные изменения клеточной стенки с максимальной адсорбцией фаговых частиц на поверхности клеток и началом выхода фагов наружу. Через 60 мин наблюдается разрушение клеток бактерий [12].

Изменение pH среды обитания микроорганизмов может вызывать различные реакции. Так, бактерии *Shigella sonnei* ATCC25931, находящиеся в кислой среде (pH 3,5) в течение 60 мин, формируют защитный слой [13].

На адгезию клеток к поверхностям оказывают влияние условия роста микроорганизма. С помощью методов АСМ различными авторами показано, что при кислых значениях pH среды микроорганизмы более активно прикрепляются к поверхности субстрата [13, 14].

При определении адгезии клеток *Azospirillum brasilense* к подложке в условиях роста в течение 2 ч при температуре 30 °C и в течение 24 ч при 40 °C методом модуляции силы,  $F_{adh}$  составила  $0,8 \pm 0,2$  и  $0,2 \pm 0,02$  нН соответственно [15].

При воздействии веществ, оказывающих влияние на адгезию грамположительных и грамотрицательных (*E. coli*, *S. aureus*) бактерий, например клюквенного сока, выявлено существенное снижение показателя силы адгезии для *E. coli*, но не для *S. aureus* [16].

В последние годы пристальное внимание уделяется вопросам взаимодействия углеродных



наноматериалов с биологическими объектами [17], в частности с микроорганизмами.

Рядом авторов на модели грамположительных и грамотрицательных бактерий показано влияние различных веществ (хитозана, наночастиц ZnO, фуллеренов C60) на клеточную поверхность, вызывающих ее изменения [18–21]. Установлено, что при воздействии хитозана с молекулярной массой 628 кДа происходит снижение линейных размеров модельных микроорганизмов в 1,8–2,3 раза [19]. При исследовании влияния фуллеренов на микробную клетку отмечено увеличение проводимости клеточной стенки до 32,3% в зависимости от концентрации частиц [21].

Особый интерес представляют данные, полученные при изучении процесса прорастания спор в благоприятных условиях (при наличии воды и питательных веществ). Размер спор был определен ранее –  $1,2-1,27 \times 0,74-0,8$  мкм [15, 22]. Авторы в своей работе показали, что в процессе герминации спор их размер увеличивается с 0,8–0,9 мкм до 3,4–3,8 мкм за 3 ч [22, 23]. Кроме того, меняется архитектура поверхности клетки: изменяются борозды на поверхности спор в процессе их прорастания [22, 24].

На модели *E.coli*, *Bacillus subtilis* с помощью атомно-силовой микроскопии показано воздействие 2,5% глутаральдегида, 10% формалина, 4% параформальдегида, а также смеси метанол/ацетон в соотношении 1:1 и этанол/уксусная кислота в соотношении 3:1. Установлено, что из всех вариантов химического воздействия на микробную клетку только 2,5% глутаральдегид полностью сохраняет ультраструктуру микробной клетки и может быть использован в качестве фиксатора [25, 26]. Эффективность использования глутарового альдегида для фиксации была также показана рядом исследователей.

Проведенные нами исследования показали, что под влиянием биогенного амина серотонина на клетки *F.tularensis* 15НИИЭГ в них наблюдается увеличение толщины слоя капсулоподобного вещества в 5,8 раза по сравнению с контролем: 196,5 и 33,4 нм соответственно [27].

Такие изменения в клетке туляремийного микроба могут быть связаны с одним из механизмов повышения устойчивости возбудителей инфекционных болезней к стрессовым факторам, что связано с продукцией на поверхности клеток дополнительного экзополисахаридного слоя (ЭПС) [28].

Методами контактной АСМ изучены упругие свойства бактерий, входящих в состав био-

пленки в условиях неблагоприятного действия NaCl на *E.coli*, *B.subtilis*, *Micrococcus luteus*, *Pseudomonas putida*. Установлено, что сила жесткости варьировала в диапазоне от  $0,16 \pm 0,1$  Н/м до  $0,41 \pm 0,1$  Н/м [29].

Ранее нами было показано, что максимальное увеличение индекса I, отражающего защиту бактериальной клетки от воздействия неблагоприятного фактора, в 1,75 раза наблюдается под воздействием 3М гипертонического раствора хлорида натрия в течение 120 мин [30]. Такая же зависимость наблюдалась для показателей шероховатости и силы адгезии: увеличение по сравнению с нормой в 1,8 и 1,5 раза соответственно.

Таким образом, представленные выше сведения отечественных и зарубежных исследователей, а также данные, полученные нами ранее, показывают, что под воздействием биотических и абиотических факторов происходят изменения ряда параметров ультраструктуры поверхности бактериальных клеток: шероховатости, индекса I, силы адгезии, силы жесткости, а также морфометрических показателей: толщины, высоты, длины. Качественная и количественная оценка данных показателей может быть успешно выполнена с использованием разнообразных методов АСМ.

Благодаря своим возможностям данный тип микроскопической техники может быть использован для комплексной оценки состояния бактериальных клеток в различных условиях существования и при разнообразных воздействиях, в том числе антибактериальных и антисептических препаратов, при тестировании новых химических соединений в качестве дезинфицирующих средств, изучении специфического лизиса бактерий бактериофагами, осмотическом стрессе и других воздействиях.

## Список литературы

1. Rhen M., Eriksson S., Pettersson S. Microbial manipulation of innate immunity responses // Curr. Opin. in Microbiol. 2000. Vol. 3. P. 60–64.
2. Васильченко А. С. Исследование морфо-функциональной реакции бактерий на различные воздействия с использованием атомно-силовой микроскопии : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 2012. 22 с.
3. Nikiyan H., Vasilchenko A., Deryabin D. AFM investigations of various disturbing factors on bacterial cells // Formatex. 2010. P. 523–529.
4. Domenech O., Francius G., Tulkens P. M., Bambecke F. V., Durfene Y., Mingeot-Leclercq M.-P. Interactions of oritavancin, a new lipoglycopeptide derived from vancomycin, with phospholipid bilayers : effect on membrane permeability and nanoscale lipid membrane organization // Biochim. et Biophys. Acta. 2009. Vol. 1788. P. 1832–1840.



5. Couture-Tosi E., Ranck J.-L., Haustant G., Pehau-Arnau-det G., Sachse M. Cemovis on a pathogen : analysis of *Bacillus anthracis* spore // Biol. Cell. 2010. Vol. 102. P. 609–619.
6. Ouberai M., Garch F. E., Bussiere A., Riou M., Alstrens D., Lins L., Baussanne I., Dufrene Y. F., Brasseur R., Decout J.-L., Mingeot-Leclercq M.-P. The *Pseudomonas aeruginosa* membranes: a target for a new amphiphilic aminoglycoside derivative? // Biochim. et Biophys. Acta. 2011. Vol. 1808. P. 1716–1727.
7. Braga P. C., Ricci D. Atomic force microscopy : application to investigation of *Escherichia coli* morphology before and after exposure to cefodizime // Antimicrob. Agents and Chemother. 1998. Vol. 42, № 1. P. 18–22.
8. Ерохин П. С., Уткин Д. В., Кузнецов О. С., Коннов Н. П., Осина Н. А. Применение атомно-силовой микроскопии для определения воздействия антибактериальных препаратов на микробную клетку (на примере *E.coli* и цефалоспоринов I поколения) // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика. 2013. Т. 13, вып. 2. С. 28–33.
9. Hammer M. U., Brauser A., Olak C., Bresesinski G., Goldmann T., Gustmann T., Andra J. Lipopolysaccharide interaction is decisive for the activity on the antimicrobial peptide NK-2 against *Escherichia coli* and *Proteus mirabilis* // Biochem. J. 2010. Vol. 427. P. 477–488.
10. Narayan G. P., Kartik V., Manoj P., Singh P. S., Alka G. Antibacterial activities of ethanolic extracts of plants used in folk medicine // IJRAP. 2010. Vol. 1, № 2. P. 529–535.
11. Schwarzenbach M. S., Reimann P., Thommen V., Hergen M., Mumenthaler M., Guntherodt H.-J. Interferon  $\alpha$ -2a interactions on glass vial surfaces measured by atomic force microscopy // J. of Pharm. Sci. and Technol. 2002. Vol. 56, № 2. P. 78–89.
12. Уткин Д. В., Ерохин П. С., Осина Н. А., Коннов Н. П. Оценка фаголизательности штаммов холерных вибрионов с использованием атомно-силовой микроскопии // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2013. Т. 13, вып. 3. С. 81–84.
13. Ellafi A., Harbi B., Lagha R., Bakhrouf A. The combined effects of starvation and pH on the virulence of *Shigella sonnei* ATCC25931 // Afr. J. of Biotechnol. 2013. Vol. 12, iss. 16. P. 2034–2040.
14. Teixeira P., Lima J., Azeredo J., Oliveira R. Adhesion of *Listeria monocytogenes* to materials commonly found in domestic kitchens // Intern. J. of Food Sci. and Technol. 2008. Vol. 43. P. 1239–1244.
15. Gaboriaud F., Dufrene Y. F. Atomic force microscopy of microbial cells: application to nanomechanical properties, surface forces and molecular recognition forces // Coll. and Surf. B : Bioint. 2006. Vol. 54. P. 1–10.
16. Abu-Lail L., Tao Y., Pinzon-Arango P. A., Howell A., Camesano T. A. Using atomic force microscopy to measure anti-adhesion effects on uropathogenic bacteria, observed in urine after cranberry juice consumption // J. of Biomat. and Nanobiotech. 2012. Vol. 3. P. 533–540.
17. Нукиян А. Н., Татлыбаева Е. Б. Успехи и перспективы развития атомно-силовой микроскопии в микробиологии // Вестн. ОГУ. 2014. № 6, вып. 167. С. 112–119.
18. Wang C., Liu L.-L., Zhang A.-T., Xie P., Lu J.-J., Zou X.-T. Antibacterial effects of zinc oxide nanoparticles on *Escherichia coli* K88 // Afr. J. of Biotechnol. 2012. Vol. 11, № 44. P. 10248–10254.
19. Fernandes J. C., Eaton P., Gomes A. M., Pintado M. E., Malcata F. X. Study of the antibacterial effects of chitosans on *Bacillus cereus* (and it's spores) by atomic force microscopy imaging and nanoindentation // Ultramicrosc. 2009. Vol. 109. P. 854–860.
20. Дерябин Д. Г., Васильченко А. С., Алешина Е. С., Глязлова А. С., Нукиян А. Н. Исследование взаимодействия углеродных наноматериалов с клетками *Escherichia coli* методом атомно-силовой микроскопии // Рос. нанотех. 2010. Т. 5, № 11–12. С. 136–141.
21. Fang J., Lyon D. Y., Wiesner M. R., Dong J. P., Alvarez P. J. J. Effect of a fullerene water suspension on bacterial phospholipids and membrane behavior // Environ. Sci. Technol. 2007. Vol. 41. P. 2636–2642.
22. Chada V. G. R., Sanstad E. A., Wang R., Driks A. Morphogenesis of *Bacillus* spore surfaces // J. of Bacteriol. 2003. Vol. 185, № 21. P. 6255–6261.
23. Ильина Т. С., Романова Ю. М., Гинцбург А. Л. Биопленки как способ существования бактерий в окружающей среде и организме хозяина : феномен, генетический контроль и системы регуляции их развития // Генетика. 2004. № 40. С. 1–12.
24. Zaman M. S., Goyal A., Dubey G. P., Gupta P. K., Chandra H., Das T., Ganguli M., Singh Y. Imaging and analysis of *Bacillus anthracis* spore germination // Microsc. Res. Tech. 2005. Vol. 66, № 6. P. 307–311.
25. Chao Y., Zhang T. Optimization of fixation methods for observation of bacterial cell morphology and surface ultrastructures by atomic force microscopy // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2011. Vol. 92. P. 381–392.
26. Кухтевич И. В., Жуков М. В., Чубинский-Надеждин В. И. Фиксация бактерий *E. coli* на подложке для измерений в жидкости методом атомно-силовой микроскопии // Науч. приборостроение. 2012. Т. 22, № 4. С. 56–61.
27. Ключева С. Н., Шуковская Т. Н., Ерохин П. С., Уткин Д. В. Оценка влияния биогенного амина серотонина на морфологию туляремийного микроба методом атомно-силовой микроскопии // Материалы XVIII Российского симпозиума по растровой электронной микроскопии и аналитическим методам исследования твердых тел. МО, Черноголовка, 2013. С. 470–471.
28. Wai S. N., Mizunoe Y. A., Kawabata T. S., Yoshida S. *Vibrio cholerae* O1 strain TSI-4 produces the exopolysaccharide materials that determine colony morphology, stress resistance, and biofilm formation // Appl. Environ. Microbiol. 1998. Vol. 64. P. 3648–3655.
29. Volle C. B., Ferguson M. A., Aidala K. E., Spain E. M., Nunes M. E. Spring constants and adhesive properties of native bacterial biofilm cells measured by atomic force microscopy // Coll. and Surf. B : Bioint. 2008. Vol. 67, iss. 1. P. 32–40.
30. Ерохин П. С., Заднова С. П., Крепостнова И. М., Коннов Н. П., Уткин Д. В., Кузнецов О. С. Изучение динамических характеристик поверхностной структуры типичных штаммов *Vibrio cholerae* биовара Эльтор и их геновариантов методом атомно-силовой микроскопии // Материалы Рос. конф. по электрон. микроскопии – XXV. МО, Черноголовка, 2014. Т. 2. С. 580–581.



УДК 598.115

## ФЛУКТУИРУЮЩАЯ АСИММЕТРИЯ ФОЛИДОЗА ОБЫКНОВЕННОГО УЖА *Natrix natrix* (LINNAEUS, 1758) В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН



Л. А. Идрисова, И. З. Хайрутдинов

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Институт фундаментальной медицины и биологии  
E-mail: liya.idrisova@yandex.ru

В статье рассматривается флуктуирующая асимметрия фолидоза обыкновенного ужа в четырех районах Республики Татарстан. Проведен статистический анализ асимметричных признаков, вычислены интегральные оценки величины флуктуирующей асимметрии. Асимметрия фолидоза отмечена у 32% всех особей. Чаще всего наблюдается асимметрия височных, заглазничных и нижнегубных щитков – признаков, характеризующихся наибольшим разнообразием. Статистически значимых половых, возрастных различий и различий между выборками из разных районов в значениях показателей флуктуирующей асимметрии (ФА) не выявлено.

**Ключевые слова:** обыкновенный уж, флуктуирующая асимметрия, фолидоз, *Natrix natrix*.

### Fluctuating Asymmetry of Pholidosis in Grass Snake (*Natrix natrix*, L., 1758) from Western Part of the Tatarstan Republic

L. A. Idrisova, I. Z. Khairutdinov

Fluctuating asymmetry of pholidosis in grass snakes found on four areas of the Republic of Tatarstan is considered in this article. We carried out the statistical analysis of asymmetrical traits and counted the integral characteristics of fluctuating asymmetry. Asymmetry of pholidosis was observed in 32% of individuals. Asymmetry in features which are characterized by highest diversity (temporal, postorbital and sublabial scutes) is more common. There are no statistically significant sex, age or population differences in the values of fluctuating asymmetry.

**Key words:** grass snake, fluctuating asymmetry, pholidosis, *Natrix natrix*.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-190-197

Различают несколько типов асимметрии: направленная, флуктуирующая, антисимметрия, диссимметрия, дисантисимметрия и др. Флуктуирующая асимметрия (ФА) – незначительные случайные отклонения от билатеральной симметрии, следствие несовершенства онтогенетических процессов [1]. Одним из примеров проявления флуктуирующей асимметрии у рептилий является асимметрия фолидоза (разное количество щитков с правой и с левой сторон тела).

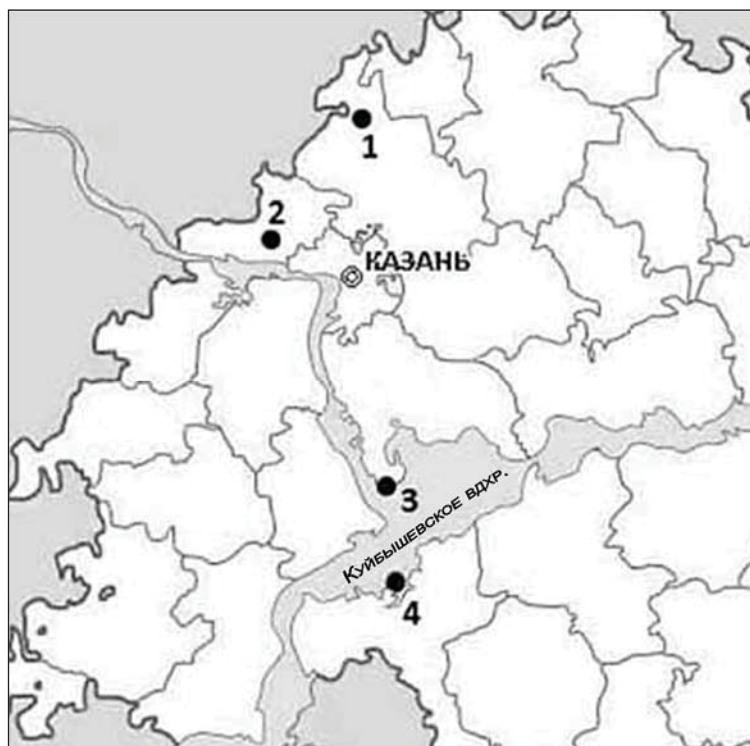
Флуктуирующая асимметрия часто рассматривается как мера оценки стабильности развития организма, которая характеризует оптимальные

для организма условия [2–4]. Показатели ФА предлагают использовать при оценке состояния популяций животных наряду с традиционными методами мониторинга [5–8]. Считается, что уровень ФА минимален при оптимальных условиях и повышается при стрессовых воздействиях; это подтверждается многочисленными исследованиями [1, 9–11]. Однако нередко при анализе ФА получаются противоречивые результаты. К примеру, в популяциях, подверженных антропогенному воздействию, где, казалось бы, должна отмечаться низкая стабильность развития, уровень флуктуирующей асимметрии оказывается ниже, чем в «чистых» популяциях [5, 12]. Неоднократно ставился вопрос о правомочности использования флуктуирующей асимметрии как показателя здоровья среды. Необходимо отметить, что большое значение имеет выбор методов анализа. На данный момент существует большое количество разнообразных подходов к статистическому анализу флуктуирующей асимметрии [5].

Исследование флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков у обыкновенного ужа в Республике Татарстан (РТ) ранее не проводилось. Кроме того, нами было отмечено, что одна из исследуемых выборок обыкновенного ужа (Спасский район Татарстана) по некоторым морфологическим характеристикам отличается от других [13]. В связи с этим особый интерес представляет сравнительный анализ величины флуктуирующей асимметрии фолидоза особей из разных районов республики.

### Материал и методы

Материалом для исследования послужили особи обыкновенного ужа, отловленные в период с 2009 по 2015 г. в западной части Республики Татарстан: окрестности села Алан-Бексер (далее – Бексер) (Высокогорский район), Раифский участок Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (далее – Раифа) (Зеленодольский район), Саралинский участок ВКГПБЗ (далее – Саралы) (Лаишевский район) и Государственный природный комплексный заказник «Спасский» (далее – Спасск) (Спасский район) (рисунки).



Точки сбора материала: 1 – окрестности с. Алан-Бексер, 2 – Раифский участок ВКГПБЗ, 3 – Саралинский участок ВКГПБЗ, 4 – ГПКЗ «Спасский»

Всего было отловлено и исследовано 599 особей обыкновенного ужа (300 самцов, 167 самок и 132 молодые особи). Деление рептилий на возрастные группы «половозрелых» и «молодых» проводилось с учетом размеров согласно литературным данным. У обыкновенного ужа половозрелыми считаются особи с длиной тела 410 мм и более [14].

Для исследования флуктуирующей асимметрии использовали 6 билатеральных признаков фоллидоза: *Lab. (labrum)* – число верхнегубных щитков с одной стороны головы; *Sublab. (sublabrum)* – число нижнегубных щитков с одной стороны головы; *Preoc. (preocularia)* – число предглазничных щитков с одной стороны головы; *Postoc. (postocularia)* – число заглазничных щитков с одной стороны головы; *Temp.<sub>I</sub> (temporalis)* – число височных щитков в первом ряду с одной стороны головы; *Temp.<sub>II</sub> (temporalis)* – число височных щитков во втором ряду с одной стороны головы.

Выделяют несколько категорий признаков [15]: качественные или альтернативные (наличие/отсутствие асимметрии признака), дискретные или меристические (например, количество щитков, пятен и др.) и пластические, или метрические (например, длина головы, длина и ширина щитков и др.). Для признаков разных категорий

рекомендуется использовать соответствующие показатели и индексы ФА [5]. В данной работе рассматриваются дискретные признаки. Для них можно использовать показатель ЧАПП – частота асимметричного проявления на признак [7]. Также можно использовать ЧАПО – частоту асимметричного проявления на особь [16].

Чтобы убедиться во флуктуирующем характере исследуемых признаков и возможности включения этих признаков в систему интегральной оценки ФА, был проведен статистический анализ: изучение направленности асимметрии признака, тест на идеальную ФА, изучение степени скоррелированности величины асимметрии разных признаков [5, 17–19]. Для характеристики величины асимметрии использовали показатели ЧАПП – отношение количества асимметричных признаков к общему количеству исследуемых признаков и ЧАПО – отношение числа особей с асимметрией к общему числу особей в выборке. Для проверки наличия различий между выборками из разных районов использовали *H*-тест Краскела–Уоллиса. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05. Статистическая обработка материала проводилась с использованием программ Microsoft Excel и STATISTICA 6.0.



### Результаты и их обсуждение

Особь обыкновенного ужа, имеющие разное количество щитков с левой и правой сторон, составили 36% выборки. Отмечены различия в количестве верхнегубных, нижнегубных, предглазничных, заглазничных щитков, височных щитков первого и второго ряда.

Количество верхнегубных щитков в исследованных нами выборках обыкновенного ужа обычно равно 7, встречаются особи с 6 и 8 верхнегубными щитками. Разное число верхнегубных щитков наблюдалось у 3% особей.

Число нижнегубных щитков у большинства ужей равно 9. Часто встречаются особи с 10 нижнегубными щитками, значительно реже – с 8. Разное количество нижнегубных щитков отмечалось у 9% особей.

Число предглазничных щитков у большинства особей одинаково и равно 1. Крайне редко отмечается 2 предглазничных щитка. Разное число предглазничных щитков наблюдалось лишь у двух ужей (0,4% особей).

Количество заглазничных щитков чаще составляет 3, встречаются особи с 2 и 4 заглазничными щитками. Различное количество заглазничных щитков наблюдается довольно часто – у 10% особей.

Височные щитки обыкновенного ужа располагаются в два ряда. Количество щитков в первом ряду одинаково у большинства особей – 1. Очень редко отмечается 2 височных щитка в первом ряду. Разное число височных щитков первого ряда встречается у 0,4% особей.

Большее разнообразие наблюдается в количестве височных щитков второго ряда. Обычно их бывает 2, иногда встречаются особи с 1 и 3 щитками. Разное количество височных щитков второго ряда наблюдается довольно часто – у 21% особей.

Таким образом, у обыкновенного ужа чаще наблюдается разное количество височных щитков слева и справа. Также довольно часто встречаются особи с разным числом заглазничных и нижнегубных щитков.

#### Статистический анализ отдельных признаков

Разное количество предглазничных щитков и височных щитков первого ряда встречается очень редко (у 0,4% особей), вследствие чего статистический анализ данных признаков затруднен. Поэтому для анализа асимметрии использовали четыре признака: количество верхнегубных, нижнегубных, заглазничных щитков и височных щитков второго ряда. Также следует отметить, что различия в количестве верхнегубных щитков не были отмечены у молодых особей, и анализ

этого признака в данной выборке не проводился. Выборки молодых особей ужа из Раифы и Спаска оказались слишком малы для проведения анализа ( $n < 10$ ), поэтому в работе используются только выборки молодых особей из Саралов и Бексера.

Для выбора статистических методов провели анализ распределения значений величины асимметрии ( $L-R$ ). Характер распределения во всех выборках отличается от нормального (табл. 1), поэтому в дальнейшем анализе использовались непараметрические критерии.

Таблица 1

#### Проверка нормальности распределения значений асимметрии по критерию Шапиро–Уилка ( $W$ )

Выборка	Признак	$W$	$p$
Самцы ( $n = 300$ )	Lab.	0,038	<0,0001
	Sublab.	0,047	<0,0001
	Postoc.	0,052	<0,0001
	Temp. II	0,061	<0,0001
Самки ( $n = 167$ )	Lab.	0,064	<0,0001
	Sublab.	0,071	<0,0001
	Postoc.	0,073	<0,0001
	Temp. II	0,076	<0,0001
Молодые особи ( $n = 132$ )	Sublab.	0,061	<0,0001
	Postoc.	0,064	<0,0001
	Temp. II	0,075	<0,0001

Первым этапом анализа является верификация флуктуирующего характера асимметрии признаков фолидоза: анализ направленности асимметрии и проверка на идеальную ФА.

Анализ направленности асимметрии признаков фолидоза обыкновенного ужа показал, что статистически значимых различий между величинами признака на левой и правой сторонах тела не наблюдается (табл. 2), таким образом, имеют место незначительные отклонения от билатеральной симметрии.

Тест на идеальную ФА (позволяет отличить ФА от антисимметрии) – проверка отсутствия отрицательного эксцесса распределения различий между сторонами ( $L-R$ ). Для всех исследуемых признаков значения эксцесса положительны (табл. 3), что позволяет исключить возможность проявления антисимметрии по выбранным признакам и считать, что наблюдаемая асимметрия носит флуктуирующий характер.

Вторым этапом обычно является проверка зависимости абсолютного значения асимметрии признака  $|L-R|$  от среднего размера признака  $(L+R)/2$ . В случаях, когда наблюдается размер-зависимость, при расчете интегральных





Таблица 2

## Анализ направленности асимметрии признаков фоллидоза обыкновенного ужа (по критерию Уилкоксона)

Выборка		n	Lab.		Sublab.		Postoc.		Temp. II	
			W	p	W	p	W	p	W	p
Бексер	самцы	30	0,0	1,00	2,5	0,36	6,0	0,69	8,0	0,31
	самки	52	2,5	0,36	20,0	0,77	2,0	0,59	8,0	0,30
	молодые	60	–	–	0,0	0,11	3,0	0,22	49,0	0,83
Раифа	самцы	24	0,0	1,00	3,0	0,23	0,0	1,00	10,5	1,00
	самки	17	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00
Саралы	самцы	43	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0	0,14	0,0	0,07
	самки	53	0,0	1,00	0,0	1,00	3,5	0,14	15,0	0,37
	молодые	72	–	–	0,0	1,00	0,0	1,00	0,0	1,00
Спасск	самцы	203	7,0	0,46	50,0	0,07	156,0	0,86	446,5	0,21
	самки	45	0,0	1,00	2,5	0,18	0,0	1,00	8,0	0,31
Все	самцы	300	18,0	1,00	155,0	0,11	296,0	0,56	896,0	0,34
	самки	167	9,0	0,21	45,0	0,39	21,0	0,09	94,5	0,04
	молодые	132	–	–	0,0	0,07	12,0	0,74	99,0	0,37

Таблица 3

## Значения эксцесса распределения различий между сторонами (L-R) признаков фоллидоза обыкновенного ужа

Выборка		n	Lab.	Sublab.	Postoc.	Temp. II
Бексер	самцы	30	28,0	27,9	27,9	27,9
	самки	52	37,9	37,9	37,9	37,9
	молодые	60	–	53,9	54,9	54,8
Раифа	самцы	24	24,0	2,0	24,0	1,5
	самки	17	6,5	14,0	14,0	3,7
Саралы	самцы	43	30,0	14,5	3,3	6,3
	самки	53	40,0	0,0	3,6	1,7
	молодые	72	–	62,0	62,0	28,3
Спасск	самцы	203	29,0	6,8	14,5	1,6
	самки	45	39,0	9,4	16,7	2,8
Все	самцы	300	32,1	6,1	13,2	1,8
	самки	167	14,6	10,0	21,5	2,2
	молодые	132	–	30,9	17,6	0,4

показателей рекомендуется применять нормирование асимметрии на размер признака  $|L-R|/(L+R)$ . Однако, поскольку в данной работе используется показатели ЧАПП и ЧАПО, учитывающие только сам факт проявления асимметрии признака и не зависящие от ее величины, проверка размер-зависимости не проводится.

Следующий этап – проверка возможности включения разных признаков в одну систему интегральной оценки ФА. Анализ ФА рекомендуется проводить по ряду признаков, чем больше признаков используется, тем более объективной получается оценка [4, 19].

Значения признаков с левой и правой сторон тела обыкновенного ужа в большинстве случаев коррелируют между собой (табл. 4), что возможно при анализе ФА в природных популяциях [1].

Анализ корреляции разных признаков не выявил статистически значимой корреляции ни в выборках половозрелых, ни в выборке молодых особей ужа (табл. 5). Это говорит о том, что все исследуемые признаки можно использовать в одной системе интегральной оценки ФА.

Статистический анализ исследуемых признаков фоллидоза обыкновенного ужа показал возможность их использования для интегральной оценки величины ФА.



Таблица 4

**Корреляционный анализ значений признаков фоллидоза справа и слева у обыкновенного ужа (по ранговому коэффициенту корреляции Спирмена)**

Выборка		n	Lab.		Sublab.		Postoc.		Temp-II	
			$R_s$	$p$	$R_s$	$p$	$R_s$	$p$	$R_s$	$P$
Бексер	самцы	30	–	–	0,67	<b>0,0001</b>	0,47	<b>0,01</b>	0,50	<b>0,007</b>
	самки	52	0,47	<b>0,003</b>	0,40	<b>0,01</b>	0,75	<b>0,0001</b>	0,41	<b>0,01</b>
	молодые	60	–	–	0,63	<b>0,0001</b>	0,02	0,0885	0,30	<b>0,03</b>
Раифа	самцы	24	–	–	0,59	<b>0,002</b>	0,88	<b>0,0001</b>	0,17	0,4217
	самки	17	–	–	0,86	<b>0,0001</b>	0,67	<b>0,02</b>	0,86	<b>0,0003</b>
Саралы	самцы	43	–	–	0,85	<b>0,0001</b>	0,34	0,0513	0,64	<b>0,0001</b>
	самки	53	0,72	<b>0,0001</b>	0,59	<b>0,0001</b>	0,59	<b>0,0001</b>	0,46	<b>0,004</b>
	молодые	72	–	–	0,98	<b>0,0001</b>	0,90	<b>0,0001</b>	0,87	<b>0,0001</b>
Спасск	самцы	203	0,50	<b>0,0001</b>	0,85	<b>0,0001</b>	0,44	<b>0,0001</b>	0,49	<b>0,0001</b>
	самки	45	0,72	<b>0,0001</b>	0,85	<b>0,0001</b>	0,71	<b>0,0001</b>	0,61	<b>0,0001</b>
Все	самцы	300	0,33	<b>0,0001</b>	0,81	<b>0,0001</b>	0,46	<b>0,0001</b>	0,46	<b>0,0001</b>
	самки	167	0,42	<b>0,0001</b>	0,83	<b>0,0001</b>	0,61	<b>0,0001</b>	0,47	<b>0,0001</b>
	молодые	132	–	–	0,94	<b>0,0001</b>	0,61	<b>0,0001</b>	0,53	0,0001

Примечание. Жирным курсивом в таблице выделены статистически значимые значения  $R_s$  (при  $p < 0,05$ ).

Таблица 5

**Анализ корреляции величины асимметрии признаков фоллидоза  $|L-R|$  обыкновенного ужа**

Выборка	Признак	Ранговый коэффициент корреляции Спирмена	
		$R_s$	$p$
Самцы (n = 300)	Lab. & Sublab.	0,07	0,193
	Lab. & Postoc.	–0,07	0,260
	Lab. & Temp-II	0,01	0,907
	Sublab. & Postoc.	–0,04	0,559
	Sublab. & Temp-II	–0,03	0,655
	Postoc. & Temp-II	0,06	0,302
Самки (n = 167)	Lab. & Sublab.	0,11	0,186
	Lab. & Postoc.	0,11	0,192
	Lab. & Temp-II	0,04	0,633
	Sublab. & Postoc.	–0,05	0,582
	Sublab. & Temp-II	0,07	0,408
	Postoc. & Temp-II	0,13	0,114
Молодые особи (n = 132)	Sublab. & Postoc.	–0,04	0,644
	Sublab. & Temp-II	0,16	0,059
	Postoc. & Temp-II	0,01	0,909

**Интегральные показатели ФА***Возрастные и половые различия*

Проявление асимметрии той или иной структуры у рептилий обуславливается комплексом факторов, как эндогенных, так и экзогенных. Поэтому поколения, появившиеся в разные годы (при разных условиях), могут отличаться по величине асимметрии признаков [20]. Половые различия по ФА обычно отсутствуют, лишь немногие ис-

следователи указывают на наличие половых различий в асимметрии некоторых признаков [17, 21, 22]. Чтобы выяснить, зависят ли ЧАПП и ЧАПО исследуемых нами выборок обыкновенного ужа от пола и возраста или же асимметрия одинаково проявляется во всех группах, сравнили отдельно половозрелых и молодых особей, самок и самцов в выборках из разных районов. Это нужно и для того, чтобы определить, можно ли при сравнении



выборки из разных районов использовать смешанные выборки самцов и самок.

Статистически значимых половых различий в величине *ЧАПП* не обнаружено (табл. 6). Не-

смотря на то что молодые особи имеют меньшие значения *ЧАПП*, чем половозрелые, значимых возрастных различий также не выявлено (см. табл. 6).

Таблица 6

**Величина *ЧАПП* в выборках обыкновенного ужа и сравнение выборок по критерию Манна–Уитни**

Выборка		Самцы ( <i>m</i> )	Самки ( <i>f</i> )	Половозрелые особи ( <i>ad=m+f</i> )	Молодые особи ( <i>juv</i> )
Бексер	<i>ЧАПП</i>	0,14	0,16	0,15	0,10
	<i>U</i>	0,21		0,98	
	<i>p</i>	0,837		0,921	
Раифа	<i>ЧАПП</i>	0,13	0,11	0,12	–
	<i>U</i>	0,34		–	
	<i>p</i>	0,733		–	
Саралы	<i>ЧАПП</i>	0,08	0,09	0,08	0,02
	<i>U</i>	0,21		1,09	
	<i>p</i>	0,827		0,923	
Спасск	<i>ЧАПП</i>	0,13	0,10	0,12	–
	<i>U</i>	0,04		–	
	<i>p</i>	0,335		–	

Примечание. Объемы выборок: Бексер:  $m=30, f=52, juv=60$ ; Раифа:  $m=24, f=17$ ; Саралы:  $m=43, f=53, juv=72$ ; Спасск:  $m=203, f=45$ .

Для половозрелых особей характерны большие величины показателя *ЧАПО*, чем для молодых. В большинстве выборок значения *ЧАПО* у

самцов выше, чем у самок. Однако статистически значимых половых и возрастных различий по этому показателю не выявлено (табл. 7).

Таблица 7

**Величина *ЧАПО* в выборках обыкновенного ужа и сравнение выборок по критерию Манна–Уитни**

Выборка		Самцы ( <i>m</i> )	Самки ( <i>f</i> )	Половозрелые особи ( <i>ad=m+f</i> )	Молодые особи ( <i>juv</i> )
Бексер	<i>ЧАПО</i>	0,48	0,46	0,47	0,35
	<i>U</i>	66,0		309,5	
	<i>p</i>	0,242		0,677	
Раифа	<i>ЧАПО</i>	0,42	0,29	0,37	–
	<i>U</i>	16,0		–	
	<i>p</i>	0,572		–	
Саралы	<i>ЧАПО</i>	0,31	0,34	0,33	0,09
	<i>U</i>	90,0		154,5	
	<i>p</i>	0,103		0,402	
Спасск	<i>ЧАПО</i>	0,45	0,33	0,43	–
	<i>U</i>	143,0		–	
	<i>p</i>	0,438		–	

Примечание. Условные обозначения см. табл. 6.

*Сравнение выборок из разных районов*

Поскольку статистически значимых половых различий в величинах *ЧАПП* и *ЧАПО* не обнаружено, при анализе отличий между разными районами можно использовать смешанные выборки самцов и самок.

Показатель *ЧАПП* в выборках обыкновенного ужа из разных районов отличается незначительно (табл. 8). Наибольшее значение *ЧАПП* отмечено в выборке из Бексера, наименьшее – в выборке из Саралов, эти различия статистически не подтверждаются ( $H=4,25; df=3$ ;



$p = 0,236$ ). Показатель *ЧАПО* в выборках из Бексера и Спасска заметно выше, чем в остальных выборках. Но статистически значимых различий между выборками не наблюдается ( $H = 3,82$ ;  $df = 3$ ;  $p = 0,282$ ). Чтобы выяснить, какой вклад вносят отдельные признаки в интегральные показатели асимметрии ужей из разных выборок,

проанализировали частоту встречаемости особей, имеющих асимметрию по тому или иному признаку. Как видно из табл. 8, для особей из Бексера и Раифы чаще характерна асимметрия нижнегубных и височных щитков, для особей из Саралов и Спасска – заглазничных и височных.

Таблица 8

Значения *ЧАПП*, *ЧАПО* и встречаемость особей с асимметрией в выборках обыкновенного ужа из разных районов

Выборка	<i>n</i>	<i>ЧАПП</i>	<i>ЧАПО</i>	Встречаемость особей с асимметрией отдельных признаков							
				<i>Lab.</i>		<i>Sublab.</i>		<i>Postoc.</i>		<i>Temp. II</i>	
				<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%	<i>n</i>	%
Бексер	142	0,15	0,47	4	2,8	16	11,3	12	8,5	28	19,7
Раифа	41	0,12	0,37	3	7,3	6	14,6	2	4,9	11	26,8
Саралы	168	0,09	0,33	2	1,2	3	1,8	14	8,3	17	10,1
Спасск	248	0,12	0,43	7	2,8	24	9,7	27	10,9	59	23,8

В целом следует отметить относительно невысокий процент встречаемости особей обыкновенного ужа с асимметрией фоллидоза в западной части РТ – 32% особей. Чаще всего встречаются особи с асимметрией височных, заглазничных и нижнегубных щитков. Данные по выборкам обыкновенного ужа из Нижнего Поволжья, представленные Н. В. Морозенко, также показывают высокую частоту встречаемости особей с асимметрией нижнегубных и височных щитков [23]. М. К. Ждокова с соавторами [24] отмечают высокие показатели асимметрии нижнегубных щитков (но практически полное отсутствие особей с асимметрией заглазничных и височных щитков) в выборке обыкновенного ужа из Калмыкии. Высокая встречаемость особей обыкновенного ужа с асимметрией нижнегубных и височных щитков (но отсутствие особей с асимметрией заглазничных щитков) отмечена в Волгоградской области [25].

Отсутствие статистически значимых различий в значениях показателей *ЧАПП* и *ЧАПО* между выборками обыкновенного ужа из разных районов Татарстана позволяет предположить, что выборки являются однородными.

Авторы признательны доктору биологических наук В. К. Шитикову (ИЭВБ РАН) за ценные замечания и рекомендации по статистической обработке материала.

#### Список литературы

1. Захаров В. М. Асимметрия животных (популяционно-фенотипический подход). М. : Наука, 1987. 216 с.

- Palmer A. Richard Waltzing with Asymmetry // *BioScience*. Vol. 46, № 7. 1996. P. 518–532.
- Жданова Н. П. Анализ фенотипической изменчивости при оптимальных и неоптимальных условиях развития в эксперименте и в природных популяциях на примере прыткой ящерицы (*Lacerta agilis* L.) : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 2003. 16 с.
- Гелашвили Д. Б., Якимов В. Н., Логинов В. В., Епланова Г. В. Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков разноцветной ящурки *Eremias arguta* // Актуальные проблемы герпетологии и токсикологии : сб. науч. тр. Вып. 7. Тольятти, 2004. С. 45–59.
- Зорина А. А. Методы статистического анализа флуктуирующей асимметрии // Принципы экологии : науч. электрон. журн. Октябрь, 2012. Т. 1, № 3(3). С. 24–47. URL: <http://ecopri.ru>
- Clarke G. M. Relationships Between Developmental Stability and Fitness: Application for Conservation Biology // *Conservation Biology*. 1995. Vol. 9, № 1. P. 18–24.
- Захаров В. М., Жданова Н. П., Курик Е. Ф., Шкиль Ф. Н. Онтогенез и популяция: оценка стабильности развития в природных популяциях. М. : Ин-т биологии развития им. Н. К. Кольцова РАН, 2001. 41 с.
- Herczeg G., Szabó K., Korsós Z. Asymmetry and population characteristics in dice snakes (*Natrix tessellata*) : an interpopulation comparison // *Amphibia-Reptilia*. 2005. Vol. 26. P. 422–426.
- Захаров В. М. Влияние температуры инкубации на фенотипическую изменчивость прыткой ящерицы (*Lacerta agilis*) // Пятая Всесоюз. герпетолог. конф. : вопросы герпетологии (автореф. докл.). Л. : Наука, Ленингр. отд-ние, 1981. С. 56–57.
- Borisov V. I., Baranov A. S., Valetsky A. V., Zakharov V. M. Developmental stability of the mink *Mustela vison* under the impact of PBC // *Acta Theriologica*. Suppl. 1997. № 4. P. 17–26.



11. Булахова Н. А. Ящерицы (Reptilia, Squamata, Lacertidae) юго-востока Западной Сибири (география, экология, морфология) : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск, 2004. 13 с.
12. Гилева Э. А., Ялковская Л. Э., Бородин А. В., Зыков С. В., Киняев И. А. Флуктуирующая асимметрия краниометрических признаков у грызунов (*Mammalia* : *Rodentia*) : межвидовые и межпопуляционные сравнения // Журн. общ. биол. 2007. Т. 68, № 3. С. 221–230.
13. Идрисова Л. А., Хайрутдинов И. З. Некоторые данные по морфологии обыкновенного ужа (*Natrix natrix*, L., 1958) в ГПКЗ «Спасский» // Чтения памяти Анатолия Андреевича Попова. Казань : Печать-Сервис-XXI век, 2012. С. 75–78.
14. Бакиев А. Г., Гаранин В. И., Литвинов Н. А., Павлов А. В., Ратников В. Ю. Змеи Волжско-Камского края. Самара : Изд-во Самар. науч. центра РАН, 2004. 192 с.
15. Животовский Л. А. Популяционная биометрия. М. : Наука, 1991. 271 с.
16. Желев Ж. М. Биоиндикационная оценка состояния двух биотопов в Южной Болгарии на основании флуктуирующей асимметрии и фенетического состава популяций озерной лягушки *Rana ridibunda* и краснобрюхой жерлянки *Bombina bombina* в условиях синтопического обитания // Перспективы науки. 2011. № 7 (22). С. 7–18.
17. Гелашили Д. Б., Нижегородцев А. А., Епланова Г. В., Табачишин В. Г. Флуктуирующая асимметрия билатеральных признаков разноцветной ящурки *Eremias arguta* как популяционная характеристика // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2007. Т. 9, № 4. С. 941–949.
18. Поклонцева А. А., Бакиев А. Г., Четанов Н. А. К морфологии узорчатого полоза *Elaphe dione* в Самарской и Ульяновской областях // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2011. Т. 3, № 5. С. 162–171.
19. Четанов Н. А., Епланова Г. В. Статистический анализ флуктуирующей асимметрии билатеральных признаков живородящей ящерицы *Zootoca vivipara* // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2011. Т. 13, № 1. С. 144–152.
20. Захаров В. М., Баранов А. С., Борисов И. С., Валецкий А. В., Кряжева Н. Г., Чистякова Е. К., Чубинишвили А. Т. Здоровье среды : методика оценки. М. : Центр экол. политики России, 2000. 68 с.
21. Кудрявцева К. А., Полюнова Г. В. Использование величины флуктуирующей асимметрии анальных пор для оценки антропогенного воздействия на популяцию пискливого геккончика (*Alsophylax pipiens*) в Богдинско-Баскучакском заповеднике // Вопросы герпетологии : материалы Третьего съезда Герпетоло-о-ва им. А. М. Никольского. СПб., 2008. С. 222–226.
22. Куртяк Ф. Ф., Синявская И. А. Асимметрия билатеральных меристических признаков ужа водяного (*Natrix tessellata* L.) Закарпатской области // Вестн. Запорож. нац. ун-та. 2009. № 1. С. 57–66.
23. Морозенко Н. В. Эколого-морфологическая структура и фенетический анализ популяций обыкновенного ужа (*Natrix natrix*) Нижнего Поволжья : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Саратов, 2003. 18 с.
24. Ждокова М. К., Завьялов Е. В., Табачишин В. Г. Асимметрия в щитковании обыкновенного (*Natrix natrix*) и водяного (*Natrix tessellata*) ужей на территории Калмыкии // Змеи Восточной Европы : материалы междунар. конф. Тольятти, 2003. С. 16–19.
25. Гордеев Д. А., Прилипко Н. И., Прилипко С. К. Оценка встречаемости асимметрии фолидоза головы у обыкновенного (*Natrix natrix* L., 1758) и водяного (*Natrix tessellata* Laurenti, 1768) ужей в антропогенно-модифицированных и естественных ландшафтах Волгоградской области // Аномалии и патологии амфибий и рептилий : методология, эволюционное значение, возможность оценки здоровья среды. Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2014. С. 70–74.

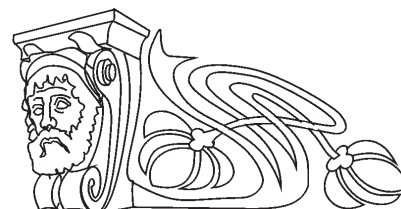
УДК 581.55

## НОВЫЕ ДЛЯ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН АССОЦИАЦИИ КЛАССА *PHRAGMITO–MAGNOCARICETEA* КЛИКА ИΝ ΚΛΙΚΑ ΕΤ ΝΟVÁΚ 1941

Я. М. Голованов<sup>1</sup>, З. Б. Бактыбаева<sup>2</sup>, С. М. Ямалов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ботанический сад-институт Уфимского научного центра РАН  
E-mail: jaro1986@mail.ru

<sup>2</sup>Уфимский научно-исследовательский институт медицины труда и экологии человека  
E-mail: baktybaeva@mail.ru



Система единиц классификации Браун-Бланке прибрежно-водной растительности класса *Phragmito–Magnocaricetea* Республики Башкортостан на сегодняшний день включает 4 порядка, 7 союзов, 29 ассоциаций и 1 безранговую единицу. В ходе изучения прибрежно-водной растительности были выявлены 4 новых ассоциации (*Scolochloetum festucaceae*, *Caricetum distichae*, *Iridetum pseudacori* и *Leersietum oryzoidis*), которые ранее не указывались

для данного региона. Порядок *Nasturtio–Glycerietalia* и союз *Glycerio–Sparganion* также впервые указываются для республики. В основу работы положено 23 геоботанических описаний. Классификация проведена методом Браун-Бланке; для обработки данных использовались база данных TURBOVEG и программа JUICE.

**Ключевые слова:** классификация, прибрежно-водная растительность, класс *Phragmito–Magnocaricetea*.



## New to the Republic of Bashkortostan Associations of Class *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novák 1941

Ya. M. Golovanov, Z. B. Baktybaeva, S. M. Yamalov

The system of units of riverside vegetation by Braun-Blanquet method of the class *Phragmito-Magnocaricetea* of the Bashkortostan Republic includes 4 orders, 7 unions, 29 associations and 1 rankless community today. During studying of riverside vegetation 4 new associations (*Scolochloetum festucaceae*, *Caricetum distichae*, *Iridetum pseudacori* and *Leersietum oryzoidis*) which weren't indicated for this region earlier were revealed. The order of *Nasturtio-Glycerietalia* and the *Glycerio-Sparganion* union are also for the first time indicated for the republic. The basis for work it is 23 relevés. Classification is carried out by method Braun-Blanquet; for data processing the TURBOVEG database and the JUICE program were used.

**Key words:** classification, coastal vegetation, class *Phragmito-Magnocaricetea*.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-197-206

Система единиц эколого-флористической классификации прибрежно-водной растительности класса *Phragmito-Magnocaricetea* Республики Башкортостан на сегодняшний день включает 4 порядка, 7 союзов, 29 ассоциаций и 1 безранговую единицу [1]. В ходе изучения прибрежно-водной растительности были выявлены 4 ассоциации, которые ранее не указывались для данного региона.

Республика Башкортостан находится между 51° 31' и 56° 34' с. ш. и 53° 10' и 59° 59' в. д. и занимает площадь, равную 143,6 тыс. км<sup>2</sup>. Территория республики расположена в пределах Южного Урала и прилегающих к нему с запада и востока равнин. По геологическому строению она подразделяется на платформенную и Уральскую складчатую части. Рельеф сложен и разнообразен как по форме, так и по происхождению; сильно расчленен. Высотные отметки варьируют от 60 до 1640 м над ур. м.

Климат континентальный с резко выраженной разницей среднемесячных температур. Средняя температура июля от +16,5 до +20,0 °С; средняя температура января от -11,6 до -17,0 °С. Наблюдается достаточно резкое различие в распределении осадков по территории республики. Так, в год выпадает от 300 мм (в южных районах Зауралья) до 750 мм (в горно-лесной зоне Южного Урала) осадков. Продолжительность безморозного периода от 40 до 130 дней [2, 3].

### Материал и методы

В основу работы положено 18 геоботанических описаний прибрежно-водных сообществ

класса *Phragmito-Magnocaricetea*, выполненных в 2012–2014 гг., а также для проведения синтаксономической обработки привлечены 5 неопубликованных описаний И. Н. Григорьева.

Размер пробной площади зависел от величины и однородности сообщества. Обилие видов оценивалось по шкале Ж. Браун-Бланке [4]: *r* – количество особей единичное, с незначительным покрытием; + – вид встречается редко, степень покрытия мала; 1 – число особей велико, степень покрытия мала, до 5%; 2 – 6–25%; 3 – 26–50%; 4 – 51–75%; 5 – более 75%. Постоянство видов в сообществах оценивалось по 5-балльной шкале: I – 1–20%; II – 21–40%; III – 41–60%; IV – 61–80%; V – 81–100%. При количестве описаний в сообществе менее пяти для видов указывался балл встречаемости.

Классификация проведена методом Браун-Бланке [5, 6]. Для обработки данных использовались база данных TURBOVEG по водной и прибрежно-водной растительности региона [7] и программа JUICE [8]. Видовые названия растений даны по сводке С. К. Черепанова [9].

### Результаты и их обсуждение

В результате проведенных исследований выявлены 4 новых ассоциации и 4 варианта прибрежно-водной растительности класса *Phragmito-Magnocaricetea*, относящихся к 3 союзам и 3 порядкам. Синоптическая таблица вышеназванных синтаксонов приведена в табл. 1.

Продромус новых ассоциаций класса *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novák 1941 в Республике Башкортостан

Класс *Phragmito-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novák 1941

Порядок *Phragmitetalia australis* Koch 1926

Союз *Phragmition australis* Koch 1926

Ассоциация *Scolochloetum festucaceae* Rejowski 1977

Вариант *typica*

Вариант *Carex atherodes*

Порядок *Magnocaricetalia elatae* Pignatti 1953

Союз *Magnocaricion elatae* Koch 1926

Ассоциация *Caricetum distichae* Nowiński 1927

Вариант *typica*

Вариант *Poa palustris*

Ассоциация *Iridetum pseudacori* Egger 1933

Порядок *Nasturtio-Glycerietalia* Pignatti 1953

Союз *Glycerio-Sparganion* Br.-Bl. et Sissingh in Boer 1942

Ассоциация *Leersietum oryzoidis* Egger 1933



Таблица 1

**Синоптическая таблица новых ассоциаций класса Phragmito–Magnocaricetea  
в Республике Башкортостан**

Число описаний	2	3	5	4	4	5
Номер синтаксона*	1	2	3	4	5	6
Д. в. ассоциации <i>Scolochloetum festucaceae</i>						
<i>Scolochloa festucacea</i>	2 <sup>3-5</sup>	3 <sup>3-5</sup>	.	.	.	.
Д. в. варианта <i>Carex atherodes</i>						
<i>Carex atherodes</i>	.	3	.	1	.	.
<i>Galium palustre</i>	.	3	.	.	2	.
<i>Scutellaria galericulata</i>	.	2	I	1	2	.
<i>Carex riparia</i>	.	2	I	.	.	.
Д. в. ассоциации <i>Caricetum distichae</i>						
<i>Carex disticha</i>	.	.	V <sup>4-5</sup>	4 <sup>3-4</sup>	.	.
Д. в. варианта <i>Poa palustris</i>						
<i>Phalaroides arundinacea</i>	.	.	.	4	.	I
<i>Glechoma hederacea</i>	.	.	.	4	1	.
<i>Poa palustris</i>	.	.	.	4	.	.
Д. в. ассоциации <i>Iridetum pseudacori</i>						
<i>Iris pseudacorus</i>	.	.	.	.	4 <sup>3</sup>	.
Д. в. ассоциации <i>Leersietum oryzoidis</i>						
<i>Leersia oryzoides</i>	.	.	.	.	.	V <sup>4-5</sup>
Д. в. порядка <i>Phragmitetalia australis</i>						
<i>Phragmites australis</i>	.	2	.	1	2	.
<i>Scirpus lacustris</i>	1	3	.	.	.	IV
<i>Equisetum fluviatile</i>	1	.	V	.	.	.
<i>Typha latifolia</i>	.	.	.	.	.	V
<i>Sparganium erectum</i>	.	.	.	.	.	III
Д. в. порядка <i>Magnocaricetalia elatae</i>						
<i>Carex acuta</i>	2	2	.	.	4	II
<i>Stachys palustris</i>	.	2	III	2	3	.
<i>Mentha arvensis</i>	.	1	V	2	1	.
<i>Carex vesicaria</i>	.	.	V	2	4	.
<i>Symphytum officinale</i>	.	.	V	2	3	.
<i>Galium palustre</i>	.	.	II	2	.	.
Д. в. порядка <i>Oenanthetalia aquatica</i>						
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	.	2	I	.	2	II
<i>Eleocharis palustris</i>	1	.	.	1	.	II
Д. в. класса <i>Phragmito–Magnocaricetea</i>						
<i>Lythrum salicaria</i>	1	2	.	.	2	V
<i>Lythrum virgatum</i>	.	1	I	3	2	.
<i>Lycopus europaeus</i>	.	1	II	.	.	I
<i>Rumex aquaticus</i>	.	.	I	.	.	III
<i>Naumburgia thyrsiflora</i>	.	.	.	1	3	.
Д. в. класса <i>Molinio–Arrhenatheretea</i>						
<i>Caltha palustris</i>	.	.	IV	3	3	.
<i>Ptarmica cartilaginea</i>	.	.	II	3	1	.



Окончание табл. 1

Число описаний	2	3	5	4	4	5
Номер синтаксона*	1	2	3	4	5	6
Д. в. класса <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>						
<i>Ranunculus repens</i>	.	.	V	4	.	.
<i>Lysimachia vulgaris</i>	.	.	III	3	.	.
<i>Taraxacum officinale</i>	.	.	II	3	.	.
<i>Vicia cracca</i>	.	.	.	2	1	.
<i>Rumex confertus</i>	.	.	.	1	2	.
Д. в. класса <i>Bidentetea tripartitae</i>						
<i>Bidens tripartita</i>	.	2	.	.	.	IV
Д. в. класса <i>Stellarietea mediae</i>						
<i>Cirsium setosum</i>	.	1	.	3	.	.
Д. в. класса <i>Potametea pectinati</i>						
<i>Persicaria amphibia</i>	1	1	.	.	1	.

Примечание. \* 1 – асс. *Scolochloetum festucaceae*, вар. *typica*, 2 – асс. *Scolochloetum festucaceae*, вар. *Carex atherodes*, 3 – асс. *Caricetum distichae*, вар. *typica*, 4 – асс. *Caricetum distichae*, вар. *Poa palustris*, 4 – асс. *Iridetum pseudacori*, 5 – асс. *Leersietum oryzoidis*.

Кроме того, были встречены: *Agrostis stolonifera* 6 (V); *Butomus umbellatus* 6 (I); *Calamagrostis canescens* 4 (1); *C. neglecta* 2 (1); *Calystegia sepium* 3 (III); *Carex praecox* 4 (1); *Chenopodium album* 5 (1); *Echinochloa crusgalli* 6 (IV); *Echinocystis lobata* 6 (III); *Elodea canadensis* 6 (IV); *Epilobium palustre* 2 (1); *Equisetum arvense* 5 (1); *Filipendula vulgaris* 3 (1); *Galeopsis bifida* 5 (2); *Galium physocarpum* 5 (1); *G. uliginosum* 3 (I); *Glyceria maxima* 5 (2); *G. notata* 5 (1); *Lemna minor* 1 (1); *L. trisulca* 1 (1); *Lysimachia nummularia* 3 (V); *Oenanthe aquatic* 2 (1); *Persicaria hydropiper* 6 (V); *P. lapathifolia* 6 (II); *Poa pratensis* 4 (1); *P. trivialis* 5 (2); *Potamogeton pectinatus* 6 (V); *P. perfoliatus* 6 (V); *Potentilla anserina* 2 (1); *Rorippa amphibia* 3 (1); *Salix cinerea* 4 (1); *S. triandra* 3 (1); *Sanguisorba officinalis* 4 (1); *Seseli annuum* 4 (1); *Sium sisaroidium* 3 (II); *Solanum dulcamara* 5 (3); *Thalictrum flavum* 3 (II); *Typha angustifolia* 4 (1); *T. laxmannii* 6 (II); *Urtica dioica* 5 (1); *Utricularia vulgaris* 2 (1); *Viola canina* 3 (II); *Xanthium albinum* 6 (II).

Ассоциация *Scolochloetum festucaceae* Rejewski 1977 (табл. 2)

Диагностический вид (д. в.): *Scolochloa festucacea* (доминант).

Сообщества ассоциации опознаются по доминированию североамериканско-евросибирского прибрежного вида – тростянки овсяницеvidной. Разнообразие сообществ в пределах ассоциации выражено в двух вариантах *typica* и *Carex atherodes*. Такое разделение связано в первую очередь со снижением обводненности местообитаний. В менее обводненных местообитаниях при этом возрастает доля прибрежно-водных видов класса *Phragmito-Magnocaricetea* и порядка *Magnocaricetalia elatae* (*Carex atherodes*, *C. riparia*, *Galium palustre*, *Scutellaria galericulata* и др.), что выражается в увеличении видового состава ценозов. Схожие, в некоторой степени, по экологии ценозы были описаны Б. Ю. Тетерюком [10] в качестве субассоциации *S. f. caricetosum aquatilis*, представляющей собой сообщества начальных этапов эндоэкогене-

тических процессов преобразований типичных тростяночных сообществ на фоне уменьшения обводненности местообитаний и накопления растительной ветоши. Отличие сообществ, описанных в Республике Башкортостан, заключается в большем участии сыролуговых и прибрежно-водных видов растений (*Galium palustre*, *Mentha arvensis*, *Potentilla anserina* и др.) и значительно меньшей доли плейстофитов и погруженных в воду макрофитов. Как отмечает Б. Ю. Тетерюк [10], состав и структура сообществ в ходе сукцессии определяются климатическими условиями региона, состоянием экотопа и составом соседних фитоценозов. Флористический состав ассоциации насчитывает от 3 до 19 видов на площадке, в среднем 10 видов. ОПП – 80–90% на площади описания от 9 до 25 м<sup>2</sup>.

Ассоциация изредка встречается на территории европейской [10–12 и др.] и азиатской части России [13, 14]. На территории республики сообщества ассоциации имеют локальное распространение.





Таблица 2

Ассоциация *Scolochloetum festucaceae* Rejewski 1977

Вариант	<i>typica</i>		Встречаемость	<i>Carex atherodes</i>			Встречаемость
	Площадь описания, м <sup>2</sup>	25		25	25	9	
Средняя высота травостоя, см грунта	120	100		120	100	100	
Глубина, м	0,2	0,2		0,1	–	–	
Грунт	и	и		и	–	–	
ОПП, %	80	85		85	85	90	
Число видов	3	8		8	19	11	
Номер описания	1	2		3	4	5	
Д. в. ассоциации <i>Scolochloetum festucaceae</i>							
<i>Scolochloa festucacea</i>	5	3	2 <sup>3-5</sup>	5	3	4	3 <sup>3-5</sup>
Д. в. варианта <i>Carex atherodes</i>							
<i>Carex atherodes</i>	.	.	.	r	1	r	3
<i>Galium palustre</i>	.	.	.	r	1	1	3
<i>Carex riparia</i>	.	.	.	.	+	r	2
<i>Scutellaria galericulata</i>	.	.	.	.	+	r	2
Д. в. союза <i>Phragmition australis</i> и порядка <i>Phragmitetalia australis</i>							
<i>Scirpus lacustris</i>	.	+	1	r	+	r	3
<i>Phragmites australis</i>	.	.	.	.	+	r	2
Д. в. порядка <i>Magnocaricetalia elatae</i>							
<i>Carex acuta</i>	+	+	2	+	r	.	2
Д. в. порядка <i>Oenanthetalia aquatica</i>							
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	.	.	.	r	+	.	2
Д. в. класса <i>Phragmito–Magnocaricetea</i>							
<i>Lythrum salicaria</i>	.	r	1	.	+	r	2
<i>Persicaria amphibia</i>	+	.	1	r	.	.	1
<i>Stachys palustris</i>	.	.	.	.	r	r	2
Д. в. класса <i>Bidentetea tripartitae</i>							
<i>Bidens tripartita</i>	.	.	.	.	+	r	2

Примечание. Кроме того, были встречены: *Calamagrostis neglecta* 4 (r); *Cirsium setosum* 4 (r); *Eleocharis palustris* 2 (+); *Epilobium palustre* 4 (r); *Equisetum fluviatile* 2 (r); *Lemna minor* 2 (2); *Lemna trisulca* 2 (2); *Lycopus europaeus* 4 (+); *Lythrum virgatum* 4 (r); *Mentha arvensis* 4 (+); *Oenanthetalia aquatica* 5 (r); *Potentilla anserina* 4 (r); *Utricularia vulgaris* 3 (+).

Локализация описаний. 1–5 – Баймакский р-н, заболачивающийся водоем в 2,5 км от д. Татлыбаево, 29.07.1989. Автор описаний – Григорьев И. Н.

Механический состав грунта (здесь и далее в таблицах): и – илестый; и,п – илесто-песчаный.

Ассоциация *Caricetum distichae* Nowiński 1927 (табл. 3)

Д. в.: *Carex disticha* (доминант).

Сообщества ассоциации опознаются по доминированию европейско-западноазиатского вида – осоки двурядной. В отмеченных местообитаниях сообщества ассоциации встречаются, как правило, по зарастающим, обмелевшим старицам, образуя большие по площади ценозы (вариант *typica*), реже образуют полосу граничащую, с одной стороны, с типичными сообществами порядков *Phragmitetalia australis* и *Magnocaricetalia elatae*, с другой – с сырыми лугами порядка

*Molinietalia* класса *Molinio–Arrhenatheretea* (вариант *Poa palustris*), что выражается в некотором обогащении сообществ влажнолуговыми видами. Флористический состав ассоциации насчитывает от 12 до 18 видов на площадке, в среднем 15 видов. ОПП – 80–95% на площади описания от 10 до 64 м<sup>2</sup>.

Сообщества ассоциации широко распространены на территории Европы [15–17 и др.], Украины [18] и России [19–20 и др.]. На территории Республики Башкортостан сообщества ассоциации, возможно, имеют более широкое распространение, что требует их последующего поиска.



Таблица 3

Ассоциация *Caricetum distichae* Nowiński 1927

Вариант	<i>typica</i>					Постоянство	<i>Poa palustris</i>				Встречаемость
Площадь описания, м <sup>2</sup>	64	64	64	64	64		15	15	15	10	
Средняя высота травостоя, см грунта	70	75	85	80	100		75	65	65	70	
ОПП, %	90	85	90	80	95		95	95	95	80	
Число видов	14	16	15	12	12		16	18	16	15	
Номер описания	1	2	3	4	5		6	7	8	9	
Д. в. ассоциации <i>Caricetum distichae</i>											
<i>Carex disticha</i>	4	4	4	4	5	V <sup>4-5</sup>	4	3	3	3	4 <sup>3-4</sup>
Д. в. варианта <i>Poa palustris</i>											
<i>Poa palustris</i>	.	.	.	.	.	.	+	2	2	2	4
<i>Phalaroides arundinacea</i>	.	.	.	.	.	.	+	2	1	1	4
<i>Glechoma hederacea</i>	.	.	.	.	.	.	+	+	+	+	4
Д. в. союза <i>Magnocaricion elatae</i> и порядка <i>Magnocaricetalia elatae</i>											
<i>Carex vesicaria</i>	+	1	1	+	1	V	.	+	+	.	2
<i>Mentha arvensis</i>	+	+	+	+	+	V	+	.	+	.	2
<i>Symphytum officinale</i>	+	+	+	+	+	V	+	+	.	.	2
<i>Galium palustre</i>	.	+	.	+	.	II	.	.	1	1	2
<i>Scutellaria galericulata</i>	+	.	.	.	.	I	+	.	.	.	1
Д. в. порядка <i>Phragmitetalia australis</i>											
<i>Equisetum fluviatile</i>	+	+	+	+	+	V	.	.	.	.	.
Д. в. класса <i>Phragmito-Magnocaricetea</i>											
<i>Stachys palustris</i>	.	+	+	+	.	III	.	.	+	+	2
<i>Lythrum virgatum</i>	.	r	.	.	.	I	+	.	r	+	3
<i>Lycopus europaeus</i>	.	r	+	.	.	II	.	.	.	.	.
Д. в. класса <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>											
<i>Ranunculus repens</i>	+	+	1	+	+	V	+	1	+	+	4
<i>Caltha palustris</i>	.	+	r	+	+	IV	.	+	+	+	3
<i>Lysimachia vulgaris</i>	.	.	+	r	r	III	+	.	+	+	3
<i>L. nummularia</i>	1	1	2	1	+	V	.	.	.	.	.
<i>Ptarmica cartilaginea</i>	r	.	+	.	.	II	.	+	+	+	3
<i>Taraxacum officinale</i>	r	.	r	.	.	II	r	+	r	.	3
<i>Sium sisaroides</i>	.	.	+	.	r	II	.	.	.	.	.
<i>Thalictrum flavum</i>	r	+	.	.	.	II	.	.	.	.	.
<i>Vicia cracca</i>	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	2
<i>Viola canina</i>	.	.	.	.	.	.	r	+	.	.	2
Д. в. класса <i>Stellarietea mediae</i>											
<i>Cirsium setosum</i>	.	.	.	.	.	.	+	.	r	+	3
Д. в. класса <i>Galio-Urticetea</i>											
<i>Calystegia sepium</i>	1	.	.	+	+	III	.	.	.	.	.

Примечание. Кроме того, были встречены: *Alisma plantago-aquatica* 2 (r); *Calamagrostis canescens* 7 (+); *Carex atherodes* 6 (1); *Carex praecox* 7 (+); *Carex riparia* 1 (+); *Eleocharis palustris* 8 (+); *Filipendula vulgaris* 5 (r); *Galium uliginosum* 2 (r); *Naumburgia thyrsiflora* 7 (+); *Phragmites australis* 9 (+); *Poa pratensis* 9 (+); *Rorippa amphibia* 2 (r); *Rumex aquaticus* 1 (r); *R. confertus* 6 (r); *Salix cinerea* 7 (r); *S. triandra* 3 (r); *Sanguisorba officinalis* 7 (r); *Seseli annuum* 7 (+); *Typha angustifolia* 9 (r).

Локализация описаний. 1–5 – г. Стерлитамак, сырая низина у р. Ольховка, 29.05.2014; 6–9 – г. Салават, берег старицы в 300 м юго-восточнее перекрестка ул. Ленинградской и ул. Губкина, 01.06.2014. Автор описаний – Я. М. Голованов.



Ассоциация *Iridetum pseudacori* Egger 1933 (табл. 4)

Д. в.: *Iris pseudacorus* (доминант).

Сообщества ассоциации образованы видом, занесенным в Красную книгу Республики Башкортостан [21] – ирисом желтым. Данный вид преимущественно распространен по старицам в нижнем течении р. Белая и входит в состав прибрежно-водных сообществ и сырых лугов. Как правило, не образует больших по площади монодоминантных сообществ. Описанные сообщества занимают прибрежную полосу высыхающих стариц и сложены в основном видами порядков *Phragmitetalia australis* и *Magnocaricetalia elatae*. Синтаксономическое положение сообществ с доминированием *Iris pseudacorus* варьирует у раз-

ных авторов. Так, зачастую они рассматриваются как в составе порядка *Phragmitetalia australis* [22], так и в составе порядков *Oenanthetalia aquatica* [23] и *Magnocaricetalia elatae* [24]. Мы, учитывая высокое постоянство и представленность в описанных сообществах видов порядка *Magnocaricetalia elatae*, в свою очередь, соглашаемся с мнением Е. В. Чемерис [24]. Флористический состав ассоциации насчитывает от 12 до 17 видов на площадке, в среднем 14 видов. ОПП – 65–80% на площади описания от 5 до 15 м<sup>2</sup>.

Сообщества ассоциации широко распространены на территории Европы [22 и др.], Украины [18, 23 и др.] и России [24 и др.]. На Южном Урале сообщества ассоциации, по-видимому, находятся на восточном пределе ареала.

Таблица 4

Ассоциация *Iridetum pseudacori* Egger 1933

Площадь описания, м <sup>2</sup>	10	5	15	15	Встречаемость
Средняя высота травостоя, см грунта	110	100	125	130	
ОПП, %	65	70	80	65	
Число видов	17	12	16	12	
Номер описания	1	2	3	4	
Д. в. ассоциации <i>Iridetum pseudacori</i>					
<i>Iris pseudacorus</i>	3	3	3	3	4 <sup>3</sup>
Д. в. порядка <i>Magnocaricetalia elatae</i>					
<i>Carex acuta</i>	+	+	1	+	4
<i>C. vesicaria</i>	+	+	+	+	4
<i>Symphytum officinale</i>	+	.	+	+	3
<i>Galium palustre</i>	1	.	+	.	2
<i>Scutellaria galericulata</i>	.	.	r	+	2
Д. в. союза <i>Phragmiton australis</i> и порядка <i>Phragmitetalia australis</i>					
<i>Glyceria maxima</i>	.	+	.	+	2
<i>Phragmites australis</i>	.	.	+	2	2
Д. в. порядка <i>Oenanthetalia aquatica</i>					
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	+	+	.	.	2
Д. в. класса <i>Phragmito–Magnocaricetea</i>					
<i>Naumburgia thyrsiflora</i>	+	1	r	.	3
<i>Stachys palustris</i>	+	+	.	+	3
<i>Lythrum salicaria</i>	.	+	+	.	2
<i>L. virgatum</i>	+	.	.	+	2
Д. в. класса <i>Molinio–Arrhenatheretea</i>					
<i>Caltha palustris</i>	r	+	.	+	3
<i>Poa trivialis</i>	+	.	+	.	2
<i>Rumex confertus</i>	r	.	r	.	2
Прочие виды					
<i>Solanum dulcamara</i>	r	+	+	.	3
<i>Galeopsis bifida</i>	r	r	.	.	2

Примечание. Кроме того, были встречены: *Chenopodium album* 2 (r); *Equisetum arvense* 3 (r); *Galium physocarpum* 3 (+); *Glechoma hederacea* 1 (+); *Glyceria notata* 1 (+); *Mentha arvensis* 3 (1); *Persicaria amphibia* 4 (+); *Ptarmica cartilaginea* 4 (r); *Urtica dioica* 1 (+); *Vicia cracca* 3 (+).

Локализация описаний. 1–4 – Кушнаренковский р-н, берег озера у д. Ильмурзино, 07.06.2014. Автор описаний – Я. М. Голованов.



Ассоциация *Leersietum oryzoidis* Egger 1933 (табл. 5)

Д. в.: *Leersia oryzoides* (доминант).

Физиономию данной ассоциации определяет доминирование голарктического прибрежно-водного злака – леерсии рисовидной. Сообщества занимают, как правило, прибрежную полосу реки, распространяясь на прибрежное мелководье, образуя плотные заросли на илисто-песчаных грунтах. Данный факт способствует присутствию погруженных макрофитов класса *Potametea pectinati*. Специфичной чертой описанных сообществ является наличие блока

видов порядка *Phragmitetalia australis* (*Scirpus lacustris*, *Sparganium erectum*, *Typha latifolia*) и практически полное отсутствие видов порядка *Nasturtio-Glycerietalia* (*Glyceria fluitans*, *G. notata*, *Veronica anagallis-aquatica*, *V. beccabunga* и др.). Флористический состав ассоциации насчитывает от 12 до 18 видов на площадке, в среднем 15 видов. ОПП – 95–100% на площади описания от 10 до 15 м<sup>2</sup>.

Ассоциация широко распространена в Европе [15–17, 25 и др.] и на территории России [12, 26 и др.]. На территории республики сообщества ассоциации имеют локальное распространение.

Таблица 5

Ассоциация *Leersietum oryzoidis* Egger 1933

Площадь описания, м <sup>2</sup>	10	10	15	15	10	Постоянство
Средняя высота травостоя, см грунта	40	55	50	50	65	
Глубина, м	0–0,1	0–0,3	0–0,3	0–0,2	0–0,1	
Грунт	и, п	и, п	и, п	и, п	и, п	
ОПП, %	100	100	100	100	95	
Число видов	14	15	16	12	18	
Номер описания	1	2	3	4	5	
Д. в. ассоциации <i>Leersietum oryzoidis</i>						
<i>Leersia oryzoides</i>	4	4	4	5	4	V <sup>4-5</sup>
Д. в. союза <i>Phragmition australis</i> и порядка <i>Phragmitetalia australis</i>						
<i>Typha latifolia</i>	1	+	1	+	+	V
<i>Scirpus lacustris</i>	.	r	+	+	+	IV
<i>Sparganium erectum</i>	r	+	.	.	+	III
Д. в. порядка <i>Magnocaricetalia elatae</i>						
<i>Carex acuta</i>	.	.	.	+	r	II
Д. в. порядка <i>Oenanthetalia aquatica</i>						
<i>Eleocharis palustris</i>	+	1	.	.	.	II
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	r	.	.	.	r	II
Д. в. класса <i>Phragmito-Magnocaricetea</i>						
<i>Lythrum salicaria</i>	r	+	+	+	r	V
<i>Rumex aquaticus</i>	.	.	r	r	r	III
<i>Typha laxmannii</i>	+	+	.	.	.	II
Д. в. класса <i>Potametea pectinati</i>						
<i>Potamogeton perfoliatus</i>	+	+	+	+	+	V
<i>P. pectinatus</i>	r	+	+	+	+	V
<i>Elodea canadensis</i>	.	+	+	+	+	IV
Д. в. класса <i>Molinio-Arrhenatheretea</i>						
<i>Agrostis stolonifera</i>	+	1	+	+	+	V
Д. в. класса <i>Bidentetea tripartitae</i>						
<i>Persicaria hydropiper</i>	1	1	1	+	1	V
<i>Echinochloa crusgalli</i>	1	+	+	.	+	IV

Д. в. класса <i>Bidentetea tripartitae</i>						
<i>Bidens tripartita</i>	+	.	<i>r</i>	+	+	IV
<i>Persicaria lapathifolia</i>	.	.	<i>r</i>	.	1	II
Д. в. класса <i>Stellarietea mediae</i>						
<i>Xanthium albinum</i>	<i>r</i>	+	.	.	.	II
Д. в. класса <i>Galio-Urticetea</i>						
<i>Echinocystis lobata</i>	.	+	+	.	+	III

Примечание. Кроме того, были встречены: *Butomus umbellatus* 5 (*r*); *Lycopus europaeus* 3 (*r*); *Phalaroides arundinacea* 3 (*r*).

Локализация описаний. 1–5 – г. Мелеуз, берег р. Белая в 100 м ниже по течению от городского пляжа, 10.08.2012. Автор описаний – Я. М. Голованов.

Таким образом, для территории Республики Башкортостан выявлены 4 новые ассоциации прибрежно-водной растительности класса *Phragmito–Magnocaricetea*. Порядок *Nasturtio–Glycerietalia* и союз *Glycerio–Sparganion* также впервые указываются для республики. Возможно, сообщества ассоциаций *Scolochloetum festucaceae*, *Caricetum distichae*, *Iridetum pseudacori* и *Leersietum oryzoidis* на территории республики имеют более широкое распространение, что требует их последующего поиска.

Авторы выражают благодарность заведующему лабораторией геоботаники и охраны растительности Института биологии УНЦ РАН В. Б. Мартыненко за предоставление полевых дневников И. Н. Григорьева.

#### Список литературы

1. Ямалов С. М., Мартыненко В. Б., Абрамова Л. М., Голуб В. Б., Башиева Э. З., Баянов А. В. Пролетарские растительные сообщества Республики Башкортостан. Уфа : АН РБ ; Гилем, 2012. 100 с.
2. Гареев А. М. Реки и озера Башкортостана. Уфа : Китап, 2001. 260 с.
3. Абдрахманов Р. Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. Уфа : Информреклама, 2005. 344 с.
4. Миркин Б. М., Розенберг Г. С., Наумова Л. Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М. : Наука, 1989. 223 с.
5. Braun-Blanquet J. Pflanzensociologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3 Aufl. Wien ; N.Y. : Springer – Verlag, 1964. 865 S.
6. Миркин Б. М., Наумова Л. Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа : Гилем, 1998. 413 с.
7. Hennekens S. M. TURBO(VEG). Software package for input processing and presentation of plantsociological data. User's guide // IBN-DLO, Wageningen et University of Lancaster, 1995. 70 p.
8. Tichý L. JUICE, software for vegetation classification // J. Veg. Sci. 2002. Vol. 13. P. 451–453.
9. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.
10. Тетерюк Б. Ю. Флора и растительность древних озер европейского Северо-Востока России. СПб. : Наука, 2012. 237 с.
11. Еришов И. Ю. Синтаксономическое разнообразие водной растительности озер Валдайской возвышенности // Бот. журн. 1996. № 10 (91). С. 32–35.
12. Полуянов А. В., Аверинова Е. А. Травяная растительность Курской области (синтаксономия и вопросы охраны). Курск : Курск. гос. ун-т, 2012. 276 с.
13. Таран Г. С. Синтаксономия лугово-болотной растительности поймы средней Оби (в пределах Александровского района Томской области) : препринт. Новосибирск : Центр. сиб. бот. сад, 1995. 76 с.
14. Чепиногова В. В. Флора и растительность водоемов и водотоков юга Восточной Сибири : автореф. дис... д-ра биол. наук. Томск, 2013. 39 с.
15. Pott R. Die Pflanzengesellschaften Deutschlands. Ed. 2. Stuttgart : UTB Ulmer, 1995. 622 S.
16. Borhidi A. Magyarország növényjárulása. Budapest : Akadémiai Kiadó, 2003. 610 p.
17. Vegetace České republiky. 3. Vodní a mokřadní vegetace / ed. M. Chytrý. Praha : Academia, 2011. 828 s.
18. Соломаха В. А. Синтаксономія рослинності України. Третє наближення. Київ : Фітосоціоцентр, 2008. 296 с.
19. Таран Г. С. Разнообразие водных и прибрежно-водных сообществ поймы Оби в подзоне средней тайги // Гидробиотаника 2000 : тез. докл. V Всерос. конф. по водным растениям. Борок, 2000. С. 221.
20. Королюк А. Ю., Киприянова Л. М. Растительные сообщества Центральной Барабы (район озера Чаны) // Сиб. экол. журн. 2005. № 2. С. 193–200.
21. Красная книга Республики Башкортостан / под ред. Б. М. Миркина. Уфа : МедиаПринт, 2011. 384 с.
22. Landucci F., Gigante D., R. Venzoni, Chytrý M. Wetland vegetation of the class *Phragmito Magno-Caricetea* in central Italy // Phytocoenologia. 2013. Vol. 43, iss. 1–2. P. 67–100.



23. Дубына Д. В., Дзюба Т. П. Синтаксономическое разнообразие растительности устьевой области Днепра // Растительность России. 2008. № 13. С. 27–48.
24. Чемерис Е. В. Растительный покров истоковых ветландов Верхнего Поволжья. Рыбинск : Рыбинский дом печати, 2004. 158 с.
25. Ferrez Y., Bailly G., Fernex T., Guyonneau J., Royer J.-M., Schmitt A., Vuilleminot M. Connaissance des habitats naturels et semi-naturels de Franche-Comté. Synopsis des groupements végétaux de Franche-Comté. Version provisoire – avril 2009. Conservatoire botanique national de Franche-Comté, Besançon, 2009. 56 p.
26. Кузьменко А. А. Растительность моренных и водноледниковых равнин южной окраины Смоленской возвышенности : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Брянск, 2014. 20 с.

УДК 581.2

## ПЕРЕКИСНОЕ ОКИСЛЕНИЕ ЛИПИДОВ В РАСТЕНИЯХ ОГУРЦА И РЕДИСА ПРИ ДЕЙСТВИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

И. Д. Михайлова, А. С. Лукаткин

Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева, Саранск  
E-mail: aslukatkin@yandex.ru



Исследовали влияние ионов тяжелых металлов ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) в концентрациях 10 мкМ, 0,1 мМ, 1 мМ на интенсивность перекисного окисления липидов (ПОЛ) в 7-дневных проростках огурца (*Cucumis sativus* L.) и редиса (*Raphanus sativus* L.). Выявлено, что ионы  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  индуцировали окислительный стресс в клетках растений, но ионы  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$  не оказали токсического воздействия. Для растений огурца показано возрастание интенсивности ПОЛ в ряду  $\text{Zn}^{2+} < \text{Pb}^{2+} < \text{Ni}^{2+} < \text{Cu}^{2+}$ ; редиса –  $\text{Pb}^{2+} < \text{Zn}^{2+} < \text{Cu}^{2+} < \text{Ni}^{2+}$ .

**Ключевые слова:** *Cucumis sativum* L., *Raphanus sativus* L., тяжелые металлы, перекисное окисление липидов, окислительный стресс.

### Lipid Peroxidation in Cucumber and Radish Seedlings Affected by Heavy Metals

I. D. Michailova, A. S. Lukatkin

The effect of heavy metal ions ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) in concentrations of 10  $\mu\text{M}$ , 0.1  $\mu\text{M}$  and 1 mM on the rate of lipid peroxidation (LPO) has been studied in the 7-day-old seedlings of cucumber (*Cucumis sativus* L.) and radish (*Raphanus sativus* L.). It was revealed that  $\text{Ni}^{2+}$  and  $\text{Cu}^{2+}$  ions induced oxidative stress in plant cells, but  $\text{Pb}^{2+}$  and  $\text{Zn}^{2+}$  ions did not have toxic effects. The heavy metals effect on LPO increasing was as follows:  $\text{Zn}^{2+} < \text{Pb}^{2+} < \text{Ni}^{2+} < \text{Cu}^{2+}$  for cucumber plants;  $\text{Pb}^{2+} < \text{Zn}^{2+} < \text{Cu}^{2+} < \text{Ni}^{2+}$  for radish plants.

**Key words:** *Cucumis sativus* L., *Raphanus sativus* L., heavy metals, lipid peroxidation, oxidative stress.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-206-210

### Введение

Одной из наиболее актуальных проблем современной физиологии растений является взаимодействие растений с факторами окружающей среды [1]. В связи с ростом техногенной нагрузки на живые организмы особого внимания требует изучение механизмов их адаптации к не-

благоприятным антропогенным факторам среды. Одним из наиболее опасных для растений стрессорным фактором является действие избыточных доз тяжелых металлов (ТМ): они способны к биоаккумуляции и концентрированию при движении по трофической цепи; их трудно разрушить или преобразовать в ходе химических процессов; удаление ТМ из организма затруднено, поскольку они прочно связываются с белками и другими компонентами клеточных структур; ТМ пагубно влияют на рост растения, вызывают нарушения фотосинтеза и других физиологических процессов [2]. В то же время имеются данные о положительном влиянии некоторых доз различных ТМ на рост, содержание пигментов, уменьшение интенсивности перекисного окисления липидов (ПОЛ) [3].

Уровень адаптации растений в значительной степени определяется соотношением уровня ПОЛ и активности антиоксидантной защиты [4]. Установлено, что ТМ продуцируют образование активных форм кислорода (АФК): супероксидного анион-радикала ( $\text{O}_2^-$ ), гидроксильных радикалов ( $\text{OH}^\cdot$ ), синглетного кислорода ( $^1\text{O}_2$ ), перекиси водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) [5]. Увеличение продукции АФК ведет, в свою очередь, к активации окислительных процессов, таких как ПОЛ, в норме протекающих на определенном стационарном уровне [6]. Увеличение интенсивности данного процесса вызывает изменения как свойств липидного матрикса, так и клеточного метаболизма, что обуславливает важность поддержания определенной скорости ПОЛ в стрессовых условиях [4, 5]. В ряде работ показано дифференцированное влияние ТМ как на генерацию



АФК, так и на компоненты антиоксидантной защиты, и в итоге – на накопление реагирующих с тиобарбитуровой кислотой соединений (ТБКРС), указывающих на интенсивность ПОЛ [5–8]. Так, у Cd-толерантного сорта (*Vigna radiata*, cv. Pusa 9531) наблюдалось более интенсивное индуцированное Cd повышение ТБКРС, чем у Cd-чувствительного сорта (cv. PS16); авторы предположили, что это результат высокого клеточного редокс-гомеостаза у первого [7]. Есть данные, что как токсичные, так и эссенциальные ТМ/металлоиды вызывали усиление ПОЛ, зависимое от их дозы и вида растений [8, 9].

Наличие неоднозначных данных по эффектам ТМ на про/антиоксидантные процессы в растениях привлекает интерес к изучению проблемы дозовых зависимостей на показатели ПОЛ и антиоксидантной защиты в растительном организме. В связи с этим целью исследования было сравнительное изучение влияния различных доз ионов нескольких ТМ ( $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ) на интенсивность ПОЛ в проростках огурца и редиса.

#### Материал и методы

Объектом исследования служили 7-дневные проростки огурца (*Cucumis sativus* L., сорт Единство) и редиса (*Raphanus sativus* L., сорт Красный великан), выращенные в водной культуре на растворах солей ТМ ( $\text{NiSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{ZnSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ) в концентрациях 10 мкМ, 0,1 мМ, 1 мМ (контроль –  $\text{H}_2\text{O}$ ). Опыт проводили при плотности потока фотонов около  $80 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ , температуре 22–24°C, фотопериоде 12 часов. Спустя 7 суток роста в листьях спектрофотометрическим методом определяли интенсивность ПОЛ по образованию малонового диальдегида (МДА) в цветной реакции с тиобарбитуровой кислотой (ТБК) [10]. Навеску ткани листьев (1 г) гомогенизировали в 10 мл среды выделения (0,1 М трис-НСl буфер pH 7,6, содержащий 0,35 М NaCl). К 3 мл гомогената добавляли 2 мл ТБК в 20% трихлоруксусной кислоте, нагревали на кипящей водяной бане в течение 30 минут и фильтровали. Оптическую плотность регистрировали на спектрофотометре UVmini-1240 (Shimadzu, Япония) при длине волны 532 нм против среды выделения с реагентом. Концентрацию МДА рассчитывали по молярной экстинкции ( $\epsilon = 1,56 \cdot 10^5 \text{ М}^{-1}\text{см}^{-1}$ ). Количество МДА в листьях рассчитывали в микромолях / г сырой массы листьев [10].

Все определения проводили в 4 отдельных опытах, каждый из которых состоял из 4–6 биологических повторностей. Значения на рисунках

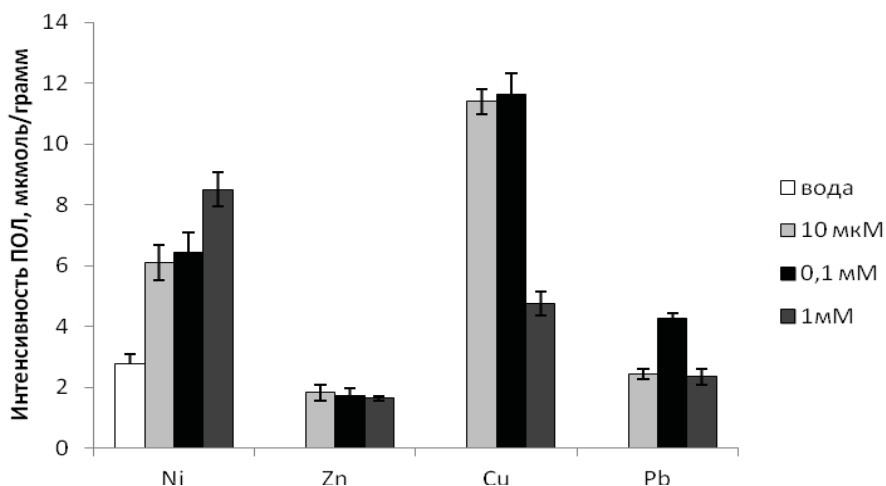
представляют средние арифметические из всех опытов с их стандартными ошибками. Статистическую обработку проводили с помощью программы Microsoft Excel 2007.

#### Результаты и их обсуждение

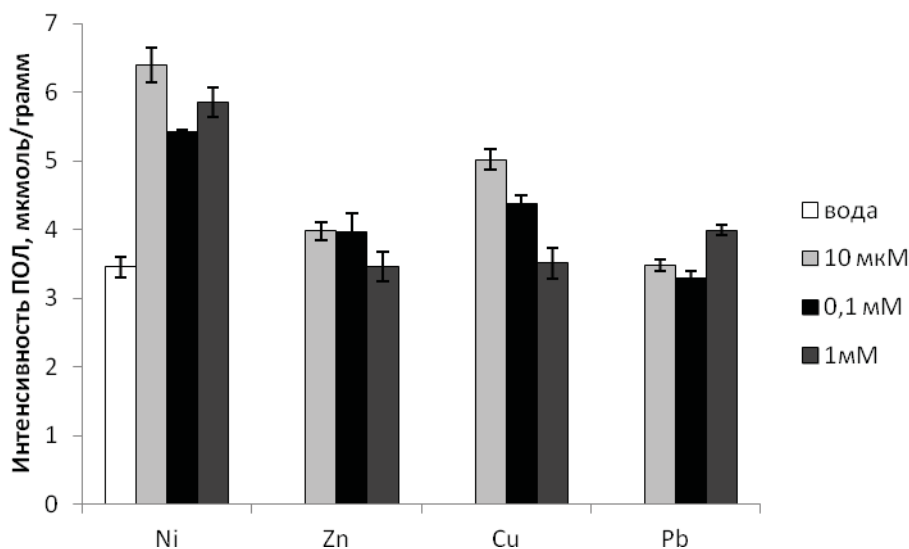
При действии различных ТМ на растения происходит интенсификация окислительных реакций, приводящая к окислительной деструкции клеток, вызывая многочисленные нарушения, ведущие к повреждению и гибели. Возрастание АФК в растительных клетках при действии стрессоров приводит к окислительному стрессу, который наблюдали у растений под действием кадмия [11], меди [12], свинца [13], никеля [14], кобальта [15]. В условиях повышенных концентраций этих металлов в среде растения, вероятно, генерируют больше АФК, чем могут детоксицировать механизмы гашения.

В растениях *огурца* ионы  $\text{Ni}^{2+}$  увеличивали интенсивность ПОЛ при всех дозах, особенно сильно при сублетальной (1 мМ) – в 3,2 раза; отмечена тенденция к повышению уровня ПОЛ в листьях с увеличением концентрации  $\text{Ni}^{2+}$  (рисунок, а). Для ионов  $\text{Zn}^{2+}$  показана иная картина: здесь все дозы металла не вызывали ярко выраженной интенсификации ПОЛ, и выявлена слабая тенденция к уменьшению интенсивности ПОЛ с увеличением концентрации ионов. Ионы  $\text{Cu}^{2+}$ , в свою очередь, увеличивали интенсивность ПОЛ при всех концентрациях, причем увеличение данного показателя почти в 4,3 раза зафиксировано при дозах 10 мкМ и 0,1 мМ (при дозе 1 мМ увеличение ТБКРС было не столь значительным). Это говорит об особо неблагоприятном влиянии ионов меди на растение огурца, поскольку усиление ПОЛ является показателем значительного повреждения ненасыщенных мембранных липидов и, следовательно, клеточных мембран [6, 10]. При добавлении в среду выращивания ионов свинца не выявлено четкой зависимости концентрационного влияния на интенсивность ПОЛ, так как уровень МДА при низкой и высокой дозах металла оставался на уровне контроля и возрастал лишь при средней концентрации  $\text{Pb}^{2+}$  в среде выращивания.

На основании проведенного опыта можно сказать, что на интенсивность перекисного окисления липидов в листьях молодых растений огурца наибольшее влияние оказали ионы  $\text{Cu}^{2+}$  и  $\text{Ni}^{2+}$  (во всех концентрациях), что свидетельствует о весьма токсичном влиянии данных ионов на липидную компоненту мембран проростков огурца. Практически не обнаружено усиления ПОЛ в листьях огурца при действии ионов  $\text{Pb}^{2+}$  и  $\text{Zn}^{2+}$ .



а



б

Влияние тяжелых металлов на интенсивность перекисного окисления липидов в 7-дневных проростках *а* – огурца; *б* – редиса. Значение водного контроля, приведенное для никеля, идентично для водного контроля цинка, меди и свинца; данные представляют средние арифметические из всех опытов с их стандартными ошибками

В растениях *редиса* ионы  $\text{Ni}^{2+}$  вызывали максимальное (в 1,6–1,8 раз) увеличения интенсивности ПОЛ относительно водного контроля (рисунок, *б*). Для ионов  $\text{Zn}^{2+}$  не выявлено изменения уровней ТБКРС при любых концентрациях ТМ (различия с водным контролем недостоверны), при этом в субоптимальной концентрации (10 мкМ) и 0,1 мМ наблюдали тенденцию к увеличению интенсивности окислительных процессов, в то время как при концентрации 1 мМ изучаемый показатель оставался на уровне контроля. Для ионов  $\text{Cu}^{2+}$  выявлена парадоксальная зависимость – в малой дозе 10 мкМ происходило увеличение накопления МДА, тогда как с уве-

личением концентрации шло снижение данного показателя, т. е. с увеличением концентрации ионов меди интенсивность ПОЛ снижалась, и самые высокие дозы (1 мМ) не показали увеличения ПОЛ в листьях редиса. Ионы  $\text{Pb}^{2+}$  вызывали увеличение интенсивности ПОЛ только при концентрации 1 мМ.

Таким образом, было показано, что в растениях редиса ионы  $\text{Ni}^{2+}$  и  $\text{Cu}^{2+}$  (так же, как и в листьях огурца) индуцировали усиление ПОЛ в широком диапазоне концентраций, тогда как для ионов  $\text{Pb}^{2+}$  и особенно  $\text{Zn}^{2+}$  такой эффект практически отсутствовал (за исключением концентрации 1 мМ в опыте с солью свинца).





Очевидно, что интенсивное накопление продукта окисления липидов – МДА свидетельствует о весьма неблагоприятном воздействии определенных концентраций ТМ.

Полученные результаты можно интерпретировать в нескольких аспектах. Во-первых, ТМ могут потенциально индуцировать ПОЛ в растениях в силу того, что способствуют генерации АФК [5]. При этом необходимо отметить, что редокс-активные металлы (такие как Cu, Cr, Fe) могут прямо индуцировать ПОЛ через генерируемые в редокс-циклах АФК, тогда как редокс-неактивные ТМ (в частности, Cd, Co, Hg, Ni, Pb, Zn и т.п.) нарушают работу антиоксидантной системы и со временем приводят к усилению ПОЛ [5].

Во-вторых, среди ТМ встречаются как токсичные для высших растений металлы (Cd, Hg и др.), так и эссенциальные, которые в малых дозах необходимы для жизни растения (Cu, Fe, Ni, Zn и др.); и те, и другие могут вызывать усиление ПОЛ [11–16]. Естественно, их действие зависит от дозы и вида растений [8]. Для меди, например, известно прямое образование АФК через реакции Фентона и Хабер–Вейсса [6], что, в свою очередь, индуцирует ПОЛ, регистрируемое в наших опытах.

В-третьих, имеются данные, что Zn ослабляет интенсивность ПОЛ на фоне меди, понижая уровень МДА; предположительно цинк может стабильно существовать в биологических системах в одновалентном состоянии и тем самым защищать мембранные липиды от АФК [17]. Есть сведения о различных уровнях МДА в растениях *Pisum sativum* при действии одиночных и смешанных ТМ (Cd, Cu, Pb, Zn) [9].

В-четвертых, длительное выращивание растений на растворах, содержащих нелетальные дозы ионов ТМ, может привести к адаптивным изменениям в клетках растений и тем самым снизить реакцию клеточных мембран (регистрируемую по уровню ТБКРС). Вполне вероятно, что ионы  $Pb^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  оказали именно такое воздействие на проростки огурца и редиса, в отличие от ионов меди и никеля.

В связи с вышеизложенным прежние представления об обязательном повышении интенсивности ПОЛ в растениях, подвергнутых действию ТМ, должны быть несколько пересмотрены.

Выявлено, что ионы ТМ индуцировали окислительный стресс в клетках растений огурца и редиса, однако их эффективность как индуцирующих ПОЛ ионов варьировала: если ионы  $Ni^{2+}$  и  $Cu^{2+}$  оказывали токсическое (хотя и разнонаправленное в концентрационном плане)

воздействие на растения, то ионы  $Pb^{2+}$  и  $Zn^{2+}$  не вызывали таких эффектов. Более мощное усиление накопления ТБКРС отмечено для растений огурца; по-видимому, растения редиса более устойчивы к действию ТМ. Для растений огурца показано возрастание интенсивности ПОЛ в ряду  $Zn^{2+} < Pb^{2+} < Ni^{2+} < Cu^{2+}$ ; редиса –  $Pb^{2+} < Zn^{2+} < Cu^{2+} < Ni^{2+}$ . Это говорит о некоторой специфичности реакции растений на определенные ТМ и их концентрации.

*Работа выполнена в рамках Государственного задания Минобрнауки России (проект № 6.783.2014К).*

### Список литературы

1. Шакирова Ф. М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция. Уфа : Гилем, 2001. 161 с.
2. Бармаков Д. И., Лукаткин А. С. Эколого-физиологические аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов у высших растений / под ред. А. С. Лукаткина. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2009. 236 с.
3. Ерофеева Е. А., Наумова М. М. Влияние сульфата кадмия в широком диапазоне концентраций на физиолого-биохимические показатели проростков пшеницы // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. 2010. № 2 (2). С. 508–512.
4. Курганова Л. Н., Балалаева И. В., Веселов А. П., Сунцицына Ю. В., Васильева Е. А., Цыганова М. И. Проксидантно-антиоксидантный статус хлоропластов гороха при действии стрессирующих абиотических факторов среды : 1. Продукция активных форм кислорода и липопероксидация // Вестн. Нижегород. ун-та им. Н. И. Лобачевского. 2010. № 2 (2). С. 544–549.
5. Anjum N.A., Sofo A., Scopa A., Roychoudhury A., Gill S. S., Iqbal M., Lukatkin A. S., Pereira E., Duarte A. C., Ahmad I. Lipids and proteins – major targets of oxidative modifications in abiotic stressed plants // *Envir. Sci. Pol. Res.* 2015. Vol. 22, № 6. P. 4099–4121.
6. Лукаткин А. С. Холодовое повреждение теплолюбивых растений и окислительный стресс. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2002. 208 с.
7. Anjum N. A., Umar S., Iqbal M., Khan N. A. Cadmium causes oxidative stress in mung bean by affecting the antioxidant enzyme system and ascorbate–glutathione cycle metabolism // *Russ. J. Plant Physiol.* 2011. Vol. 58, № 1. P. 92–99.
8. Sytar O., Kumar A., Latowski D., Kuczynska P., Strzalka K., Prasad M. N. V. Heavy metal-induced oxidative damage, defense reactions, and detoxification mechanisms in plants // *Acta Physiol. Plant.* 2013. Vol. 35, № 4. P. 985–999.
9. Malecka A., Piechalak A., Zielinska B., Kutrowska A., Tomaszewska B. Response of the pea roots defense systems



- to the two-element combinations of metals (Cu, Zn, Cd, Pb) // *Acta Biochim. Pol.* 2014. Vol. 61, № 1. P. 23–28.
10. Лукаткин А. С. Вклад окислительного стресса в развитие холодового повреждения в листьях теплолюбивых растений. 1. Образование активированных форм кислорода при охлаждении растений // *Физиология растений.* 2002. Т. 49, № 5. С. 697–702.
  11. Cuipers A., Plusquin M., Remans T., Jozefczak M., Keunen E., Gielen H., Opdenakker K., Nair A. R., Munters E., Artois T. J., Nawrot T., Vangronsveld J., Smeets K. Cadmium stress : an oxidative challenge // *Biometals.* 2010. Vol. 23, № 5. P. 927–940.
  12. Thounaojam T. C., Panda P., Mazumdar P., Kumar D., Sharma G., Sahoo L., Panda S. Excess copper induced oxidative stress and response of antioxidants in rice // *Plant Physiol. Biochem.* 2012. Vol. 53, № 1. P. 33–39.
  13. Maldonado-Magana A., Favela-Torres E., Rivera-Cabrera F., Vlke-Sepulveda T. L. Lead bioaccumulation in *Acacia farnesiana* and its effect on lipid peroxidation and glutathione production // *Plant Soil.* 2011. Vol. 339, № 1–2. P. 377–389.
  14. Gajewska E., Bernat P., Dlugonski J., Sklodowska M. Effect of nickel on membrane integrity, lipid peroxidation and fatty acid composition in wheat seedlings // *J. Agron. Crop Sci.* 2012. Vol. 198, № 4. P. 286–294.
  15. Tewari R. K., Sharma P. N., Bisht S. S. Modulation of oxidative stress responsive enzymes by excess cobalt // *Plant Sci.* 2002. Vol. 162, № 3. P. 381–388.
  16. Sofo A., Vitti A., Nuzzaki M., Tataranni G., Scopa A., Vangronsveld J., Remans T., Falasca G., Altamura M. M., Degola F., di Toppi L. S. Correlation between hormonal homeostasis and morphogenic responses in *Arabidopsis thaliana* seedlings growing in a Cd/Cu/Zn multi-pollution context // *Physiol. Plant.* 2013. Vol. 149, № 4. P. 487–498.
  17. Teisseire H., Guy V. Copper-induced changes in antioxidants enzymes activities in fronds of duckweed (*Lemna minor*) // *Plant Sci.* 2000. Vol. 153, № 1. P. 65–72.



## ЭКОЛОГИЯ

УДК 581.52.342

### ИНТРАЗОНАЛЬНОСТЬ И ЗОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПНОЙ И СТЕПНОЙ ЗОН В ПОВОЛЖЬЕ

Т. М. Лысенко

Институт экологии Волжского бассейна РАН, Тольятти  
E-mail: ltm2000@mail.ru

В статье рассмотрена проблема интразональности растительности засоленных почв лесостепной и степной зон в Поволжье. На основе полученных в процессе исследований фактических данных установлены общие характерные черты галофитной растительности и ее особенности для каждой из зон.

**Ключевые слова:** галофитная растительность, зональная растительность, интразональная растительность, лесостепная зона, степная зона, Поволжье.

#### Intrazonal and Zonal Aspects of the Saline Soils Vegetation of the Forest-steppe and Steppe Zones in the Volga Region

T. M. Lysenko

In the article is described the problem of intrazonal vegetation of saline soils in the forest-steppe and steppe zones of the Volga region. On the basis of the research process establishes the general characteristic features of halophytic vegetation and its peculiarity for each of the zones.

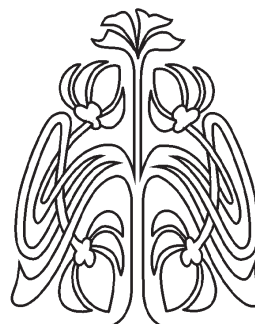
**Key words:** halophytic vegetation, zonal vegetation, intrazonal vegetation, forest-steppe zone, steppe zone, Volga region.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-211-219

#### Введение

Известно, что интразональная растительность развивается в нетипичных для конкретной ботанико-географической зоны условиях среды и нигде не образует своей отдельной зоны, но, как и зональная, изменяется в широтном и долготном направлениях, неся отпечаток соответствующей зоны [1]. Г. Вальтер и В. В. Алехин отмечали, что интразональная растительность всегда «органически связана с определенной зоной» [2, с. 364; 3, с. 71], находится в тесной зависимости от нее и «соответственно изменяется при переходе из одной зоны в другую» [2, с. 369; 3, с. 74]. Кроме того, «соответствующие зоны накладывают более или менее сильный отпечаток на каждое интразональное явление, и, таким образом, интразональных типов в их чистом виде нет, а все они являются интразонально-зональными» [2, с. 369; 3, с. 75].

Галофитную растительность долгое время относили к интразональной, однако еще в первой половине XX века почвоведом [4] было установлено, что для засоленных почв характерны зональные и региональные черты. Позднее и в ботанических работах было отмечено, что растительность засоленных почв имеет хорошо выражен-



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ





ные региональные отличия в масштабе планеты [5–12]. Галофитная растительность может быть встречена сразу в нескольких ботанико-географических зонах, что обусловлено предопределяющим ее существование засолением почвы, характерным для нескольких зон. Растительность не может не испытывать влияния климата – а засоление почвы во многом обусловлено его аридностью – поэтому, по мнению Б. М. Миркина с соавторами [13], «ее интразональность весьма относительна и проявляется чаще всего только при формальной оценке сходства сообществ составом доминантов», и ее правильнее называть интразонально-зональной, или интразональной растительностью с зональными особенностями.

#### Цель и задачи исследования

Целью исследований стало изучение разнообразия растительности засоленных почв лесостепной и степной зон в Поволжье и выявление ее общих характеристик для двух зон и особенностей для каждой из них. В связи с этим были поставлены следующие задачи: исследовать галофитные сообщества лесостепной и степной зон в пределах Поволжья с позиций эколого-флористического подхода Ж. Браун-Бланке [14]; установить низшие синтаксономические единицы и их положение в системе синтаксонов Европы [15]; охарактеризовать общие черты галофитной растительности изученного региона и ее особенности в каждой из исследованных зон.

#### Методы исследования

В основу работы положено 4012 геоботанических описаний, выполненных во время экспедиционных исследований 1994–2013 гг., проводившихся в Ульяновской, Самарской, Оренбургской, Саратовской, Волгоградской и Астраханской областях на нераспаханных участках с засоленными почвами. Описания помещены в банк данных «Растительность бассейнов Волги и Урала» [16], созданный на основе использования компьютерной программы TURBOVEG v. 2.105 [17]. Для обработки описаний использованы программы MEGATAB [18]. Обработка геоботанических описаний и интерпретация полученных материалов проведены с позиций эколого-флористического подхода [14, 19]. Названия новых синтаксонов даны в соответствие с «Международным кодексом фитосоциологической номенклатуры» (ICPN; [20]). Установленным синтаксонам даны характеристики, опубликованные единицы включены в Европейскую информационную биологическую систему SynBioSys Europe [21, 22],

международные проекты Braun-Blanquet [23] и European Vegetation Archive [24].

Латинские названия растений приведены по сводке С. К. Черепанова [25] и в отдельных случаях согласно новым таксономическим данным [26–30]). Жизненные формы растений даны по К. Раункиеру [31, 32].

#### Результаты и их обсуждение

Итоги изучения галофитной растительности лесостепной и степной зон в Поволжье опубликованы в открытой печати [33–41].

На засоленных почвах лесостепной и степной зон в Поволжье установлены растительные сообщества 141 синтаксона, в том числе 6 классов, 10 порядков, 13 союзов, 44 ассоциации, 43 субассоциации, 20 вариантов и 5 безранговых сообществ [35, 36]. «Общими» фитосоциологическими единицами, ценозы которых встречаются в двух изученных зонах, являются 3 класса (*Thero-Salicornietea* Tx. in Tx. et Oberd. 1958, *Festuco-Puccinellietea* Soó ex Vicherek 1973, *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Klika et Hadač 1944), 3 порядка (*Camphorosmo-Salicornietalia* Borhidi 1996, *Artemisio santonicae-Limonietalia gmelinii* Golub et Solomakha 1988, *Festucetalia valesiaca* Br.-Bl. et Tx. ex Br.-Bl. 1949), 3 союза (*Suaedion acuminatae* Golub et Tsozbadze in Golub 1995 corr. Lysenko et Mucina 2015, *Plantagini salsae-Artemisio santonicae* Lysenko et Mucina in Lysenko et al. 2011 и *Tfestucion Tvalesiaca* Klika 1931 nom. conserv. propos.), 4 ассоциации (*Puccinellio tenuissimae-Camphorosmetum songoricae* Lysenko et al. ex Lysenko 2011, *Puccinellio tenuissimae-Artemisietum santonicae* Lysenko 2009, *Atriplici intracontinentalis-Elytrigietum repentis* Golub et al. corr. Lysenko 2011 и *Artemisio austriacaefestucetum valesiaca* Karpov et al. ex Lysenko et Rakov 2010 nom. invers. propos.), 2 субассоциации (*Puccinellio tenuissimae-Artemisietum santonicae* typicum Lysenko 2009 и *Artemisio austriacaefestucetum valesiaca* typicum Karpov et al. ex Lysenko et Rakov 2010 nom. invers. propos.) и 2 варианта (*Atriplici intracontinentalis-Elytrigietum repentis* Golub et al. 2001 corr. Lysenko 2011 var. *Limonium gmelinii* и *A.i.-E.r.* var. *Suaeda corniculata* subsp. *corniculata*).

Установлено, что сообщества «общих» для лесостепной и степной зон синтаксонов приурочены к террасам речных долин и описаны в Ульяновской и Самарской областях (*Puccinellio tenuissimae-Camphorosmetum songoricae*, *Puccinellio tenuissimae-Artemisietum santonicae*, *P.t.-A.s.* typicum, *Atriplici intracontinentalis-Elytrigietum repentis*, *A.i.-E.r.* var. *Limonium gmelinii*,



*A.i.-E.r. var. Suaeda corniculata* subsp. *corniculata*), а также на склонах водоразделов в пределах Ульяновской, Самарской и Саратовской областей (*Artemisio austriacae-Festucetum valesiacae* и *A.a.-F.v. typicum*).

Сообщества всех остальных синтаксонов обнаружены на сегодняшний момент или только в лесостепной зоне, или только в степной.

Так, только в лесостепной зоне описаны на сегодняшний момент ценозы класса *Molinio-Arrhenatheretea* Тх. 1937 и подчиненных ему высших и низших единиц, а также союзов *Carici dilutae-Juncion gerardii* Lysenko et Mucina 2015 и *Cirsion esculenti* Golub 1994 порядка *Scorzonero-Juncetalia gerardii* Vicherek 1973 класса *Festuco-Puccinellietea* Soó ex Vicherek 1973.

Только в степной зоне в пределах исследованного региона установлены сообщества классов *Kalidietea foliati* Mirkin et al. ex Rukhlenko 2012 и *Artemisietea lerchiana* Golub 1994 и отнесенных к ним высших и низших синтаксонов. Кроме того, на изученной территории только в этой зоне описаны ценозы порядков *Artemisietalia pauciflorae* Golub et Karpov in Golub et al. 2005 и *Glycyrrhizetalia glabrae* Golub et Mirkin in Golub 1995 класса *Festuco-Puccinellietea* Soó ex Vicherek 1973, а также галофитно-степные сообщества порядка *Tanaceto achilleifolii-Stipetalia lessingiana* Lysenko et Mucina ined. класса *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tх. ex Klika et Hadač 1944.

Изученная в лесостепной и степной зонах в Поволжье территория лежит в пределах ареалов классов *Thero-Salicornietea* Тх. in Тх. et Oberd. 1958, *Festuco-Puccinellietea* Soó ex Vicherek 1973 и *Molinio-Arrhenatheretea* Тх. 1937. Ее особенность заключается в том, что по ней проходят южная граница ареала класса *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Тх. ex Klika et Hadač 1944 и северные границы ареалов классов *Kalidietea foliati* Mirkin et al. ex Rukhlenko 2012 и *Artemisietea lerchiana* Golub 1994. Своеобразие региона исследований привело к выделению нового порядка *Tanaceto achilleifolii-Stipetalia lessingiana* Lysenko et Mucina in Mucina et al. ined. и новых союзов *Glycyrrhizion korshinskyi* Lysenko 2010, *Plantagini salsae-Artemision santonici* Lysenko et Mucina in Lysenko et al. 2011, *Carici dilutae-Juncion gerardii* Lysenko et Mucina 2015, *Anabasio salsae-Artemision pauciflorae* Lysenko in Lysenko et Mucina 2015 и *Tanaceto achilleifolii-Stipion lessingiana* Royer ex Lysenko et Mucina in Mucina et al. ined. [15].

В целом синтаксономическое разнообразие растительности засоленных почв в лесостепной зоне в пределах Поволжья, в том числе отмеченных на слабо засоленных почвах галофитно-луговых и галофитно-степных сообществ, достаточно высоко – общее число установленных фитоценологических единиц составляет 57, из них классов – 4, порядков – 5, союзов – 7, ассоциаций – 18, субассоциаций – 13, вариантов – 9, безранговых сообществ – 1 (рис. 1).

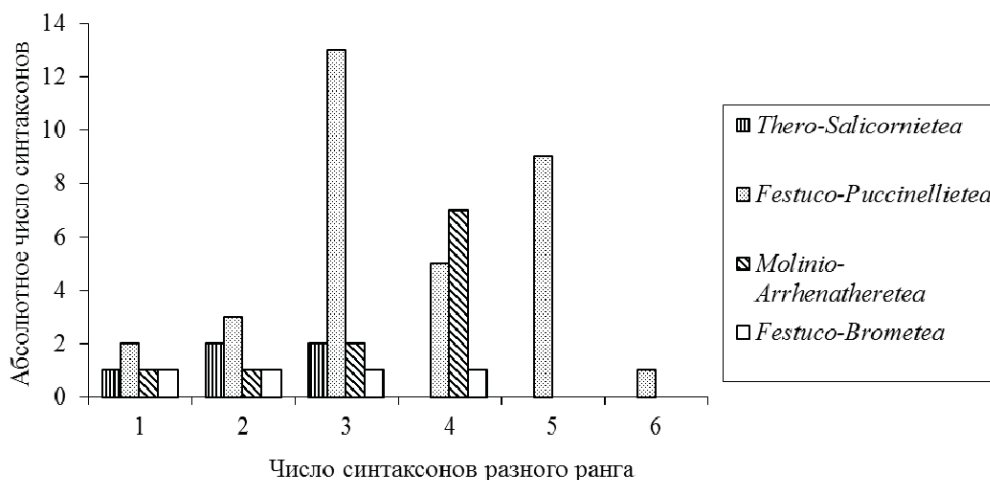


Рис. 1. Количественное соотношение установленных синтаксонов растительности засоленных почв лесостепной зоны в пределах Поволжья. По горизонтальной оси показаны: 1 – порядки, 2 – союзы, 3 – ассоциации, 4 – субассоциации, 5 – варианты, 6 – безранговые сообщества; по вертикальной оси показано абсолютное число установленных синтаксонов

Наибольшую представленность имеет класс *Festuco-Puccinellietea* Soó ex Vicherek 1973, включающий 33 синтаксона, из них порядков –

2, союзов – 3, ассоциаций – 13, субассоциаций – 5, вариантов – 9, безранговых сообществ – 1. Второе место по разнообразию фитоценоло-



гических единиц принадлежит классу *Molinio-Arrhenatheretea* Tx. 1937: зарегистрирован 1 порядок, 1 союз, 2 ассоциации и 7 субассоциаций.

Отмеченный спектр синтаксонов растительности засоленных почв отражает характерные черты растительного покрова лесостепной зоны в Поволжье – преобладание гемикриптофитов, представляющих класс *Festuco-Puccinellietea* Soó ex Vicherek 1973.

Сообщества засоленных почв лесостепной зоны в пределах Поволжья образованы главным образом гемикриптофитами – это 146 видов из 191, зарегистрированного в составе всех исследованных фитоценозов, или составляют 76,44 % от общего числа видов растений (рис. 2). В образовании растительных сообществ принимают также участие терофиты, хамефиты и фанерофиты.

Известно, что жизненные формы растений развиваются в результате приспособления к конкретным климатическим условиям и характеризуют способ защиты почек возобновления у растений в течение неблагоприятного времени года. Преобладание гемикриптофитов в ценофлорах сообществ засоленных почв лесостепной зоны в пределах Поволжья соответствует характерным признакам флор умеренной зоны Голарктики, в том числе лесостепных и степных флор Восточной Европы, и свидетельствует о зональных особенностях исследуемой растительности. Положение терофитов на втором месте подчеркива-

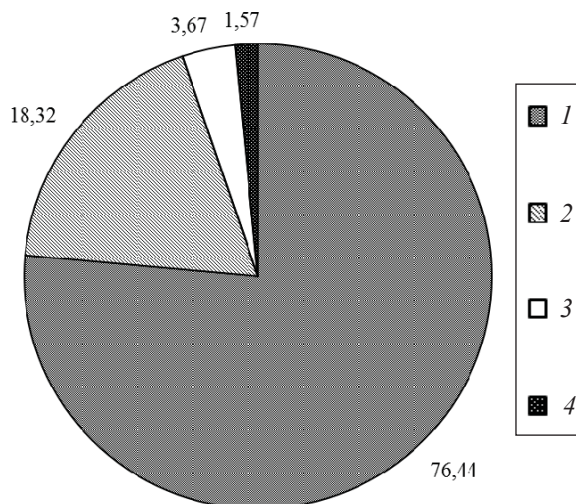


Рис. 2. Соотношение жизненных форм растений сообществ засоленных почв лесостепной зоны в Поволжье по К. Раункиеру [37], %: 1 – гемикриптофиты, 2 – терофиты, 3 – хамефиты, 4 – фанерофиты

ет интразональность растительности засоленных почв лесостепной зоны, поскольку высокий их процент во флоре свойственен зоне пустынь и в целом Средиземноморской области [42].

Ведущими семействами, виды которых слагают растительные сообщества засоленных почв лесостепной зоны в пределах Поволжья, являются Asteraceae (43 вида, или 22,51%), Poaceae (25, или 13,09%) и Fabaceae (19, или 9,95%) (табл. 1).

Таблица 1

Число видов в семействах цветковых растений сообществ засоленных почв лесостепной зоны в Поволжье

№	Название семейства	Число видов	%	№	Название семейства	Число видов	%
1	Asteraceae	43	22,51	19	Juncaginaceae	2	1,05
2	Poaceae	25	13,09	20	Polygalaceae	2	1,05
3	Fabaceae	19	9,95	21	Ranunculaceae	2	1,05
4	Chenopodiaceae	15	7,85	22	Alliaceae	1	0,6
5	Apiaceae	14	7,33	23	Boraginaceae	1	0,6
6	Cyperaceae	9	4,71	24	Caryophyllaceae	1	0,6
7	Plantaginaceae	7	3,66	25	Convolvulaceae	1	0,6
8	Polygonaceae	6	3,14	26	Equisetaceae	1	0,6
9	Brassicaceae	4	2,09	27	Lythraceae	1	0,6
10	Juncaceae	4	2,09	28	Malvaceae	1	0,6
11	Lamiaceae	4	2,09	29	Onagraceae	1	0,6
12	Rosaceae	4	2,09	30	Orchidaceae	1	0,6
13	Scrophulariaceae	4	2,09	31	Plumbaginaceae	1	0,6
14	Campanulaceae	3	1,57	32	Santalaceae	1	0,6
15	Primulaceae	3	1,57	33	Typhaceae	1	0,6
16	Rubiaceae	3	1,57	34	Urticaceae	1	0,6
17	Euphorbiaceae	2	1,05	35	Valerianaceae	1	0,6
18	Geraniaceae	2	1,05				
Всего						191	100,00



Два первых ведущих семейства характерны для Голарктического флористического царства в целом [43], третье – для большинства районов Средиземноморья и Центральной Азии [42].

Установленный спектр ведущих семейств фитоценозов засоленных почв типичен для флор регионов лесостепной зоны в пределах Поволжья (по: [44]) и подчеркивает зональные особенности галофитной растительности.

Анализ присутствия видов облигатных галофитов Р<sup>1</sup>Р облигатные галофиты – виды, амплитуда которых на шкале богатства–засоленности

почвы Л. Г. Раменского [45] лежит в пределах 20–30) в составе исследованных фитоценозов показал, что их число насчитывает 36, или 18,85 % от общего состава ценофлоры сообществ. Среди них преобладают представители семейства *Chenopodiaceae* (10 видов, или 27,78 %), *Asteraceae* (7 видов, или 19,43 %) и *Poaceae* (5 видов, или 13,88 %) (рис. 3). Такое соотношение семейств соответствует флористическому спектру растительного покрова засоленных почв аридных зон и свидетельствует об интразональности галофитной растительности в лесостепной зоне.

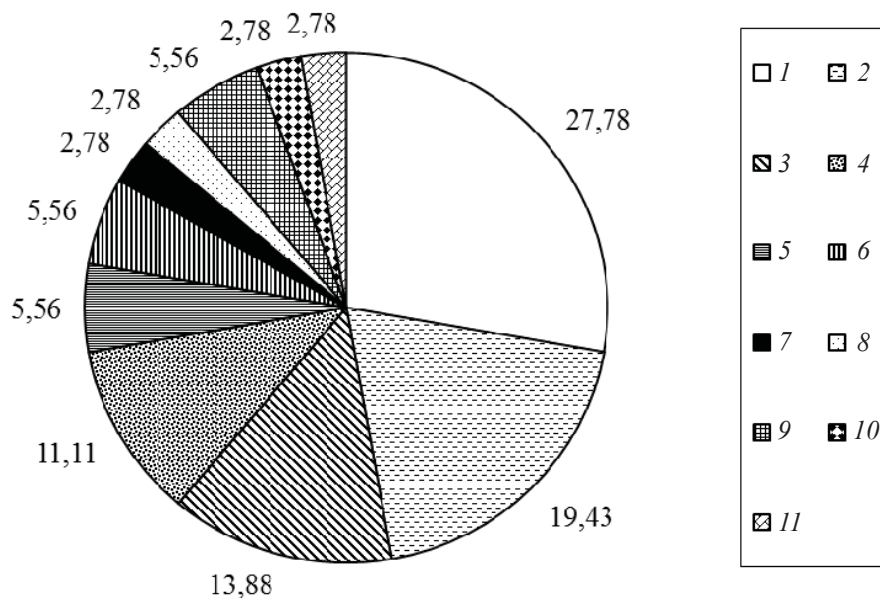


Рис. 3. Представленность облигатных галофитов в семействах цветковых растений сообществ засоленных почв лесостепной зоны в Поволжье, %: 1 – *Asteraceae*, 2 – *Poaceae*, 3 – *Fabaceae*, 4 – *Chenopodiaceae*, 5 – *Plantaginaceae*, 6 – *Brassicaceae*, 7 – *Primulaceae*, 8 – *Geraniaceae*, 9 – *Juncaginaceae*, 10 – *Caryophyllaceae*, 11 – *Plumbaginaceae*

В степной зоне в пределах Поволжья фитоценотическое разнообразие растительных сообществ засоленных почв высоко – установлены ценозы T102 синтаксонаТ, Т в том числе 5 классов, 8 порядков, 10 союзов, 30 ассоциаций, 32 субассоциации, 13 вариантов и 4 безранговых сообщества ТТ (рис. 4).

Наибольшее разнообразие имеет класс *Festuco-Puccinellietea* Soó ex Vicherek 1973 – всего 45 синтаксонов, из них порядков – 3, союзов – 4, ассоциаций – 13, субассоциаций – 17, вариантов – 6 и 2 безранговых сообщества.

Заметное участие в сложении растительного покрова играют также ценозы классов *Kalidietea foliati* Mirkin et al. ex Rukhlenko 2012 (всего 17 синтаксонов, из них порядков – 1, союзов – 1, ассоциаций – 9, субассоциаций – 4, безранговых сообществ – 2), *Artemisietea lerchiana* Golub

1994 (15 синтаксонов, из них порядков – 1, союзов – 1, ассоциаций – 1, субассоциаций – 5, вариантов – 7) и *Thero-Salicornietea* Tx. in Tx. et Oberd. 1958 (10 синтаксонов, из них порядков – 1, союзов – 2, ассоциаций – 5, субассоциаций – 2).

Преобладание в фитосоциологическом спектре растительности засоленных почв степной зоны в пределах Поволжья класса *Festuco-Puccinellietea* Soó ex Vicherek 1973, представленного сообществами растений-гемикриптофитов, подчеркивает зональные особенности этой растительности, поскольку гемикриптофиты являются господствующей жизненной формой в степной зоне. Положение на втором, третьем и четвертом местах классов *Kalidietea foliati* Mirkin et al. ex Rukhlenko 2012, *Artemisietea lerchiana* Golub 1994 и *Thero-Salicornietea* Tx. in Tx. et Oberd. 1958, объединяющих соответ-

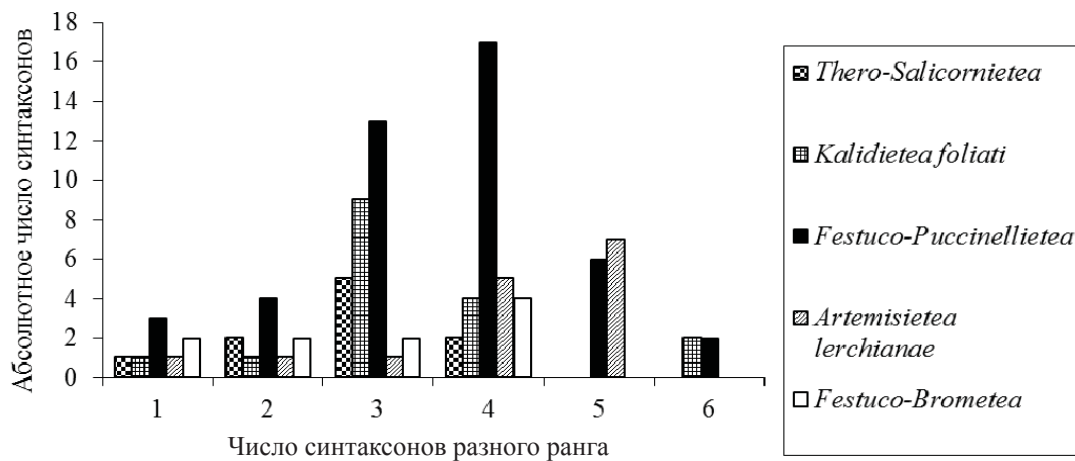


Рис. 4. Количественное соотношение установленных синтаксонов растительности засоленных почв степной зоны в пределах Поволжья. По горизонтальной оси показаны: 1 – порядки, 2 – союзы, 3 – ассоциации, 4 – субассоциации, 5 – варианты, 6 – безранговые сообщества; по вертикальной оси показано абсолютное число установленных синтаксонов

ственно ценозы гипергалофитов-хамефитов, пустынных хамефитов и галофитов-терофитов, свидетельствует об интразональности растительности засоленных почв степной зоны в пределах Поволжья.

Рассматриваемые фитоценозы сформированы в основном гемикриптофитами, представляющими 164 вида из 266 зарегистрированных, или 61,65 % флористического разнообразия (рис. 5). В образовании фитоценозов также принимают участие терофиты, хамефиты, криптофиты и фанерофиты.

Преобладание гемикриптофитов в ценофлорах сообществ засоленных почв степной зоны в пределах Поволжья соответствует характеристикам флор умеренной зоны Голарктики [43] и свидетельствует о зональных особенностях изученной растительности. Присутствие значительного процента терофитов и хамефитов (24,06 и 7,52% соответственно) подчеркивает влияние флор Средиземноморской области и интразональность растительности засоленных почв.

Ведущими семействами, виды которых слагают растительные сообщества засоленных почв степной зоны в Поволжье, являются Asteraceae (47 видов, или 17,67% от видового разнообразия), Chenopodiaceae (41 вид, или 15,41%) и Poaceae (37 видов, или 13,91%) (табл. 2).

Для ценофлор преобладающего большинства сообществ степной зоны в Поволжье, находящейся в пределах умеренной зоны Голарктики, характерно иное соотношение ведущих семейств, а именно – Asteraceae, Poaceae и Fabaceae.

Положение семейства Chenopodiaceae на втором месте во флористическом спектре из-

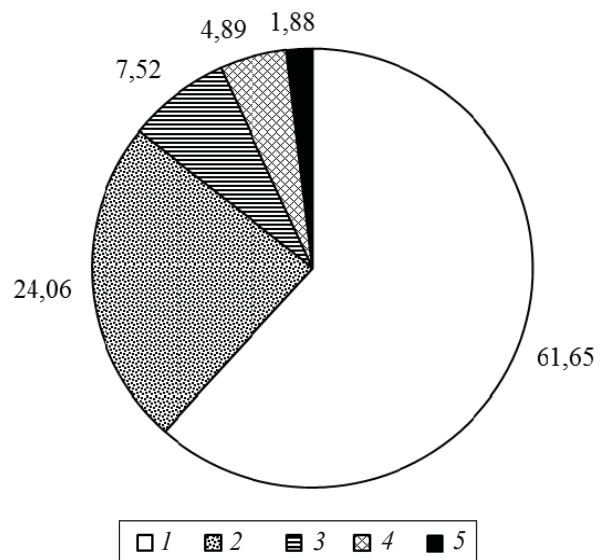


Рис. 5. Соотношение жизненных форм растений сообществ засоленных почв степной зоны в Поволжье по К. Раункиеру [37], %: 1 – гемикриптофиты, 2 – терофиты, 3 – хамефиты, 4 – криптофиты, 5 – фанерофиты

ученных растительных сообществ показывает значительное влияние флор пустынных регионов Турана, Передней и Средней Азии, где разнообразие этого семейства наиболее велико [43].

Таким образом, установленное соотношение семейств во флористическом спектре исследованных фитоценозов засоленных почв подчеркивает интразональность галофитной растительности степной зоны в пределах Поволжья.

Анализ присутствия видов облигатных галофитов в составе изученных в степной зоне в пределах Поволжья фитоценозов показал,





Таблица 2

**Число видов в семействах цветковых растений сообществ засоленных почв степной зоны в Поволжье**

№	Название семейства	Число видов	%	№	Название семейства	Число видов	%
1	Asteraceae	47	17,67	18	Euphorbiaceae	3	1,13
2	Chenopodiaceae	41	15,41	19	Iridaceae	2	0,74
3	Poaceae	37	13,91	20	Primulaceae	2	0,74
4	Brassicaceae	14	5,26	21	Rubiaceae	2	0,74
5	Apiaceae	13	4,89	22	Amaranthaceae	1	0,38
6	Polygonaceae	12	4,51	23	Asparagaceae	1	0,38
7	Caryophyllaceae	11	4,14	24	Convolvulaceae	1	0,38
8	Fabaceae	10	3,76	25	Crassulaceae	1	0,38
9	Rosaceae	10	3,76	26	Ephedraceae	1	0,38
10	Lamiaceae	8	3,00	27	Hyacinthaceae	1	0,38
11	Scrophulariaceae	8	3,00	28	Juncaceae	1	0,38
12	Alliaceae	7	2,63	29	Juncaginaceae	1	0,38
13	Plumbaginaceae	7	2,63	30	Malvaceae	1	0,38
14	Liliaceae	5	1,88	31	Santalaceae	1	0,38
15	Plantaginaceae	5	1,88	32	Tamarixaceae	1	0,38
16	Ranunculaceae	5	1,88	33	Nitrariaceae	1	0,38
17	Cyperaceae	4	1,50	34	Frankeniaceae	1	0,38
Всего						266	100,00

что их число насчитывает 74, или 27,82% от общего состава ценофлоры, сообществ. Среди них преобладают представители семейства Chenopodiaceae (33 вида, или 44,59% от общего числа облигатных галофитов), Asteraceae (12 видов, или 16,22%) и Poaceae (8 видов, или

10,81%) (рис. 6). Такое соотношение семейств соответствует флористическому спектру растительного покрова засоленных почв пустынной зоны и свидетельствует об интразональности галофитной растительности в степной зоне в пределах Поволжья.

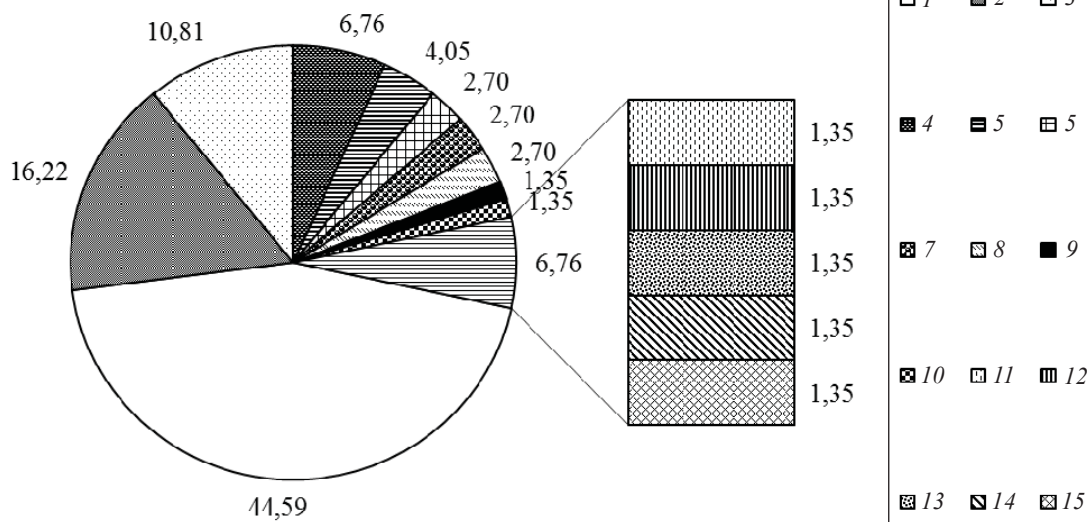


Рис. 6. Представленность облигатных галофитов в семействах цветковых растений сообществ засоленных почв степной зоны в Поволжье, %: 1 – Chenopodiaceae, 2 – Asteraceae, 3 – Poaceae, 4 – Plumbaginaceae, 5 – Plantaginaceae, 6 – Brassicaceae, 7 – Fabaceae, 8 – Polygonaceae, 9 – Apiaceae, 10 – Caryophyllaceae, 11 – Frankeniaceae, 12 – Juncaceae, 13 – Juncaginaceae, 14 – Nitrariaceae, 15 – Primulaceae



### Заключение

Проведенные исследования показали, что галофитная растительность лесостепной и степной зон в Поволжье является интразональной с зональными особенностями.

Зональными особенностями растительности засоленных почв лесостепной зоны в исследованном регионе являются преобладание синтаксонов класса *Festuco-Puccinellietea* в фитосоциологическом спектре, преобладание гемикриптофитов в составе ценофлоры, представленность семейств Asteraceae, Poaceae и Chenopodiaceae в спектре ведущих семейств. Положение терофитов на втором месте в составе ценофлоры и преобладание в составе облигатных галофитов видов семейства Chenopodiaceae характеризуют интразональность растительности засоленных почв.

Зональными особенностями растительности засоленных почв степной зоны в пределах Поволжья являются преобладание синтаксонов класса *Festuco-Puccinellietea* в фитосоциологическом спектре, преобладание гемикриптофитов среди образующих ценозы галофитов жизненных форм растений; положение на первом месте семейства Asteraceae в спектре ведущих семейств. Интразональность исследуемой растительности в степной зоне характеризуют присутствие значительного процента терофитов и хамефитов в составе ценофлоры, положение семейства Chenopodiaceae на втором месте в спектре ведущих семейств, преобладание представителей семейства Chenopodiaceae среди облигатных галофитов и высокая представленность синтаксонов классов *Kalidietea foliati*, *Artemisietea lerchiana* и *Thero-Salicornietea* в фитосоциологическом спектре.

Автор благодарит Российский фонд фундаментальных исследований за частичную финансовую поддержку на этапе завершения статьи (проект № 16-04-00747а).

### Список литературы

1. Биологический энциклопедический словарь / гл. ред. М. С. Гиляров. 2-е изд., испр. М. : Сов. энцикл., 1986. 864 с.
2. Вальтер Г., Алехин В. Основные закономерности растительного покрова СССР // Основы ботанической географии. М. ; Л. : Гос. изд-во биол. и мед. лит., 1936. С. 352–376.
3. Алехин В. В. Основные закономерности растительного покрова СССР // Растительность СССР в основных зонах / под общ. ред. С. С. Станкова. 2-е изд. М. : Сов. наука, 1951. С. 66–81.
4. Ковда В. А. Происхождение и режим засоленных почв : в 2 т. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1946. Т. 1. 568 с. ; 1947. Т. 2. 375 с.
5. Коровин Е. П. Растительность Средней Азии и Южного Казахстана. М. ; Ташкент : СА ОГИЗ, 1934. 480 с.
6. Коровин Е. П. Растительность Средней Азии и Южного Казахстана : в 2 кн. Ташкент : Изд-во АН Узбек. ССР. Кн. 1. 1961. 452 с. ; Кн. 2. 1962. 548 с.
7. Крюгер В. А. Изменение растительности засоленных почв в некоторых районах различных фито-географических зон (Западная Сибирь и Северный Казахстан) // Учен. зап. Перм. ун-та. 1936. Т. 1, вып. 4. С. 55–63.
8. Келлер Б. А. Главные типы растительности СССР // Растительность СССР : в 30 т. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1938. Т. 1. С. 133–181.
9. Chapman V. J. Salt marshes and salt desert of the world. L. ; N.Y., 1960. 392 p.
10. Билик Г. І. Рослинність засоленних ґрунтів України її розвиток, використання та поліпшення. Київ, 1963. 299 с.
11. Walter H., Breckle S. W. Ökologie der Erde. Bd. 3. Spezielle Ökologie der gemäßigten und arktischen Zonen Euro-Nordasiens. Stuttgart : Fischer Verlag, 1994. 726 S.
12. Walter H., Breckle S. W. Vegetation und Klimazonen. Stuttgart : Ulmer Verlag, 1999. 544 S.
13. Муркин Б. М., Розенберг Г. С., Наумова Л. Г. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии. М. : Наука, 1989. 223 с.
14. Braun-Blanquet J. Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3 Aufl. Wien ; N.Y., 1964. 865 S.
15. Mucina L., Bültmann H., Dierßen K., Theurillat J.-P., Raus Th., Čarni A., Šumberová K., Willner W., Dengler J., Garcia R.G., Chytrý M., Hájek M., Di Pietro R., Iakushenko D., Pallas J., Daniëls F. J. A., Bergmeier E., Guerra A.S., Ermakov N., Valachovič M., Schaminée J. H. J., Lysenko T., Didukh Ya., Pignatti S., Rodwell J. S., Capelo J., Weber H. E., Solomeshch A., Dimopoulos P., Aguiar C., Freitag H., Hennekens S.M., Tichý L. Vegetation of Europe : Hierarchical floristic classification system of vascular plant, bryophyte, lichen and algal communities // Applied Vegetation Science. 2016. 464 p.
16. Lysenko T., Mitroshenkova A., Kalmykova O. Vegetation Database of the Volga and the Ural Rivers Basins // Vegetation databases for the 21st century. Biodiversity & Ecology. 2012. Vol. 4. P. 420–421.
17. Hennekens S. M. TURBO(VEG). Software package for input, processing, and presentation of phytosociological data. Users guide. Version July 1996. IBN-DLO, Lancaster, 1996. 52 p.
18. Hennekens S. M. 1996b. MEGATAB – a visual editor for phytosociological tables. Version 1.0. October 1996. 11 p.
19. Westhoff V., Maarel E. van der. The Braun-Blanquet approach // Classification of plant communities / ed. R. H. Whittaker. Hague, 1978. P. 287–399.
20. Weber H. E., Moravec J., Theurillat J.-P. International Code of Phytosociological Nomenclature. 3rd edition // J. Veg. Sci. 2000. Vol. 11. P. 739–768.
21. Schaminée J. H. J., Hennekens S. M. SynBioSys Europe – examples from European forest communities // Bot. Chron. 2005. Vol. 18, № 1. P. 201–209.



22. Лысенко Т. М. SynBioSys Europe – европейская биологическая информационная система // Растительность России. 2008. № 12. С. 58–60.
23. Jiménez-Alfaro B., Chytrý M., Hennekens S., Knollová I., Schaminée J., Agrillo E., Alessi N., Greve Alsos I., Apostolova I., Attore F., Austrheim G., Bergmeier E., Biurrun I., Brisse H., Brunet J., Carlón L., Čarni A., Csiky J., Danihelka J., De Bie E., de Cáceres M., Dengler J., Didukh Y., Dimopoulos P., Ejrnaes R., Fernández González F., Fitzpatrick Ú., Font X., Golub V., Grytnes J.-A., Guarino R., Indreica A., Jandt U., Jansen F., Kącki Z., Krstonošić D., Landucci F., Lenoir J., Luoto M., Lysenko T., Martynenko V., Michalková D., Novakovskiy A., Onyshchenko V., Rodrigues Rojo M. P., Rodwell J., Šibík J., Šilc U., Škvorc Ž., Sorokin A., Stančić Z., Suárez-Seoane S., Tichý L., Vandvik V., Venanzoni R., Virtanen R., Willner W., Yamalov S., Zobel M. The Braun-Blanquet project: evaluating and characterizing European vegetation alliances // 23rd EVS Intern. Workshop : Book of Abstracts (Slovenia, Ljubljana, 8–12 May 2014). Ljubljana, 2014. P. 33.
24. Chytrý M., Hennekens S. M., Jiménez-Alfaro B., Knollová I., Dengler J., Jansen F., Landucci F., Schaminée J. H. J., Aćić S., Agrillo E., Ambarli D., Angelini P., Apostolova I., Attore F., Berg Ch., Bergmeier E., Biurrun I., Botta-Dukát Z., Brisse H., Campos J. A., Carlón L., Čarni A., Casella L., Csiky J., Čušterevska R., Stevanović Z. D., Danihelka J., Bie E. D., Ruffay P., Sanctis M. D., Dickoré W. B., Dimopoloulos P., Dubyna D., Dziuba T., Ejrnaes R., Ermakov N., Ewald J., Fanelli G., Fernández-González F., FitzPatrick U., Font X., García-Mijangos I., Gavilán R. G., Golub V., Guarino R., Haveman R., Indreica A., Güersoy D. I., Jandt U., Janssen J. A. M., Jiroušek M., Kącki Z., Kavgaci A., Kleikamp M., Kolo-miychuk V., Čuk M. K., Krstonošić D., Kuzemko A., Lenoir J., Lysenko T., Marcenò C., Martynenko V., Michalková D., Moeslund J. E., Onyshchenko V., Pedashenko H., Pérez-Haase A., Peterka T., Prokhorov V., Rašomavičius V., Rodríguez-Rojo M. P., Rodwell J. S., Rogova T., Ruprecht E., Růsiņa S., Seidler G., Šibík J., Šilc U., Škvorc Ž., Sopotlieva D., Stančić Z., Svenning J.-Ch., Ewacha G., Tsiripidis I., Turtureanu P. D., Uğurlu E., Uogintas D., Valachovič M., Vashenyak Yu., Vassilev K., Venanzoni R., Virtanen R., Weekes L., Willner W., Wohlgemuth T., Yamalov S. European Vegetation Archive (EVA) : an integrated database of European vegetation plots // Applied Vegetation Science. 2016. Vol. 19. P. 173–180.
25. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.
26. Цвелев Н. Н. Род 3. Кермек – *Limonium* Mill. // Флора Восточной Европы : в 12 т. Т. 9 / отв. ред. и ред. тома Н. Н. Цвелев. СПб. : Мир и семья-95, 1996. С. 164–169.
27. Цвелев Н. Н. Род 33. Свезда – *Suaeda* Forssk. ex Scop. // Флора Восточной Европы. Т. 9 / отв. ред. и ред. тома Н. Н. Цвелев. СПб. : Мир и семья-95, 1996. С. 92–98.
28. Цвелев Н. Н. Определитель сосудистых растений Северо-Запада России. СПб. : Мир и семья, 2000. 781 с.
29. Suchorukow A. P. Zur Systematik und Chorologie der in Russland und den benachbarten Staaten (in den Grenzen der ehemaligen USSR) vorkommenden Atriplex-Arten (Chenopodiaceae) // Ann. Naturhist. Mus. Wien. 2007. Bd. 108. S. 307–420.
30. Lomonosova M., Brandt R., Freitag H. *Suaeda corniculata* (Chenopodiaceae) and related new Taxa from Eurasia // Willdenowia. 2008. № 38. P. 81–109.
31. Raunkiær Ch. Planterigets Livsformer of deres Betydning for Geografien. Kobenhavn : Kristiania Lunos, 1907. 132 p.
32. Raunkiær Ch. Plant life forms / transl. from Danish by H. Gilbert-Carter. Oxford : Clarendon Press, 1937. 104 p.
33. Голуб В. Б., Лысенко Т. М. Травянистая растительность нижней части поймы р. Тишерек (Самарская область) // Самарская Лука : бюл. 1999. № 9–10. С. 119–142.
34. Лысенко Т. М. К вопросу об охране растительных сообществ в Поволжье // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2010. Т. 12, № 1(5). С. 1398–1400.
35. Лысенко Т. М. Растительность засоленных почв лесостепной зоны в Поволжье (конспект синтаксонов) // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2014. Т. 16, № 5. С. 170–177.
36. Лысенко Т. М. Растительность засоленных почв степной зоны в Поволжье (конспект синтаксонов) // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2014. Т. 16, № 5 (5). С. 1609–1621.
37. Лысенко Т. М., Карнов Д. Н., Голуб В. Б. Галофитные растительные сообщества Ставропольской депрессии (Самарская область) // Растительность России. 2003. № 4. С. 42–50.
38. Лысенко Т. М., Митрошенкова А. Е. Растительность засоленных гидроморфных экотопов озер Эльтон и Баскунчак (Волгоградская и Астраханская области) // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2011. Т. 13, № 1 (4). С. 863–870.
39. Лысенко Т. М., Раков Н. С. Растительность засоленных почв Северного Низкого Заволжья (Ульяновская и Самарская области) // Растительность России. 2010. № 16. С. 27–39.
40. Lysenko T., Mucina L. Nomenclatural notes on some alliances of the halophytic vegetation of Southern Ural and Caspian Lowlands // Hacquetia. 2015. № 2. P. 301–306.
41. Lysenko T., Mucina L., Iakushenko D. Nomenclatural notes on saline vegetation of Ukraine, southern Russia and Kazakhstan // Lazaroa. 2011. Vol. 32. P. 187–189.
42. Тахтаджян А. Л. Флористические области Земли. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1978. 247 с.
43. Толмачев А. И. Введение в географию растений. Л. : Изд-во Ленингр. ун-та, 1974. 244 с.
44. Бакин О. В., Rogova T. B., Ситников А. П. Сосудистые растения Татарстана. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2000. 496 с.
45. Раменский Л. Г., Цаценкин И. А., Чижигов О. Н., Антипин Н. А. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М. : Сельхозгиз, 1956. 472 с.



УДК 595.443.7

## НАХОЖДЕНИЕ КАРАКУРТА ЧЕРНОГО – *LATRODECTUS TREDECIMGUTTATUS* (ROSSI, 1790) (ARANEI, THERIDIIDAE) НА ТЕРРИТОРИИ САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ



В. В. Аникин<sup>1</sup>, Е. А. Кузьмин<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Ульяновский государственный педагогический университет имени И. Н. Ульянова  
E-mail: kea87@bk.ru

В статье приведены данные о достоверном нахождении каракурта чёрного (*Latrodectus tredecimguttatus*) на территории Саратовской области.

**Ключевые слова:** фауна, чёрный каракурт, *Latrodectus tredecimguttatus*, Нижнее Поволжье, Саратовская область.

**The Finding of Black Widow – *Latrodectus Tredecimguttatus* (Rossi, 1790) (Aranei, Theridiidae) on the Territory of Saratov Province**

V. V. Anikin, E. A. Kuzmin

The article contains information about the reliable finding of black widow (*Latrodectus tredecimguttatus*) on the territory of Saratov Province.

**Key words:** fauna, black widow, *Latrodectus tredecimguttatus*, Lower Volga Region, Saratov Province.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-220-221

### Введение

В ходе изучения видового состава пауков Нижнего и Среднего Поволжья авторам удалось найти и тем самым достоверно подтвердить обитание каракурта чёрного (*Latrodectus tredecimguttatus*) в южных районах Левобережья Саратовской области.

Каракурт чёрный, или степная вдова, входит в состав рода *Latrodectus*, относящегося к семейству пауков-тенетников Theridiidae. Данный род насчитывает 31 вид, 5 из которых были отмечены в Европе и всего 2 на территории России (*L. pallidus* O. P.-Cambridge, 1872, *L. tredecimguttatus* (Rossi, 1790)) [1, 2]. При случайном укусе животных или человека пауки впрыскивают яд из группы

нейротоксинов, что вызывает судороги и может привести к летальному исходу, если своевременно не обратиться за медицинской помощью.

### Материал и методы

В ходе изучения степных биотопов Энгельсского района в окрестностях села Терновки была обнаружена и зафиксирована в спиртовом растворе одна самка данного вида.

Материал. 1♀, Саратовская область, Энгельсский р-н, окр. с. Терновка, 51°18'08.6» С.Ш., 45°57'29.4»В.Д., степной биотоп, переходящий в частные участки, 14.07.2015 (В. В. Аникин). Материал хранится в коллекции Зоологического музея Саратовского госуниверситета.

Определение проводилось по современным каталогам и работам [3, 4].

### Результаты и их обсуждение

Представленный экземпляр самки имел следующие характерные величины. Последовательность сегментов ног в данных по измерению: бедро + колено + голень + предлапка + лапка.

Самка. Измерения. Длина тела 13 мм. Просома (головогрудь), длина 5.0 мм, ширина 4.8 мм, высота 2.2 мм. Глазное поле, длина 0.8 мм, ширина переднего ряда 1.9 мм, ширина заднего ряда 2.1 мм. Оπισсосома (брюшко), длина 8.0 мм, ширина 6.8 мм. Длина хелицер 1.0 мм. Высота налечника 0.6 мм. Длина сегментов ног: нога I – 7.0 + 2.3 + 5.5 + 7.8 + 2.3 (мм); нога II – 5.0 + 2.0 + 3.4 + 5.1 + 1.7 (мм); нога III – 4.0 + 1.8 + 2.2 + 3.8 + 1.5 (мм); нога IV – 7.0 + 2.3 + 4.9 + 7.3 + 2.0 (мм).

Окраска полностью чёрная, без пятен на дорсальной стороне опистосомы. Описосома несёт короткие щетинки и волоски.

Эпигина. Отверстие эпигины овальное, удлинённое в ширину (рисунок, а). Протоки



а



б

Рис. 1. Эпигина (а) и вульва (б) самки изученного экземпляра каракурта чёрного (фото Е. А. Кузьмина)



семяприёмников (рецептакул) спиралевидные, образующие четыре витка (см. рисунок, б).

Таким образом, находка этого вида (самки) может свидетельствовать о постоянном нахождении каракурта чёрного в степных районах южной части Левобережья Саратовской области.

#### Список литературы

1. *Ергашев Н.Э.* Экология ядовитых пауков Узбекистана. Ташкент : Фан, 1990. 189 с.
2. World Spider Catalog (WSC). 2015. World Spider Catalog. Natural History Museum Bern. URL: <http://wsc.nmbe.ch>, version 16 (дата обращения: 15.11.2015).
3. *Levy G.* Araneae : Theridiidae // Fauna Palaestina, Arachnida III / Israel Academy of Sciences and Humanities. Jerusalem, 1998. 228 p.
4. *Melic A.* El género *Latrodectus* Walckenaer, 1805 en la península Ibérica (Araneae, Theridiidae) // Revista Ibérica de Aracnología. 2000. Vol. 1. P. 13–30.

УДК 581.5

## СОСТОЯНИЕ ЦЕНОПОПУЛЯЦИЙ АДОНИСА ВОЛЖСКОГО (*ADONIS WOLGENSIS* STEV.) В САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ

О. Н. Давиденко, С. А. Невский, Т. Н. Давиденко

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

В статье приводятся сведения о состоянии ценопопуляций *Adonis wolgensis* в Саратовской области. Изучена численность ценопопуляций, экологические особенности местообитаний, возрастная структура и степень антропогенной трансформации.

**Ключевые слова:** *Adonis wolgensis*, Красная книга, Саратовская область.

#### *Adonis Wolgensis* Coenopopulation State in Saratov Region

O. N. Davidenko, S. A. Nevskiy, T. N. Davidenko

This article devoted to the patterns of *Adonis wolgensis* coenopopulations in the Saratov region. The number of coenopopulation, habitats ecology, ontogenetic structure and the degree of anthropogenic transformation are considered.

**Key words:** *Adonis wolgensis*, Red Book, Saratov region.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-221-223

#### Введение

*Adonis wolgensis* Stev. – степной панноско-понтическо-заволжско-казахстанский вид, распространённый в южных и юго-восточных районах европейской части России, центральных и южных районах Украины, юге Западной Сибири, севере Средней Азии. Вид внесён в Красную книгу Саратовской области (2006) со статусом 2 (V) – уязвимый вид [1]. В литературе имеются подробные сведения о состоянии двух ценопопуляций адониса волжского с территории Марксовского и Пугачевского районов саратовского Заволжья [2, 3]. Кроме того, сведения о



численности отдельных ценопопуляций и их жизненности имеются в ряде работ, посвящённых изучению растительности особо охраняемых природных территорий региона [4] и степной растительности Правобережья [5, 6].

#### Цель исследования

Целью данной работы было выявление особенностей популяционной структуры *A. wolgensis* в разных условиях произрастания и оценка возрастной структуры ценопопуляций (ЦП) вида на территории Саратовской области.

#### Методы исследования

При изучении онтогенетической структуры за основу брались диагнозы и ключи, разработанные Н. В. Саидовой [7]. Изучение ценопопуляций адониса волжского проводилось в 2008–2015 гг. на территории восьми административных районов Правобережья и 10 районов Левобережья Саратовской области. Всего изучено более 300 ценопопуляций *A. wolgensis*, за состоянием 52 ценопопуляций велись многолетние наблюдения. При характеристике сообществ с участием адониса волжского использовались общепринятые в фитоценологии методы [8, 9].

#### Результаты и их обсуждение

Спектр занимаемых адонисом волжским степных сообществ достаточно широк: от наиболее мезофитных вариантов сообществ с доминированием мятлика узколистного (*Poa angustifolia* L.) по склонам и днищам неглубоких балок и экотонов на границе с лесными фитоценозами



до белопопынно-типчаковых фитоценозов на солонцеватых каштановых почвах. В табл. 1 приведены экологические индексы местообитаний

адониса волжского, полученные на основании характеристики разных растительных сообществ с его участием.

Таблица 1

**Экологическая характеристика некоторых сообществ с участием *A. wolgensis* в Саратовской области**

Фитоценозы	Фитоиндикационные индексы	
	влажности	трофности
Узколистнотыпчачковый	1,6	2,5
Типчачковый	0,9	2,4
Кострецово-пырейный	1,9	3,0
Белопопынно-типчачковый	0,5	1,3
Перистоковыльно-типчачковый	0,7	2,2
Разнотравно-типчачковый	1,4	2,8
Ковыльный	1,2	2,0
Грудницево-типчачковый	0,8	1,7
Разнотравный	2,1	2,5

Большинство изученных сообществ с участием адониса волжского подвержены в той или иной степени антропогенному воздействию в виде выпаса скота. Большая часть изученных ЦП саратовского Заволжья испытывает постоянный умеренный пастбищный пресс.

Численность ЦП адониса на изученных участках составляла от 15 до 3000 особей. Численность особей более 100 была отмечена в 60% изученных ЦП. Расположение особей случайно-групповое; группы образованы в основном виргинильными или средневозрастными генеративными растениями. В большинстве случаев численность ЦП меньше на территориях с более сильным пастбищным прессом. Однако эта закономерность выдерживается не всегда,

и в ряде районов (Ровенский, Марковский, Краснокутский, Федоровский, Озинский и др.), несмотря на значительный пастбищный пресс, были отмечены крупные ЦП адониса волжского, устойчиво существовавшие в течение всех лет наблюдения. Растения адониса скотом не поедаются, но испытывают на себе механическое воздействие в виде вытаптывания.

Общая динамика численности в ценопопуляциях по годам практически не варьирует, что обусловлено длительностью онтогенеза. За период исследования колебания численности в пределах изученных ЦП не превышали 4–7% от общего числа особей. Сведения о наиболее крупных ценопопуляциях *A. wolgensis* приведены в табл. 2, 3.

Таблица 2

**Численность наиболее крупных ЦП *A. wolgensis* в саратовском Правобережье**

Годы исследований	Местоположение	Численность, шт.
2010–2013	Урочище «Дальнее», Красноармейский район	100–200
2009–2012	Памятник природы «Нижне-Банновский», Красноармейский район	Около 100
2013	Долина реки Сплавнухи, Красноармейский район	200–300
2008–2015	Окр. Октябрьского городка, Татищевский район	100–200
2009–2014	Окр. пруда Родниковский, Красноармейский район	Около 100
2008	Долина реки Идолги, Аткарский район	200–300
2010	Окр. Артемова озера, Аткарский район	100–200
2010	Долина реки Карамыш, Красноармейский район	200–300
2010–2013	Памятник природы «Степи у с. Лопуховка», Аткарский район	Больше 100



Таблица 3

Численность наиболее крупных ЦП *A. wolgensis* в саратовском Левобережье

Годы исследований	Местоположение	Численность, шт.
2014	Долина р. Мечетка, Советский район	Больше 500
2010–2014	Окр. с. Первомайское, Краснокутский район	Больше 500
2009–2013	Долина р. Еруслан, окр. Дьяковки, Краснокутский район	Больше 700
2014–2015	Окр. с. Сланцевый Рудник, Озинский район	Больше 500
2013–2015	Окр. пруда Ниж. Девичий, Озинский район	200–300
2012–2014	Окр. с. Мирное, Краснокутский район	Больше 2000
2010–2015	Долина р. Караман, Федоровский район	300–400
2009–2011	Окр. с. Журавли, Перелюбский район	Не менее 300
2014	Долина р. Алтата, Дергачевский район	Больше 300
2015	Долина р. Красная, Пугачевский район	100–200
2015	Окр. с. Ленинский, Озинский район	Не менее 300

В большинстве изученных ЦП онтогенетический спектр является неполноценным. В онтогенетической структуре ценопопуляций преобладают в основном молодые и зрелые генеративные, а также виргинильные особи, что соответствует характерному онтогенетическому спектру (ХОС) данной биоморфы. На территории Саратовской области онтогенетическая структура *A. wolgensis* хотя и поливариантна в разных ценопопуляциях, тем не менее, однотипна, имеет централизованный вид онтогенетического спектра и довольно стабильна в динамике.

**Выводы**

На основании полученных данных по распространению адониса волжского на территории Саратовской области, численности и состоянию его ценопопуляций считаем возможным рекомендовать пересмотреть природоохранный статус данного вида в Красной книге Саратовской области. На наш взгляд, широкое распространение вида в большинстве районов региона, наличие значительного числа крупных стабильных ценопопуляций, устойчивость к пастбищной нагрузке, возможность произрастания в экотонных сообществах по склонам и днищам балок, не подвергающихся распашке, позволяют говорить о возможности вынесения вида в Приложение к Красной книге Саратовской области. Крупные ценопопуляции *A. wolgensis* отмечены на территории многих ООПТ Саратовской области (НП «Хвалынский», заказник «Саратовский», памятники природы «Нижне-Банновский», «Дьяковский лес», урочище «Затон», урочище «Синяя гора», урочище «Иваново поле», участок степи у с. Лопуховка и др.) и территорий, рекомендуемых к охране в последние годы (урочи-

ще Три Мара, озеро Большой Морец, окрестности пос. Сланцевый Рудник, урочище Дальнее).

**Список литературы**

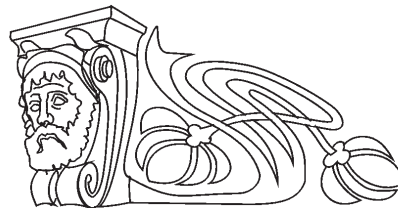
1. Красная книга Саратовской области. Грибы. Лишайники. Растения. Животные. Саратов : Изд-во Торг.-пром. палаты Сарат. обл., 2006. 528 с.
2. Ермолаева Н. Н., Шилова И. В., Кашин А. С. Изменчивость особей и виталитетная структура ценопопуляций *Adonis wolgensis* в Саратовской области // Науч. фонд «Биолог». 2015. № 6 (10). С. 9–12.
3. Ермолаева Н. Н., Шилова И. В., Петрова Н. А., Попова А. О. Состояние ценопопуляций *Adonis wolgensis* в Саратовской области // Бюл. Бот. сада Сарат. ун-та. 2015. Вып. 13. С. 40–49.
4. Невский С. А., Давиденко О. Н. Степная растительность степных склонов памятника природы «Нижне-Банновский» // Науч. тр. Нац. парка «Хвалынский». 2011. Вып. 3. С. 81–86.
5. Невский С. А., Давиденко О. Н. Функциональная устойчивость растительных сообществ саратовского Левобережья с участием охраняемых видов растений // Вестн. ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2014. № 4. С. 90–95.
6. Степина Е. В. Эколого-флористическая характеристика степной растительности юго-западных районов Саратовской области : дис. ... канд. биол. наук. Балашов, 2015. 213 с.
7. Саидова Н. В., Любарский Е. Л. Диагнозы и ключи онтогенетических состояний *Adonis vernalis* L. на территории РТ // Учен. зап. Казан. ун-та. 2009. Т. 4, № 2. С. 150–157.
8. Матвеев Н. М. Биоэкологический анализ флоры и растительности (на примере лесостепной и степной зоны) : учеб. пособие. Самара : Самар. ун-т, 2006. 311 с.
9. Юнатов А. А. Типы и содержание геоботанических исследований. Выбор пробных площадей и заложение экологических профилей // Полевая геоботаника. М. ; Л. : Наука, 1964. Т. 3. С. 9–36.



УДК 630.116(470.54)

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ В СЕЛИТЕБНО-РЕКРЕАЦИОННОЙ ЗОНЕ СТЕРЛИТАМАКСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРА

А. Х. Ибрагимова<sup>1</sup>, Р. Х. Гиниятуллин<sup>2</sup>,  
О. В. Тагирова<sup>1</sup>, А. Ю. Кулагин<sup>2</sup>



<sup>1</sup>Башкирский государственный педагогический университет имени М. Акмуллы, Уфа

E-mail: alfiya-tab@mail.ru

<sup>2</sup>Уфимский Институт биологии РАН

E-mail: grafak2012@yandex.ru

Исследованы насаждения березы повислой, тополя бальзамического, липы мелколистной, лиственницы Сукачева, дуба черешчатого и ели обыкновенной в селитебно-рекреационной зоне Стерлитамакского промышленного центра. При сборе и обработке фактического материала использованы общепринятые методы изучения лесных насаждений. Проведены инструментальные (диаметр, высота, возраст) и визуальные определения (густота кроны, степень повреждения листьев, наличие мертвых сучьев) диагностических параметров. Осуществлена оценка относительного жизненного состояния деревьев.

**Ключевые слова:** относительное жизненное состояние, береза повислая, тополь бальзамический, липа мелколистная, лиственница Сукачева, дуб черешчатый, ель обыкновенная.

### Assessment of Tree Plantations in Residential-recreational Area Sterlitamak Industrial Center

A. H. Ibragimova, H. R. Giniyatullin,  
O. V. Tagirova, A. Y. Kulagin

The investigated stands of *Betula pendula*, *Populus balsamifera*, *Tilia cordata*, *Larix sukaczewii*, *Picea abies*. Karst in residential-recreational area of Sterlitamak industrial center. When collecting and processing factual material used generally accepted methods of studying of forest stands. Instrumental produced (diameter, height, age) and visual indication (the density of the crown, the degree of damage to leaves, dead branches) of diagnostic parameters. An estimation of the relative vitality of trees.

**Key words:** relative living condition, *Betula pendula*, *Populus balsamifera*, *Larix sukaczewii*, *Tilia cordata*, *Picea abies*, *Quercus robur*.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-224-231

#### Введение

Успешное произрастание древесных растений в условиях промышленного загрязнения определяется видовой принадлежностью, их устойчивостью, возрастом насаждений, характером техногенного загрязнения и выполнением мероприятий по уходу за насаждениями.

Вопросы устойчивости и продуктивности древесных растений, произрастающих в районах размещения промышленных предприятий, связа-

ны с экологической безопасностью и оптимизацией состояния окружающей среды. Известно, что в районах постоянного загрязнения атмосферного воздуха повреждаются хвоя и листья растений, изменяются размеры и сокращается продолжительность жизни ассимиляционного аппарата, формируется ажурность крон, снижаются линейный и радиальный приросты деревьев, ускоряются процессы отмирания ветвей в кронах, снижаются запасы фитомассы, изменяется габитус деревьев, наблюдаются процессы ускоренного старения и усыхания растений [1–9].

Город Стерлитамак находится в юго-восточной части Восточно-Европейской платформы – это современный промышленный центр с комплексом предприятий химической и нефтехимической промышленности.

Активное антропогенное воздействие на окружающую среду в регионе началось в середине XX в. во время строительства и начала эксплуатации основных промышленных предприятий. Промышленные предприятия сосредоточены в основном в северной части города. На сравнительно небольшой территории расположены «Башкирская содовая компания» (ОАО «Каустик», ОАО «Сода»), ОАО «Синтез-Каучук», ОАО «Стерлитамакский нефтехимический завод», Стерлитамакский и Ново-Стерлитамакский ТЭЦ, ОАО «Строительные материалы», ОАО «Стерлитамакский станкостроительный завод» и др.

Рельеф территории представляет собой полого-увалистую равнину, расчлененную долиной р. Белой и ее притоками. Территория относится к лесостепной природной зоне. Жилой массив находится в долине р. Белой.

Почвы города характеризуются мозаичностью [10]. В городской черте на территории городских парков, скверов, садов, уличных посадок, газонов почвенный покров сформирован с использованием насыпных почвогрунтов.

Климат отличается континентальностью и умеренным увлажнением. Территория расположена в четвертой климатической зоне, где по метеоусловиям 50% дней в году регистрируются



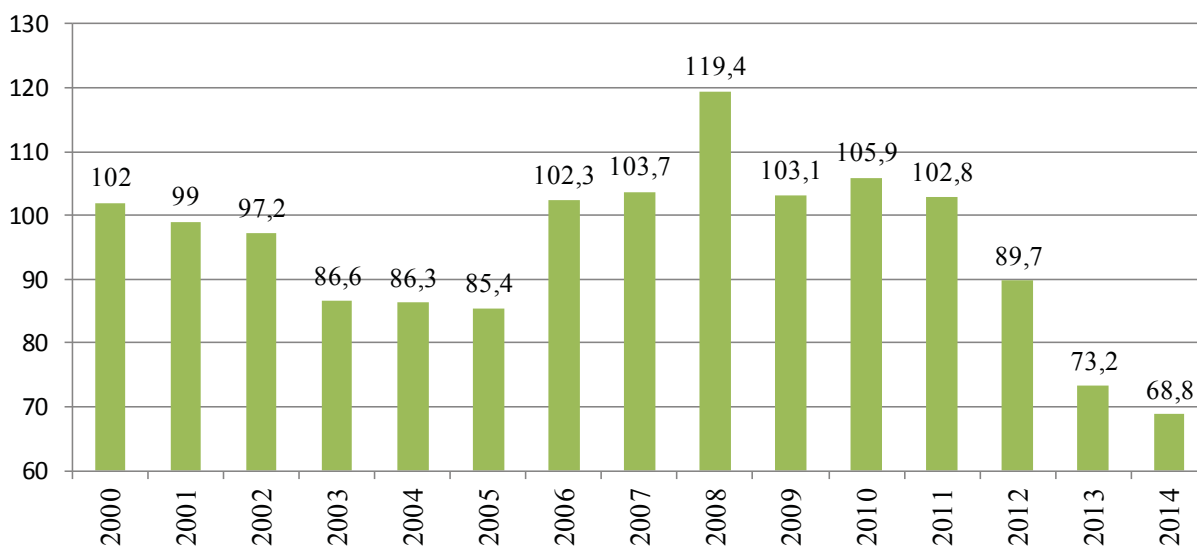


штилевые явления и 75% дней – температурные инверсии приземного слоя атмосферы. Вероятность опасных атмосферных явлений (штиль, слабый ветер, инверсия) сохраняется большую часть года. Индекс биологической эффективности климата составляет 20–24 [10].

Преобладающими ветрами в районе расположения г. Стерлитамака являются южные – 34% и юго-западные – 14%. Наиболее опасные предприятия-загрязнители находятся в северной части города. Это означает, что практически все выбросы, которые производятся промышленными предприятиями и оказывают негативное воздействие на состояние окружающей среды, попадают в основном в северную и северо-восточную части города. Однако с юга и юго-вос-

тока г. Стерлитамака находятся промышленные города – Салават и Ишимбай, выбросы которых оказывают неблагоприятное влияние на прилегающие территории. Направление господствующих ветров способствует переносу загрязняющих веществ на территорию г. Стерлитамака.

По данным докладов Министерства природопользования и экологии Республики Башкортостан об экологической ситуации на территории Республики Башкортостан в 2000–2014 гг., объем валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу с 2000 по 2005 г. снизился с 102 до 85,4 тыс. т. При этом с 2006 по 2008 гг. объем валовых выбросов вырос до 119, тыс. т, с 2009 по 2014 г. он снова начал снижаться и составил в 2014 г. 68,8 тыс. т (рис. 1) [10–18].



■ Объем валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Стерлитамак, тыс. т

Рис. 1. Динамика объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух г. Стерлитамак

По данным постов наблюдений ФГБУ «Башкирское УГМС» в 2014 г., уровень загрязнения воздуха Стерлитамака характеризуется как повышенный. Потенциал загрязнения атмосферы в среднем за 2014 г. составил 3,1.

Таким образом, оценка состояния окружающей среды и характеристика лесных насаждений должны рассматриваться для территории Стерлитамакского промышленного центра (СПЦ).

**Целью** исследования является оценка относительного жизненного состояния (ОЖС) древесных насаждений селитебно-рекреационной зоны СПЦ.

Объектом исследований является древесная растительность селитебно-рекреационной зоны СПЦ.

Предметами исследований являются конкретные породы деревьев, а именно:

береза повислая (*Betula pendula* Roth) – одна из основных древесных пород, используемых при создании санитарно-защитных насаждений. Произрастает в лесах, полезащитных насаждениях и промышленных зонах. Береза повислая считается достаточно устойчивой, неприхотливой и долговечной [2, 7, 8];

тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) – быстрорастущее, морозостойкое, устойчивое к городским условиям дерево [2, 7, 8]. Тополя широко используются при озеленении и в защитном лесоразведении благодаря высокой скорости роста, сравнительно малой требовательности к условиям произрастания, легкости размножения и декоративности [6];



липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.). Ценится в зеленом строительстве. В защитном лесоразведении используется как сопутствующая порода. В зоне сильного загрязнения деревья имеют несколько большие диаметр и высоту на водоразделе [3];

лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Dyl.) – дерево из рода лиственница (*Larix* Mill.) семейства Сосновые (Pinaceae Lindl.). Лиственница – светолюбивая порода, не выносит затенения, для ее выращивания нужны глубокие, свежие почвы с достаточным количеством доступной влаги, с хорошей аэрацией, грунтовыми водами на глубине не менее 1,5–2,0 м [19];

ель обыкновенная (*Picea abies* L. Karst) – вечнозелёное древесное растение высотой до 30 м. Обычная продолжительность жизни ели обыкновенной – 250–300 лет. Ель обыкновенная активно используется в городском озеленении, а также для создания снегозащитных насаждений вдоль дорог [8, 20];

дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) – дерево семейства Буковых (Fagaceae A. Br.). Листопадное дерево высотой до 40 м, отличается высокой

зимостойкостью и переносит морозы до – 40 °С, широко применяется в степном лесоразведении, при создании парков и скверов в городском озеленении [8].

Определение ОЖС древесных насаждений позволяет сформировать представление о современном состоянии в условиях длительного комплексного действия антропогенных факторов на территории СПЦ, определить перспективы имеющихся насаждений и обосновать мероприятия по реконструкции насаждений селитебно-рекреационной зоны СПЦ.

#### Методы исследований

При сборе и обработке фактического материала были использованы общепринятые методы изучения лесных насаждений при выполнении ботанических и биогеоценологических исследований [20–22].

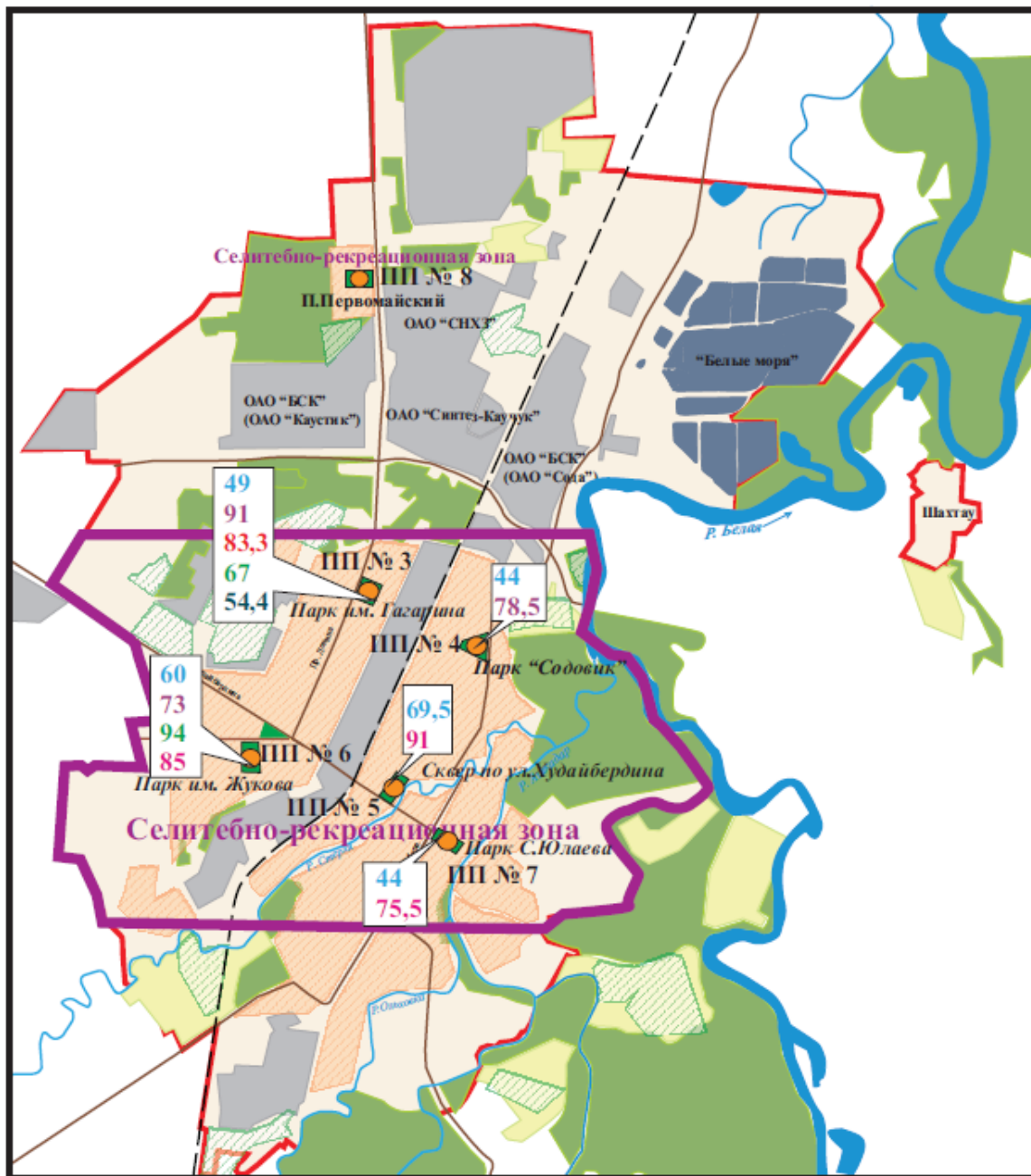
Проведен подбор и закладки постоянных пробных площадей (ПП) (рис. 2, табл. 1) в селитебно-рекреационной зоне СПЦ. На каждой пробной площади осуществлялся пересчет деревьев, определялись диаметр и высота отдельных деревьев.

Таблица 1

Характеристика пробных площадей, заложенных на территории Стерлитамакского промышленного центра

Зона	Номер ПП	Привязка / Местоположение	Порода
Селитебно-рекреационная зона	1	Парк им. Гагарина	Тополь бальзамический
			Береза повислая
			Липа мелколистная
			Лиственница Сукачева
			Дуб черешчатый
	2	Парк «Содовик»	Береза повислая
			Липа мелколистная
	3	Сквер по ул. Худайбердина	Береза повислая
			Ель обыкновенная
	4	Парк им. Жукова	Береза повислая
			Липа мелколистная
			Лиственница Сукачева
Ель обыкновенная			
5	Парк им. Юлаева	Береза повислая	
		Ель обыкновенная	
6	Сквер у Дома культуры*	Береза повислая	

Примечание. \*Территориально сквер у дома культуры находится в северной части города, где сосредоточены промышленные предприятия, административно располагается п. Первомайский, являющийся селитебной территорией.



**УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ**

- |   |                          |   |
|---|--------------------------|---|
| Административная граница г. Sterlitamak | Промышленные предприятия | Древесная растительность                |
| Реки                                    | Отстойники "Белые моря"  | Травянисто-кустарниковая растительность |
| Дороги                                  | Границы выделенных зон   | Селитебная зона                         |

**Пробные площади:**

- Пробные площади на территории парковых насаждений
- Пробные площади в селитебной зоне
- Пробные площади на территории промышленной зоны

**Результаты расчетов индексов ОЖС, %**

- березы повислой
- липы мелколистной
- тополя бальзамического
- лиственницы Сукачева
- дуба черешчатого
- ели обыкновенной

М 1:50 000

Рис. 2. Карта рекреационно-селитебной зоны Sterlitamakского промышленного центра с результатами расчетов относительного жизненного состояния древесных насаждений [23]



Проводилась визуальная оценка следующих диагностических признаков: густота кроны (в % от нормальной густоты), наличие на стволе мертвых сучьев (в % от общего количества сучьев на стволе), степень повреждения листьев токсикантами, патогенами и насекомыми (средняя площадь некрозов, хлорозов и объеданий в % от площади листа) [21].

Радиальный прирост стволовой древесины является универсальным и обобщающим индикатором состояния древесных насаждений. Образцы кернов древесины для установления возраста деревьев отбирались с помощью приростного бурава Suunto на высоте 1,3 м [2, 9]. Возраст устанавливался подсчетом годовичных колец на микроскопе МБС-1.

### Результаты и их обсуждение

В рекреационной зоне СПЦ ассортимент древесных пород, представленных в зеленом строительстве, достаточно широкий: береза повислая, тополь бальзамический, ель обыкновенная, дуб черешчатый, липа мелколист-

ная, лиственница Сукачева (см. рис. 1, табл. 1).

**Парк им. Гагарина** (пробная площадь №1) расположен в северо-западной части г. Стерлитамака южнее ОАО «Башкирская содовая компания» (ОАО «Каустик» и ОАО «Синтез-Каучук»).

На исследуемой пробной площади оценено ОЖС березы повислой, тополя бальзамического, липы мелколистной, лиственницы Сукачева, дуба черешчатого. Выявлено, что у деревьев имеются механические повреждения стволов, фитопатологические повреждения, энтомопоражения и сухостершинность. В парке им. Гагарина ОЖС березы повислой относится к категории «слабое» ( $L_n = 49\%$ ,  $L_v = 44,5\%$ ), ОЖС насаждений тополя бальзамического относится к категории «здоровое» ( $L_n = 83,3\%$ ,  $L_v = 100\%$ ), ОЖС насаждений липы мелколистной относится к категории «здоровое» ( $L_n = 91,0\%$ ,  $L_v = 100\%$ ), ОЖС насаждений лиственницы Сукачева относится к категории «слабое» ( $L_n = 67,0\%$ ,  $L_v = 67,4\%$ ), ОЖС насаждений дуба черешчатого относится к категории «слабое» ( $L_n = 54,0\%$ ,  $L_v = 63,0\%$ ) (табл. 2, 3).

Таблица 2

**Категории жизненного состояния и возрастная структура древесных насаждений рекреационной зоны Стерлитамакского промышленного центра**

Порода	Количество деревьев, шт.					Средний возраст, лет
	Всего	Категория жизненного состояния деревьев				
		«здоровое»	«слабое»	«сильно «слабое»	«отмирающее»	
Тополь бальзамический	10	5	5	–	–	40
Береза повислая	10	–	3	7	–	39
Липа мелколистная	10	7	3	–	–	36
Лиственница Сукачева	10	2	5	3	–	42
Дуб черешчатый	8	–	5	2	1	36
Береза повислая	10	–	6	–	4	52
Липа мелколистная	10	5	4	–	1	36
Береза повислая	10	4	3	2	1	30
Ель обыкновенная	10	7	3	–	–	40
Береза повислая	10	2	5	1	2	44
Липа мелколистная	10	1	9	–	–	39
Лиственница Сукачева	5	4	1	–	–	12
Ель обыкновенная	10	5	5	–	–	41
Береза повислая	10	3	–	3	4	37
Ель обыкновенная	10	4	5	–	1	38
Береза повислая	10	2	7	1	–	25

Средний возраст насаждений тополя бальзамического составляет 40 лет, березы повислой – 39 лет, липы мелколистной – 36 лет, лиственницы

Сукачева – 42 года, дуба черешчатого – 36 лет. Установлено, что в парке им. Гагарина самый высокий индекс ОЖС имеет липа мелколистная



( $L_n = 91,0\%$ ,  $L_v = 100\%$ ) и тополь бальзамический ( $L_n = 83,3\%$ ,  $L_v = 100\%$ ), низкий – береза повислая ( $L_n = 49\%$ ,  $L_v = 44,5\%$ ) и дуб черешчатый ( $L_n = 54,0\%$ ,  $L_v = 63,0\%$ ).

**Парк «Содовик»** (пробная площадь № 2) расположен в северо-восточной части г. Стерлитамака южнее ОАО «БСК» (производство «Сода»). На данной пробной площади оценено ОЖС березы повислой и липы мелколистной. Выявлено, что у деревьев имеются механические повреждения стволов, фитопатологические повреждения (бактериальная водянка, образования на стволе плодовых тел грибов), суховершинность.

По результатам расчета индексов относительного жизненного состояния деревьев парка «Содовик» (см. табл. 2, 3), установлено, что ОЖС березы повислой относится к категории «сильно ослабленное» ( $L_n = 44\%$ ,  $L_v = 41,3\%$ ), липы мелколистной – к категории «ослабленное» ( $L_n = 78,5\%$ ,  $L_v = 77,8\%$ ). Средний возраст насаждений березы повислой 52 года, липы мелколистной – 36 лет. Установлено, что в парке «Содовик» самый высокий индекс ОЖС имеет липа мелколистная ( $L_n = 78,5\%$ ,  $L_v = 77,8\%$ ),

низкий – береза повислая ( $L_n = 44\%$ ,  $L_v = 41,3\%$ ).

**Сквер по ул. Худайбердина** (пробная площадь № 3) расположен в центральной части г. Стерлитамака вдоль р. Стерля у одной из самых оживленных улиц города – ул. Худайбердина.

На данной пробной площади оценено ОЖС березы повислой и ели обыкновенной. Выявлено, что у деревьев имеются механические повреждения стволов, фитопатологические повреждения (бактериальная водянка), суховершинность.

По результатам расчета индексов относительного жизненного состояния деревьев сквера по ул. Худайбердина (см. табл. 2, 3), установлено, что ОЖС березы повислой относится к категории «ослабленное» ( $L_n = 69,5\%$ ,  $L_v = 63,5\%$ ), ели обыкновенной – к категории «здоровое» ( $L_n = 91,0\%$ ,  $L_v = 100\%$ ). Средний возраст насаждений березы повислой – 30 лет, ели обыкновенной – 40 лет. Установлено, что в сквере по ул. Худайбердина самый высокий индекс ОЖС имеет ель обыкновенная ( $L_n = 91,0\%$ ,  $L_v = 100\%$ ).

Результаты расчета индексов относительного жизненного состояния деревьев селитебно-рекреационной зоны представлены в табл. 3.

Таблица 3

Индексы относительного жизненного состояния древесных насаждений селитебно-рекреационной зоны Стерлитамакского промышленного центра,  $L_n/L_v$

Порода	№1	№2	№3	№4	№5	№6
Тополь бальзамический	83,3 / 100,0*	–	–	–	–	–
Береза повислая	49,0 / 44,5***	44,0 / 41,3***	69,5 / 63,5**	60,0 / 67,6**	44,0 / 22,3***	73,0 / 75,9**
Липа мелколистная	91,0 / 100,0*	78,5 / 77,8**	–	73,0 / 94,6**	–	–
Лиственница Сукачева	67,0 / 67,9**	–	–	94,0 / 100,0*	–	–
Дуб черешчатый	54,4 / 63,0**	–	–	–	–	–
Ель обыкновенная	–	–	91,0 / 100,0*	85,0 / 100,0*	75,5 / 75,7**	–

Примечание. Состояние насаждения оценивается как: \*здоровое, \*\*ослабленное, \*\*\*сильно ослабленное, отмирающее.

**Парк им. Жукова** (пробная площадь № 4) расположен в юго-западной части г. Стерлитамака. На данной пробной площади оценено ОЖС березы повислой, липы мелколистной, лиственницы Сукачева, ели обыкновенной. Выявлено, что у деревьев имеются повреждения стволов морозобойными трещинами, фитопатологические повреждения (бактериальная водянка), выражена суховершинность.

По результатам расчета индексов относительного жизненного состояния деревьев парка им. Жукова (см. табл. 2, 3) установлено, что ОЖС березы повислой относится к категории «ослабленное» ( $L_n = 60,0\%$ ,  $L_v = 67,6\%$ ), ОЖС

насаждений липы мелколистной относится к категории «ослабленное» ( $L_n = 73,0\%$ ,  $L_v = 94,6\%$ ), ОЖС насаждений лиственницы Сукачева относится к категории «здоровое» ( $L_n = 94,0\%$ ,  $L_v = 100,0\%$ ), ОЖС насаждений ели обыкновенной относится к категории «здоровое» ( $L_n = 85,0\%$ ,  $L_v = 100,0\%$ ) (см. табл. 2). Установлено, что в парке им. Жукова самый высокий индекс ОЖС имеет лиственница Сукачева ( $L_n = 94,0\%$ ,  $L_v = 100,0\%$ ), низкий – береза повислая ( $L_n = 60,0\%$ ,  $L_v = 67,6\%$ ). Средний возраст березы повислой составляет 44 года, липы мелколистной – 39 лет, лиственницы Сукачева – 12 лет, ели обыкновенной – 41 год.



**Парк им. Юлаева** (пробная площадь №5) расположен в юго-восточной части Стерлитамака в междуречье р. Ашкадар и р. Стерля. На данной пробной площади оценено ОЖС березы повислой и ели обыкновенной. Установлено, что у деревьев имеются морозобойные трещины, повреждения стволов энтомопоражениями (кладка яиц, стволовые заселения), фитопатологические повреждения (бактериальная водянка), механические повреждения и суховершинность. На листьях имеются следы газовых ожогов.

По результатам расчета индексов относительного жизненного состояния деревьев парка им. Юлаева (см. табл. 2, 3), установлено, что ОЖС березы повислой относится к категории «сильно ослабленное» ( $L_n = 44,0\%$ ,  $L_v = 22,3\%$ ), ели обыкновенной – «ослабленное» ( $L_n = 75,0\%$ ,  $L_v = 75,7\%$ ). Установлено, что в парке имени Юлаева самый высокий индекс ОЖС имеет ель обыкновенная ( $L_n = 75,0\%$ ,  $L_v = 75,7\%$ ), низкий – береза повислая ( $L_n = 44,0\%$ ,  $L_v = 22,3\%$ ). Средний возраст березы повислой составляет 37 лет, ели обыкновенной – 38 лет. Результаты определения категории жизненного состояния деревьев селитебно-рекреационной зоны и возрастной структуры представлены в таблице 3.

**Сквер у Дома культуры** (пробная площадь № 6) расположен в северной части Стерлитамака в п. Первомайском в санитарно-защитной зоне промышленных предприятий. На стволах древостоев имеются морозобойные трещины, механические повреждения. По результатам расчета индексов относительного жизненного состояния деревьев сквера у Дома культуры (см. табл. 2, 3), установлено, что ОЖС березы повислой характеризуется как «ослабленное» ( $L_n = 73\%$ ,  $L_v = 75,9\%$ ). Средний возраст березы повислой в сквере составляет 25 лет. На пробной площади № 6 показатель относительного жизненного состояния березы повислой самый высокий среди обследованных пробных площадей селитебно-рекреационной зоны.

### Выводы

Определение ОЖС древесных насаждений позволяет оценить устойчивость отдельных деревьев и насаждений в целом к воздействию техногенных факторов.

Среди всех исследованных пород в селитебно-рекреационной зоне СПЦ самый низкий индекс ОЖС выявлен для березы повислой (парк им. Гагарина – ПП №3, парк «Содовик» – ПП №4, парк им. Юлаева – ПП №7). Состояние насаждений березы характеризуется как «сильно ослабленное». Большинство деревьев заражены бактериальной водянкой, что, несомненно, по-

влияло на результат расчета индекса ОЖС. Наиболее устойчивыми породами являются липа мелколистная, ель обыкновенная и лиственница Сукачева – их состояние оценивается в целом как «здоровое». Деревья практически не поражены заболеваниями и вредителями, имеют хорошо сформированную крону.

Несмотря на то что древесные насаждения березы повислой относятся к категориям «сильно ослабленное» и «ослабленное», они являются основными лесообразующими породами внутриквартальных посадок, посадок в скверах и парках. В целом насаждения березы повислой в условиях Стерлитамакского промышленного центра выполняют эстетические и средозащитные функции [4, 5].

Выявлены различия в оценках ОЖС, рассчитанных по числу деревьев ( $L_n$ ) и по объему стволов ( $L_v$ ), что связано с присутствием на пробных площадях ослабленных крупных и старых деревьев. Это отмечено при расчете ОЖС насаждения по объему стволов для липы мелколистной и березы повислой. Следует учитывать этот аспект при выполнении работ по оценке состояния насаждений древесных пород в городских условиях.

Отметим, что большинство исследованных древесных насаждений относится к категориям приспевающих, спелых и перестойных, что выступает основанием для проведения в ближайшие годы работ по реконструкции насаждений. При реконструкции существующих насаждений необходимо учитывать, что в условиях селитебно-рекреационной зоны липа мелколистная, лиственница Сукачева и ель обыкновенная являются устойчивыми к комплексу неблагоприятных природных и техногенных факторов СПЦ. Данные древесные породы наряду с березой повислой и тополем бальзамическим следует и в дальнейшем использовать при создании защитных насаждений вдоль автомагистралей и на территориях скверов и парков.

### Список литературы

1. Антипов В. Г. Устойчивость древесных растений к промышленным газам. Минск : Наука и техника, 1979. 216 с.
2. Гетко Н. В. Растения в техногенной среде. Минск : Наука и техника, 1989. 208 с.
3. Добрышев Ю. И., Коротков С. А., Козьянов С. Н. О возможности применения морфометрических методов исследования устойчивости липы мелколистной в условиях города. Ход роста липняков по типам леса в Башкирской АССР // Тр. Башкир. СХИ. 1963. Т. II, ч. 1. С. 64–67.
4. Ибрагимова А. Х., Тагирова О. В., Гиниятуллин Р. Х., Кулагин А. Ю. Оценка относительного жизненного



- состояния насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) и тополя бальзамического (*Populus balsamifera* L.) в промышленной и селитебной зоне Стерлитамакского промышленного центра // Вестн. Самар. гос. ун-та. Естественная серия. 2014. Вып. № 7 (118). С. 197–206.
5. Кулагин А. Ю., Гиниятуллин Р. Х., Уразгильдин Р. В. Средостабилизирующая роль лесных насаждений в условиях Стерлитамакского промышленного центра. Уфа : Гилем, 2010. 108 с.
  6. Кулагин А. Ю., Кагарманов И. Р., Блонская Л. Н. Тополь в Предуралье : Дендрэкологическая характеристика и использование. Уфа : Гилем, 2000. 124 с.
  7. Кулагин Ю. З. Древесные растения и промышленная среда. М. : Наука, 1974. 124 с.
  8. Кулагин Ю. З. Лесообразующие виды, техногенез и прогнозирование. М. : Наука, 1980. 116 с.
  9. Ярмишко В. Т. Влияние атмосферных загрязнений на состояние лесных экосистем северо-запада Российской Федерации // Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных и природных факторов на дестабилизацию состояния лесов центральной и восточной Европы : тез. докл. междунар. науч. конф. М., 1996. Т. 1. С. 5–7.
  10. Доклад об экологической ситуации на территории Республики Башкортостан в 2014 году. Уфа : МПР РБ, 2014. 172 с.
  11. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2005 году». Уфа : МПР РБ, 2006. 197 с.
  12. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2006 году». Уфа : МПР РБ, 2007. 200 с.
  13. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2007 году». Уфа : МПР РБ, 2008. 217 с.
  14. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2008 году». Уфа : МПР РБ, 2009. 200 с.
  15. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2009 году». Уфа : МПР РБ, 2010. 189 с.
  16. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2010 году». Уфа : МПР РБ, 2011. 343 с.
  17. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2011 году». Уфа : МПР РБ, 2012. 367 с.
  18. Государственный доклад «О состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2012 году». Уфа : МПР РБ, 2013. 336 с.
  19. Дылис Н. В. Лиственница. М. : Лесная промышленность, 1981. 96 с.
  20. Сукачев В. Н., Раунер Ю. Л., Молчанов А. А., Родде А. А. Программа и методика биогеоэкологических исследований / Академия наук СССР. Отд-ние общей биологии / под ред. В. Н. Сукачева, Н. В. Дылиса. М. : Наука, 1966. 333 с.
  21. Алексеев В. А. Некоторые вопросы диагностики и классификации поврежденных загрязнением лесных экосистем // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. С. 38–54.
  22. Ярмишко В. Т., Лянгузова И. В. Методы изучения лесных сообществ. СПб. : НИИХимии СПбГУ, 2002. 240 с.
  23. Касимов Н. С., Артемьев Ю. М., Январева Л. Ф., Ананьев Г. О., Берлянт А. М. Экологический атлас России / Географ. фак. МГУ. СПб. : ЗАО «Карта», 2002.

УДК 581.524.31

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВЫСШЕЙ ВОДНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ВОДОЕМА-ОХЛАДИТЕЛЯ БАЛАКОВСКОЙ АЭС ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ РАСТИТЕЛЬНОВАЖНЫХ РЫБ



К. Г. Грищенко<sup>1</sup>, О. В. Седова<sup>2</sup>, М. Ю. Воронин<sup>2</sup>, Е. А. Ионова<sup>1</sup>, С. В. Рязанов<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Государственный научно-исследовательский институт промышленной экологии, Саратов

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского

<sup>3</sup>Балаковская АЭС

**Current State of the Higher Aquatic Vegetation of the Balakovo NPS Cooling Reservoir under the Influence of Herbivorous Fishes**

**K. G. Grishchenko, O. V. Sedova, M. Yu. Voronin, E. A. Ionova, S. V. Ryzanov**

В статье представлены данные по оценке состояния высшей водной растительности водоема-охладителя Балаковской АЭС

под воздействием растительноводных рыб. Выявлено, что видовое разнообразие водной флоры водоема-охладителя за период исследований резко снизилось с 34 (2009 г.) до 12 видов (2015 г.). Доминирующим видом, определяющим облик фитоценозов, является тростник южный (*Phragmites australis*). По показателю чистой первичной продукции сообщества тростника в водоеме-охладителе БАЭС являются высокопродуктивными. В последние годы исследований намечается тенденция к снижению показателей фитомассы и продуктивности этих сообществ. В настоящее время наблюдается существенное сокращение площади зарастания водоема-охладителя, особенно это касается гидрофитной растительности. Произшедшие изменения, очевидно, обусловлены эффективностью биомелиоративных мероприятий, предпринятых для борьбы с зарастанием водоема-охладителя.

**Ключевые слова:** водоем-охладитель, высшая водная растительность, биомелиорация.



The article presents data on the assessment of the state of higher aquatic plants cooling reservoir Balakovo NPS under the influence of bioremediative fishes. It was revealed that the species diversity of higher aquatic vegetation for the period of study has sharply decreased from 34 (2009) to 12 species (2015). The dominant species, which defines the image of plant communities, is common reed (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex Steud). Reed communities are rated as very highly productive in terms of net primary production. In recent years the tendency to decrease of phytomass and production of reed communities is revealed. Significant reduction of the overgrowing area of cooling reservoir is currently observed, especially for hydrophytes. The happened changes are obviously due to efficient bioremediative actions undertaken against the overgrowing of the cooling reservoir.

**Key words:** cooling reservoir, higher aquatic vegetation, bioremediation.

DOI: 10.18500/1816-9775-2016-16-2-231-236

Высшая водная растительность является важнейшим компонентом экосистемы водоема-охладителя электростанции. Прибрежно-водные и водные растения принимают участие в самоочищении водоема, создают естественный барьер, задерживающий сток дождевых и талых вод, несущих с собой биогенные элементы и загрязнители [1]. Важнейшим свойством макрофитов является их способность аккумулировать биогенные элементы (главным образом азот и фосфор), делая их недоступными для низших водных растений, тем самым предотвращая бурное размножение зеленых и сине-зеленых водорослей, вызывающих эвтрофикацию водоема и снижающих пригодность воды для технических целей (засорение системы охлаждения реакторов). При этом влияние высшей водной растительности на качество воды в водоемах не ограничивается только положительными

процессами. При чрезмерном ее развитии характер преобразований может быть и отрицательным [2, 3]. Существенная роль макрофитов в формировании качества воды водоема-охладителя и нормальном функционировании охлаждающей системы реактора электростанции требует постоянного наблюдения за развитием фитоценозов и проведения биомелиоративных работ по регулированию зарастания акватории. Наиболее перспективным методом борьбы с зарастанием высшей водной растительностью является интродукция в водоемы растительноядных рыб. Особая роль в этой связи отводится теплолюбивым породам растительноядных рыб, таких как белый амур, белый и пестрый толстолобик – высокоэффективным фитофагам, потребляющим практически все виды водной флоры. В этой связи в 2009–2015 гг. проводились мониторинговые исследования состава и структуры флоры и растительности водоема-охладителя Балаковской АЭС (БАЭС).

#### Материал и методы

Изучение флоры и растительности осуществлялось путем детально-маршрутного исследования с подробным описанием водных и прибрежно-водных фитоценозов, руководствуясь общепринятой методикой геоботанических исследований водной растительности [4, 5]. Учетные площадки располагались в тепловодной зоне (отводящий канал) водоема-охладителя (№№ 1–3), в холодноводной зоне (приводящий канал) БАЭС (№№ 4–6), на мелководьях Саратовского водохранилища вблизи дамбы водоема-охладителя (№ № 7–9) (рис. 1).



Рис. 1. Схема расположения площадок на акватории водоема-охладителя БАЭС (№ 1–6), на Саратовском водохранилище (№ 7–9)

Учитывались сосудистые растения, находящиеся непосредственно в воде и зоне периодического затопления. В работе использована доминантная

система высших синтаксонов, основными единицами которой (в порядке возрастания ранга) являются ассоциации, формации, группы формаций,





классы формаций, группы классов формаций и тип растительности. Названия видов приводятся по сводке С.К. Черепанова [6].

Определение фитомассы выполнено на учетных площадках квадратной формы размером 0.25 м<sup>2</sup>. На каждой пробной площади укосы брались в трехкратной повторности. Укосы взвешивали в сыром, а впоследствии в воздушно-сухом состоянии. До абсолютно сухой массы пробы доводили в сушильном шкафу при 104°С. По массе высушенной навески определяли абсолютно сухую массу всего укоса.

Для определения продуктивности по максимальной фитомассе был использован коэффициент 1.2 [7]. Первичным показателем продуктивности принята надземная абсолютно сухая фитомасса (г/м<sup>2</sup>).

### Результаты и их обсуждение

С целью обеспечения оптимальных для водоснабжения БАЭС эксплуатационных характеристик водоема-охладителя и качества воды, в него с 2001 по 2014 г. был выпущен рыбопосадочный материал растительноядных рыб (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика зарыбления водоема-охладителя БАЭС

Год	Количество рыбопосадочного материала, кг
2001	4704 (белый амур 2627)
2002	430 (толстолобик 430)
2003	3430 (толстолобик 430, белый амур 1500, прудовая рыба 1500)
2005	8000 (прудовая рыба 8000)
2006	7285 (прудовая рыба 7285)
2008	20000 (белый амур 10104,59, толстолобик 9307,39)
2010	24300 (белый амур 12150, толстолобик 12150)
2011	16100 (белый амур 16100)
2014	19000 (белый амур 9500, белый толстолобик 9500)

Результаты выполнения биомелиоративных работ на водоеме-охладителе БАЭС стали очевидными уже через несколько лет и отразились как на составе и структуре водной флоры и растительности, так и на продуктивности сообществ.

Видовое разнообразие водной флоры водоема-охладителя за период исследований резко снизилось с 34 (2009 г.) до 12 видов (2015 г.) (рис. 2), при этом снижение видового разнообразия произошло за счет практически полного выпая-

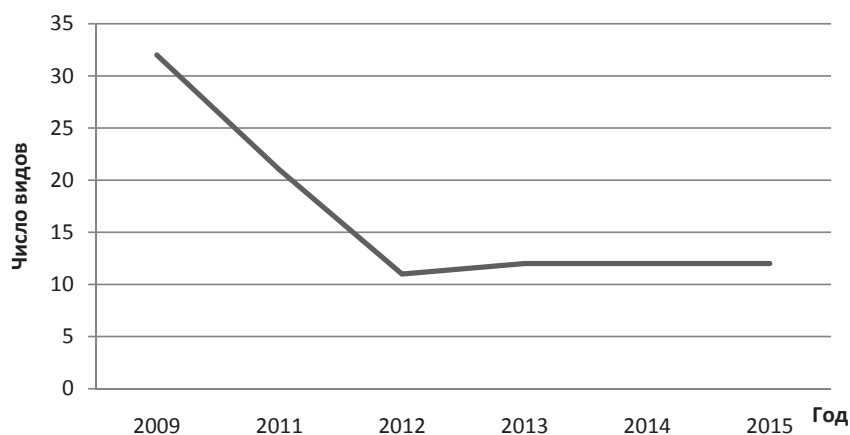


Рис. 2. Изменение видового разнообразия водной флоры водоема-охладителя БАЭС

дения видов гидрофитов и обеднения гелофитной составляющей флоры (рис. 3).

Ценогический состав высшей водной растительности в водоеме-охладителе в 2009 г. был представлен восемью ассоциациями, относящи-

мися к семи формациям, а в 2015 г. – только тремя ассоциациями двух формаций.

Приводим классификационную схему растительности водоема-охладителя БАЭС на 2015 г.

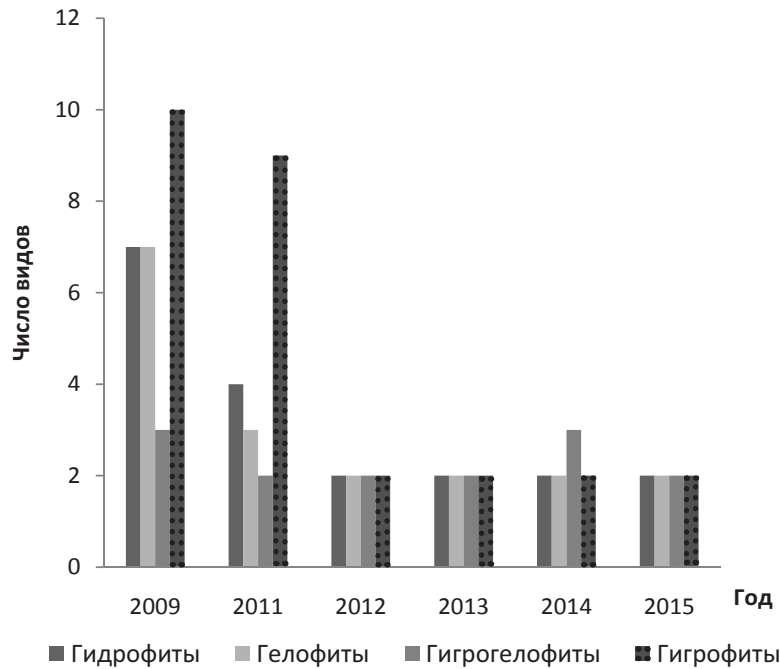


Рис. 3. Изменение экологической структуры флоры водоема-охладителя БАЭС

Тип растительности – водная растительность – *Aquiphytosa*

Группа классов – прибрежно-водная растительность – *Aquiherbosa vadosa*.

Класс формаций – воздушно-водная (гелофитная) растительность – *Aquiherbosa helophyta*.

1. Группа формаций высокотравных гелофитов – *Aquiherbosa helophyta procera*.

1.1. Формация тростника южного – *Phragmiteta australis*.

Асс.: 1) *Phragmites australis*; 2) *Phragmites australis* + *Typha laxmannii*.

1.2. Формация рогоза Лаксмана – *Typheta laxmannii*.

Асс.: 1) *Typha laxmannii* + *Calamagrostis epigeios*.

Сообщества просты по строению и бедны по флористическому составу. Чаще всего это одноярусные монодоминантные фитоценозы [8]. Такая структура растительных сообществ и низкое флористическое разнообразие характерно для большинства прудов и других водоемов-охладителей с сильной антропогенной нагрузкой [2, 9 – 11].

Во все годы исследования доминирующим видом, определяющим облик фитоценозов, являлся тростник южный, формирующий прерывистый пояс по всему периметру водоема шириной от 1–5 до 50–250 м. В тепловодной зоне водоема ширина тростниковых полей в среднем состав-

ляла 40–60 м, местами достигала 150–200 м, тип зарастания в основном массивно-зарослевый. В холодноводной зоне пояс гелофитов прерывистый, в основном занимал 5–7 м прибрежной полосы, местами ширина его достигала 50 м. На берегу приводящего канала водоема-охладителя у с. Новониколаевка прибрежно-водная растительность на значительной протяженности отсутствовала. Ширина пояса гелофитов обусловлена характером грунта – на участках с песчаными и илистыми грунтами она максимальна, в местах с преобладанием каменистого субстрата минимальна. Доминирование фитоценозов тростника обыкновенного характерно и для других искусственных водоемов Саратовской области [9, 10, 12]. Прочие гелофиты и гигрогелофиты, такие как вейник наземный (*Calamagrostis epigeios*) и рогоз Лаксмана (*Typha laxmannii*), встречаются локально, значительных по протяженности сообществ не образуют.

В 2009 г. среди погруженной растительности преобладали разреженные фитоценозы наяды большой (*Najas major*), урути колосистой (*Myriophyllum spicatum*), рдеста гребенчатого (*Potamogeton pectinatus*), которые образовывали пояс, располагающийся за поясом тростника, или были отмечены в «окнах» чистой воды среди тростниковых зарослей. Но все они не занимали значительных площадей. Почти на всех точках встречались одиночные экземпляры урути колосистой. В 2011 г. отмечались незначительные



по площади разреженные фитоценозы рдеста гребенчатого и урути колосистой, а также отдельные экземпляры роголистника темно-зеленого (*Ceratophyllum demersu*). В 2012 г. рдест и роголистник обнаружены не были, на ряде точек мониторинга отмечалась уруть колосистая, произрастающая в поясе тростника, а также единичные экземпляры наяды большой. В 2013–2015 гг. гидрофиты водоема-охладителя были представлены только урутью колосистой, встречающейся на отдельных мелководных участках водоема. Таким образом, сообщества гидрофитов в водоеме-охладителе в последние годы практически отсутствуют, что соотносится с тенденцией сокращения площади водных растений, отмеченной в 2001–2006 гг.

Сравнение с результатами оценки уровня развития высшей водной растительности в период

2001–2006 г. показывает существенное сокращение площади зарастания. Особенно это касается гидрофитов, отмечавшихся на мелководьях вблизи групп островов и в части водоема-охладителя, подверженной влиянию сбросных теплых вод. Обращает на себя внимание также практически полное исчезновение погруженной водной растительности, ранее покрывавшей дно подводящего канала. По крайней мере, почти на всей акватории водоема они не достигали поверхности воды, следовательно, популяции макрофитов находились в сильно угнетенном состоянии.

В связи с тем что погруженные макрофиты в последние годы отсутствуют в водоеме-охладителе, приводим результаты определения фитомассы и продуктивности только гелофитных сообществ в основном с доминированием тростника южного (табл. 2).

Таблица 2

**Надводная фитомасса и продукция сообществ гелофитов водоема-охладителя БАЭС и мелководий Саратовского водохранилища**

Год	Сухая масса, г/м <sup>2</sup>	Чистая первичная продукция, г/м <sup>2</sup>
Тепловодная зона водоема-охладителя БАЭС		
2009	9328	11193
2012	4044	4854
2013	3423	4107
2014	2971	3565
2015	3600	4320
Холодноводная зона водоема-охладителя БАЭС		
2009	2990	3588
2012	1708	2051
2013	2465	2958
2014	2472	2966
2015	1883	2260
Прилегающая часть Саратовского водохранилища		
2009	2410	2892
2012	1288	1547
2013	939	1126
2014	1080	1296
2015	1396	1675

Во все годы изучения фитомасса и продукция незначительно варьируют (исключение – показатели 2009 г.) и максимальны в тепловодной части водоема-охладителя. В холодноводной зоне показатели фитомассы ниже за счет прерывистости пояса гелофитов. По показателю чистой первичной продукции сообщества тростника водоема-охладителя БАЭС являются очень высокопродуктивными [13], что в целом характерно для этого типа фитоценозов в водоемах-охладителях других АЭС [2]. В последние годы исследований намечается

тенденция к снижению показателей фитомассы и продуктивности гелофитных сообществ.

Фитоценозы тростника на мелководьях Саратовского водохранилища по сравнению с тепловодной и холодноводной зонами водоема-охладителя характеризуются меньшими значениями фитомассы, что соотносится с незначительной шириной пояса гелофитов. Возможно, причиной угнетения развития сообществ тростника на мелководьях Саратовского водохранилища является сильная ветровая и волновая нагрузка.



Заращение акватории водоема-охладителя Балаковской АЭС в 2003 г. составляло до 10% (от общей площади водоема), в 2004 г. – 5–7, в 2005 г. – 5, в 2006 г. – 1%. Площадь зарастания водоема-охладителя в 2009–2015 гг. незначительно варьирует и в среднем составляет 5%, то есть изученный водоем характеризуется небольшой степенью зарастания.

Произошедшие изменения, очевидно, обусловлены эффективностью мероприятий, принятых для борьбы с зарастанием водоема-охладителя. Фитоценозы погруженных макрофитов, развитие которых создавало значительные технические проблемы в эксплуатации водоема, практически исчезли.

### Выводы

Видовое разнообразие водной флоры водоема-охладителя за период исследований резко снизилось с 34 (2009 г.) до 12 видов (2015 г.) за счет практически полного выпадения видов гидрофитов и обеднения гелофитной составляющей флоры. Доминирующим видом, определяющим облик фитоценозов, является тростник южный. По показателю чистой первичной продукции сообщества тростника в водоеме-охладителе БАЭС характеризуются как высокопродуктивные. В последние годы исследований намечается тенденция к снижению показателей фитомассы и продуктивности этих сообществ. В настоящее время наблюдается существенное сокращение площади зарастания водоема-охладителя, особенно это касается гидрофитной растительности. Произшедшие изменения, очевидно, обусловлены эффективностью биомелиоративных мероприятий, принятых для борьбы с зарастанием водоема-охладителя.

### Список литературы

1. Дьяченко Т. Н., Беляев В. В., Клёнус В. Г., Насвист О. И. Макрофиты водоема-охладителя Чернобыльской АЭС и накопление ими радионуклеидов // Гидробиология. 2005 : материалы VI Всерос. школы-конф. по водным макрофитам (Борок, 11–16 окт. 2005 г.). Рыбинск : ОАО «Рыбинский дом печати», 2006. С. 243–245.
2. Кацман Е. А. Развитие высшей водной растительности в водоёмах-охладителях АЭС : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 25 с.
3. Кучкина М. А. Особенности процессов эвтрофирования в водоёмах-охладителях АЭС : автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2004. 25 с.
4. Катанская В. М. Высшая водная растительность континентальных водоёмов СССР : методы изучения. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1981. 187 с.
5. Матвеев В. И., Соловьева В. В., Саксонов С. В. Экология водных растений : учеб. пособие / изд. 2-е, доп. и перераб. Самара : Изд-во Самар. науч. центра РАН, 2005. 282 с.
6. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья, 1995. 992 с.
7. Кокин К. А. Экология высших водных растений. М. : Изд-во МГУ, 1982. 160 с.
8. Танайлова Е. А., Грищенко К. Г., Воронин М. Ю. Состояние высшей водной растительности и фотосинтетических пигментов тростника южного (*Phragmites australis*) водоема-охладителя Балаковской АЭС // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2014. Т. 14, вып. 2. С. 101–105.
9. Закурдаева М. В., Бекренева Е. С., Седова О. В., Болдырев В. А. Гидрофильная флора и растительность малых техногенных водоемов города Саратова // Изв. Саратов. ун-та. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2012. Т. 12, вып. 3. С. 64–71.
10. Закурдаева М. В., Седова О. В., Шишкина Е. С. Флора и растительность малых искусственных водоемов города Саратова // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 4. С. 63–69.
11. Папченков В. Г., Соловьева В. В. Анализ флоры прудов Среднего Поволжья // Бот. журн. 1995. Т. 80, № 7. С. 59–67.
12. Седова О. В., Болдырев В. А. Характеристика и синтаксономический состав растительности мелководий Волгоградского водохранилища в пределах Саратовской области // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2007. Т. 9, № 1. С. 217–221.
13. Уиттекер Р. Сообщества и экосистемы. М. : Прогресс, 1980. 326 с.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Алиева Замира Османовна** – инженер кафедры биохимии и биофизики биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Аникин Василий Викторович** – профессор кафедры морфологии и экологии животных биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р биол. наук. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

**Альзубаиди Адавия Фадхел Аббаас** – аспирант биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: ksenofontova64@mail.ru

**Ахмедов Мубариз Меджид** – профессор Института химических проблем имени М. Ф. Нагиева НАН Азербайджана (г. Баку), д-р техн. наук. E-mail: roma-fk@mail.ru

**Бактыбаева Зульфия Булатовна** – старший научный сотрудник отдела медицинской экологии Уфимского научно-исследовательского института медицины труда и экологии человека, канд. биол. наук. E-mail: baktybaeva@mail.ru

**Белянина Светлана Ивановна** – профессор кафедры общей биологии, фармакогнозии и ботаники Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского, д-р биол. наук. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Белогова Юлия Владимировна** – старший преподаватель кафедры общей биологии, фармакогнозии и ботаники Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского, канд. биол. наук. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Беспалова Наталья Викторовна** – доцент кафедры информационной безопасности автоматизированных систем Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А., канд. физ.-мат. наук. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Бирюкова Ольга Владимировна** – заведующий Гербарием Учебного центра биоразнообразия и биологически активных веществ Института биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского. E-mail: bashmaktus@yandex.ru

**Бойко Андрей Виталиевич** – ведущий научный сотрудник РосНИПЧИ «Микроб» (г. Саратов). E-mail: rusrapr@microbe.ru

**Бугоркова Татьяна Васильевна** – старший научный сотрудник РосНИПЧИ «Микроб» (г. Саратов). E-mail: rusrapr@microbe.ru

**Буланый Юрий Иванович** – профессор кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета, д-р биол. наук. E-mail: batanic86@mail.ru

**Булкина Наталья Вячеславовна** – заведующий кафедрой терапевтической стоматологии Саратовского государственного

медицинского университета имени В. И. Разумовского, д-р мед. наук. E-mail: navo@bk.ru

**Вакараева Малика Мовсаровна** – ассистент кафедры нормальной и патологической физиологии Медицинского института Чеченского государственного университета. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Варыгина Ольга Владимировна** – инженер кафедры аналитической химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: varigini@mail.ru

**Васюков Владимир Михайлович** – научный сотрудник лаборатории проблем фиторазнообразия Института экологии Волжского бассейна РАН (г. Тольятти), канд. биол. наук. E-mail: vvasjukov@yandex.ru

**Веденева Наталия Владимировна** – аспирант Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Ведяева Анна Петровна** – ассистент кафедры терапевтической стоматологии Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского, канд. мед. наук. E-mail: vandrer@mail.ru

**Воронин Максим Юрьевич** – доцент кафедры морфологии и экологии животных биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Гаркушин Иван Кириллович** – заведующий кафедрой общей и неорганической химии Самарского государственного технического университета, профессор, д-р хим. наук. E-mail: baschem@samgtu.ru

**Гиниятуллин Рафак Хизбуллинович** – старший научный сотрудник лаборатории лесоведения Института биологии Уфимского научного центра РАН, канд. биол. наук. E-mail: grafak2012@yandex.ru

**Голованов Ярослав Михайлович** – младший научный сотрудник лаборатории дикорастущей флоры и интродукции травянистых растений Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН, канд. биол. наук. E-mail: jaro1986@mail.ru

**Горланова Екатерина Павловна** – ведущий биолог УНЦ «Ботанический сад» Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: stepanovmv\_69@mail.ru

**Грищенко Кристина Григорьевна** – старший научный сотрудник лаборатории биомониторинга Государственного научно-исследовательского института промышленной экологии (г. Саратов), канд. биол. наук. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Гребенников Константин Алексеевич** – заместитель директора по научной работе Государственного природного за-



поведника «Богдинско-Баскунчакский» (г. Ахтубинск). E-mail: kgrebennikov@gmail.com

**Давиденко Ольга Николаевна** – доцент кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: alenka71980@mail.ru

**Давиденко Татьяна Николаевна** – доцент кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: alenka71980@mail.ru

**Забалуев Илья Андреевич** – магистр Саратовского государственного аграрного университета имени Н. И. Вавилова. E-mail: fatsiccor66@mail.ru

**Заярский Дмитрий Александрович** – ассистент Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А., канд. физ.-мат. наук. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Зудина Ирина Витальевна** – ведущий инженер отдела высокомолекулярных соединений Образовательно-научного института наноструктур и биосистем Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: izvudina@mail.ru

**Ерохин Павел Сергеевич** – младший научный сотрудник РосНИПЧИ «Микроб» (г. Саратов). E-mail: rusrap@microbe.ru

**Ибрагимова Альфия Халиловна** – аспирант Башкирского государственного педагогического университета имени М. Акмуллы (г. Уфа). E-mail: alfiya-tab@mail.ru

**Иванов Петр Владимирович** – заведующий кафедрой стоматологии Пензенского государственного медицинского университета, д-р мед. наук. E-mail: stomatology@pnzgu.ru

**Идрисова Лия Адехамовна** – аспирант Казанского федерального университета. E-mail: liya.idrisova@yandex.ru

**Ионова Елена Александровна** – ведущий научный сотрудник лаборатории биомониторинга Государственного научно-исследовательского института промышленной экологии, канд. биол. наук. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Исайчева Людмила Анатольевна** – доцент кафедры микробиологии, биотехнологии и химии Саратовского государственного аграрного университета имени Н. И. Вавилова, канд. хим. наук. E-mail: isaichevala@yandex.ru

**Казаринов Иван Алексеевич** – заведующий кафедрой физической химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, профессор, д-р хим. наук. E-mail: kazarinovia@mail.ru

**Колядо Александр Владимирович** – доцент кафедры общей и неорганической химии Самарского государственного технического университета, канд. хим. наук. E-mail: kolyado@rambler.ru

**Каренко Валерия Александровна** – студент Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: kulapinaeg@mail.ru

**Кузнецов Олег Святославович** – научный сотрудник РосНИПЧИ «Микроб» (г. Саратов). E-mail: rusrap@microbe.ru

**Кузьмин Евгений Александрович** – аспирант Ульяновского государственного педагогического университета имени И. Н. Ульянова. E-mail: kea87@bk.ru

**Куклев Василий Евгеньевич** – заведующий лабораторией диагностических технологий РосНИПЧИ «Микроб» (г. Саратов). E-mail: rusrap@microbe.ru

**Кулагин Алексей Юрьевич** – заведующий лабораторией лесоведения Института биологии Уфимского научного центра РАН, профессор, д-р биол. наук. E-mail: coolagin@list.ru

**Кулапина Елена Григорьевна** – профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р хим. наук. E-mail: kulapinaeg@mail.ru

**Кулапина Ольга Ивановна** – доцент кафедры детских болезней лечебного факультета Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского, канд. мед. наук. E-mail: olgakulapina@mail.ru

**Лукаткин Александр Степанович** – заведующий кафедрой ботаники, физиологии и экологии растений Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарева (г. Саранск), профессор, д-р биол. наук. E-mail: aslukatkin@yandex.ru

**Лысенко Татьяна Михайловна** – старший научный сотрудник лаборатории проблем фиторазнообразия Института экологии Волжского бассейна РАН (г. Тольятти), д-р биол. наук. E-mail: ltm2000@mail.ru

**Махмуд Адиба А.** – аспирант Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: alnuimiadiba@yahoo.com

**Михайлова Ирина Дмитриевна** – аспирант Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарева (г. Саранск). E-mail: irdmix@yandex.ru

**Мосолова Екатерина Юрьевна** – доцент кафедры морфологии и экологии животных биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: ekmosolova@mail.ru

**Невский Сергей Александрович** – доцент кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: biosovet@sgu.ru

**Нечаева Ольга Викторовна** – ассистент кафедры микробиологии, вирусологии и иммунологии Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского, канд. биол. наук. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Новокупцев Николай Васильевич** – аспирант Мордовского государственного университета имени Н. П. Огарева (г. Саранск). E-mail: nikolay.novokuptsev@yandex.ru



**Осина Наталья Александровна** – заведующий лабораторией молекулярной диагностики РосНИПЧИ «Микроб» (г. Саратов). E-mail: rusrapi@microbe.ru

**Петров Евгений Петрович** – аспирант Самарского государственного технического университета. E-mail: baschem@samgtu.ru

**Петрович Марина Викторовна** – магистр Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: varigini@mail.ru

**Рига Елена Юрьевна** – студент биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

**Рязанов Станислав Викторович** – начальник отдела охраны окружающей среды Балаковской АЭС, канд. техн. наук. E-mail: sedova\_ov@mail.ru

**Сажнев Алексей Сергеевич** – старший научный сотрудник лаборатории экологии водных беспозвоночных Института биологии внутренних вод имени И. Д. Папанина РАН (Ярославская область, поселок Борок), канд. биол. наук. E-mail: sazh@list.ru

**Седова Оксана Владимировна** – доцент кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: sedova\_ov@mail.ru

**Степанов Михаил Владимирович** – доцент кафедры ботаники и экологии биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: stepanovmv\_69@mail.ru

**Тагирова Олеся Васильевна** – доцент кафедры экологии и природопользования естественно-географического факультета Башкирского государственного педагогического университета имени М. Акмуллы (г. Уфа), канд. биол. наук. E-mail: olecyi@mail.ru

**Тихомирова Елена Ивановна** – заведующий кафедрой экологии факультета экологии и сервиса Саратовского государственного технического университета имени Гагарина Ю. А., д-р биол. наук, профессор. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Трепак Наталья Михайловна** – заведующий лабораторией физической химии Института химии Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. хим. наук. E-mail: kazarinovia@mail.ru

**Уткин Денис Валерьевич** – ведущий научный сотрудник лаборатории диагностических технологий ФКУЗ Российский научно-исследовательский противочумный институт «Микроб» (г. Саратов). E-mail: rusrapi@microbe.ru

**Хайрутдинов Ильдар Зиннурович** – доцент кафедры зоологии и общей биологии Казанского федерального университета, канд. биол. наук. E-mail: ildar\_hairutd@mail.ru

**Чернова Римма Кузьминична** – начальник отдела наноналиктики образовательно-научного института наноструктур и биосистем Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, д-р хим. наук. E-mail: chernov-ia@yandex.ru

**Чкалов Андрей Вячеславович** – доцент кафедры ботаники и зоологии Института биологии и биомедицины Нижегородского государственного университета имени Н. И. Лобачевского, канд. биол. наук. E-mail: biofor@yandex.ru

**Шуршалова Наталья Фердинандовна** – доцент кафедры микробиологии и физиологии растений биологического факультета Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского, канд. биол. наук. E-mail: francissella@rambler.ru

**Ямалов Сергей Маратович** – ведущий научный сотрудник лаборатории дикорастущей флоры и интродукции травянистых растений Ботанического сада-института Уфимского научного центра РАН, д-р биол. наук. E-mail: yamalovsm@mail.ru



## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Alieva Zamira Osmanovna** – Engineer, Chair of Biochemistry and Biophysics, Biological Department, Saratov State University. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Alzubaidi Adavia Fadhel Abbaas** – Graduate Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: ksenofontova64@mail.ru

**Ahmadov Mubariz Medzhid** – Professor, Institute of Chemical Problems (Baku), Doctor of Technical Science. E-mail: roma-fk@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

**Baktybaeva Zulfia Bulatovna** – Senior Researcher, Ufa Research Institute of Occupational Health and Human Ecology, Ph. D. E-mail: baktybaeva@mail.ru

**Belianina Svetlana Ivanovna** – Professor, Saratov State Medical University, Doctor of Biological Science. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Belonogova Yulia Vladimirovna** – Senior Lecturer, Saratov State Medical University, Ph. D. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Bespalova Natalia Viktorovna** – Associate Professor, Saratov State Technical University, Ph. D. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Biryukova Olga Vladimirovna** – Head of Herbarium, Training Center of Biodiversity and Biologically Active Substances, Institute of Biology and Biomedicine, Nizhni Novgorod State University. E-mail: bashmaktus@yandex.ru

**Boyko Andrey Vitalievich** – Leading Researcher, Russian Research Institute for Plague Control «Microbe». E-mail: rusrapi@microbe.ru

**Bugorkova Tatiana Vasilievna** – Senior Researcher, Russian Research Institute for Plague Control «Microbe». E-mail: rusrapi@microbe.ru

**Bulany Yury Ivanovich** – Professor, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Doctor of Biological Science. E-mail: batanic86@mail.ru

**Bulkina Natalia Vyacheslavovna** – Head of the Chair of Therapeutic Stomatology, Saratov State Medical University, Doctor of Medical Science. E-mail: navo@bk.ru

**Chernova Rimma Kuzminichna** – Head of Division of Nanoanalytics, Institute of Nanostructures and Biosystems, Saratov State University, Doctor of Chemical Sciences. E-mail: chernov-ia@yandex.ru

**Chkalov Andrey Vyacheslavovich** – Associate Professor, Nizhni Novgorod State University, Ph. D. E-mail: biofor@yandex.ru

**Garkushin Ivan Kirillovich** – Head of Chair General and Inorganic Chemistry, Samara State Technical University, Professor, Doctor of Chemical Sciences. E-mail: baschem@samgtu.ru

**Giniyatulin Rafak Hizbullinovich** – Senior Researcher, Institute of Biology, Ufa Scientific Center (Ufa), Ph. D. E-mail: grafak2012@yandex.ru

**Golovanov Yaroslav Michailovich** – Junior Researcher, Botanical Garden-Institute (Ufa), Ph. D. E-mail: jaro1986@mail.ru

**Gorlanova Ekaterina Pavlovna** – Biologist, Botanical Garden, Saratov State University. E-mail: stepanovmv\_69@mail.ru

**Grebennikov Konstantin Alexeevich** – Vice Director of Science, «Bogdinsko-Baskunchakskiy» State Natura Reserve (Akh-tubinsk). E-mail: kgrebennikov@gmail.com

**Grishchenko Kristina Grigoryevna** – Senior Researcher, Laboratory of Biomonitoring, Saratov State Research Institute of Industrial Resources, Ph. D. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Davidenko Olga Nikolaevna** – Associate Professor, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Ph. D. E-mail: alenka71980@mail.ru

**Davidenko Tatiana Nikolaevna** – Associate Professor, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Ph. D. E-mail: alenka71980@mail.ru

**Erokhin Pavel Sergeevich** – Junior Researcher, Russian Research Institute for Plague Control «Microbe». E-mail: rusrapi@microbe.ru

**Ibragimova Alfia Halilovna** – Graduate Student, Bashkir State Pedagogical University (Ufa). E-mail: alfiya-tab@mail.ru

**Idrisova Lia Ahmedovna** – Graduate Student, Kazan State University. E-mail: liya.idrisova@yandex.ru

**Ionova Elena Aleksandrovna** – Leading Researcher, State Research Institute of Industrial Ecology, Ph. D. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Isaycheva Lyudmila Anatolievna** – Associate Professor, Saratov State Agrarian University, Ph. D. E-mail: isaichevala@yandex.ru

**Ivanov Petr Vladimirovich** – Head of Chair of Stomatology, Penza State Medical University, Doctor of Medical Science. E-mail: stomatology@pnzgu.ru

**Kazarinov Ivan Alexeevich** – Head of Chair of Physical Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Professor, Doctor of Chemical Sciences. E-mail: kazarinovia@mail.ru

**Karenko Valeria Aleksandrovna** – Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: kulapinaeg@mail.ru

**Khairutdinov Ildar Zinnurovich** – Associate Professor, Chair of Zoology and General Biology, Kazan State University, Ph. D. E-mail: ildar\_hairutd@mail.ru

**Kolyado Aleksandr Vladimirovich** – Associate Professor, Samara State Technical University, Ph. D. E-mail: kolyado@rambler.ru

**Kuklev Vasily Evgenievich** – Head of Laboratory of Diagnostic Technologies, Russian Research Institute for Plague Control «Microbe». E-mail: rusrapi@microbe.ru





**Kulagin Alexey Yurievich** – Head of the Laboratory of Forest Science, Institute of Biology, Ufa Scientific Center, Doctor of Biological Science. E-mail: coolagin@list.ru

**Kulapina Elena Grigorievna** – Professor, Chair of Analytical Chemistry and Chemical Ecology, Institute of Chemistry, Saratov State University, Doctor of Chemical Sciences. E-mail: kulapinaeg@mail.ru

**Kulapina Olga Ivanovna** – Associate Professor, Chair of Childhood Diseases, Saratov State Medical University, Ph. D. E-mail: olgakulapina@mail.ru

**Kuzmin Evgeny Aleksandrovich** – Graduate Student, Ulyanovsk State Pedagogical University. E-mail: kea87@bk.ru

**Kuznetsov Oleg Svyatoslavovich** – Researcher, Russian Research Institute for Plague Control «Microbe». E-mail: rusrapi@microbe.ru

**Lukatkin Aleksandr Stepanovich** – Head of the Chair of Botany, Plant physiology and Ecology, Mordovia State University, Professor, Doctor of Biological Science. E-mail: aslukatkin@yandex.ru

**Lysenko Tatiana Michailovna** – Senior Researcher, Institute of Ecology of Volga River Basin (Togliatti), Doctor of Biological Science. E-mail: ltm2000@mail.ru

**Mahmoud Adiba A.** – Graduate Student, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: alnuimiadiba@yahoo.com

**Michailova Irina Dmitrievna** – Graduate Student, Mordovia State University. E-mail: irdmix@yandex.ru

**Mosolova Ekaterina Yurievna** – Associate Professor, Chair of Animals Morphology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Ph. D. E-mail: ekmosolova@mail.ru

**Nechaeva Olga Viktorovna** – Assistant, Chair of Microbiology, Virology and Immunology, Saratov State Medical University, Ph. D. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Nevskiy Sergey Alexandrovich** – Associate Professor, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Ph. D. E-mail: biosovet@sgu.ru

**Novokuptsev Nikolay Vasilievich** – Graduate Student, Mordovia State University. E-mail: nikolay.novokuptsev@yandex.ru

**Osina Natalia Aleksandrovna** – Head of Laboratory of Molecular Diagnostics, Russian Research Institute for Plague Control «Microbe». E-mail: rusrapi@microbe.ru

**Petrov Evgeny Petrovich** – Graduate Student, Samara State Technical University. E-mail: baschem@samgtu.ru

**Petrovich Marina Viktorovna** – Magister, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: varigini@mail.ru

**Riga Elena Yurievna** – Student, Biological Department, Saratov State University. E-mail: anikinvasiliiv@mail.ru

**Ryazanov Stanislav Viktorovich** – Head of Environmental Protection Department, Balakovo NPS, Ph. D. E-mail: sedova\_ov@mail.ru

**Sazhnev Alexey Sergeevich** – Senior Researcher, Laboratory of Water Invertebrates Ecology, Institute of Biology of Inland Waters (Borok), Ph. D. E-mail: sazh@list.ru

**Shurshalova Natalia Ferdinandovna** – Associate Professor, Chair of Microbiology and Plant Physiology, Biological Department, Saratov State University, Ph. D. E-mail: francissella@rambler.ru

**Sedova Oksana Vladimirovna** – Associate Professor, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Ph. D. E-mail: sedova\_ov@mail.ru

**Stepanov Michail Vladimirovich** – Associate Professor, Chair of Botany and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Ph. D. E-mail: stepanovmv\_69@mail.ru

**Tagirova Olesya Vasilievna** – Associate Professor, Bashkir State Pedagogical University (Ufa). Ph. D. E-mail: olecyi@mail.ru

**Tikhomirova Elena Ivanovna** – Head of Chair of Ecology, Saratov State Technical University, Doctor of Biological Science, Professor. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Trepak Natalia Michailovna** – Head of Laboratory of Physical Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University, Ph. D. E-mail: kazarinovia@mail.ru

**Utkin Denis Valerievich** – Leading Researcher, Laboratory of Diagnostic Techniques, Russian Research Institute for Plague Control «Microbe», Ph. D. E-mail: rusrapi@microbe.ru

**Vakaraeva Malika Movsarovna** – Assistant, Chechen State University. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Vasjukov Vladimir Michailovich** – Researcher, Institute of Ecology of Volga River Basin (Togliatti), Ph. D. E-mail: vvasjukov@yandex.ru

**Virigina Olga Vladimirovna** – Engineer, Chair of Analytical Chemistry, Institute of Chemistry, Saratov State University. E-mail: varigini@mail.ru

**Vedeneeva Natalia Vladimirovna** – Graduate Student, Saratov State Technical University. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Vedyaeva Anna Petrovna** – Assistant, Saratov State Medical University Ph. D. E-mail: vandrer@mail.ru

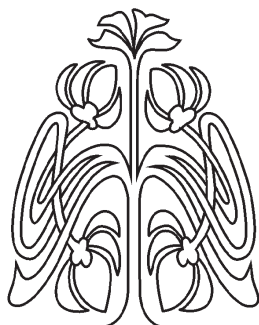
**Voronin Maksim Yurievich** – Associate Professor, Chair of Animals Morphology and Ecology, Biological Department, Saratov State University, Ph. D. E-mail: voroninmj@yandex.ru

**Yamalov Sergey Maratovich** – Leading Researcher, Botanical Garden-Institute (Ufa), Doctor of Biological Science. E-mail: yamalovsm@mail.ru

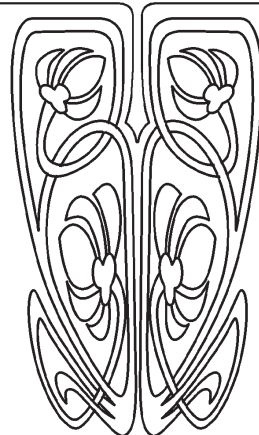
**Zabaluev Iliya Andreevich** – Magister, Saratov State Agrarian University. E-mail: fatsiccor66@mail.ru

**Zayrsiy Dmitry Aleksandrovich** – Assistant, Saratov State Technical University, Ph. D. E-mail: olgav.nechaeva@rambler.ru

**Zudina Irina Vitalievna** – Leading Engineer, Institute of Nanostructurers and Biosystems, Saratov State University, Ph. D. E-mail: izvudina@mail.ru



**ПОДПИСКА**



**Подписка на II полугодие 2016 года**

Индекс издания по объединенному каталогу «Пресса России» 36013.  
Журнал выходит 4 раза в год.

Цена свободная.

Оформить подписку онлайн можно  
в интернет-каталоге «Пресса по подписке» ([www.akc.ru](http://www.akc.ru)).

По всем вопросам обращаться в редакцию журнала:  
410012, Саратов, Астраханская, 83;  
тел. (845-2) 51-45-49, 52-26-89; факс (845-2) 27-85-29;  
e-mail: [izvestiya@sgu.ru](mailto:izvestiya@sgu.ru)