

ISSN 1816-9775 (Print)  
ISSN 2541-8971 (Online)

# ИЗВЕСТИЯ САРАТОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Новая серия



Серия: Химия. Биология. Экология

2021

Том 21

Выпуск 4



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

# ИЗВЕСТИЯ

САРАТОВСКОГО  
УНИВЕРСИТЕТА  
Новая серия



Научный журнал  
2021 Том 21

ISSN 1816-9775 (Print)

ISSN 2541-8971 (Online)

Издается с 2005 года

Серия Химия. Биология. Экология, выпуск 4

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### Научный отдел

#### Химия

**Сальменбаев С. Е., Нургайсинова Н. К., Есильканов Г. М., Темиржанова А. Е., Макарычев С. В.** Выделение и радиохимическая очистка изотопов самария с использованием ионообменных смол АВ 17×8 и КУ-2 368

**Цветкова О. Ю., Штыков С. Н., Жуков Н. Д., Смирнова Т. Д.** Синтез и изучение некоторых свойств коллоидных квантовых точек антимионда индия 378

**Шуршина А. С., Кулиш Е. И.** Изучение процесса диффузии в пленках натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы – лекарственное вещество 382

**Гудова Ю. Д., Кочубей В. И., Скапцов А. А.** Повторное применение очищенного раствора цетилтриметиламмония бромид для синтеза золотых наностержней 391

**Шатунов В. М., Фокина А. И., Ашихмина Т. Я.** Перспектива использования контрольных карт Шухарта при оценке качества ионометрических измерений методом добавления пробы к стандарту 399

**Гасанов А. Г., Аюбов И. Г., Гаджиева Г. Э., Гурбанова Ф. С.** Изучение взаимосвязи геометрической изомерии и биологически активных свойств соединений 405

#### Биология

**Калякина Р. Г., Бастаева Г. Т., Ангалыт Е. М., Симоненкова В. А., Лявданская О. А.** Влияние *Amanita muscaria* (класс *Agaricomycetes*, сем. *Amanitaceae*) и *Flammulina velutipes* (класс *Agaricomycetes*, сем. *Physalaciaceae*) на рост и развитие семян *Picea abies* (класс *Pinophyta*, сем. *Pinaceae*) и *Abies sibirica* (класс *Pinophyta*, сем. *Pinaceae*) 415

**Чкалов А. В., Гафурова М. М.** Род манжетка (*Alchemilla* L., *Rosaceae*) во флоре Чувашии 421

**Аверинова Е. А., Казакова М. В., Кугушева А. С., Соболев Н. А.** Растительность памятника природы «Урочище Кузилинка» и его окрестностей (Орловская область) 434

**Хачатуров Э. Г., Коробко В. В.** Структура элементов продуктивности твердой пшеницы сортов саратовской селекции 450

**Браилова И. С., Юрьева Н. И., Белоусова Ю. В.** Хозяйственно-биологическая характеристика биотипного состава сортов яровой пшеницы 457

**Котегов Б. Г.** Особенности видового состава и структуры сообществ рыб в малых антропогенных водоемах с разным содержанием растворенного минерального азота 466

#### Экология

**Дьякова Н. А.** Накопление тяжелых металлов и мышьяка лекарственным растительным сырьем лопуха обыкновенного, заготовленным в Воронежской области 478

Журнал «Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия «Химия. Биология. Экология» зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций.

Запись о регистрации СМИ ПИ № ФС77-76649 от 26 августа 2019 г.

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (специальности: 02.00.02; 02.00.03; 02.00.04; 03.01.02; 03.02.01; 03.02.04; 03.02.05; 03.02.08 (биологические науки))

Подписной индекс издания 36013. Подписку на печатные издания можно оформить в Интернет-каталогах «Пресса России» ([www.pressa-ri.ru](http://www.pressa-ri.ru)), «Пресса по подписке» ([www.akc.ru](http://www.akc.ru)) и ГК «Урал-Пресс» ([ural-press.ru](http://ural-press.ru)). Журнал выходит 4 раза в год. Цена свободная. Электронная версия находится в открытом доступе ([ichbe.sgu.ru](http://ichbe.sgu.ru))

#### Директор издательства

Бучко Ирина Юрьевна

#### Редактор

Митенева Елена Анатольевна

#### Художник

Соколов Дмитрий Валерьевич

#### Редактор-стилист

Кочкаева Инна Анатольевна

#### Верстка

Ковалева Наталья Владимировна

#### Технический редактор

Каргин Игорь Анатольевич

#### Корректор

Малютина Елена Анатольевна

#### Адрес учредителя, издателя

и издательства (редакции):

410012, Саратов, ул. Астраханская, 83

Тел.: (845-2) 51-45-49, 52-26-89

E-mail: [izdat@sgu.ru](mailto:izdat@sgu.ru)

Подписано в печать 16.12.21.

Подписано в свет 24.12.21.

Формат 60×84 1/8.

Усл. печ. л. 14,42 (15,5).

Тираж 500 экз. Заказ 146-Т

Отпечатано в типографии Саратовского университета.

#### Адрес типографии:

410012, Саратов, Б. Казачья, 112А

© Саратовский университет, 2021



## ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Журнал публикует научные статьи по аналитической химии, органической химии, физической химии, биофизике (биологические науки), ботанике, зоологии, экологии, (по отраслям) (биологические науки), энтомологии.

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

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

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

– текст статьи в электронном виде;

– два экземпляра подписанного Лицензионного договора на право использования научного произведения.

Структура подачи материала:

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

– на английском языке: название статьи, имена (полностью), отчества и фамилии авторов, сведения об авторах (ORCID, место работы/учебы (организация, почтовый адрес организации), e-mail); аннотация, ключевые слова, благодарности и источники финансирования работы (если есть).

Требования к аннотации и библиографическому списку:

– аннотация не должна содержать сложных формул, ссылок на список литературы, по содержанию повторять название статьи, быть насыщена общими словами, не излагающими сути исследования; оптимальный объем 150–200 слов;

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

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

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

Адреса для переписки с редколлегией серии: [ichbe-sgu@yandex.ru](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». Website: <https://ichbe.sgu.ru>

## CONTENTS

### Scientific Part

#### Chemistry

- Salmenbayev S. E., Nurgaysinova N. K., Yessilkanov G. M., Temirzhanova A. E., Makarychev S. V.** Isolation and radiochemical purification of samarium isotopes using ion exchange resins AB 17×8 AND KU-2 368
- Tsvetkova O. Yu., Shtykov S. N., Zhukov N. D., Smirnova T. D.** Synthesis and study of some properties of colloidal quantum dots of indium antimonide 378
- Shurshina A. S., Kulish E. I.** Study of the diffusion process in films sodium salt of carboxymethyl cellulose – drug 382
- Gudova Y. D., Kochubey V. I., Skaptsov A. A.** Reuse of a purified solution of cetyltrimethylammonium bromide for the synthesis of gold nanorods 391
- Shatunov V. M., Fokina A. I., Ashikhmina T. Ya.** The prospect of using Shewhart control charts in assessing the quality of ionometric measurements by the method of adding a sample to a standard 399
- Gasanov A. G., Ayyubov I. G., Hajiyeva G. E., Qurbanova F. S.** Study of the relationship between geometric isomerism and biologically active properties of compounds 405

#### Biology

- Kalyakina R. G., Bastaeva G. T., Anhalt E. M., Simonenkova V. A., Lyavdanskaya O. A.** Influence of *Amanita muscaria* (class *Agaricomycetes*, fam. *Amanitaceae*) and *Flammulina velutipes* (class *Agaricomycetes*, fam. *Physalacriaceae*) on the growth and development of seedlings of *Picea abies* (class *Pinophyta*, fam. *Pinaceae*) and *Abies sibirica* (class *Pinophyta*, fam. *Pinaceae*) 415
- Chkalov A. V., Gafurova M. M.** The Genus *Alchemilla* L. (Rosaceae) in the Flora of Chuvashia 421
- Averinova E. A., Kazakova M. V., Kugusheva A. S., Sobolev N. A.** Vegetation of the natural monument "Urochishche Kuzilinka" and its surroundings (Orel region) 434
- Hachaturov E. G., Korobko V. V.** The structure of productivity elements of durum wheat varieties of Saratov selection 450
- Brailova I. S., Yurieva N. I., Belousova Yu. V.** Economic and biological characteristics of the biotypical composition of spring wheat varieties 457
- Kotegov B. G.** Features of the species composition and structure of fish communities in small anthropogenic reservoirs with different content of dissolved mineral nitrogen 466

#### Ecology

- Dyakova N. A.** Accumulation of heavy metals and arsenic with medicinal herbal raw material of common shovel harvested in Voronezh region 478



**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**

Горячева Ирина Юрьевна, доктор химических наук, профессор (Саратов, Россия)

**Ответственный секретарь**

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

**Члены редакционной коллегии:**

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

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

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

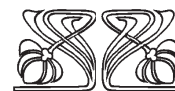
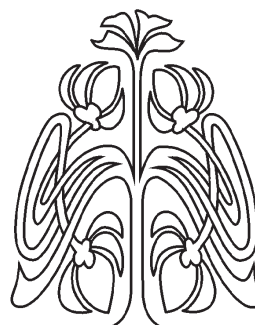
**Deputy Editor-in-Chief** – Irina Yu. Goryacheva (Saratov, Russia)

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

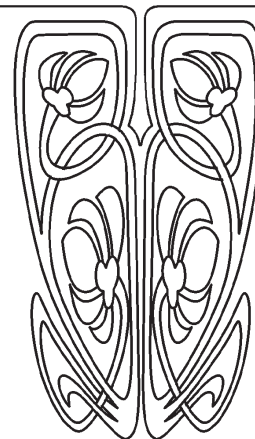
**Members of the Editorial Board:**

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

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

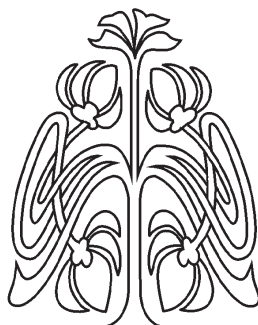


**РЕДАКЦИОННАЯ  
КОЛЛЕГИЯ**

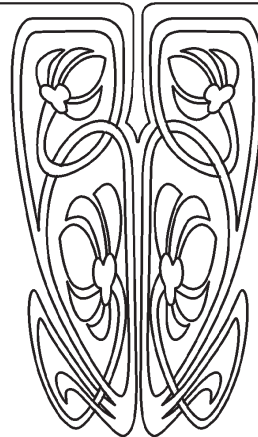




## ХИМИЯ



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 368–377

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 368–377

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-368-377>

Научная статья  
УДК 541.28:631.41

### Выделение и радиохимическая очистка изотопов самария с использованием ионообменных смол АВ 17×8 и КУ-2

С. Е. Сальменбаев<sup>1,2</sup>✉, Н. К. Нургайсинова<sup>1</sup>, Г. М. Есильканов<sup>1</sup>,  
А. Е. Темиржанова<sup>1</sup>, С. В. Макарычев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Филиал «Институт радиационной безопасности и экологии РГП НЯЦ РК», Казахстан, 071100, г. Курчатов, ул. Бейбіт Атом, д. 2

<sup>2</sup>Алтайский государственный аграрный университет, 656049, Россия, г. Барнаул, пр. Красноармейский, д. 98

Сальменбаев Саян Елеусизович, начальник группы исследований высокоактивных образцов лаборатории радиохимических исследований, [salmenbayev@nnc.kz](mailto:salmenbayev@nnc.kz), <https://orcid.org/0000-0001-7338-682X>

Нургайсинова Назгуль Кадирбековна, техник группы исследований высокоактивных образцов лаборатории радиохимических исследований, [nazgul.nurgaysinova14@mail.ru](mailto:nazgul.nurgaysinova14@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1280-4079>

Есильканов Гани Мухтарович, инженер лаборатории элементного анализа, [al-g\\_007@mail.ru](mailto:al-g_007@mail.ru)

Темиржанова Арай Ермековна, инженер лаборатории элементного анализа, [temirzhanova.aray@mail.ru](mailto:temirzhanova.aray@mail.ru)

Макарычев Сергей Владимирович, доктор биологических наук, профессор кафедры геодезии, физики и инженерных сооружений, [makarychev1949@mail.ru](mailto:makarychev1949@mail.ru)

**Аннотация.** Актуальность данного исследования обусловлена необходимостью разработки методики определения радионуклида <sup>151</sup>Sm в почвах радиоактивно загрязненных территорий Казахстана. Разработанная методика позволит провести оценку уровней загрязнения почвенного покрова данным радионуклидом, определить характер его пространственного распределения, оценить вклад в дозовую нагрузку для персонала и населения. Цель: провести выделение изотопов самария из кислотных растворов и радиохимическую очистку с использованием ионообменных смол АВ 17×8 и КУ-2. Объекты: растворы на основе азотной и хлороводородной кислот, содержащие соли химических элементов, имеющих естественные или искусственные β-излучающие изотопы, а также содержащие изотопы Th и U – в качестве родоначальников радиоактивных семейств. Кислотность приготовленных растворов соответствовала кислотности растворов, используемых в лаборатории радиохимических исследований ИРБЭ НЯЦ РК при определении изотопов плутония и америция. Концентрация химических элементов в исследуемых образцах определялась методами атомно-эмиссионной спектрометрии (эмиссионный спектрометр iCAP 6300 Duo с индуктивно связанной плазмой, фирма Thermo Scientific, США) и масс-спектрометрии (квадрупольный масс-спектрометр Agilent 7700x с индуктивно связанной плазмой, фирма Agilent Technologies, США). Представлены результаты экспериментов по выделению и радиохимической очистке изотопов самария из кислотных растворов с использованием ионообменных смол АВ 17×8 и КУ-2. Показано, что на анионите АВ 17×8, в среде 9M HCl, можно удалить такие элементы, как U, Fe, Co, из раствора 7,5M HNO<sub>3</sub> – изотопы Th, однако щелочные и щелочноземель-



ные элементы будут при этом выделяться вместе с изотопами самария. На катионите КУ-2, в свою очередь, можно провести очистку изотопов самария от щелочных элементов, изотопов Тl и U, однако при этом имеется вероятность остаточного загрязнения фракции самария изотопами щелочноземельных элементов, свинца и железа.

**Ключевые слова:** изотопы, радиоактивные элементы, радиохимическая очистка,  $^{151}\text{Sm}$ , ионообменные смолы, аниониты, катиониты

**Для цитирования:** Сальменбаев С. Е., Нургайсинова Н. К., Есильканов Г. М., Теміржанова А. Е., Макарычев С. В. Выделение и радиохимическая очистка изотопов самария с использованием ионообменных смол АВ 17×8 и КУ-2 // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 368–377. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-368-377>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

## Isolation and radiochemical purification of samarium isotopes using ion exchange resins AB 17×8 AND KU-2

S. E. Salmenbayev<sup>1,2</sup> ✉, N. K. Nurgaysinova<sup>1</sup>, G. M. Yessilkanov<sup>1</sup>, A. E. Temirzhanova<sup>1</sup>, S. V. Makarychev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>National Nuclear Center of the Republic of Kazakhstan, 2 Beibit Atom St., Kurchatov 071100, Kazakhstan

<sup>2</sup>Altai State Agrarian University, 98 Krasnoarmeyskiy Ave., Barnaul 656049, Russia

Sayan E. Salmenbayev, salmenbayev@nnc.kz, <https://orcid.org/0000-0001-7338-682X>

Nazgul K. Nurgaysinova, nazgul.nurgaysinova14@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1280-4079>

Gani M. Yessilkanov, al-g\_007@mail.ru

Aray E. Temirzhanova, temirzhanova.aray@mail.ru

Sergey V. Makarychev, makarychev1949@mail.ru

**Abstract.** The relevance of the research is caused by the need to develop a methodological base for determining  $^{151}\text{Sm}$  content in the soil cover of radioactively contaminated territories of Kazakhstan. The developed method for the determining of  $^{151}\text{Sm}$  will make it possible to assess the levels of soil contamination with this radionuclide, to determine the character of its spatial distribution, to allow estimating the internal exposure doses for the personnel and the population. The aim of the research is to carry out the isolation and radiochemical purification of samarium isotopes from acid solutions via using ion-exchange resins AV 17×8 and KU-2. Objects: salt solutions based on nitric and hydrochloric acid containing the stable isotopes of some natural, artificial  $\beta$ -emitters and isotopes of U and Th. The concentrations of nitric and hydrochloric acids were equal to the concentrations of the same acids used in the routine analysis of Pu and Am. Concentrations of chemical elements were determined using the Agilent 7700x quadrupole mass spectrometer and the iCAP 6300 Duo atomic emission spectrometer. The results of the experiments on the isolation and radiochemical purification of samarium isotopes from acidic solutions using anion-exchange resin AV 17×8 and cation-exchange resin KU-2 have been presented. It has been shown that the Sm-fraction can be purified from alkaline elements, Tl and U isotopes using the KU-2 cation-exchange resin. In turn, the isotopes U, Fe and Co can be removed using an anion exchange resin in 9M HCl media.

**Keywords:** isotopes, radioactive elements, radiochemical purification,  $^{151}\text{Sm}$ , ion exchange resins, anion and cation exchangers

**For citation:** Salmenbayev S. E., Nurgaysinova N. K., Yessilkanov G. M., Temirzhanova A. E., Makarychev S. V. Isolation and radiochemical purification of samarium isotopes using ion exchange resins AB 17×8 AND KU-2. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 368–377. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-368-377>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

$^{151}\text{Sm}$  представляет собой продукт ядерного деления и нейтронной активации с периодом полураспада порядка 90 лет [1–5]. Наряду со  $^{90}\text{Sr}$  и  $^{137}\text{Cs}$  входит в тройку наиболее распространенных среднеживущих продуктов деления ядерных материалов. Интерес к  $^{151}\text{Sm}$  в основном обусловлен его присутствием в отработанном ядерном топливе и радиоактивных отходах [6–10]. Ввиду большого сечения захвата нейтронов  $^{151}\text{Sm}$  пагубно влияет на реакционную способность реактора. К тому же измерение его содержания может охарактеризовать глубину выгорания ядерного топлива. Однако не менее важное значение имеет выявление уровней за-

грязнения природной среды данным радионуклидом, которое могло произойти в результате проведенных испытаний ядерного оружия и радиационных аварий [11].

Полный кумулятивный выход изотопов  $^{151}\text{Sm}$  при делении изотопов  $^{235}\text{U}$ ,  $^{239}\text{Pu}$  и  $^{238}\text{U}$  составляет 0,46, 1,29 и 0,83% соответственно [12]. Оценочно, только лишь за счет наземных и воздушных ядерных испытаний, проведенных на территории Республики Казахстан, было выделено около  $6,1 \cdot 10^5$  Ки активности  $^{151}\text{Sm}$  [13]. Подземные испытания ядерного оружия, вероятнее всего, не внесли существенный вклад в загрязнение окружающей среды  $^{151}\text{Sm}$ , так как у него отсутствуют газообразные предшественники. Исключение могут составить лишь испытания с



выбросом грунта, либо внештатные ситуации с выходом радиоактивных продуктов на дневную поверхность.

Для определения содержания  $^{151}\text{Sm}$  могут использоваться методы жидкостной сцинтилляционной спектрометрии (ЖСС) и масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой. Каждый из указанных методов имеет свои достоинства и недостатки. Так, например, к недостаткам масс-спектрометрических измерений относится, главным образом, мешающее влияние  $^{151}\text{Eu}$ , находящегося в природной смеси [4], а также образующегося в результате распада  $^{151}\text{Sm}$ .

К недостаткам использования метода ЖСС для измерения активности  $^{151}\text{Sm}$  относится то, что максимальная энергия бета-излучения  $^{151}\text{Sm}$  не превышает 77 кэВ [14, 15], в то время как для большинства других бета-излучателей, встречающихся в обычной практике радиационного контроля, энергии бета-частиц могут достигать порядка нескольких сотен кэВ. Так, например, для  $^{137}\text{Cs}$  максимальная энергия  $\beta$ -частицы составляет 1,167 МэВ, для  $^{90}\text{Sr}$  – 544 кэВ, для  $^{90}\text{Y}$  – 2,245 МэВ [15]. Поэтому, ввиду непрерывного характера распределения бета-спектров, требуется проведение тщательной радиохимической очистки от всех мешающих бета-излучающих радионуклидов. Также из-за слабой энергии

$^{151}\text{Sm}$  необходимо удалить макрокомпоненты, которые могут внести вклад в гашение образца. Одним из методов, применяемых для выделения изотопов в радиохимически чистом виде, является ионный обмен.

*Цель данной работы:* выделение и радиохимическая очистка изотопов самария из кислотных растворов с использованием ионообменных смол АВ 17×8 и КУ-2.

### Материалы и методы

В качестве объектов исследования выступили растворы солей химических элементов в растворах минеральных кислот (табл. 1). В работе использовались мерные колбы объемом 200 мл и реактивы марки «хч».

Изотопы U и Th были выделены из образцов объемных мер активности специального назначения (ОМАЧН), кипячением отобранных навесок в течение 40 мин в растворе 7,5М  $\text{HNO}_3$ . Выщелаты отделялись декантированием, остатки песка повторно обрабатывались в течение такого же времени раствором 7,5М  $\text{HNO}_3$ . Полученные кислотные выщелаты отфильтровывались через фильтровальную бумагу «синяя лента» в мерные колбы объемом 200 мл и доводились до метки дистиллированной водой, подкисленной несколькими каплями концентрированной азотной кислоты.

Таблица 1 / Table 1

Состав модельных растворов  
Composition of the model solutions

Характеристика образцов Specification of the samples	Концентрация элементов, мг/л Concentration of elements, mg/L												
	Fe	Al	Co	Ni	Cs	Sr	Ba	Pb	Sm	Th	U	Bi	Tl
7,5М $\text{HNO}_3$	2,7	3,5	0,87	1,9	2,5	3,9	1,7	5,9	1,7	0,29	0,06	–	–
9М $\text{HCl}$	2,6	4,4	1,7	0,37	3,9	1,7	4,9	4,2	2,5	*	*	–	–
1М $\text{HNO}_3$	1,5	1,1	0,87	–	0,31	0,64	1,3	0,45	2,3	*	*	1,8	0,94

Примечание. \* Аликвоты с изотопами Th и U упаривались и растворялись непосредственно в 50 мл солевого раствора; – элементы не определялись;

Note. \* Aliquots of thorium and uranium solutions were evaporated and dissolved directly in 50 ml of saline solution; – the elements were not determined.

Для проведения экспериментов использовался анионит АВ 17×8 в нитратной и хлоридной формах, а также катионит КУ-2 в  $\text{H}^+$ -форме. Разделение проводилось в стеклянных колонках с диаметром рабочей трубки 10 мм и высотой рабочей части 100 мм.

Суть экспериментов заключалась в следующем: из приготовленных модельных растворов солей отбирались аликвоты объемом 50 мл, которые пропускались через колонки, заполненные анионитом (катионитом) в необходимой

солевой форме, со скоростью 0,4–0,6 мл/мин. Колонки последовательно промывались растворами кислот с той же скоростью. Выходящие из колонок растворы собирались порциями по 20 мл в стеклянные вials.

Содержание элементов в выделенных фракциях определялось с помощью атомно-эмиссионного спектрометра iCAP 6300 Duo (Fe, Al, Ba, Bi) и квадрупольного масс-спектрометра Agilent 7700x (Co, Ni, Cs, Sr, Pb, Sm, Th, U, Tl).



### Принцип работы приборов

С помощью индуктивного разряда, продуцируемого высокочастотным генератором в аргоне (являющимся газом-носителем), возникает высокотемпературная плазма. Попадая с помощью распылителя в плазменную горелку, капельки исследуемого раствора высыхают с образованием твёрдых частичек и переходят в газообразное состояние с последующей атомизацией веществ и ионизацией атомов:

**ИСП-МС** – образовавшиеся положительно заряженные ионы  $M^{n+}$  попадают в вакуумную камеру, где разделяются квадрупольным масс-анализатором по массам и детектируются вакуумным электронным множителем;

**ИСП-АЭС** – образовавшиеся ионы испускают излучения определенной длины волны, формируя эмиссионный спектр, регистрируемый детектором.

Для построения градуировочных графиков использовались многоэлементные стандарт-

ные растворы. Контроль качества измерений осуществлялся путем измерений контрольного раствора через каждые 10 проб. При отклонении градуировочного графика на 10% производилась перекалибровка прибора. Влияние матричных помех устранялось разбавлением исследуемых образцов в 1%-ной  $HNO_3$  (1:100). По результатам определения количества элементов в выходящих фракциях были построены кривые элюирования.

### Результаты и их обсуждение

#### Выделение элементов на анионите АВ 17×8 из среды 7,5М $HNO_3$ ( $n = 3$ )

На рис. 1 и 2 показаны зависимости содержания элементов в выделяющихся из колонок фракциях раствора от объема промывного раствора, где на верхней горизонтальной линии указан тип использованного элюента, а вертикальными пунктирными линиями условно выделены границы их применения.

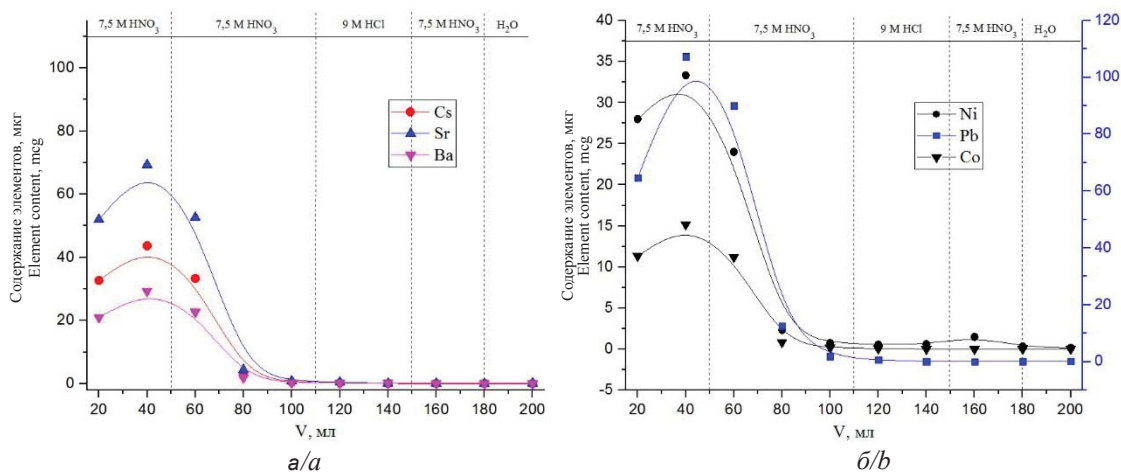


Рис. 1. Кривые элюирования элементов с анионита АВ 17×8, находящегося в нитратной форме: а – Cs, Sr, Ba; б – Ni, Pb, Co

Fig. 1. Elution curves of elements from anion exchanger AV 17×8 in nitrate form: a – Cs, Sr, Ba; b – Ni, Pb, Co

Как видно из рис. 1, изотопы Cs, Sr, Ba сорбционной активности не проявляют и выделяются при пропуске азотнокислого раствора через слой анионита с первыми порциями элюата. Объем элюирующего раствора 7,5М  $HNO_3$ , достаточный для их полного извлечения, составил порядка 80 мл (см. рис. 1, а).

Изотопы Ni, Pb, Co в среде 7,5М  $HNO_3$  также сорбционной способностью не обладают и полностью выделяются из колонок при пропуске порядка 80 мл 7,5М  $HNO_3$  (см. рис. 1, б).

Как можно увидеть из рис. 2, основное количество изотопов Fe и Al выделяется с первыми порциями элюата. При этом для удаления боль-

шей части Fe и Al требуется пропустить более 100 мл 7,5М  $HNO_3$  (см. рис. 2, а).

Выделение изотопов Sm и U происходит с первыми порциями элюата, однако при этом наблюдается некоторое расползание пика U, с максимумом выделения при пропуске 60 мл 7,5М  $HNO_3$  (см. рис. 2, б). Таким образом, есть вероятность того, что несмотря на то что нитратные комплексы U не отличаются высокой устойчивостью, некоторое их количество все же поглощается анионитом. Далее, при смене элюирующего раствора на 9М HCl, выделение изотопов U в элюат полностью прекращается, вследствие его прочной фиксации на смоле (см. рис. 2, б).



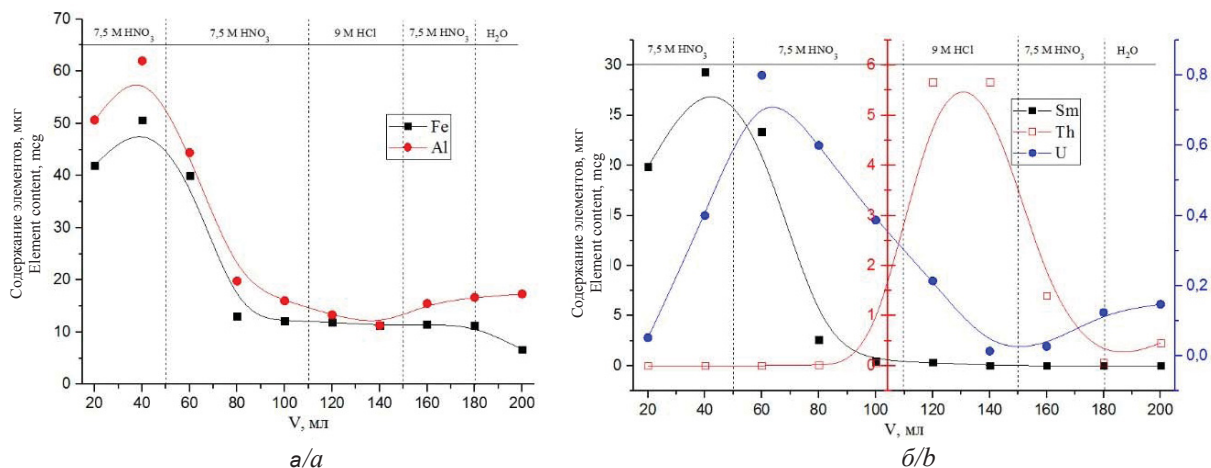


Рис. 2. Кривые элюирования элементов с анионита АВ 17×8, находящегося в нитратной форме: а – Fe и Al; б – Sm, Th и U  
Fig. 2. Elution curves of elements from anion exchanger AV 17×8 in nitrate form: a – Fe и Al; b – Sm, Th и U

Что касается Th, то при пропускании через колонки раствора солей в 7,5М HNO<sub>3</sub> он прочно фиксируется на анионообменной смоле и не выделяется вплоть до смены промывного раствора на 9М HCl (см. рис. 2, б), что можно объяснить разрушением его нитратных комплексов и отсутствием какого-либо комплексообразования в солянокислых средах.

#### Выделение элементов на анионите АВ 17×8 из среды 9М HCl (n = 3)

Выделение элементов с анионита АВ 17×8, находящегося в хлоридной форме, в зависимости от объема элюирующего раствора, показано на рис. 3 и 4.

Как можно увидеть из рис. 3, изотопы Cs, Sr, Ba выходят из колонок не задерживаясь (см. рис. 3, а), что можно объяснить слабыми комплексообразующими свойствами щелочных и

щелочноземельных элементов и отсутствием у них отрицательно заряженных комплексов [16].

Изотопы Ni и Pb, в свою очередь, выделяются практически полностью при пропускании через колонки порядка 100 мл 9М HCl (см. рис. 3, б), что является для них вполне типичным поведением, так как у данных элементов в концентрированных растворах HCl анионные комплексы практически не образуются, а образующиеся комплексы не сорбируются в подобных условиях [17, 18].

Поведение изотопов Co (см. рис. 3, б), в свою очередь, указывает на высокое сродство к аниониту в среде 9М HCl [19]. Так, выделение изотопов Co из колонок начинает происходить только при смене элюирующего раствора на 7,5М HNO<sub>3</sub>, где, очевидно, комплексообразование у него отсутствует.

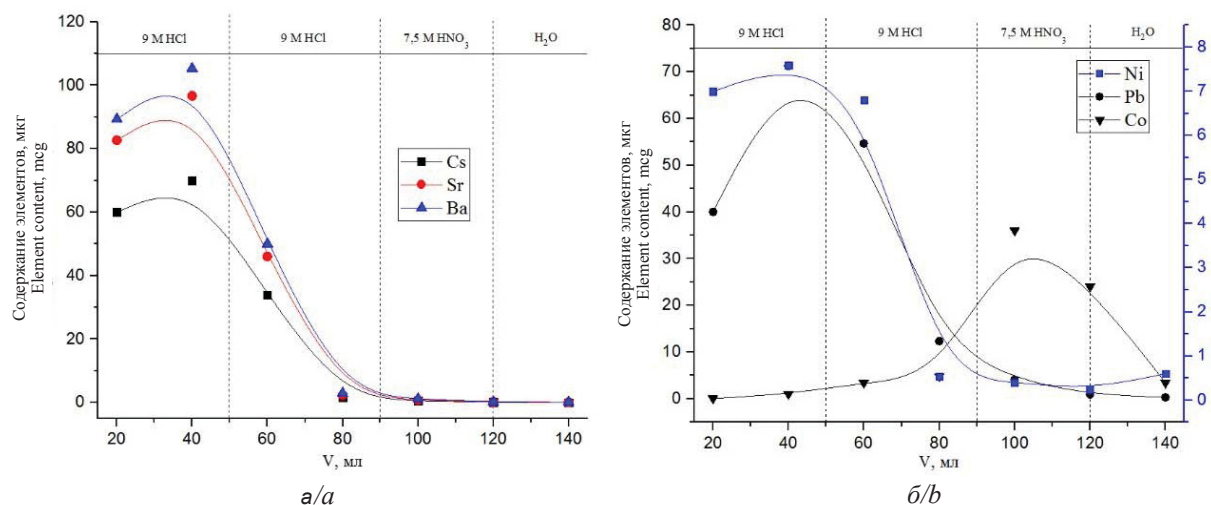


Рис. 3. Кривые элюирования элементов с анионита АВ 17×8, находящегося в хлоридной форме: а – Cs, Sr, Ba; б – Ni, Pb, Co  
Fig. 3. Elution curves of elements from anion exchanger AV 17×8 in chloride form: a – Cs, Sr, Ba; b – Ni, Pb, Co



В целом, по склонности к анионному обмену в солянокислых растворах выделяют следующие 3 группы элементов [16]:

- 1) элементы, не сорбирующиеся из растворов HCl любой концентрации, например щелочные и щелочноземельные металлы;
- 2) элементы, сорбционные свойства которых растут с ростом концентрации HCl, к которой относятся такие элементы, как Fe и U;
- 3) элементы, сорбционные свойства которых уменьшаются с ростом концентрации HCl, например, Pb.

Как можно увидеть из рис. 4, изотопы Al, Sm и Th сорбционной способностью в 9M HCl не обладают и практически полностью переходят

в элюат при пропускании порядка 80 мл раствора 9M HCl. Таким образом, судя по их поведению, данные элементы можно также отнести к первой группе элементов.

Изотопы Fe и U относятся ко второй группе элементов и, как можно увидеть из кривых элюирования (см. рис. 4), в среде 9M HCl они прочно зафиксированы на анионообменной смоле. Далее, при смене элюирующего раствора на азотнокислый, сорбционные свойства данных элементов падают и они вымываются из колонок. Так, например, согласно литературным данным, значение коэффициента распределения ( $K_d$ ) для изотопов урана может уменьшиться практически в 90 раз (с 1800 – в 9M HCl, до 20 – в 7,5M HNO<sub>3</sub>) [16].

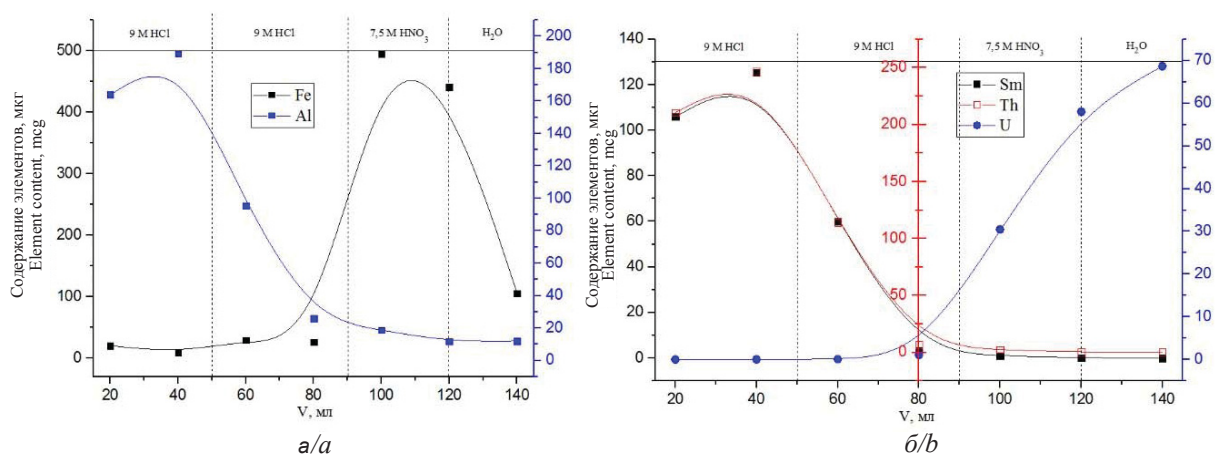


Рис. 4. Кривые элюирования элементов с анионита АВ 17×8, находящегося в хлоридной форме: а – Fe и Al; б – Sm, Th и U  
Fig. 4. Elution curves of elements from anion exchanger AV 17×8 in chloride form: a – Fe and Al; b – Sm, Th and U

### Выделение элементов на катионите КУ-2 из 1M HNO<sub>3</sub> (n = 3)

На рис. 5 и 6 показаны зависимости содержания элементов в выделяющихся из колонок фракциях раствора от объема промывного раствора.

Как можно судить из полученных графиков элюирования (см. рис. 5, 6), наибольшим сродством к катиониту обладают изотопы тория, наименьшим – щелочные элементы и Tl, что соответствует классическому распределению,

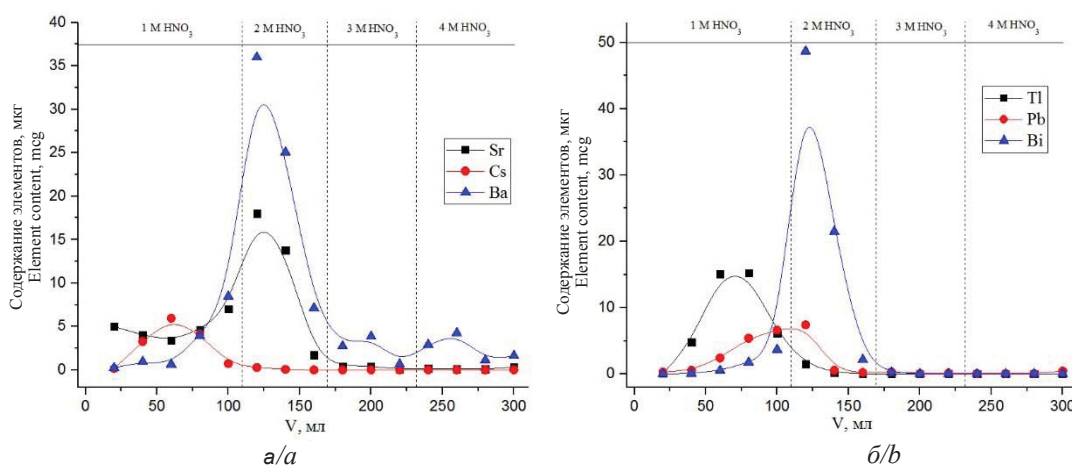


Рис. 5. Кривые элюирования элементов с катионита КУ-2: а – Cs, Sr, Ba; б – Tl, Pb, Bi  
Fig. 5. Elution curves of elements from the cation exchanger KU-2: a – Cs, Sr, Ba; b – Tl, Pb, Bi



когда сорбируемость ионов катионитами зависит от величины заряда ядра.

Так, например, изотопы Cs выделяются при пропускании через ионообменные колонки раствора 1 М HNO<sub>3</sub> (см. рис. 5, а), далее, при увеличении концентрации азотной кислоты до 2 моль/л, начинают выделяться щелочно-земельные элементы (Ba, Sr) (а), изотопы Pb и Bi (б).

Как видно из рис. 6, изотопы Al, Fe и Sm выделяются в элюат при пропускании через колонки раствора 2М HNO<sub>3</sub>, при этом пик, соответствующий

выделению изотопов самария (см. рис. 6, б), чуть более смещен относительно первых двух в область использования раствора 3М HNO<sub>3</sub>. И как можно увидеть, выделение изотопов самария с катионита происходит полностью при промывке смолы раствором азотной кислоты с концентрацией 3 моль/л.

Выделение изотопов U начинает происходить с первыми порциями элюата при прохождении через колонки 1М HNO<sub>3</sub> (см. рис. 6, б) и полностью завершается при промывке катионита раствором 2М HNO<sub>3</sub>.

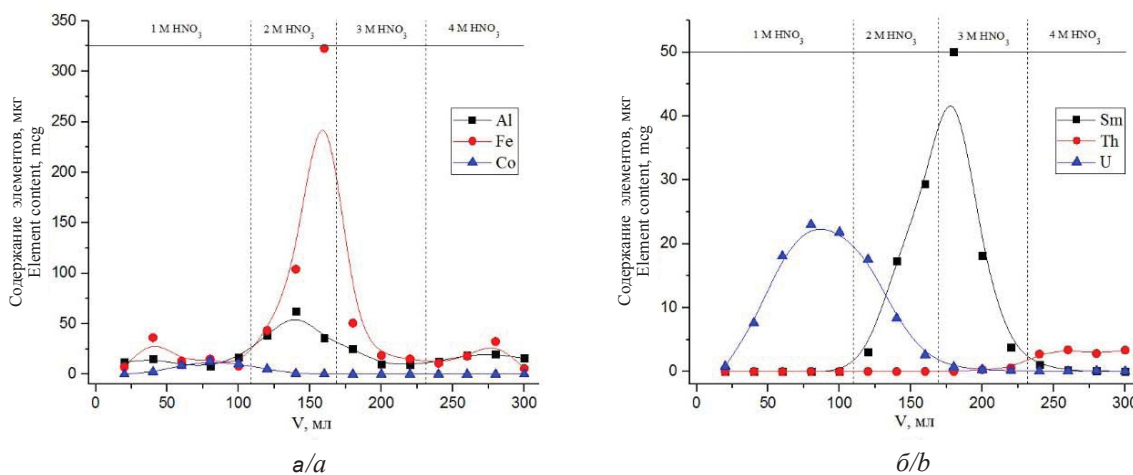


Рис. 6. Кривые элюирования элементов с катионита КУ-2: а – Al, Fe, Co; б – Sm, Th, U  
Fig. 6. Elution curves of elements from the cation exchanger KU-2: a – Al, Fe, Co; b – Sm, Th, U

### Оценка степени очистки изотопов самария от макро- и микроэлементов

Оценка сорбционной способности элементов проводилась с использованием коэффициентов распределения ( $K_d$ ). Коэффициент распределения элемента указывает на его сродство к ионообменной смоле, т.е. чем выше  $K_d$  – тем выше способность элемента к фиксации на смоле. Для расчета коэффициентов распределения ( $K_d$ ) использовалось следующее соотношение [20]:

$$K_d = \frac{V - V'}{V''}, \quad (1)$$

где  $V$  – объем раствора, соответствующий максимуму пика на выходной кривой;  $V'$  – полный свободный объем колонки;  $V''$  – свободный объем столба смолы.

Значения коэффициентов распределения, вычисленные по выражению (1), приводятся в табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

Коэффициенты распределения элементов  
The distribution coefficients of elements

Тип смолы и ионная форма Resin type and ionic form	Fe	Al	Co	Ni	Cs	Sr	Ba	Pb	Sm	Th	U	Bi	Tl
AB 17×8 (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -форма) AB 17×8 (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -form)	7	7	7	7	7	7	7	7	7	24	10	–	–
AB 17×8 (Cl <sup>-</sup> -форма) AB 17×8 (Cl <sup>-</sup> -form)	20	6	19	7	6	6	6	7	6	6	26	–	–
КУ-2 (H <sup>+</sup> -форме) КУ-2 (H <sup>+</sup> -form)	28	24	13	–	10	23	23	20	33	48	14	23	12



Качественной характеристикой возможности разделения элементов служит фактор разделения или коэффициент селективности ( $\alpha$ ). Чем больше фактор разделения элементов, тем лучше их разделение. Для расчета факторов разделения использовалась формула [20]:

$$\alpha = \frac{K_{d_2}}{K_{d_1}}, \quad (2)$$

где  $K_{d_1}, K_{d_2}$  – коэффициенты распределения сравниваемых элементов.

Исходя из сравнения коэффициентов распределения элементов можно сделать следующие выводы:

1) единственным из исследуемых элементов, от которого можно полностью избавиться на анионите АВ 17×8 из растворов 7,5М HNO<sub>3</sub>, является Th. Так, значение фактора разделения изотопов тория и самария, вычисленное по выражению (2), составило 3,6; также имеется некоторая очистка от изотопов урана ( $\alpha = 1,6$ );

2) на анионите АВ 17×8 из 9М HCl можно добиться хорошей очистки от таких элементов, как Fe ( $\alpha = 3,5$ ), Co ( $\alpha = 3,4$ ), U ( $\alpha = 4,6$ );

3) список элементов, которые можно удалить при элюировании на катионите КУ, несколько шире, чем в предыдущих двух случаях, однако, максимальное значение фактора разделения, полученное при этом, существенно ниже, и составляет 3,2. По уменьшению значений факторов разделения на катионите исследуемые элементы можно выстроить в следующий ряд:

Cs > Tl > Co > U > Pb > (Sr, Ba, Bi, Th) > Al > Fe.

Таким образом, наихудшая очистка на катионите будет от высокозарядных ионов железа и алюминия, наилучшая – от цезия. Также имеется вероятность загрязнения фракции самария щелочноземельными элементами и изотопами висмута.

### Заключение

Целесообразность и необходимость применения ионообменных смол для радиохимической очистки изотопов самария будут определяться возможностью удаления тех или иных мешающих элементов (радионуклидов). Так, например, на катионите КУ-2 возможно, в некоторой степени, очистить фракцию самария от щелочных, щелочноземельных элементов, изотопов U, Tl, Pb. Пропуская концентрированные растворы HCl через анионит АВ 17×8, находящийся в хлоридной форме, можно удалить такие элементы как U, Co, Fe, однако щелочные и щелочноземельные элементы, будут при этом выделяться вместе с изотопами самария. В целом, очистка на анионитах из солянокислых растворов вы-

глядит более предпочтительной, по сравнению с использованием азотнокислых растворов, так как количество элементов, образующих отрицательно заряженные комплексы в растворах HCl, гораздо больше, чем в HNO<sub>3</sub>.

Исходя из возможного загрязнения фракции самария ионами железа, щелочноземельных элементов и свинца, полагаем, что для достижения оптимальной радиохимической чистоты спектрометрического источника необходимо сочетание метода ионообменного выделения (с последовательным применением анионитов и катионитов), с дополнительной стадией очистки, например, осаждением малорастворимых соединений.

### Список литературы

1. Párkányi D., Szentmiklósi L., Vajda N. Radiochemical separation of lanthanides and americium by extraction chromatography using DGA resin // Abstract from International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry RANC-2016. Budapest, Hungary, 2016. P. 110–110.
2. Altitoglou T., Rožkov A. Standardisation of the <sup>129</sup>I, <sup>151</sup>Sm and <sup>166m</sup>Ho activity concentration using the CIEMAT/NIST efficiency tracing method // Journal of Applied Radiation and Isotopes. 2016. Vol. 109. P. 281–285. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2015.12.048>
3. Henner P., Hurtevent P., Thiry Y. Soil-to-plant transfer factors of radioactive Ca, Sm and Pd isotopes: critical assessment of the use of analogies to derive best-estimates from existing non-specific data // Journal of Environmental Radioactivity. 2014. Vol. 136. P. 152–161.
4. Dewberry R. A., Boyce W. T., Bibler N. E., Ekechukwu A. E., Ferrara D. M. Separation and purification and beta liquid scintillation analysis of <sup>151</sup>Sm in Savannah River Site and Hanford Site DOE high level waste // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2002. Vol. 252, № 3. P. 503–513.
5. Bé M.-M., Isnard H., Cassette P., Mougeot X., Lourenço V., Altitoglou T., Pommé S. Determination of the <sup>151</sup>Sm half-life // Radiochimica Acta. 2015. Vol. 103, № 9. P. 619–626. <https://doi.org/10.1515/ract-2015-2393>
6. Dry E. D., Oldham J. W., Bowen M. S. Determination of <sup>151</sup>Sm and <sup>147</sup>Pm using liquid scintillation tracer methods // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2009. Vol. 282. P. 635–640. <https://doi.org/10.1007/s10967-009-0330-1>
7. Miranda M., Russell B., Ivanov P. Measurement of <sup>151</sup>Sm in nuclear decommissioning samples by ICP-MS/MS // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2018. Vol. 316. P. 831–838. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-5764-x>
8. Buchholz B. A., Biegalski S. R., Whitney S. M., Tumey S. J., Weaver C. J. Basis for developing samarium AMS for fuel cycle analysis // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B. 2010. Vol. 268. P. 773–775. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2009.10.027>



9. Jeskovsky M., Kaizer J., Kontul' I., Lujaniene G., Mullerova M., Povinec P. P. Analysis of environmental radionuclides // Handbook of Radioactivity Analysis / ed. M. Annunziata, 5<sup>th</sup> ed. New York : Academic Press, 2020. P. 137–261. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814395-7.00003-9>
10. Ojovan M. I., Lee W. E., Kalmykov S. N. An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation (Third Edition). Elsevier Ltd, 2019. 512 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102702-8.00011-X>
11. Kashirsky V., Shatrov A., Zvereva I., Lukashenko S. Development of a method for studying  $^{241}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$  activity ratio in the soil of the main Semipalatinsk test site areas // Journal of Environmental Radioactivity. 2020. Vol. 216. P. 106181. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106181>
12. Израэль Ю. А. Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий. СПб. : Прогресс-Погода, 1996. 355 с.
13. Михайлов В. Н., Адушкин В. В., Андрияшин И. А., Волошин Н. П., Дубасов Ю. В., Ильяев Р. И., Спиwak А. А., Чернышев А. К. Ядерные испытания СССР : в 6 т. Саров : Изд-во РФЯЦ – ВНИИЭФ, 1997. Т. 2. 303 с.
14. Vajda N., Molnar Z., Bokori E., Osváth S., Párkányi D., Braun M. Validation of radiochemical methods for the determination of difficult-to-measure nuclides using LSC // Abstract from International Conference on Advances in Liquid scintillation Spectrometry. Copenhagen : Denmark, 2017. P. 50–51.
15. Мартыненко В. П., Никифоров М. В., Павлов А. А. Гамма-излучение продуктов мгновенного деления  $\text{U}^{235}$ ,  $\text{U}^{238}$ ,  $\text{Pu}^{239}$ . Л. : Гидрометеиздат, 1971. 247 с.
16. Виноградов А. П. Аналитическая химия урана. М. : Изд-во Академии наук СССР, 1962. 432 с.
17. Пешкова В. М., Савостина В. М. Аналитическая химия никеля. М. : Наука, 1966. 204 с.
18. Полянский Н. Г. Аналитическая химия элементов. Свинец. М. : Наука, 1986. 357 с.
19. Пятницкий И. В. Аналитическая химия кобальта. М. : Наука, 1965. 261 с.
20. Рябчиков Д. И., Рябухин В. А. Аналитическая химия редкоземельных элементов и иттрия. М. : Наука, 1966. 380 с.
- assessment of the use of analogies to derive best-estimates from existing non-specific data. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2014, vol. 136, pp. 152–161.
4. Dewberry R. A., Boyce W. T., Bibler N. E., Ekechukwu A. E., Ferrara D. M. Separation and purification and beta liquid scintillation analysis of  $^{151}\text{Sm}$  in Savannah River Site and Hanford Site DOE high level waste. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2002, vol. 252, no. 3, pp. 503–513.
5. Bé M.-M., Isnard H., Cassette P., Mougeot X., Lourenço V., Altizoglou T., Pommé S. Determination of the  $^{151}\text{Sm}$  half-life. *Radiochimica Acta*, 2015, vol. 103, no. 9, pp. 619–626. <https://doi.org/10.1515/ract-2015-2393>
6. Dry E. D., Oldham J. W., Bowen M. S. Determination of  $^{151}\text{Sm}$  and  $^{147}\text{Pm}$  using liquid scintillation tracer methods. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2009, vol. 282, pp. 635–640. <https://doi.org/10.1007/s10967-009-0330-1>
7. Miranda M. G., Russell B., Ivanov P. Measurement of  $^{151}\text{Sm}$  in nuclear decommissioning samples by ICP-MS/MS. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2018, vol. 316, pp. 831–838. <https://doi.org/10.1007/s10967-018-5764-x>
8. Buchholz B. A., Biegalski S. R., Whitney S. M., Tumey S. J., Weaver C. J. Basis for developing samarium AMS for fuel cycle analysis. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B*, 2010, vol. 268, pp. 773–775. <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2009.10.027>
9. Jeskovsky M., Kaizer J., Kontul' I., Lujaniene G., Mullerova M., Povinec P. P. Analysis of environmental radionuclides. In: M. Annunziata, ed. *Handbook of Radioactivity Analysis*. 5<sup>th</sup> ed. New York, Academic Press, 2020, pp. 137–261. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814395-7.00003-9>
10. Ojovan M. I., Lee W. E., Kalmykov S. N. *An Introduction to Nuclear Waste Immobilisation (Third Edition)*. Elsevier Ltd, 2019. 512 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102702-8.00011-X>
11. Kashirsky V., Shatrov A., Zvereva I., Lukashenko S. Development of a method for studying  $^{241}\text{Pu}/^{241}\text{Am}$  activity ratio in the soil of the main Semipalatinsk test site areas. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2020, vol. 216, pp. 106181. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106181>
12. Израэль Ю. А. *Радиоактивные выпадения после ядерных взрывов и аварий* [Radioactive Fallout After Nuclear Explosions and Accidents]. St. Petersburg, Progress-Pogoda Publ., 1996. 355 p. (in Russian).
13. Mikhajlov V. N., Adushkin V. V., Andryushin I. A., Voloshin N. P., Dubasov Yu. V., Il'kaev R. I., Spiwak A. A., Chernyshev A. K. *Yadernye ispytaniya SSSR: v 6 t.* [Nuclear Tests Conducted in the USSR: in 6 vols.]. Sarov, RFYAC – VNIIEF Publ., 1997, vol. 2. 303 p. (in Russian).
14. Vajda N., Molnar Z., Bokori E., Osváth S., Párkányi D., Braun M. Validation of radiochemical methods for the

## References

1. Párkányi D., Szentmiklósi L., Vajda N. Radiochemical separation of lanthanides and americium by extraction chromatography using DGA resin. *Abstract from International Conference on Radioanalytical and Nuclear Chemistry RANC-2016*. Budapest, Hungary, 2016, pp. 110–110.
2. Altizoglou T., Rožkov A. Standardisation of the  $^{129}\text{I}$ ,  $^{151}\text{Sm}$  and  $^{166\text{m}}\text{Ho}$  activity concentration using the CIE-MAT/NIST efficiency tracing method. *Journal of Applied Radiation and Isotopes*, 2016, vol. 109, pp. 281–285. <https://doi.org/10.1016/j.apradiso.2015.12.048>
3. Henner P., Hurtevent P., Thiry Y. Soil-to-plant transfer factors of radioactive Ca, Sm and Pd isotopes: Critical as-



- determination of difficult-to-measure nuclides using LSC. In: *Abstract from International Conference on Advances in Liquid Scintillation Spectrometry*. Copenhagen, Denmark, 2017, pp. 50–51.
15. Martynenko V. P., Nikiforov M. V., Pavlov A. A. *Gamma-izluchenie produktov mgnovennogo deleniya  $U^{235}$ ,  $U^{238}$ ,  $Pu^{239}$*  [Gamma Radiation from Instant Fission Products of  $U^{235}$ ,  $U^{238}$ ,  $Pu^{239}$ ]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1971. 247 p. (in Russian).
16. Vinogradov A. P. *Analiticheskaya khimiya urana* [Analytical Chemistry of Uranium]. Moscow, Izdvo Akademii nauk USSR, 1962. 432 p. (in Russian).
17. Peshkova V. M., Savostina V. M. *Analiticheskaya khimiya nikelya* [Analytical Chemistry of Nickel]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 204 p. (in Russian).
18. Polyanskiy N. G. *Analiticheskaya khimiya elementov. Svinets* [Analytical Chemistry of Elements. Lead]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 357 p. (in Russian).
19. Pyatnitskiy I. V. *Analiticheskaya khimiya kobal'ta* [Analytical Chemistry of Cobalt]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 261 p. (in Russian).
20. Ryabchikov D. I., Ryabukhin V. A. *Analiticheskaya khimiya redkozemel'nyh elementov i ittriya* [Analytical Chemistry of Rare Earth Elements and Yttrium]. Moscow, Nauka Publ., 1966. 380 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 21.05.21, после рецензирования 25.06.21, принята к публикации 28.06.21  
Received 21.05.21, revised 21.06.21, accepted 28.06.21



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 378–381

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 378–381

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-378-381>

Научная статья

УДК 535.371

## Синтез и изучение некоторых свойств коллоидных квантовых точек антимионида индия



О. Ю. Цветкова<sup>1</sup>, С. Н. Штыков<sup>2</sup>, Н. Д. Жуков<sup>1</sup>, Т. Д. Смирнова<sup>2</sup> ✉

<sup>1</sup>ООО «НПП Волга», Россия, 410033, г. Саратов, пр. 50 лет Октября, д. 101

<sup>2</sup>Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Цветкова Ольга Юрьевна, ведущий инженер-технолог, [olgatsvetkova1972.yande@yandex.ru](mailto:olgatsvetkova1972.yande@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3184-5423>

Штыков Сергей Николаевич, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии, [shtykovsn@mail.ru](mailto:shtykovsn@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6753-5040>

Жуков Дмитрий Николаевич, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, [ndzhukov@rambler.ru](mailto:ndzhukov@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8018-5679>

Смирнова Татьяна Дмитриевна, доктор химических наук, профессор, профессор кафедры аналитической химии и химической экологии Института химии, [smirnovatd@mail.ru](mailto:smirnovatd@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3391-1092>

**Аннотация.** Синтезировали по известной методике коллоидные квантовые точки (КТ) антимионида индия. Форму и средние диаметры квантовых точек исследовали методом трансмиссионной электронной микроскопии с помощью просвечивающего микроскопа. Контроль размеров и формы коллоидных КТ позволяет получить информацию о формировании кристаллической структуры наночастиц и их возможных физико-оптических свойств. Установлено, что квантовые точки InSb характеризуются полигональной формой. Результаты, полученные для КТ, соответствуют сингонии кристаллической решетки полупроводника с кубической структурой кристаллической решетки. Элементный анализ наночастиц контролировали рентгеновским микроанализом. Экспериментальная погрешность определения составляла не более одного процента. Процентный состав индия и сурьмы в КТ, по данным рентгеновского микроанализа, соответствовал теоретической стехиометрии In:Sb = 1:1. Примеси других элементов составляли уровень следовых количеств, что подтвердило химическую чистоту синтезированных КТ InSb. Изучены флуоресцентные свойства наночастиц антимионида индия. Установлено, что интенсивность люминесценции наночастиц InSb при комнатной температуре незначительная, что согласуется с литературными данными. Квантовый выход не превышает 1%, а максимум люминесценции лежит в области 1040 нм.

**Ключевые слова:** квантовые точки, коллоидный синтез, стехиометрический состав, флуоресцентные свойства

**Благодарности:** авторы благодарны за научно-консультативную помощь профессорам А. И. Михайлову (факультет нано- и биомедицинских технологий СГУ), доктору химических наук Д. В. Крыльскому (НИИ ПА, Дубна), за помощь при измерениях А. М. Бурову (ЦКП «Симбеоз» ИБФРМ РАН), А. М. Захаревичу (лаборатория диагностики наноматериалов и структур СГУ).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 20-07-00307-а).

**Для цитирования:** Цветкова О. Ю., Штыков С. Н., Жуков Н. Д., Смирнова Т. Д. Синтез и изучение некоторых свойств коллоидных квантовых точек антимионида индия // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 378–381. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-378-381>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Synthesis and study of some properties of colloidal quantum dots of indium antimonide

O. Yu. Tsvetkova<sup>1</sup>, S. N. Shtykov<sup>2</sup>, N. D. Zhukov<sup>1</sup>, T. D. Smirnova<sup>2</sup> ✉

<sup>1</sup>ООО "NPP Volga", 101 50 years of October Ave., Saratov 410033, Russia

<sup>2</sup>Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Olga Yu. Tsvetkova, [olgatsvetkova1972.yande@yandex.ru](mailto:olgatsvetkova1972.yande@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3184-5423>

Sergey N. Shtykov, [shtykovsn@mail.ru](mailto:shtykovsn@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6753-5040>

Nikolay D. Zhukov, [ndzhukov@rambler.ru](mailto:ndzhukov@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8018-5679>

Tatiana D. Smirnova, [smirnovatd@mail.ru](mailto:smirnovatd@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3391-1092>



**Abstract.** Colloidal quantum dots of indium antimonide have been synthesized by a known technique. The shape and average diameters of quantum dots have been investigated by transmission electron microscopy using a transmission microscope. Controlling the size and shape of colloidal QDs provides information on the formation of the crystal structure of nanoparticles and their possible physical and optical properties. It has been found that InSb quantum dots are characterized by a polygonal shape. The results obtained for QDs correspond to the crystal lattice system of a semiconductor with a cubic crystal lattice structure. Elemental analysis of nanoparticles has been monitored by X-ray microanalysis. The experimental determination error was no more than one percent. The percentages of indium and antimony in QDs according to X-ray microanalysis data corresponded to the theoretical stoichiometry In: Sb = 1:1. Impurities of other elements constituted the level of trace amounts, which confirmed the chemical purity of the synthesized InSb QDs. The fluorescent properties of indium antimonide nanoparticles have been studied. It has been found that the luminescence intensity of InSb nanoparticles at room temperature is insignificant, which is in agreement with the literature data. The quantum yield does not exceed 1%, and the luminescence maximum lies in the range of 1040 nm.

**Keywords:** quantum dots, colloidal synthesis, stoichiometric composition, fluorescent properties

**Acknowledgements:** The authors are grateful for scientific advice to professors Alexandr I. Mikhailov (Faculty of Nano- and Biomedical Technologies of SSU), Doctor of Chemical Sciences Dmitry V. Krylsky (Research Institute of AA, Dubna), assistance in measurements to Andrey M. Burov (CCP "Simbeoz" IBFRM RAS), to Andrey M. Zakharevich (Laboratory of Diagnostics of nanomaterials and structures of SSU). The work was carried out with the financial support of the RFBR (project No. 20-07-00307-a).

**For citation:** Tsvetkova O. Yu., Shtykov S. N., Zhukov N. D., Smirnova T. D. Synthesis and study of some properties of colloidal quantum dots of indium antimonide. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 378–381. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-378-381>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

Уникальные свойства полупроводниковых квантовых точек группы  $A^{III}B^V$  вызывают особый интерес благодаря высокой подвижности электронов, узкой запрещенной зоне, малой эффективной массе электронов. Проявление квантово-размерных эффектов таких нанокластеров становится возможным даже в случае сравнительно больших размеров. Еще одним преимуществом узкозонных и безщелевых полупроводников группы  $A^{III}B^V$  является возможность синтеза на их основе квантовых точек с варьируемой шириной запрещенной зоны и дальнейшим применением в ИК- и терагерцевом диапазонах спектра. Наночастицы, полученные путем тонкого и сверхтонкого измельчения монокристаллических пластин и слитков соответствующих макроматериалов, широко используются в лазерах [1]. Коллоидные квантовые точки находят применение в оптоэлектронике (проявление фотовольтаического эффекта), при конструировании светодиодов, в качестве люминофоров в видимой области спектра [2]. Способность коллоидных квантовых точек существовать в форме растворов и золей представляет интерес для развития принципиально новых технологий. Зависимость оптического спектра от размера наночастиц расширяет возможности их практического использования в оптоэлектронных системах, светоизлучающих диодах и светоизлучающих плоских панелях, солнечных элементах и фотоэлектрических преобразователях, биологических маркерах, везде, где важны переменные и настраиваемые оптические свойства. Кроме этого, квантовые точки группы  $A^{III}B^V$  обладают большой осциллирующей силой оптических пере-

ходов, что приводит к очень короткому времени рекомбинации пар электрон-дырка, что связано с высокой когерентностью объема оптического возбуждения, который в несколько раз превышает объем отдельного атома.

Целью данной работы является синтез и изучение некоторых свойств наночастиц на основе полупроводника группы  $A^{III}B^V$  – антимонида индия InSb.

## Материалы и методы

**Синтез наночастиц.** Коллоидный синтез квантовых точек InSb проводили по методике, предложенной авторами [3], в кипящем безводном олеиламине, используя в качестве прекурсоров соли индия ацетата и хлорида в соотношении 4:1 и бис(триметилсилиламид) сурьмы. Добавка соли ацетата индия способствовала минимизации агрегационных процессов. Реакционную смесь продували аргоном и проводили реакцию в течение 20 мин для достижения нужного размера частиц. После охлаждения реакционной смеси очистку наночастиц осуществляли путем двукратного переосаждения метанолом, конечный продукт хранили в толуоле.

Образцы исследуемых квантовых точек синтезированы в лабораториях ФГУП «Научно-исследовательский институт прикладной акустики», Дубна, Россия.

**Аппаратура.** Лабораторные весы ВК-300; сканирующий электронный микроскоп Mira II LMU, оснащенный системой энергодисперсионных спектрометров INCA Energy 350; просвечивающий микроскоп Libra-120 (CarlZeiss, Германия).

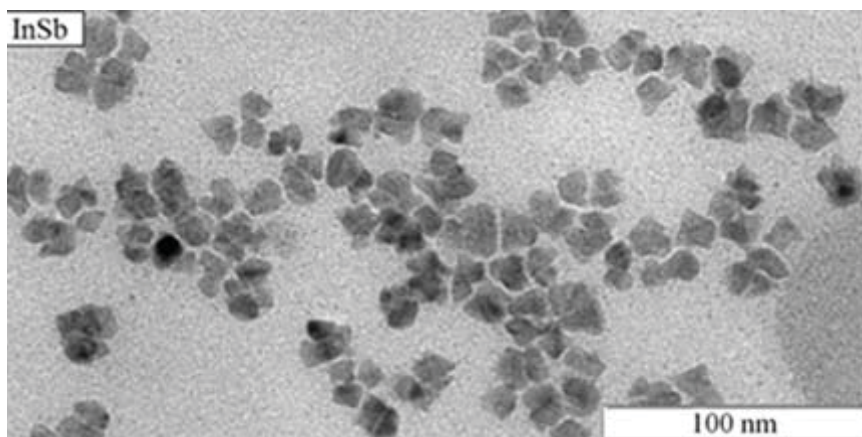




### Результаты и их обсуждение

**Форму и средние диаметры** квантовых точек исследовали методом трансмиссионной электронной микроскопии (ТЭМ) с помощью просвечивающего микроскопа по известной методике [4]. Контроль размеров и формы коллоидных КТ позволяет получить информацию о формировании кристаллической структуры наночастиц и их возможных физико-оптических

свойств. Установлен средний диаметр наночастиц 4.5–5.5 нм. На рисунке представлены микрофотографии квантовых точек InSb, характеризующиеся полигональной, с преобладанием трёх-четырёхгранной, формой. Результаты, полученные для КТ, соответствуют сингонии кристаллической решётки полупроводника с кубической структурой кристаллической решётки [5].



Тем-снимки квантовых точек InSb  
TEM-photographs of InSb quantum dots

**Элементный анализ** наночастиц контролировали рентгеновским микроанализом на сканирующем электронном микроскопе Mira II LMU, оснащённом системой **энергодисперсионных** спектрометров INCA Energy 350 (TESCAN, Чехия). Экспериментальная погрешность определения составляла не более одного процента. Квантовые точки освобождали от сорбированных на их поверхности лигандов и антиоксиданта центрифугированием, редиспергировали в гексане и помещали на кремниевую подложку слоем, не менее 10  $\mu\text{m}$ . Процентный состав индия и сурьмы в КТ, по данным рентгеновского микроанализа, соответствовал теоретической стехиометрии In : Sb = 1 : 1 (таблица). Примеси других элементов составляли уровень следовых количеств, что подтвердило химическую чистоту синтезированных КТ InSb.

#### Результаты элементного анализа квантовых точек InSb

##### Elemental analysis results for InSb quantum dots

Содержание элементов, % Content of elements, %	In	Sb
Теоретические / Theoretical	48.3	51.7
Экспериментальные / Experimental	47.1	51.9

**Флуоресцентные свойства** наночастиц антимонида индия изучали с помощью флуориметра с монохроматором типа ЗМР и регистрацией излучения – ИК-фотоприёмным устройством фирмы «АИВІ». Нами установлено, что интенсивность люминесценции наночастиц InSb при комнатной температуре незначительная, что согласуется с литературными данными [6]. Квантовый выход не превышает 1%, а максимум люминесценции лежит в области 1040 нм. Согласно литературным данным, модификация поверхности квантовых точек будет сопровождаться возрастанием интенсивности люминесценции.

Измерения на электронных микроскопах проводили в лабораториях ИБФРМ РАН, Саратов (ПЭМ) и Института наноструктур и биосистем СГУ (СЭМ).

### Выводы

Синтез коллоидных квантовых точек антимонида индия показал, что способ позволяет получать КТ стехиометрического состава и хорошего качества. Установлен средний диаметр 4.5–5.5 нм и полигональная форма кристаллов наночастиц полупроводника методом трансмиссионной электронной микроскопии. Элементный состав синтезированных наночастиц соответ-



ствовал теоретической стехиометрии  $\text{In} : \text{Sb} = 1:1$ . Примеси других элементов не превышали уровень следовых количеств, что подтвердило химическую чистоту синтезированных нанообъектов.

Установлены слабо выраженные флуоресцентные свойства немодифицированных квантовых точек антимонида индия с максимумом эмиссии при 1040 нм. Полученные характеристики согласуются с литературными данными.

#### Список литературы

1. Леденцов Н. Н., Лотт Д. А. Новое поколение вертикально-излучающих лазеров как ключевой элемент компьютерно-коммуникационной эры // *Успехи физических наук*. 2011. Т. 181, вып. 8. С. 884–890.
2. Дежуров С. В., Трифонов А. Ю., Ловыгин М. В. Синтез высокостабильных коллоидных квантовых точек  $\text{CdTeSe/CdS}$ ,  $\text{CdZnS/ZnS}$ , флуоресцирующих в БЛИК-диапазоне 650–750 нм // *Российские нанотехнологии*. 2016. Т. 11, вып. 5–6. С. 54–59.
3. Liu W., Chang A. Y., Schaller R. D., Talapin D. V. Colloidal InSb Nanocrystals // *J. Amer. Chem. Soc.* 2012. Vol. 134. P. 20258–20261.
4. Zhang H., Guyot-Sionnest P. Shape-Controlled HgTe Colloidal Quantum Dots and Reduced Spin–Orbit Splitting in the Tetrahedral Shape // *J. Physical Chemistry Letters*. 2020. Vol. 11, № 16. P. 6860–6866. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.0c01550>
5. Reiss P., Protiere M., Li L. Core/Shell Semiconductor

Nanocrystals // *Small*. 2009. Vol. 5. P. 154–168. <http://dx.doi.org/10.1002/sml.200800841>

6. Hens Z., De Roo J. Atomically Precise Nanocrystals // *J. Amer. Chem. Soc.* 2020. Vol. 142, P. 15627–15637. <https://doi.org/10.1021/jacs.0c05082>

#### References

1. Ledentsov N. N., Lott D. A. A new generation of vertical-emitting lasers as a key element of the computer-communication era. *Advances in Physical Sciences*, 2011, vol. 181, no. 8, pp. 884–890.
2. Dezhurov S. V., Trifonov A. Yu., Lovygin M. V. Synthesis of highly stable colloidal quantum dots  $\text{CdTeSe} / \text{CdS}$ ,  $\text{CdZnS} / \text{ZnS}$  fluorescent in the BLIR range 650–750 nm. *Russian Nanotechnology*, 2016, vol. 11, no. 5–6, pp. 54–59.
3. Liu W., Chang A. Y., Schaller R. D., Talapin D. V. Colloidal InSb Nanocrystals. *J. Amer. Chem. Soc.*, 2012, vol. 134, pp. 20258–20261.
4. Zhang H., Guyot-Sionnest P. Shape-Controlled HgTe Colloidal Quantum Dots and Reduced Spin–Orbit Splitting in the Tetrahedral Shape. *J. Physical Chemistry Letters*, 2020, vol. 11, no. 16, pp. 6860–6866. <https://doi.org/10.1021/acs.jpcclett.0c01550>
5. Reiss P., Protiere M., Li L. Core/Shell Semiconductor Nanocrystals. *Small*, 2009, vol. 5, pp. 154–168. <http://dx.doi.org/10.1002/sml.200800841>
6. Hens Z., Roo J. De. Atomically Precise Nanocrystals. *J. Amer. Chem. Soc.*, 2020, vol. 142, pp. 15627–15637. <https://doi.org/10.1021/jacs.0c05082>

Поступила в редакцию 21.06.21, после рецензирования 28.06.21, принята к публикации 29.06.21  
Received 21.06.21, revised 28.06.21, accepted 29.06.21



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 382–390

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 382–390

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-382-390>

Научная статья

УДК 541(64+127)

## Изучение процесса диффузии в пленках натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы — лекарственное вещество



А. С. Шуршина , Е. И. Кулиш

Башкирский государственный университет, Россия, 450076, г. Уфа, ул. Заки Валиди, д. 32

Шуршина Анжела Саматовна, кандидат химических наук, доцент кафедры высокомолекулярных соединений и общей химической технологии, [anzhela\\_murzagil@mail.ru](mailto:anzhela_murzagil@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6737-7265>

Кулиш Елена Ивановна, доктор химических наук, профессор, заведующий кафедрой высокомолекулярных соединений и общей химической технологии, [onlyalena@mail.ru](mailto:onlyalena@mail.ru). <https://orcid.org/0000-0002-6440-0718>

**Аннотация.** В работе изучены транспортные свойства лекарственных пленок на основе натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы и антибиотика сульфата амикацина. Показано, что процессы сорбции паров воды такими пленками и выхода из них лекарственного вещества проходят в аномальном режиме диффузии, что объясняется замедленностью релаксационных процессов в стеклообразных полимерах, к которым относится и натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы. Увеличение количества введенного лекарственного вещества сопровождается закономерным уменьшением значений коэффициентов диффузии, как сорбции паров воды, так и выхода амикацина из пленок. Отмечается, что сформированные пленки натриевая соль карбоксиметилцеллюлоза–сульфат амикацина в течение суток растворяются в воде и не обеспечивают пролонгированный выход лекарственного препарата. Для уменьшения растворимости пленок в воде была проведена поверхностная модификация полимерной пленки хлоридом кальция. Установлено, что модифицирование не приводит к смене режима диффузии, но сопровождается закономерным изменением коэффициентов диффузии – чем большее время сформированные пленки выдерживались в растворе хлорида кальция, тем меньшие значения имели коэффициенты диффузии сорбции паров воды лекарственными пленками и коэффициенты диффузии выхода лекарственного вещества амикацина из пленки. Утверждается, что поверхностная модификация полимерных пленок на основе натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы является действенным способом придания им эффекта пролонгирования выхода лекарственного препарата.

**Ключевые слова:** полимерная пленка, модификация, доставка лекарств

**Для цитирования:** Шуршина А. С., Кулиш Е. И. Изучение процесса диффузии в пленках натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы — лекарственное вещество // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 382–390. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-382-390>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Study of the diffusion process in films sodium salt of carboxymethyl cellulose – drug

A. S. Shurshina , E. I. Kulish

Bashkir State University, 32 Zaki Validi St., Ufa 450076, Russia

Anzhela S. Shurshina, [anzhela\\_murzagil@mail.ru](mailto:anzhela_murzagil@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-6737-7265>

Elena I. Kulish, [onlyalena@mail.ru](mailto:onlyalena@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-6440-0718>

**Abstract.** The transport properties of medicinal films based on sodium salt of carboxymethylcellulose and the antibiotic amikacin sulfate have been studied in this work. It has been shown that the process of sorption of water vapor by such films and the release of a drug from them proceeds in an abnormal diffusion mode, which is explained by the slowdown of relaxation processes in glassy polymers, which include the sodium salt of carboxymethylcellulose. An increase of the amount of the introduced drug is accompanied by a regular decrease in the diffusion coefficients of both the process of sorption of water vapor and the release of amikacin from the films. It is noted that the formed films of sodium salt of carboxymethylcellulose-amikacin sulfate dissolve in water during the day and do not provide a prolonged release of the drug. To reduce the solubility of the films in water, the surface modification of the polymer film with calcium chloride has been carried out. It has been found that the modification does not lead to a change in the diffusion mode, but is accompanied by a regular change in the diffusion coefficients – the longer the formed films were kept in a calcium chloride solution, the lower the diffusion coefficients of the sorption of water vapor by medicinal films and the diffusion coefficients of the release of the drug amikacin from the film. It is argued that the surface modification of polymer films based on the sodium salt of carboxymethylcellulose is an effective way of imparting to them the effect of prolonging the release of a drug.

**Keywords:** polymer film, modification, drug delivery



**For citation:** Shurshina A. S., Kulish E. I. Study of the diffusion process in films sodium salt of carboxymethyl cellulose – drug. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 382–390. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-382-390>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

Полимерные лекарственные формы с контролируемым высвобождением лекарственных препаратов вызывают на сегодняшний день большой интерес [1–6]. Подобные системы доставки лекарственных веществ (ЛВ) позволяют снизить уровень побочных эффектов от их применения, а также в ряде случаев осуществить адресную доставку непосредственно в очаг поражения [7].

На сегодняшний день сформулированы основные требования, которым должны соответствовать полимерные лекарственные формы [8–11]. К ним относят определенные физико-химические и физико-механические свойства, биодegradуемость и биосовместимость, возможность легкого и удобного применения и т.д. С учетом этих требований наиболее перспективными представляются системы доставки на основе полисахаридов [12–16], например, на основе наиболее распространенного полимера растительного происхождения – целлюлозы.

Одним из самых распространенных производных целлюлозы является натриевая соль карбоксиметилцеллюлозы (КМЦ), обладающая спектром ценных свойств [17, 18]. Об этом свидетельствуют регулярно появляющиеся новые обзоры, патенты и т.д. [19, 20]. Так, на основе КМЦ изготавливаются пленки, которые ускоряют образование и созревание новой ткани, активно влияют на процессы фибриллогенеза, а также обладают выраженным стимулирующим действием на репаративные процессы в инфицированных ранах кожи [21]. Гели на основе КМЦ применяются в качестве средства профилактики интраоперационного высыхания брюшины и образования послеоперационных спаек при операциях на органах, имеющих серозное покрытие [22–24]. В работах, посвященных КМЦ, подробно описаны методы химической модификации низкомолекулярными соединениями [25], методы механических воздействий [26], реологические исследования растворов [27]. Однако работ, посвященных изучению диффузионных характеристик матриц на основе КМЦ, на сегодняшний день явно не достаточно, а без них создание полимерных лекарственных форм с контролируемым выходом лекарственных препаратов, невозможно. В связи с этим целью данной работы стало изучение транспортных свойств лекарственных полимерных матриц на основе КМЦ, а также поиск методов, позволяющих их целенаправленно регулировать.

## Материалы и методы

Объектом исследования стала КМЦ марки «Бланоза СМС 7НОФРН» со степенью замещения 80–95% и молекулярной массой 260000 производства «Ashland» (США). В качестве лекарственного вещества использовали сульфат амикацина (АМ). Лекарственное вещество использовали без дополнительной очистки.

Характеристическую вязкость разбавленных растворов полимеров определяли с помощью вискозиметра Уббелодде при температуре  $T = (25 \pm 1) ^\circ\text{C}$ , используя подход Баранова [28].

Для определения степени агрегации полимеров в растворе использовали методику, подробно описанную в работе [29].

Пленки получали методом полива раствора КМЦ на поверхность стекла чашки Петри. В качестве растворителя использовалась бидистиллированная вода. Концентрация КМЦ в исходном растворе составляла 1 г/дл. В случае приготовления лекарственно-наполненных пленок ЛВ, растворенное в небольшом количестве воды (2 мл), добавляли при перемешивании к раствору КМЦ непосредственно перед формированием пленок. Содержание лекарственного вещества в пленке составляло 0.01, 0.05 и 0.1 моль/моль КМЦ. Для уменьшения растворимости пленок в воде их модифицировали в 2% растворе хлорида кальция в течение 15, 30, 60 и 120 минут.

Транспортные свойства пленок оценивались по значению коэффициентов диффузии, определенных в опытах по сорбции паров воды и в эксперименте по высвобождению лекарственных веществ из пленок, которые оценивали согласно подходу Кранка [30].

Опыты по сорбции воды пленками КМЦ проводили при 100% влажности в термостатируемых условиях ( $T = 25 ^\circ\text{C}$ ). Относительное количество воды  $m_t$ , поглощаемое пленочным образцом полимера к моменту времени  $t$ , определяли весовым методом, выдерживая пленочные образцы в эксикаторе в парах воды в течение определенного времени  $t$  и рассчитывали по формуле:

$$m_t = (\Delta m_t) / m_0,$$

где  $m_0$  – исходная масса КМЦ в пленке,  $\Delta m_t$  – разница между массой пленки в момент времени  $t$  и исходной массой КМЦ в пленке.

Для изучения кинетики высвобождения лекарственного вещества образец пленки помещали в ячейку с дистиллированной водой. Вы-



деляющееся в водную фазу ЛВ регистрировали спектрофотометрически (на спектрофотометре «UV-2600» Shimadzu в области 220–400 нм) при длине волны, соответствующей максимуму поглощения лекарственного вещества в УФ-области спектра. Количество лекарственного вещества, высвободившегося из пленки к моменту времени  $t$ , оценивали по калибровочной зависимости.

Погрешность эксперимента при доверительной вероятности 0.95 и количестве параллельных опытов равных 5 не превышает 3%.

### Результаты и их обсуждение

Перспектива использования пленок на основе КМЦ в качестве полимерных лекарственных форм с контролируемым выходом лекарственных препаратов в немалой степени обусловлена их хорошей влагопоглощающей способностью. Именно значительное набухание пленок в водной среде обеспечивает принципиальную возможность высвобождения ЛВ из полимерной матрицы, так как способность к набуханию в водной среде является необходимым условием, обеспечивающим диффузионный транспорт ЛВ из пленки полимера. Регулирование сорбционных свойств матрицы по сути позволяет осуществить контроль за скоростью высвобождения ЛВ из матрицы.

Поглощение паров воды пленками КМЦ соответствует процессу неограниченного набухания и заканчивается растворением пленки. А помещенная в водную среду пленка полностью растворяется в течение часа. В связи с этим ни о каком пролонгированном выходе ЛВ речи не идет, поэтому возникает необходимость модифицирования полимерной матрицы.

Зачастую роль модификаторов полимерной матрицы могут выполнять сами лекарственные вещества. Действительно, нами ранее было показано [31, 32], что антибиотики аминогликозидного ряда выполняют роль модификаторов для пленок хитозана, переводя их в нерастворимое состояние и пролонгируя выход лекарственного вещества.

В данной работе в качестве возможного модификатора также был использован антибиотик аминогликозидного ряда – АМ. Поскольку КМЦ представляет собой полиэлектролит, то введение ЛВ, представляющих собой электролиты, должно привести к изменению конформационного и надмолекулярного состояния полимера. Данные вискозиметрического анализа однозначно подтвердили, что АМ влияет и на конформационное, и на надмолекулярное состояние КМЦ в растворе. При введении в раствор КМЦ имеет место

закономерное уменьшение значений характеристической вязкости КМЦ (с 29.93 до 21.23), определяющее размер макромолекулярного клубка, и увеличение степени агрегации КМЦ в растворе по мере добавления в раствор ЛВ (с 1.00 до 1.82).

Однако, несмотря на изменения конформационного и надмолекулярного состояния КМЦ в растворе, в сформированной из раствора пленке наличие АМ сказывается как на сорбционной способности пленок, так и на их растворимости непринципиальным образом (рис. 1, 2). Например, введение АМ в количестве 0.1 моль на моль КМЦ приводит к тому, что пленка КМЦ, исходно растворяющаяся за 1 час, после введения ЛВ – в течение суток, но, тем не менее, полностью растворяется. При этом сорбция паров воды остается на прежнем высоком уровне.

Экспериментальные данные по сорбции паров воды пленками КМЦ были обработаны в рамках уравнения Ritger – Peppas [33]:

$$m_t/m_\infty = kt^n, \quad (1)$$

где  $m_t$  и  $m_\infty$  – текущее и равновесное количество продиффундировавшего в полимерную матрицу вещества,  $k$  – константа, связанная с параметрами взаимодействия полимер – диффундирующее вещество,  $n$  – показатель режима переноса вещества.

Значение степенного показателя  $n$  характеризует режим, в котором протекает диффузия. Так, в классическом диффузионном режиме решение уравнения Фика имеет вид  $m_t/m_\infty \sim \sqrt{t}$ , т.е. значение показателя  $n$  в уравнении (1) равно 0.5. В этом случае значения коэффициентов диффузии, рассчитанные на начальном  $D_a^s$  (условие  $m_t/m_\infty \leq 0.5$ ) и на завершающем этапе диффузии  $D_b^s$  (условие  $m_t/m_\infty > 0.5$ ), совпадают. Выполнение равенства  $D_a^s = D_b^s$  свидетельствует об отсутствии каких-либо осложнений в диффузионной системе полимер – низкомолекулярное вещество. При любом отклонении от нормального (классического) режима диффузии значения показателя  $n$  не равны 0.5. Так, если под влиянием диффузанта меняется структура полимерной матрицы и скорость релаксационных переходов  $V_R$  в полимере меньше скорости диффузии  $V_D$ , показатель  $n > 0.5$  и такая диффузия называется аномальной. Если скорость  $V_D$  оказывается меньше скорости  $V_R$ , то значение степенного показателя  $n < 0.5$ . Такой режим диффузии относят к псевдонормальному. При этом  $D_a^s > D_b^s$ .

Анализ процесса сорбции паров воды пленкой КМЦ показал, что диффузия паров воды в пленку индивидуальной КМЦ происходит в

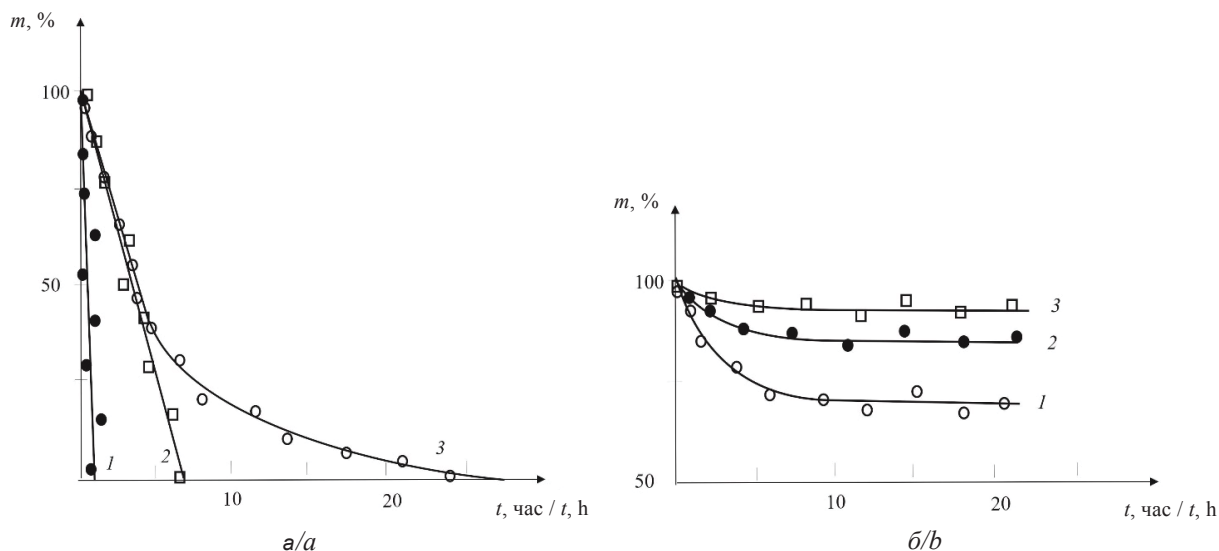


Рис. 1. Кривые потери массы пленками КМЦ–АМ: *a* – в мольном соотношении 1:0 (1), 1:0.01 (2) и 1:0.1 (3) от времени выдержки в воде; *b* – в мольном соотношении 1:0.01, прошедших модификацию раствором хлорида кальция в течение 15 (1), 30 (2) и 60 (3) минут

Fig. 1. Curves of weight loss of carboxymethylcellulose-amikacin films: *a* – in molar ratios of 1:0 (1), 1:0.01 (2), and 1:0.1 (3) versus exposure time in water; *b* – in a molar ratio of 1:0.01, modified with a calcium chloride solution for 15 (1), 30 (2) and 60 (3) minutes

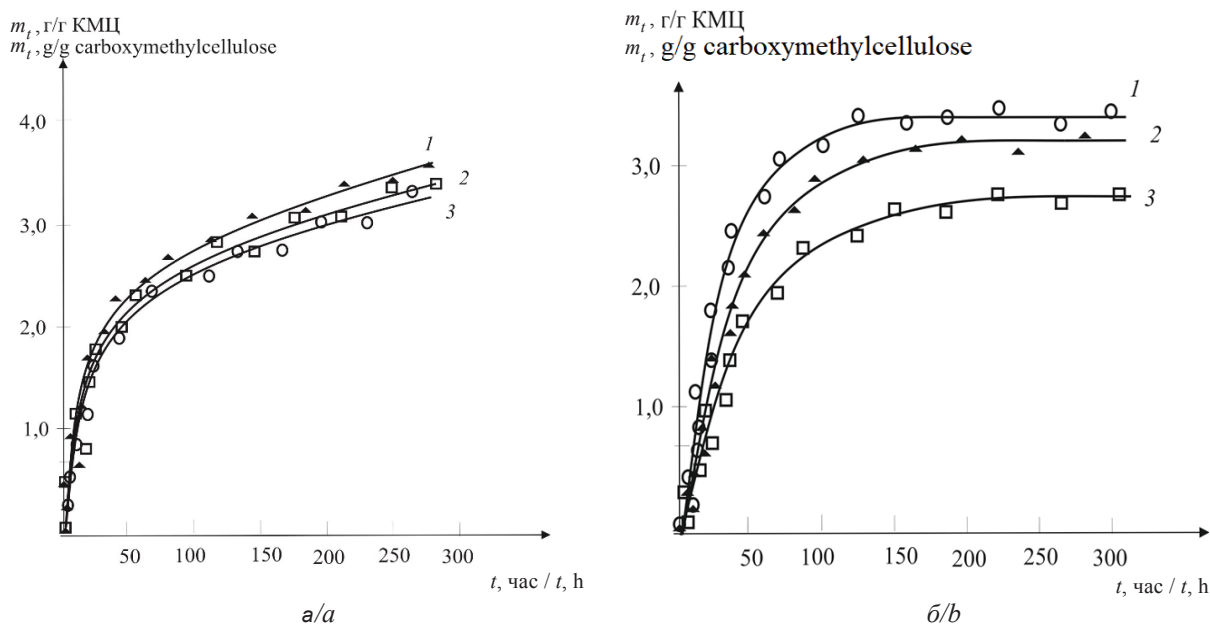


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции паров воды пленкой КМЦ–АМ: *a* – с мольным соотношением 1:0 (1), 1:0.01 (2) и 1:0.1 (3); *b* – прошедших модификацию раствором хлорида кальция в течение 30 (1), 60 (2) и 120 (3) минут. Мольное соотношение КМЦ:АМ равно 1:0.01

Fig. 2. Kinetic curve of water vapor sorption by a carboxymethylcellulose-amikacin film: *a* – with a molar ratio of 1:0 (1), 1:0.01 (2), and 1:0.1 (3); *b* – modified with a calcium chloride solution for 30 (1), 60 (2), and 120 (3) minutes. The molar ratio of carboxymethylcellulose: amikacin is 1:0.01

аномальном режиме, что может быть связано с замедленностью релаксационных процессов в стеклообразных полимерах, к которым относится и КМЦ (табл. 1).

Обработка данных по кинетике сорбции паров воды в лекарственно наполненные пленки в координатах уравнения Ritger – Peppas показала, что введение АМ не приводит к изменению режи-



Таблица 1 / Table 1

**Параметры сорбции паров воды пленками КМЦ–ЛВ**  
**Parameters of water vapor sorption by carboxymethylcellulose–drug films**

Состав пленки / Film composition	Концентрация ЛВ в пленке, моль/моль КМЦ / The concentration of the drug in the film, mol/mol carboxymethyl cellulose	Время модификации, мин / Modification time, min	<i>n</i>	$D_a^s \times 10^{11}$ , см <sup>2</sup> /с / sm <sup>2</sup> /s	$D_b^s \times 10^{11}$ , см <sup>2</sup> /с / sm <sup>2</sup> /s
КМЦ / carboxymethyl cellulose	0	0	0.84	3.76	4.56
КМЦ-АМ / carboxymethyl cellulose-amikacin	0.01	0	0.84	3.68	4.58
		15	0.74	3.22	4.33
		30	0.69	2.83	4.01
		60	0.63	2.66	3.73
		120	0.59	2.00	3.29
	0.05	0	0.83	3.58	4.31
		15	0.72	3.14	4.15
		30	0.68	2.78	3.86
		60	0.59	2.59	3.24
		120	0.54	1.62	2.86
	0.1	0	0.82	3.42	4.19
		15	0.70	3.01	4.03
		30	0.64	2.46	3.65
		60	0.55	2.00	3.03
		120	0.51	1.52	2.51

ма сорбции и диффузия паров воды в полимерную матрицу, как и в пленку индивидуальной КМЦ, происходит в аномальном режиме (см. табл. 1). Рассчитанные значения коэффициентов диффузии на начальном и конечном участках кинетической кривой ( $D_a^s < D_b^s$ ), также свидетельствуют о том, что процесс поглощения паров воды пленками КМЦ-АМ происходит в аномальном режиме.

Можно отметить, что введение ЛВ сопровождается закономерным уменьшением коэффициентов диффузии на начальном и конечном участках диффузии.

Поскольку модификация АМ не привела к ожидаемым результатам, был применен другой метод модификации – выдержкой сформированных пленок в растворе хлорида кальция. Обработка пленок КМЦ раствором CaCl<sub>2</sub> приводит к существенной потере растворимости пленок в воде (см. рис. 1, б). При этом кривые сорбции приобретают вид, характерный для ограниченно набухающих полимеров (см. рис. 2, б), но сохраняются хорошие сорбционные свойства пленок. Скорость сорбции и количество сорбированной воды с увеличением времени модифицирования уменьшаются.

Модифицирование матрицы раствором хлорида кальция сказывается и на значениях коэффициентов диффузии (см. табл. 1). Определение показателя *n*, характеризующего режим диффузии, показывает, что для всех систем сохраняется аномальный режим сорбции, но происходит уменьшение значений *n*. Чем больше время модифицирования и чем больше содержание ЛВ в пленке, тем меньше коэффициент диффузии, как на начальном, так и на конечном участках.

Важно то, что наблюдаемые изменения в процессе сорбции паров воды пленки КМЦ–АМ находят свое отражение и в кинетике выхода ЛВ из пленки. Как видно из рис. 3, а, на котором представлены типичные экспериментальные кривые выхода ЛВ из пленок КМЦ, не обработанных хлоридом кальция, процесс выделения ЛВ из пленки КМЦ происходит быстро. Увеличение количества вводимого ЛВ несколько уменьшает скорость высвобождения, но не меняет ситуацию в целом. Поскольку пленки являются растворимыми, скорость высвобождения ЛВ в этом случае определяется не диффузией ЛВ из пленки, а скоростью растворения полимерной матрицы.

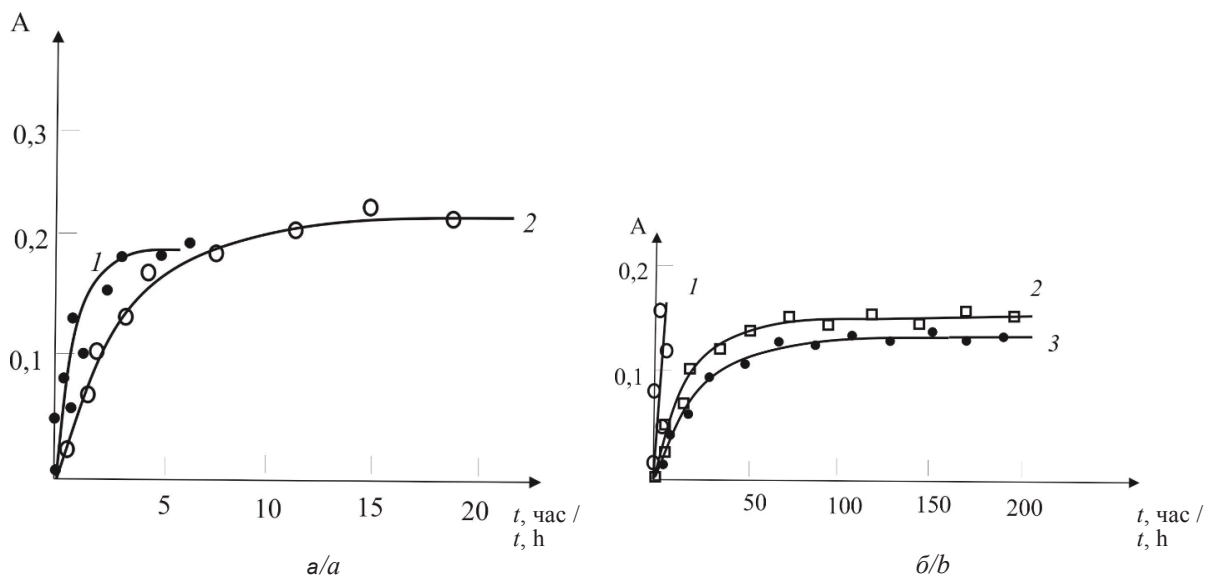


Рис. 3. Кинетические кривые высвобождения ЛВ из пленочных систем КМЦ–АМ: а – с мольным соотношением 1:0.01 (1) и 1:0.1 (2); б – с мольным соотношением 1:0.01, прошедших модифицирование раствором хлористого кальция в течение 0 (1), 30 (2) и 60 (3) минут

Fig. 3. Kinetic curves of drug release from carboxymethylcellulose–amikacin film systems: a – with molar ratios of 1:0.01 (1) and 1:0.1 (2); b – with a molar ratio of 1: 0.01, modified with a calcium chloride solution for 0 (1), 30 (2), and 60 (3) minutes

Стало быть, ни о каком пролонгировании выхода ЛВ из полимерной матрицы речь идти не может.

Однако, как видно из рис. 3, б, в том случае, когда пленка находится только частично в воде, диффузия ЛВ происходит существенно медленнее.

Таким образом, проведение поверхностного модифицирования сформированной пленки раствором хлорида кальция обеспечивает пролонгированное высвобождение ЛВ. При этом, как и при изучении процесса сорбции, обработка

данных по кинетике высвобождения ЛВ из полимерных матриц показала, что увеличение времени модификации приводит к уменьшению коэффициентов диффузии высвобождения ЛВ и изменению показателя *n* в уравнении Ritger – Peppas (табл. 2).

Поверхностная модификация полимерной матрицы в случае пленок КМЦ является действенным способом придания им эффекта пролонгирования выхода лекарственного препарата.

Таблица 2 / Table 2

Параметры высвобождения ЛВ из пленок КМЦ–ЛВ, прошедших модификацию раствором хлорида кальция  
Parameters of drug release from carboxymethylcellulose–drug films modified with calcium chloride solution

Концентрация ЛВ в пленке, моль/моль КМЦ / The concentration of the drug in the film, mol/mol carboxymethyl cellulose	Время модификации, мин / Modification time, min	<i>n</i>	$D_a^s \times 10^{11}$ , см <sup>2</sup> /с / см <sup>2</sup> /s	$D_b^s \times 10^{11}$ , см <sup>2</sup> /с / см <sup>2</sup> /s
0.01	15	0.94	3.98	5.04
	30	0.90	3.71	4.88
	60	0.65	2.38	4.16
	120	0.63	1.97	3.87
0.1	15	0.79	3.78	4.94
	30	0.77	3.21	4.63
	60	0.61	2.14	4.02
	120	0.56	1.75	3.74





## Выводы

1. Обнаружено, что процесс сорбции паров воды пленками индивидуальной КМЦ подчиняется аномально-диффузионному режиму. Введение лекарственного вещества – амикацина не сказывается на режиме сорбции и не приводит к существенному изменению в растворимости пленок, что, в свою очередь, не обеспечивает пролонгирования выхода лекарственных препаратов из пленок.

2. Показано, что обработка сформированных пленок раствором хлорида кальция сопровождается значительным уменьшением растворимости пленок в воде. При этом чем больше время модифицирования и чем больше содержание лекарственного вещества в пленке, тем меньше коэффициент диффузии, как на начальном, так и на конечном участках.

3. Установлено, что обработка сформированных пленок раствором хлорида кальция приводит к пролонгированию высвобождения АМ из пленок КМЦ в водную среду. Увеличение времени модифицирования и количества лекарственного вещества, введенного в пленку, приводит к закономерному уменьшению коэффициента диффузии, как на начальном, так и на конечном участках.

## Список литературы

1. Biomedical polymers / ed. M. Jenkins. Cambridge, England: Woodhead Publishing Limited, 2007. 300 p.
2. Bajpai A. K., Shukla S. K., Bhanu S. Responsive Polymer in Controlled Drug Delivery // *Progr. Polym. Sci.* 2008. Vol. 33, № 1. P. 1088–1118. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.07.005>
3. Vilar G., Tulla-Puche J., Albericio F. Polymers and drug delivery systems // *Current Drug Delivery.* 2012. Vol. 9, № 4. P. 367–394. <https://doi.org/10.2174/156720112801323053>
4. Urich K. E., Cannizzaro S. M., Langer R. S., Shakesheff K. M. Polymeric systems for controlled drug release // *Chem. Rev.* 1999. № 10. P. 3181–3198. <https://doi.org/10.1021/cr940351u>
5. Shaik M. R., Korsapati M., Panati D. Polymers in Controlled Drug Delivery Systems // *Intern. J. Pharm. Sci.* 2012. Vol. 2, № 4. P. 112–116.
6. Soppimath K. S., Aminabhavi T. M., Kulkarni A. R. Biodegradable polymeric nanoparticles as drug delivery devices // *J. of Controlled Release.* 2001. Vol. 70, № 1. P. 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0168-3659\(00\)00339-4](https://doi.org/10.1016/S0168-3659(00)00339-4)
7. Григорьева М. В. Полимерные системы с контролируемым высвобождением биологически активных соединений // *Биотехнология.* 2011. Т. 4, № 2. С. 9–23.
8. Гумаргалиева К. З., Заиков Т. Е., Мусеев Ю. В. Макрокинетические аспекты биосовместимости и биodeградируемости полимеров // *Успехи химии.* 1994. Т. 63, № 10. С. 905–921. <https://doi.org/10.1070/RC1994v063n10ABEH000122>
9. Пхакадзе Г. А. Морфологические и биохимические аспекты биодеградации полимеров. Киев : Наукова думка, 1986. 152 с.
10. Laschke M. W., Menger M. D. Prevascularization in tissue engineering: Current concepts and future directions // *Biotechnology Advances.* 2016. Vol. 34, № 2. P. 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.12.004>
11. Place E. S., Evans N. D., Stevens M. M. Complexity in biomaterials for tissue engineering // *Nature Materials.* 2009. Vol. 8, № 6. P. 457–470. <https://doi.org/10.1038/nmat2441>
12. Johnson J. L., Jones M. B., Ryan S. O., Cobb B. A. The regulatory power of glycans and their binding partners in immunity // *Trends in Immunology.* 2013. Vol. 34, № 6. P. 290–298. <https://doi.org/10.1016/j.it.2013.01.006>
13. Wang D. Glyco-epitope Diversity: An Evolving Area of Glycomics Research and Biomarker Discovery // *Journal of Proteomics & Bioinformatics.* 2014. Vol. 7, № 2. <https://doi.org/10.4172/jpb.10000e24>
14. Pradines B., Bories C., Vauthier C., Ponchel G., Loiseau P. M., Bouchemal K. Drug-Free Chitosan Coated Poly(isobutylcyanoacrylate) Nanoparticles Are Active Against *Trichomonas vaginalis* and Non-Toxic Towards Pig Vaginal Mucosa // *Pharm Res.* 2015. Vol. 32, № 4. P. 1229–1236. <https://doi.org/10.1007/s11095-014-1528-7>
15. Dumitriu S. Polysaccharides. Structural diversity and functional versatility. N.Y. : Marcel Dekker, 2005. 1224 p.
16. Abou Taleb M. F., Alkahtani A., Mohamed S. K. Radiation synthesis and characterization of sodium alginate/chitosan/hydroxyapatite nanocomposite hydrogels: a drug delivery system for liver cancer // *Polym. Bull.* 2015. Vol. 72, № 4. P. 725–742. <https://doi.org/10.1007/s00289-015-1301-z>
17. Полимеры медицинского назначения / под ред. С. Манабу. М. : Медицина, 1981. 248 с.
18. Качева Н. И., Морозов С. В., Григорьев И. А., Могнонов Д. М., Колчанов Н. А. Модификация целлюлозы – перспективное направление в создании новых материалов // *Высокомолекулярные соединения. Сер. Б.* 2013. Т. 55, № 8. С. 1086–1107. <https://doi.org/10.7868/S0507547513070179>
19. Бондарь В. А., Казанцев В. В. Состояние производства простых эфиров целлюлозы // *Эфиры целлюлозы и крахмала: синтез, свойства, применение : материалы 10-й юбилейной Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием (5–8 мая 2003 г.) / под ред. В. А. Бондаря. Суздаль, 2003. С. 9–26.*
20. Кряжев В. Н., Широков В. А. Состояние производства эфиров целлюлозы // *Химия растительного сырья.* 2005. № 3. С. 7–12.
21. Берченко Г. Н. Морфологические аспекты заживления осложнённых ран : автореф. дис. ... д-ра мед. наук. М., 1997. 28 с.
22. Пат. 2352584 Российская Федерация, МПК C08B 15/04 A61L 15/60. Способ получения геля на основе карбоксиметилцеллюлозы.
23. Вербицкий Д. А. Применение геля карбоксиметилцеллюлозы для профилактики спайкообразования в брюшной полости : автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2004. 19 с.



24. Wurster S. H., Bonet V., Mayberry A. Intraperitoneal sodium carboxymethylcellulose administration prevents reformation of peritoneal adhesions following surgical lysis // *J. Surg. Res.* 1995. Vol. 59, № 1. P. 97–102. <https://doi.org/10.1006/jsre.1995.1138>
25. Трескова В. И., Шупина О. Т., Романова С. М. Взаимодействие натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы с аллиламином // *Вестник технологического университета.* 2016. Т. 19, № 15. С. 184–187.
26. Падохин В. А., Ганиев Р. Ф., Кочкина Н. Е. Влияние механической активации на упруговязкие свойства растворов смесей крахмала и натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы // *Доклады Академии наук.* 2007. Т. 416, № 2. С. 219–221.
27. Данилова М. М., Пешехонова А. Л., Климакова Т. В., Голубев А. М., Розанцев Э. Г. Влияние добавок полисахаридов на реологические характеристики водных растворов натриевой соли карбоксиметилцеллюлозы // *Известия вузов. Пищевая технология.* 1994. № 1-2. С. 56–58.
28. Баранов В. Г., Френкель С. Я., Агранова С. А., Бресткин Ю. В., Пинкевич В. Н., Шабельс Б. М. Концентрационная зависимость вязкости растворов спирального полипептида // *Высокомолекулярные соединения.* Сер. Б. 1987. Т. 29, № 10. С. 745–747.
29. Arinshtein A. E. Effect of aggregation processes on the viscosity of suspensions // *Sov. Phys. JETP.* 1992. Vol. 74, № 4. P. 646–650.
30. Crank J. *The Mathematics of Diffusion.* Oxford : Clarendon Press, 1975. 422 p.
31. Kulish E. I., Shurshina A. S., Kolesov S. V. Specific feature of water vapor sorption by chitosan medicated films // *Russian Journal of Applied Chemistry.* 2013. Vol. 86, № 10. P. 1537–1544. <https://doi.org/10.1134/S107042721310011X>
32. Kulish E. I., Shurshina A. S., Kolesov S. V. Transport properties of chitosan–amikacin films // *Russian Journal of Physical Chemistry B.* 2014. Vol. 8, № 4. P. 596–603. <https://doi.org/10.1134/S1990793114040216>
33. Hall P. J., Thomas K. M., Marsh H. The relation between coal macromolecular structure and solvent diffusion mechanisms // *Fuel.* 1992. Vol. 71, № 11. P. 1271–1275. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(92\)90053-Q](https://doi.org/10.1016/0016-2361(92)90053-Q)
5. Shaik M.R., Korsapati M., Panati D. Polymers in Controlled Drug Delivery Systems. *Int. J. Pharm. Sci.*, 2012, vol. 2, no. 4, pp. 112–116
6. Soppimath K. S., Aminabhavi T. M., Kulkarni A. R. Biodegradable polymeric nanoparticles as drug delivery devices. *J. of Controlled Release*, 2001, vol. 70, no. 1, pp. 1–20. [https://doi.org/10.1016/S0168-3659\(00\)00339-4](https://doi.org/10.1016/S0168-3659(00)00339-4)
7. Grigorieva M. V. Polymer systems with controlled release of biologically active compounds. *Biotechnology*, 2011, vol. 4, no. 2, pp. 9–23 (in Russian).
8. Gumargalieva K. Z., Zaikov T. E., Moiseev Yu. V. Macrokinetic aspects of biocompatibility and biodegradability of polymers. *Russian Chemical Reviews*, 1994, vol. 63, no. 10, pp. 905–921 (in Russian). <https://doi.org/10.1070/RC1994v063n10ABEH000122>
9. Pkhakadze G. A. *Morfologicheskie i biokhimicheskie aspekty biodegradatsii polimerov* [Morphological and Biochemical Aspects of Polymer Biodegradation]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 1986. 152 p. (in Russian).
10. Laschke M. W., Menger M. D. Prevascularization in tissue engineering: Current concepts and future directions. *Biotechnology Advances*, 2016, vol. 34, no. 2, pp. 112–121. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.12.004>
11. Place E. S., Evans N. D., Stevens M. M. Complexity in biomaterials for tissue engineering. *Nature Materials*, 2009, vol. 8, no. 6, pp. 457–470. <https://doi.org/10.1038/nmat2441>
12. Johnson J. L., Jones M. B., Ryan S. O., Cobb B. A. The regulatory power of glycans and their binding partners in immunity. *Trends in Immunology*, 2013, vol. 34, no. 6, pp. 290–298. <https://doi.org/10.1016/j.it.2013.01.006>
13. Wang D. Glyco-epitope Diversity: An Evolving Area of Glycomics Research and Biomarker Discovery. *Journal of Proteomics & Bioinformatics*, 2014, vol. 7, no. 2. <https://doi.org/10.4172/jpb.10000e24>
14. Pradines B., Bories C., Vauthier C., Ponchel G., Loiseau P. M., Bouchemal K. Drug-Free Chitosan Coated Poly(isobutylcyanoacrylate) Nanoparticles Are Active Against *Trichomonas vaginalis* and Non-Toxic Towards Pig Vaginal Mucosa. *Pharm Res.*, 2015, vol. 32, no. 4, pp. 1229–1236. <https://doi.org/10.1007/s11095-014-1528-7>
15. Dumitriu S. *Polysaccharides. Structural Diversity and Functional Versatility.* New York, Marcel Dekker, 2005. 1224 p.
16. Abou Taleb M. F., Alkahtani A., Mohamed S. K. Radiation synthesis and characterization of sodium alginate/chitosan/hydroxyapatite nanocomposite hydrogels: a drug delivery system for liver cancer. *Polym. Bull.*, 2015, vol. 72, no. 4, pp. 725–742. <https://doi.org/10.1007/s00289-015-1301-z>
17. *Polimery meditsinskogo naznacheniya, pod red. S. Manabu* [Manabu S., ed. Polymers for Medical Purposes]. Moscow, Meditsina Publ., 1981. 248 p. (in Russian).
18. Tkacheva N. I., Morozov S. V., Grigoriev I. A., Mogonov D. M., Kolchanov N. A. Modification of cellulose is a promising direction in the creation of new materials. *High-molecular Compounds, Series B*, 2013, vol. 55, no. 8, pp. 1086–1107 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/S0507547513070179>

## References

1. Mike Jenkins, ed. *Biomedical Polymers.* Cambridge, England, Woodhead Publishing Limited, 2007. 300 p.
2. Bajpai A. K., Shukla S. K., Bhanu S. Responsive Polymer in Controlled Drug Delivery. *Progr. Polym. Sci.*, 2008, vol. 33, no. 1, pp. 1088–1118. <https://doi.org/10.1016/j.progpolymsci.2008.07.005>
3. Vilar G., Tulla-Puche J., Albericio F. Polymers and drug delivery systems. *Current Drug Delivery*, 2012, vol. 9, no. 4, pp. 367–394. <https://doi.org/10.2174/156720112801323053>
4. Uhrich K. E., Cannizzaro S. M., Langer R. S., Shakesheff K. M. Polymeric systems for controlled drug release. *Chem. Rev.*, 1999, no. 10, pp. 3181–3198. <https://doi.org/10.1021/cr940351u>



19. Bondar V. A., Kazantsev V. V. The state of production of cellulose ethers. In: Bondar V. A., ed. *Ethers of Cellulose and Starch: Synthesis, Properties, Application: materials of the 10th anniversary All-Russia scientific and technical. conf. from int. participation (May 5–8, 2003)*. Suzdal, 2003, pp. 9–26 (in Russian).
20. Kryazhev V. N., Shirokov V. A. The state of production of cellulose ethers. *Chemistry of Vegetable Raw Materials*, 2005, no. 3, pp. 7–12 (in Russian).
21. Berchenko G. N. *Morphological Aspects of Complicated Wound Healing*. Thesis Diss. Dr. Sci. (Med.). Moscow, 1997. 28 p. (in Russian).
22. Pat. 2352584 Rossiyskaya Federatsiya, MPK C08B 15/04 A61L 15/60. *Sposob polucheniya gelya na osnove karboksimitilsellyulozy* [Method for Producing a Gel Based on Carboxymethyl Cellulose] (in Russian).
23. Verbitskiy D. A. *The Use of Carboxymethyl Cellulose Gel for the Prevention of Adhesion in the Abdominal Cavity*. Thesis Diss. Cand. Sci. (Med.). St. Petersburg, 2004. 19 p. (in Russian).
24. Wurster S. H., Bonet V., Mayberry A. Intraperitoneal sodium carboxymethylcellulose administration prevents reformation of peritoneal adhesions following surgical lysis. *J. Surg. Res.*, 1995, vol. 59, no. 1, pp. 97–102. <https://doi.org/10.1006/jsre.1995.1138>
25. Treskova V. I., Shipina O. T., Romanova S. M. Interaction of sodium salt of carboxymethyl cellulose with allylamine. *Bulletin of Technological University*, 2016, vol. 19, no. 15, pp. 184–187 (in Russian).
26. Padokhin V. A., Ganiev R. F., Kochkina N. E. The effect of mechanical activation on the viscoelastic properties of solutions of mixtures of starch and sodium salt of carboxymethylcellulose. *Doklady Akademii Nauk*, 2007, vol. 416, no. 2, pp. 219–221 (in Russian).
27. Danilova M. M., Peshekhonova A. L., Klimakova T. V., Golubev A. M., Rozantsev E. G. The influence of polysaccharide additives on the rheological characteristics of aqueous solutions of sodium salt of carboxymethyl cellulose. *Izvestiya vuzov. Food Technology*, 1994, no. 1–2, pp. 56–58 (in Russian).
28. Baranov V. G., Frenkel S. Ya., Agranova S. A., Brestkin Yu. V., Pinkevich V. N., Shabsels B. M. Concentration dependence of the viscosity of spiral polypeptide solutions. *High-molecular Compounds, Series B*, 1987, vol. 29, no. 10, pp. 745–747 (in Russian).
29. Arinshtein A. E. Effect of aggregation processes on the viscosity of suspensions. *Sov. Phys. JETP*, 1992, vol. 74, no. 4, pp. 646–650.
30. Crank J. *The Mathematics of Diffusion*. Oxford, Clarendon Press, 1975. 422 p.
31. Kulish E. I., Shurshina A. S., Kolesov S. V. Specific feature of water vapor sorption by chitosan medicated films. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2013, vol. 86, no. 10, pp. 1537–1544. <https://doi.org/10.1134/S107042721310011X>
32. Kulish E. I., Shurshina A. S., Kolesov S. V. Transport properties of chitosan–amikacin films. *Russian Journal of Physical Chemistry B*, 2014, vol. 8, no. 4, pp. 596–603. <https://doi.org/10.1134/S1990793114040216>
33. Hall P. J., Thomas K. M., Marsh H. The relation between coal macromolecular structure and solvent diffusion mechanisms. *Fuel.*, 1992, vol. 71, no. 11, pp. 1271–1275. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(92\)90053-Q](https://doi.org/10.1016/0016-2361(92)90053-Q)

Поступила в редакцию 21.06.21, после рецензирования 28.06.21, принята к публикации 28.06.21  
Received 21.06.21, revised 28.06.21, accepted 28.06.21



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 391–398

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 391–398

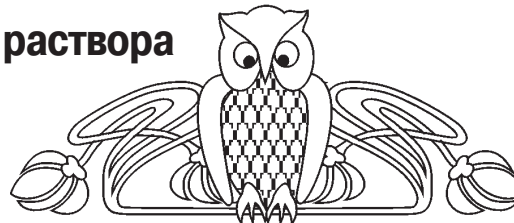
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-391-398>

Научная статья

УДК [544.77(051+054.6)+543.421/424]:546.59+504.064.45:677.042.2

## Повторное применение очищенного раствора цетилтриметиламмония бромид для синтеза золотых наностержней



Ю. Д. Гудова, В. И. Кочубей, А. А. Скапцов ✉

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Гудова Юлия Дмитриевна, лаборант отдела наномеханики Образовательного научного института наноструктур и биосистем, [ulfiagud@mail.ru](mailto:ulfiagud@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1183-6455>

Кочубей Вячеслав Иванович, доктор физико-математических наук, профессор кафедры оптики и биофотоники, [saratov\\_gu@mail.ru](mailto:saratov_gu@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7834-9067>

Скапцов Александр Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры оптики и биофотоники, [skaptsov@yandex.ru](mailto:skaptsov@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9336-6885>

**Аннотация.** В работе исследуется возможность повторного применения очищенных растворов цетилтриметиламмония бромид (ЦТАБ) для синтеза золотых наностержней. Для этого были решены следующие задачи: установлен предел очистки маточного раствора ЦТАБ от золотых наностержней методом центрифугирования; разработан метод многократного синтеза золотых наностержней с повторяющимися оптическими свойствами с использованием очищенного раствора ЦТАБ; оценена возможность управления оптическими свойствами наностержней при повторном синтезе. Полидисперсность наностержней оценивалась по их форм-фактору с помощью разработанной математической модели.

**Ключевые слова:** золото, наностержни, синтез, моделирование, спектры, ЦТАБ, очистка раствора

**Благодарности:** Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 19-12-00118).

**Для цитирования:** Гудова Ю. Д., Кочубей В. И., Скапцов А. А. Повторное применение очищенного раствора цетилтриметиламмония бромид для синтеза золотых наностержней // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 391–398. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-391-398>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Reuse of a purified solution of cetyltrimethylammonium bromide for the synthesis of gold nanorods

Y. D. Gudova, V. I. Kochubey, A. A. Skaptsov ✉

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Yuliya D. Gudova, [ulfiagud@mail.ru](mailto:ulfiagud@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-1183-6455>

Vyacheslav I. Kochubey, [saratov\\_gu@mail.ru](mailto:saratov_gu@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-7834-9067>

Alexander A. Skaptsov, [skaptsov@yandex.ru](mailto:skaptsov@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0001-9336-6885>

**Abstract.** We investigate the possibility of reusing CTAB solutions for repeated synthesis of gold nanorods. Three tasks have been solved. The first task is to clean the growth solutions from gold nanorods. The second task is to develop a method using a purified cetyltrimethylammonium bromide solution for repeated synthesis of gold nanorods with the same optical properties as in the initial synthesis. The third task is to test the possibility of management of the optical properties of nanorods during repeated synthesis. The polydispersity of nanorods has been estimated by form factor using developed mathematical model.

**Keywords:** gold, nanorods, nanoparticles, toxic surfactant, refining, purification, recycling, synthesis

**Acknowledgements:** This work was supported by the Russian Science Foundation, project no. 19-12-00118.

**For citation:** Gudova Y. D., Kochubey V. I., Skaptsov A. A. Reuse of a purified solution of cetyltrimethylammonium bromide for the synthesis of gold nanorods. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 391–398. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-391-398>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



## Введение

Золотые наностержни (ЗНС) представляют большой интерес благодаря своим размерам и уникальным оптическим свойствам [1] и широко используются в областях практической медицины, таких как нанохирurgia [2], диагностика и терапия рака [3], косметология [4], плазменная фототермическая терапия [5] и т.д. Основным методом получения золотых наностержней является их выращивание в растворе цетилтриметиламмоний бромида (ЦТАБ) [6]. Раствор ЦТАБ является токсичным поверхностно-активным веществом [7, 8] и наносит вред окружающей среде, попадая в мировой океан. Таким образом, уменьшение количества отходов синтеза вследствие повторного использования растворов ЦТАБ является актуальной задачей. В настоящее время опубликованы работы, в которых золотые наностержни доращивают в том же растворе ЦТАБ [9], где они были изначально синтезированы. Однако возможность повторного применения очищенного маточного раствора (ОР) ЦТАБ для последующего синтеза ЗНС не исследована. Известно, что максимум спектра плазмонного резонанса (СПР) зависит от геометрической формы золотых наностержней, которая управляется концентрацией примеси ионов металлов или галогенов, в частности серебра [10], меди [11], хлора, брома, йода [12]. Существует две гипотезы формирования золотых анизотропных частиц: мицеллярная [1] и кристаллографическая [12, 13]. Мицеллярная гипотеза предполагает, что ионы примеси влияют на форму мицелл ЦТАБ, в которых формируются и растут золотые наночастицы. Кристаллографическая гипотеза предполагает, что ионы примеси адсорбируются на определенные кристаллографические плоскости и блокируют рост золотых наночастиц в этих направлениях. Следовательно, кристаллографическая гипотеза предполагает расход ионов примеси в процессе синтеза, в отличие от мицеллярной. В работе [14] показано, что в ОР концентрация ионов серебра на два порядка ниже, чем в исходном растворе. Таким образом, формирование и рост золотых наночастиц идет в соответствии с кристаллографической гипотезой. Тогда возникает задача определения необходимой концентрации прекурсоров ионов примеси, дополнительно вносимых в ОР при повторном синтезе, для формирования наночастиц заданной геометрии. В работе решались следующие задачи: установление предела очистки маточного раствора ЦТАБ от золотых наностержней методом центрифуги-

рования; разработка метода многократного синтеза золотых наностержней с повторяющимися оптическими свойствами, используя очищенный раствор ЦТАБ; оценка возможности управления оптическими свойствами наностержней при повторном синтезе.

## Материалы и методы

### Синтез золотых наночастиц

*Материалы.* В работе использованы следующие реактивы: нитрат серебра (> 99,9%, Sigma-Aldrich, США), бромид цетилтриметиламмония (96%, Sigma-Aldrich, США), золотохлористоводородная кислота (99,99%, Sigma-Aldrich, США), аскорбиновая кислота (99%, Sigma-Aldrich, США), боргидрид натрия (Sigma-Aldrich, США), соляная кислота (сверхвысокой чистоты, Вектон, Россия), гидроксид натрия (сверхвысокой чистоты, Вектон, Россия), очищенная вода (Milli Q).

Температура всех реагентов и реакционной смеси при синтезах была постоянной и равнялась 30°C.

### Первоначальный синтез

Мы модифицировали протокол, описанный в работе [15], и проводили синтез в один этап. Для первоначального синтеза последовательно смешивали 3,003 г ЦТАБ, 82,27 мл воды, 1,8 или 2,5 мл 3,55 мМ водного раствора нитрата серебра, 2 мл 40,4 мМ водного раствора аскорбиновой кислоты, 2 мл 20 мМ водного раствора золотохлористоводородной кислоты (ЗХВК), 0,82 мл 1 М соляной кислоты и 0,82 мл водной смеси 1 мМ боргидрида натрия и 1 мМ гидроксида натрия.

### Очистка маточного раствора

Маточный раствор после каждого синтеза очищали от наночастиц золота четырехкратным центрифугированием при 15000 g и времени центрифугирования 1,5 часа для каждого раза. Степень очистки контролировали по спектрам поглощения наночастиц. ОР использовали для повторного синтеза. Потеря объема растворов при центрифугировании составила 5,7%.

### Повторный синтез

К 40 мл ОР последовательно добавляли от 0 до 0,9 мл 3,55 мМ водного раствора нитрата серебра, 0,9 мл 40,4 мМ водного раствора аскорбиновой кислоты, 0,9 мл 20 мМ водного раствора ЗХВК и 0,362 мл водной смеси 1 мМ боргидрида натрия и 1 мМ гидроксида натрия.

### Экспериментальная установка и измерение спектра

Кюветный отсек был спроектирован и напечатан на 3D-принтере и размещен внутри термостата ТС-1/80 (СПУ, Россия). Это позволяло поддерживать постоянную температуру



образцов в течение всего синтеза. Источником белого света служил вольфрамово-галогенный источник излучения ЛШ-4 (Биоспек, Россия) с фильтром СЗС27 (ГОСТ 9411-91) толщиной 5 мм. Излучение передавали по оптическим волокнам (Ocean Optics, США). Прошедшее через образцы излучение регистрировали (при помощи) на спектрометре QE-PRO (Ocean Optics, США). Исходные растворы для синтеза золотых наностержней сначала помещали в кварцевую кювету толщиной 100 мм. Когда оптическая плотность достигала 2, образец из 100-миллиметровой кварцевой кюветы переносили в кварцевые кюветы толщиной 10 и далее 3 мм. Время экспозиции каждого спектра составляло 200 мс.

**Математическая модель спектров поглощения смеси полидисперсных золотых наностержней**

Электростатическая модель спектров поглощения изолированного наностержня

Электростатическая модель [5] используется для расчета оптических свойств наночастиц золота. Наночастицы представлены в виде сфероидов вращения с размерами главных полуосей *a* и *b*. Несферичность наночастиц описывается форм-фактором *e*, равным отношению длины большой оси к длине малой оси. Радиус эквиобъемной сферы *r* (в нм) рассчитывается из равенства объема наночастицы объему сферы:

$$e = a/b, \tag{1a}$$

$$r = \sqrt[3]{ab^2}. \tag{1b}$$

Согласно электростатической модели [16], сечения рассеяния  $\sigma_{sca}$  и сечения поглощения  $\sigma_{abs}$  сфероида рассчитываются как

$$\sigma_{sca} = \left(\frac{2\pi n_0}{\lambda}\right)^4 \frac{|\chi_1|^2 + 2|\chi_2|^2}{18\pi}, \tag{2a}$$

$$\sigma_{abs} = \frac{2\pi n_0}{\lambda} \text{Im} \left[ \frac{\chi_1 + 2\chi_2}{3} \right], \tag{2b}$$

$$\chi_i = \frac{4\pi r^3}{3} \frac{1}{\frac{n_0^2}{n^2 - n_0^2} + L_i}, \tag{2c}$$

$$L_1 = \frac{1-\varepsilon^2}{\varepsilon^2} \left( \frac{1}{2\varepsilon} \text{Ln} \left[ \frac{1-\varepsilon}{1+\varepsilon} \right] - 1 \right), \tag{2d}$$

$$L_2 = L_3 = \frac{1-L_1}{2}, \tag{2e}$$

$$\varepsilon^2 = \frac{e^2 - 1}{e^2}, \tag{2f}$$

где  $\lambda$  – длина волны в вакууме, нм;  $n_0$  – показатель преломления окружающей среды;  $n$  – комплексный показатель преломления золота;  $\chi_i$  – комплексная поляризуемость среды в *i* направлении;  $L_i$  – геометрический фактор сфероида;  $\varepsilon$  – эксцентриситет сфероида. Если форм-фактор золотой наночастицы равен 1, то  $L_1 = L_2 = L_3 = 1/3$ .

**Показатели преломления воды и золота**

В наших экспериментах среда, окружающая золотые наночастицы – водный раствор ЦТАБ, показатель преломления которого близок к показателю преломления воды, его рассчитывали согласно [17]

$$n_0 = 1.323 + \frac{3.479 \times 10^{-3}}{\lambda^2} - \frac{51.11 \times 10^{-6}}{\lambda^4}. \tag{3}$$

Экспериментальные данные для действительной и мнимой частей показателя преломления макроразмерных образцов золота [18, 19] аппроксимировали как сумму полос Гаусса в шкале энергий:

$$E(\lambda) = \frac{1240}{\lambda}, \tag{4a}$$

$$\text{Gauss}(\alpha, \sigma, E_0, E) = \alpha * \text{Exp} \left[ -\frac{(E_0 - E)^2}{2\sigma^2} \right], \tag{4b}$$

$$n_{(Re|Im)}(E) = \alpha_0 + \sum_{i=1}^5 \text{Gauss}(\alpha_i, \sigma_i, E_{0_i}, E), \tag{4c}$$

где *E* – энергия фотона, эВ;  $\alpha, \sigma, E_0$  – подгоночные коэффициенты, представленные в табл. 1. Погрешность подгонки рассчитывали как интегральную математическую невязку, измеряемую в промилле, по формуле

$$\delta(f(x), g(x)) = 10^3 \frac{\int_{x_1}^{x_2} |f(x) - g(x)| dx}{\int_{x_1}^{x_2} |f(x)| dx}, \tag{5}$$

где *f*(*x*) – исходная функция, *g*(*x*) – подобранная функция.

Таблица 1 / Table 1

**Подгоночные коэффициенты действительной и мнимой частей показателя преломления золота  
Fitting coefficients of the real and imaginary parts of the refractive index of gold**

Величина Value	Re[gold]	Im[gold]	Величина Value	Re[gold]	Im[gold]	Величина Value	Re[gold]	Im[gold]
$\delta$	0.3930	1.582	$\alpha_2$	0.7547	-0.2949	$\alpha_4$	0.5751	-1.152
$\alpha_0$	1.710	1.856	$\sigma_2$	0.5618	0.1278	$\sigma_4$	0.2621	0.6297
$\alpha_1$	3.364	15.93	$E_{02}$	3.514	2.496	$E_{04}$	2.847	2.351
$\sigma_1$	0.1034	0.7760	$\alpha_3$	-3.078	2.204	$\alpha_5$	-1.589	0.2755
$E_{01}$	2.635	-0.1661	$\sigma_3$	0.1018	0.6954	$\sigma_5$	1.777	0.2762
			$E_{03}$	2.636	1.724	$E_{05}$	1.564	3.014



### Зависимость показателя преломления золота от размера наночастиц

Показатели преломления металлических частиц радиусом менее 10 нм отличаются от объемных значений из-за ограничения длины свободного пробега электронов. Влияние размера на оптические постоянные малых частиц удобно выразить через диэлектрическую проницаемость частиц  $\epsilon_r$ :

$$\epsilon_r = \epsilon_{bulk} + \Delta\epsilon(r), \quad (6)$$

где  $\epsilon_{bulk}$  – показатель преломления макроразмерного образца золота,  $\Delta\epsilon(r)$  – вклад зависимости от размера. Вклад зависимости от размера для наночастиц золота имеет следующее выражение [20]:

$$\Delta\epsilon(r) = i \frac{5}{r} \left( \frac{\lambda}{520} \right)^3, \quad (7)$$

где  $\lambda$  – длина волны света в вакууме в нм,  $r$  – радиус эквивалентной сферы в нм.

Функция распределения золотых наностержней по форм-фактору и аппроксимация спектров

Мы использовали описанную ранее модель для функции распределения золотых наностержней по форм-фактору [21]. Предполагаем, что функция распределения золотых наностержней по форм-фактору соответствует нормальному распределению, а спектр полидисперсных наностержней рассчитывается как

$$\text{Spectrum}[C, r, \sigma_e, e_0, \lambda] =$$

$$= C \int_{e_N}^{e_0+3s_e} (\sigma_{sca} + \sigma_{abs}) \text{Gauss}(G_N^{-1}, \sigma_e, e_0, e) de, \quad (8a)$$

$$G_N = \int_{e_N}^{e_0+3s_e} G[e_0, s_e, e] de, \quad (8b)$$

$$e_N = \begin{cases} e_0 - 3s_e \\ 1, \text{ если } (e_0 - 3s_e) < 1, \end{cases} \quad (8c)$$

где  $e_0$  – среднее значение форм-фактора,  $\sigma_e$  – стандартное отклонение (полидисперсность) форм-фактора,  $r$  – среднее значение радиуса эквивалентной сферы,  $G_N$  – нормировочный коэффициент,  $C$  – коэффициент подгонки. Все экспериментальные спектры были аппроксимированы по алгоритму Левенберга – Марквардта.

### Результаты и их обсуждение

#### Результаты очистки

Растворы после каждого синтеза и повторного синтеза очищали методом центрифугирования, описанным выше. После каждого центрифугирования измеряли спектры поглощения образцов.

Установлено, что после четвертого центрифугирования спектры поглощения существенно не изменились. Полной очистки образцов добиться не удалось, величина коэффициента поглощения максимума плазмонного резонанса наночастиц не опускается ниже  $0,3 \text{ см}^{-1}$ . Спектры поглощения четырехкратно очищенного ростового раствора показаны на рис. 1.

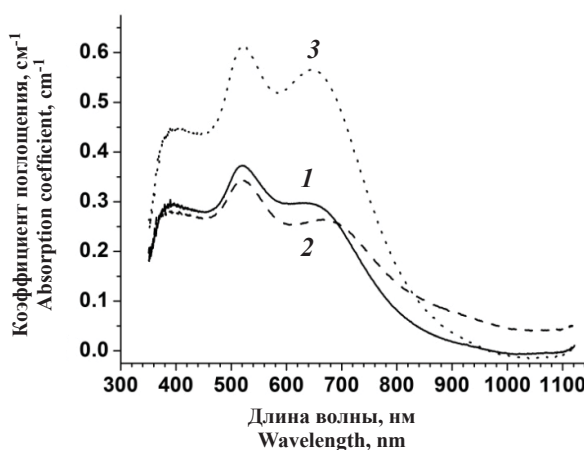


Рис. 1. Спектральная зависимость коэффициента поглощения очищенного матричного раствора: 1 – исходный синтез, 2 – первый повторный синтез, 3 – второй повторный синтез

Fig. 1. Spectral dependence of the absorption coefficient of the purified matrix solution: 1 – initial synthesis, 2 – first re-synthesis, 3 – second re-synthesis

Если ОР оставить на 24 часа после четвертого центрифугирования, то его коэффициент поглощения увеличивался до  $1 \text{ см}^{-1}$ , что указывает на остаток золотохлористоводородной кислоты в матричном растворе и образование наночастиц. Поэтому все повторные синтезы проводили не позднее, чем через 3 часа после полной очистки [22].

#### Повторное использование очищенных растворов ЦТАБ для многократного синтеза золотых наностержней

В соответствии с кристаллографической гипотезой роста золотых наностержней, ионы серебра в исходном растворе должны расходоваться в процессе синтеза, следовательно, при каждом повторном синтезе нужно восстанавливать их концентрацию. Мы провели первоначальный синтез, затем первый повторный синтез и второй повторный синтез с использованием ОР каждого предыдущего синтеза с равной концентрацией ионов серебра равной  $71 \mu\text{M}$  в исходном матричном растворе. Спектры поглощения растворов после исходного, первого и второго повторного

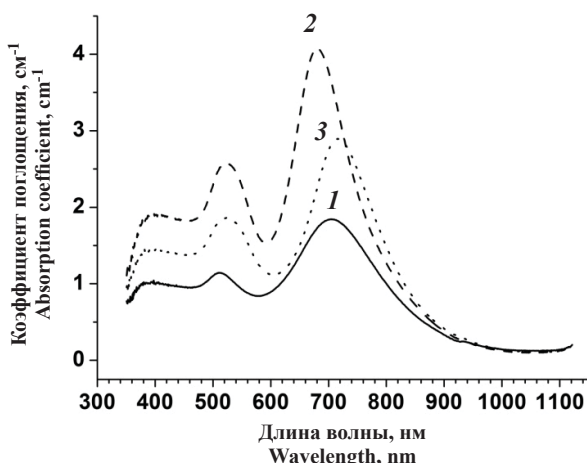


Рис. 2. Спектральная зависимость коэффициента поглощения раствора золотых наночастиц после синтеза: 1 – исходный синтез, 2 – первый повторный синтез, 3 – второй повторный синтез

Fig. 2. Spectral dependence of the absorption coefficient of the gold nanoparticle solution after synthesis: 1 – initial synthesis, 2 – first re-synthesis, 3 – second re-synthesis

синтезов представлены на рис. 2 кривыми 1, 2, 3 соответственно. Установлено, что максимумы СПР для каждого синтеза немного смещены друг относительно друга. Это связано с изменением соотношения концентраций ЦТАБ и ионов серебра, поскольку добавление водных растворов прекурсоров уменьшает концентрацию ЦТАБ в ОР за счет разбавления.

Первый повторный синтез проводили без коррекции концентрации ЦТАБ в ОР и его концентрация по сравнению с первоначальным синтезом была меньше в 0.91 раз. Таким образом, уменьшение соотношения концентраций ЦТАБ к ионам серебра приводит к сдвигу спектрального положения максимума плазмонного резонанса в фиолетовую область.

Второй повторный синтез проводили с ОР первого повторного синтеза с добавлением 0,197 г ЦТАБ, что привело концентрацию ЦТАБ в соответствие с его концентрацией при первоначальном синтезе. Таким образом, при втором повторном синтезе соотношение концентрации ЦТАБ к ионам серебра было как при первоначальном синтезе. В результате максимум СПР сместился в красную область спектра, относительно максимума первоначального синтеза. Отсутствие совпадения максимумов СПР второго повторного синтеза с максимумом первоначального синтеза может быть объяснено увеличением концентрации ионов золота в растворе. Если рассмотреть коэффициент поглощения на длине волны 450 нм, который линейно связан

с концентрацией золота в растворе (форма наночастиц вносит погрешность не более 10%), то получается, что для первого повторного синтеза соотношение концентраций ЦТАБ к ЗХВК наименьшее, а для второго повторного синтеза – наибольшее. Таким образом, соотношение концентраций ЦТАБ к ЗХВК также определяет положение максимума СПР.

Кроме максимума СПР важное значение имеет распределение наностержней по форм-фактору (РНФФ). Ширина спектральной полосы плазмонного резонанса наностержней определяется РНФФ. Для определения параметров РНФФ спектры поглощения золотых наностержней были аппроксимированы по математической модели, описанной ранее. Были рассчитаны среднее значение форм-фактора и стандартное отклонение форм-фактора. Результаты анализа представлены в табл. 2. По полученным результатам можно сделать вывод, что уменьшение концентрации ЦТАБ приводит к увеличению стандартного отклонения форм-фактора, т.е. возрастанию полидисперсности наностержней.

Таблица 2 / Table 2

**Среднее значение форм-фактора и стандартное отклонение форм-фактора, рассчитанные по математической модели**  
**The average value of the form factor and the standard deviation of the form factor, calculated using a mathematical model**

Величина Value	Рис. 2 / Fig. 2			Рис. 3 / Fig. 3		
	1	2	3	1	2	3
$\epsilon_0$	3,11	2,85	3,34	3,84	1,86	2,92
$\sigma_e$	0,69	0,72	0,57	0,68	0,68	0,50

Таким образом, повторный синтез золотых наностержней такого же размера и геометрической формы возможен при условии сохранения соотношений концентраций ЦТАБ к ЗХВК и к ионам серебра.

#### Управление форм-фактором золотых наностержней при повторном синтезе

В соответствии с кристаллографической гипотезой роста золотых наностержней, ионы серебра расходуются при росте наностержней. Управление соотношением концентраций ЦТАБ к ионам серебра позволяет получать наностержни с заданным форм-фактором. Мы решили проверить, сохраняется ли такая возможность при повторном синтезе из ОР ЦТАБ.

Мы провели первоначальный синтез с концентрацией ионов серебра равной 98.6  $\mu\text{M}$  в ростовом растворе, который был очищен и разделен





на две части, соответствующие составу первого повторного синтеза: без добавления ионов серебра и с добавлением ионов серебра. При повторных синтезах концентрация ЦТАБ была меньше концентрации ЦТАБ в первоначальном синтезе в 0,91 раз. На рис. 3 представлены спектральные зависимости коэффициента поглощения первоначального синтеза, первых повторных синтезов без добавок и с добавками ионов серебра (кривые 1, 2, 3 соответственно). В табл. 2 приведены данные аппроксимации спектров поглощения по математической модели.

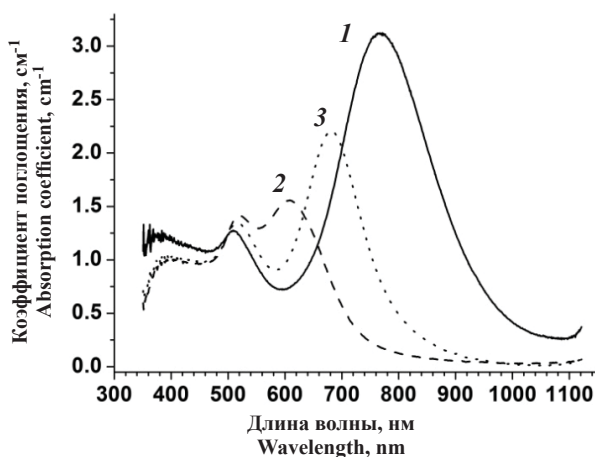


Рис. 3. Спектральная зависимость коэффициента поглощения раствора золотых наночастиц после синтеза: 1 – исходный синтез, 2 – первый повторный синтез без нитрата серебра, 3 – первый повторный синтез с нитратом серебра  
Fig. 3. Spectral dependence of the absorption coefficient of a solution of gold nanoparticles after synthesis: 1 – initial synthesis, 2 – the first repeated synthesis without silver nitrate, 3 – the first repeated synthesis with silver nitrate

Поскольку первый повторный синтез проходил без добавления ионов серебра, то ожидалось, что вырастут золотые сферические наночастицы с максимумом СПР в области длин волн 560 – 580 нм. Однако длина волны максимума СПР первого повторного синтеза без добавок ионов серебра оказалось равной 608 нм. Следовательно, можно было бы ошибочно предположить, что в результате первоначального синтеза осталось некое количество ионов серебра, способствующих росту наночастиц несферической формы. В действительности, как было отмечено ранее, маточный раствор невозможно полностью очистить от наночастиц ЗНС. Наночастицы с радиусом эквивалентной сферы менее 4 нм не осаждаются методом центрифугирования, вследствие чего эти частицы являются зародышами будущих частиц при повторном синтезе. На рис. 1, длина волны

максимума СПР всех образцов после очистки лежит около 650 нм, т.е. оставшиеся частицы в ОР имеют несферическую форму. В ходе повторного синтеза форм-фактор этих частиц уменьшается (они принимают сферическую форму), что приводит к сдвигу СПР в фиолетовую область, а не росту максимума плазмонного резонанса области длин волн 560–580 нм. Среднее значение форм-фактора составило 1,68.

Ранее было показано, что возможно получение наночастиц с такими же оптическими свойствами, которые были у наночастиц в ОР при первоначальном синтезе. Возможно ли получить наночастицы с разными заданными оптическими свойствами из ОР при каждом последующем синтезе? Для этого в ОР после первоначального синтеза были добавлены ионы серебра до их концентрации в растворе 71 мкМ. Данный эксперимент соответствует схеме второго повторного синтеза, описанного выше. Разность между длинами волн максимумов СПР для этих экспериментов составила 9 нм. Среднее значение форм-фактора наночастиц оказалось в ожидаемом интервале и составило 2,92. Этот эксперимент показывает возможность настройки СПР при повторном синтезе золотых наностержней из любого состава остаточного маточного раствора после первоначального синтеза ЗНС.

### Заключение

В заключение можно отметить ряд важных особенностей.

1. Продолжительное центрифугирование не может полностью очистить маточный раствор после синтеза ЗНС, поскольку наночастицы с радиусом эквивалентной сферы менее 4 нм не оседают в маточном растворе. Коэффициент поглощения максимума плазмонного резонанса наночастиц не опускается ниже  $0,3 \text{ см}^{-1}$ . После очистки в маточном растворе присутствует остаток золотохлористоводородной кислоты, который после 24 часов придает окраску раствору с образованием мелких коллоидных наночастиц.

2. Наночастицы золота с практически теми же оптическими параметрами можно повторно синтезировать в очищенных маточных растворах ЦТАБ при условии сохранения соотношения концентрации ЦТАБ по отношению к ионам серебра и золота. Наночастицы золота с заданными оптическими свойствами можно синтезировать из очищенных маточных растворов ЦТАБ, в которых были получены наночастицы с другими оптическими свойствами.



3. Уменьшение абсолютной концентрации ЦТАБ, вследствие его разбавления при повторном синтезе, приводит к росту полидисперсности золотых наностержней.

### Список литературы

1. Дыкман Л. А., Богатырев В. А., Щёголев С. Ю., Хлебцов Н. Г. Золотые наночастицы : синтез, свойства, биомедицинское применение. М. : Наука, 2008. 319 с.
2. Maier C. M., Huergo M. A., Milosevic S., Pernpeintner C., Li M., Singh D. P., Walker D., Fischer P., Feldmann J., Lohmuller T. Optical and thermophoretic control of janus nanopen injection into living cells // *Nano Lett.* 2018. Vol. 18, iss. 12. P. 7935–7941.
3. Schena E., Saccomandi P., Fong Y. Laser ablation for cancer: past, present and future // *J. Funct. Biomater.* 2017. Vol. 8, iss. 2. P. 19.
4. Sobol' E. N., Baum O. I., Omel'chenko A. I., Soshnikova Yu. M., Yuzhakov A. V., Kas'yanenko E. M., Tokareva A. V., Baskov A. V., Svistushkin V. M., Selezneva L. V., Shekhter A. B. Laser-induced modification of structure and shape of cartilage in otolaryngology and orthopaedics // *Quantum Electron.* 2017. Vol. 47, iss. 10. P. 935–941.
5. Huang X., Jain P. K., El-Sayed I. H., El-Sayed M. A. Plasmonic photothermal therapy (PPTT) using gold nanoparticles // *Lasers Med. Sci.* 2008. Vol. 23. P. 217–218.
6. Nikoobakht B., El-Sayed M. A. Preparation and growth mechanism of gold nanorods (nrs) using seed-mediated growth method // *Chem. Mater.* 2003. Vol. 15. P. 1957–1962.
7. Isomaa B., Reuter J., Djupsund B. M. The subacute and chronic toxicity of cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), a cationic surfactant, in the rat // *Arch. Toxicol.* 1976. Vol. 35. P. 91–96.
8. Timmer N., Gore D., Sanders D., Gouin T., Droge S. T. J. Toxicity mitigation and bioaccessibility of the cationic surfactant cetyltrimethylammonium bromide in a sorbent-modified biodegradation study // *Chemosphere.* 2019. Vol. 222. P. 461–468.
9. Khlebtsov B. N., Khanadeev V. A., Ye J., Sukhorukov G. B., Khlebtsov N. G. Overgrowth of gold nanorods by using a binary surfactant mixture // *Langmuir.* 2014. Vol. 30, iss. 6. P. 1696–1703.
10. Zhang Q. F., Jing H., Li G. G., Lin Y., Blom D. A., Wang H. Intertwining roles of silver ions, surfactants, and reducing agents in gold nanorod overgrowth: pathway switch between silver underpotential deposition and gold-silver codeposition // *Chem. Mater.* 2016. Vol. 28, iss. 8. P. 2728–2741.
11. Zhang Q. F., Han L. L., Jing H., Blom D. A., Lin Y., Xing H. L. L., Wang H. Facet control of gold nanorods // *ACS Nano.* 2016. Vol. 10, iss. 2. P. 2960–2974.
12. Lohse S. E., Burrows N. D., Scarabelli L., Liz-Marzan L. M., Murphy C. J. Anisotropic noble metal nanocrystal growth: the role of halides // *Chem. Mater.* 2014. Vol. 26. P. 34–43.
13. Murphy C. J., Thompson L. B., Chernak D. J., Yang J. A., Sivapalan S. T., Boulos S. P., Huang J., Alkilany A. M., Sisco P. N. Gold nanorod crystal growth : From seed-mediated synthesis to nanoscale sculpting // *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.* 2011. Vol. 16. P. 128–134.
14. Orendorff C. J., Murphy C. J. Quantitation of metal content in the silver-assisted growth of gold nanorods // *J. Phys. Chem. B.* 2006. Vol. 110. P. 3990–3994.
15. Terentyuk G. S., Ivanov A. V., Polyanskaya N. I., Maksimova I. L., Skaptsov A. A., Chumakov D. S., Khlebtsov B. N., Khlebtsov N. G. Photothermal effects induced by laser heating of gold nanorods in suspensions and inoculated tumours during in vivo experiments // *Quantum Electronics.* 2012. Vol. 42, iss. 5. P. 380–389.
16. Борен К., Хафмен Д. Поглощение и рассеяние света малыми частицами. М. : Мир, 1986. 660 с.
17. Khlebtsov B., Zharov V., Melnikov A., Tuchin V., Khlebtsov N. Optical amplification of photothermal therapy with gold nanoparticles and nanoclusters // *Nanotechnology.* 2006. Vol. 17. P. 5167–5179.
18. Johnson P. B., Christy R. W. Optical constants of the noble metals // *Phys. Rev. B.* 1972. Vol. 6. P. 4370–4379.
19. McPeak K. M., Jayanti S. V., Kress S. J. P., Meyer S., Iotti S., Rossinelli A., Norris D. J. Plasmonic films can easily be better: Rules and recipes // *ACS Photonics.* 2015. Vol. 2. P. 326–333.
20. Khlebtsov N. G., Bogatyrev V. A., Dykman L. A., Melnikov A. G. Spectral properties of colloidal gold and its conjugates with biospecific macromolecules // *Proc. SPIE.* 1996. Vol. 2629. P. 35–45.
21. Gudova Y. D., Skaptsov A. A. Color of polydispersion mixtures of gold nanorods // *Proc. SPIE.* 2020. Vol. 11457, № 1145713.
22. Мовчан Т. Г., Соболева И. В., Плотникова Е. В., Щёкин А. К., Русанов А. И. Исследование методом динамического рассеяния света водных растворов бромида цетилтриметиламмония // *Коллоидный журнал.* 2012. Т. 74, № 2. С. 257–265.

### References

1. Dykman L. A., Bogatyrev V. A., Scheglov S. Yu., Khlebtsov N. G. *Zolotyie nanochastitsy: sintez, svoystva, biomeditsinskoye primeneniye* [Gold Nanoparticles: Synthesis, Properties, Biomedical Applications]. Moscow, Nauka Publ., 2008. 319 p. (in Russian).
2. Maier C. M., Huergo M. A., Milosevic S., Pernpeintner C., Li M., Singh D. P., Walker D., Fischer P., Feldmann J., Lohmuller T. Optical and thermophoretic control of janus nanopen injection into living cells. *Nano Lett.*, 2018, vol. 18, iss. 12, pp. 7935–7941.
3. Schena E., Saccomandi P., Fong Y. Laser ablation for cancer: past, present and future. *J. Funct. Biomater.*, 2017, vol. 8, iss. 2, pp. 19.
4. Sobol' E. N., Baum O. I., Omel'chenko A. I., Soshnikova Yu. M., Yuzhakov A. V., Kas'yanenko E. M., Tokareva A. V., Baskov A. V., Svistushkin V. M., Selezneva L. V., Shekhter A. B. Laser-induced modification of structure and shape of cartilage in otolaryngology and orthopaedics. *Quantum Electron*, 2017, vol. 47, iss. 10, pp. 935–941.



5. Huang X., Jain P. K., El-Sayed I. H., El-Sayed M. A. Plasmonic photothermal therapy (PPT) using gold nanoparticles. *Lasers Med. Sci.*, 2008, vol. 23, pp. 217–218.
6. Nikoobakht B., El-Sayed M. A. Preparation and growth mechanism of gold nanorods (nrs) using seed-mediated growth method. *Chem. Mater.*, 2003, vol. 15, pp. 1957–1962.
7. Isomaa B., Reuter J., Djupsund B. M. The subacute and chronic toxicity of cetyltrimethylammonium bromide (CTAB), a cationic surfactant, in the rat. *Arch. Toxicol.*, 1976, vol. 35, pp. 91–96.
8. Timmer N., Gore D., Sanders D., Gouin T., Droge S. T. J. Toxicity mitigation and bioaccessibility of the cationic surfactant cetyltrimethylammonium bromide in a sorbent-modified biodegradation study. *Chemosphere*, 2019, vol. 222, pp. 461–468.
9. Khlebtsov B. N., Khanadeev V. A., Ye J., Sukhorukov G. B., Khlebtsov N. G. Overgrowth of gold nanorods by using a binary surfactant mixture. *Langmuir*, 2014, vol. 30, iss. 6, pp. 1696–1703.
10. Zhang Q. F., Jing H., Li G. G., Lin Y., Blom D. A., Wang H. Intertwining roles of silver ions, surfactants, and reducing agents in gold nanorod overgrowth: pathway switch between silver underpotential deposition and gold-silver codeposition. *Chem. Mater.*, 2016, vol. 28, iss. 8, pp. 2728–2741.
11. Zhang Q. F., Han L. L., Jing H., Blom D. A., Lin Y., Xing H. L. L., Wang H. Facet control of gold nanorods. *ACS Nano*, 2016, vol. 10, iss. 2, pp. 2960–2974.
12. Lohse S. E., Burrows N. D., Scarabelli L., Liz-Marzan L. M., Murphy C. J. Anisotropic noble metal nanocrystal growth: the role of halides. *Chem. Mater.*, 2014, vol. 26, pp. 34–43.
13. Murphy C. J., Thompson L. B., Chernak D. J., Yang J. A., Sivapalan S. T., Boulos S. P., Huang J., Alkilany A. M., Sisco P. N. Gold nanorod crystal growth: From seed-mediated synthesis to nanoscale sculpting. *Curr. Opin. Colloid Interface Sci.*, 2011, vol. 16, pp. 128–134.
14. Orendorff C. J., Murphy C. J. Quantitation of metal content in the silver-assisted growth of gold nanorods. *J. Phys. Chem. B*, 2006, vol. 110, pp. 3990–3994.
15. Terentyuk G. S., Ivanov A. V., Polyanskaya N. I., Maksimova I. L., Skaptsov A. A., Chumakov D. S., Khlebtsov B. N., Khlebtsov N. G. Photothermal effects induced by laser heating of gold nanorods in suspensions and inoculated tumours during in vivo experiments. *Quantum Electronics*, 2012, vol. 42, iss. 5, pp. 380–389.
16. Bohren C. F., Huffman D. R. *Pogloshcheniye i rasseyaniye sveta malymi chastitsami* [Absorption and Scattering of Light by Small Particles]. Moscow, Mir Publ., 1986. 660 p. (in Russian).
17. Khlebtsov B., Zharov V., Melnikov A., Tuchin V., Khlebtsov N. Optical amplification of photothermal therapy with gold nanoparticles and nanoclusters. *Nanotechnology*, 2006, vol. 17, pp. 5167–5179.
18. Johnson P. B., Christy R. W. Optical constants of the noble metals. *Phys. Rev. B*, 1972, vol. 6, pp. 4370–4379.
19. McPeak K. M., Jayanti S. V., Kress S. J. P., Meyer S., Iotti S., Rossinelli A., Norris D. J. Plasmonic films can easily be better: Rules and recipes. *ACS Photonics*, 2015, vol. 2, pp. 326–333.
20. Khlebtsov N. G., Bogatyrev V. A., Dykman L. A., Melnikov A. G. Spectral properties of colloidal gold and its conjugates with biospecific macromolecules. *Proc. SPIE*, 1996, vol. 2629, pp. 35–45.
21. Gudova Y. D., Skaptsov A. A. Color of polydispersion mixtures of gold nanorods. *Proc. SPIE*, 2020. Vol. 11457, no. 1145713.
22. Movchan T. G., Soboleva I. V., Plotnikova E. V., Rusanov A. I., Shchekin A. K. Dynamic light scattering study of cetyltrimethylammonium bromide aqueous solutions. *Colloid Journal*, 2012, vol. 74, iss. 2, pp. 239–247 (in Russian).

Поступила в редакцию 31.01.21, после рецензирования 02.02.21, принята к публикации 04.02.21  
Received 31.01.21, revised 02.02.21, accepted 04.02.21



Научная статья

УДК 543.554.6

## Перспектива использования контрольных карт Шухарта при оценке качества ионометрических измерений методом добавления пробы к стандарту



В. М. Шатунов<sup>1</sup> ✉, А. И. Фокина<sup>2</sup>, Т. Я. Ашихмина<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области, Россия, 610000, г. Киров, ул. Свободы, д. 64А

<sup>2</sup>Вятский государственный университет, Россия, 610000, г. Киров, ул. Ленина, д. 198

<sup>3</sup>Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Россия, 167982, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

Шатунов Владислав Михайлович, химик-эксперт санитарно-гигиенической лаборатории по исследованию воды и почвы, [vladislav.shat@yandex.ru](mailto:vladislav.shat@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2420-9664>

Фокина Анна Ивановна, кандидат биологических наук, доцент кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии Института химии и экологии, [annushka-fokina@mail.ru](mailto:annushka-fokina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8265-8882>

Ашихмина Тамара Яковлевна, доктор технических наук, сотрудник лаборатории биомониторинга, [usr08619@vyatsu.ru](mailto:usr08619@vyatsu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>

**Аннотация.** Современные методики количественных физико-химических измерений в обязательном порядке должны включать в себя процедуры контроля качества результатов исследований. В последнее время особую популярность в практике аналитических измерений приобретает процедура контроля качества измерений с помощью контрольных карт. На сегодня методики потенциометрических исследований, действующие на территории Российской Федерации, в большинстве случаев не включают в себя контроль качества с использованием данной процедуры контроля. Однако, несмотря на сложность реализации и интерпретации ее результатов, именно использование контрольных карт позволяет контролировать качество ионометрических измерений. Это особенно важно для потенциометрических определений, основанных на методе добавки, поскольку нестабильность углового коэффициента электродной функции и его отклонение вносит существенный вклад в неопределённость результатов измерений. В данной статье представлены основные результаты оценки использования метода контрольных карт Шухарта для контроля повторяемости и точности результатов измерений. Результаты измерений получены с помощью усовершенствованной методики количественного потенциометрического определения высоких концентраций (более 1 г/дм<sup>3</sup>) ионов аммония методом добавления пробы к стандарту. Кроме того, представлено экспериментальное обоснование того факта, что величина углового коэффициента электродной функции существенно влияет на точность измерений по методу добавок. Выявлено, что при значении углового коэффициента электродной функции более 62 мВ/рНН<sub>4</sub><sup>+</sup> при (25±5)°С наблюдаются отклонения результатов измерений от норматива контроля более чем на 50%. Установлено, что при (25±5)°С наиболее точные результаты количественного определения достигаются при значении углового коэффициента электродной функции от 54 мВ/рНН<sub>4</sub><sup>+</sup> до 62 мВ/рНН<sub>4</sub><sup>+</sup> включительно.

**Ключевые слова:** потенциометрия, метод добавок, контроль качества, карты Шухарта, точность измерений

**Для цитирования:** Шатунов В. М., Фокина А. И., Ашихмина Т. Я. Перспектива использования контрольных карт Шухарта при оценке качества ионометрических измерений методом добавления пробы к стандарту // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 399–404. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-399-404>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### The prospect of using Shewhart control charts in assessing the quality of ionometric measurements by the method of adding a sample to a standard

V. M. Shatunov<sup>1</sup> ✉, A. I. Fokina<sup>2</sup>, T. Ya. Ashikhmina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Federal Center for Hygiene and Epidemiology in the Kirov Region, 64A Liberty St., Kirov 610000, Russia

<sup>2</sup>Vyatka State University, 198 Lenin St., Kirov 610000, Russia

<sup>3</sup>Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 28 Communist St., Syktывkar 167982, Russia

Vladislav M. Shatunov, [vladislav.shat@yandex.ru](mailto:vladislav.shat@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2420-9664>

Anna I. Fokina, [annushka-fokina@mail.ru](mailto:annushka-fokina@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8265-8882>

Tamara Ya. Ashikhmina, [usr08619@vyatsu.ru](mailto:usr08619@vyatsu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4919-0047>



**Abstract.** Modern methods of quantitative physical and chemical measurements should necessarily include procedures for quality control of research results. Recently, the procedure for quality control of measurements using control charts is gaining particular popularity in the practice of analytical measurements. To date, the methods of potentiometric studies operating in the territory of the Russian Federation, in most cases, do not include quality control using this control procedure. However, despite the complexity of the implementation and interpretation of its results, it is the use of control charts that allows you to control the quality of ionometric measurements. This is especially important for potentiometric determinations based on the addition method, since the instability of the slope of the electrode function and its deviation significantly contribute to the uncertainty of the measurement results. This article presents the main results of evaluating the use of the Shewhart control chart method for monitoring the repeatability and accuracy of measurement results. The measurement results have been obtained using an improved method of quantitative potentiometric determination of high concentrations (more than 1 gm/cdm) of ammonium ions by the method of adding a sample to the standard. In addition, an experimental substantiation of the fact that the value of the slope of the electrode function significantly affects the accuracy of measurements by the addition method has been presented. It has been revealed that when the angular coefficient of the electrode function is more than 62 mV/pNH<sub>4</sub><sup>+</sup> at (25±5)°C, deviations of the measurement results from the control standard by more than 50% are observed. It has been found that at (25±5)°C the most accurate results of quantitative determination are achieved when the angular coefficient of the electrode function is from 54 mV/pNH<sub>4</sub><sup>+</sup> to 62 mV/pNH<sub>4</sub><sup>+</sup> inclusive.

**Keywords:** potentiometry, additive method, quality control, Shewhart cards, accuracy of measurements

**For citation:** Shatunov V. M., Fokina A. I., Ashikhmina T. Ya. The prospect of using Shewhart control charts in assessing the quality of ionometric measurements by the method of adding a sample to a standard. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 399–404. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-399-404>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Контроль качества результатов химического анализа является одним из важных аспектов работы над совершенствованием и разработкой методик. Кроме того, выполнение процедур контроля качества измерений – важное требование к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий [1, 2].

При выборе процедур контроля качества измерений разработчики методик учитывают не только экономичность и простоту выполнения контрольных процедур, но также специфику метода измерения и возможные источники неопределенности.

На сегодня основной подход к контролю качества результатов количественного химического анализа в аккредитованных лабораториях включает в себя периодический контроль точности и внутрилабораторной прецизионности, а также оперативный контроль повторяемости и контроль стабильности градуировочной характеристики. Однако, при реализации в лаборатории ионометрических измерений, выполнение вышеперечисленных процедур контроля не позволяет сделать вывод о стабильности измерений за определенный период времени [3].

Значение углового коэффициента электродной функции (далее КЭФ) ионоселективного электрода является одним из значимых источников неопределенности измерений ионометрическим методом (особенно по методу добавок). При постоянном выполнении ионометрических измерений со временем происходит медленное отклонение КЭФ от первоначально установленного изготовителем значения, что сказывается на результатах измерений и ставит под сомнение их достоверность. Основными причинами от-

клонения КЭФ являются появление дефектов на мембране электрода (царапины, микротрещины) и вымывание ионофора из мембраны электрода [4–6].

При постоянном использовании электрода возникает необходимость установить тот момент, когда отклонение углового коэффициента от установленного изготовителем значения начнет оказывать значительное влияние на точность измерений. Это необходимо для того, чтобы оперативно произвести замену электрода и не допустить получения и выдачи недостоверных результатов; достигается внедрением в практику внутрилабораторного контроля ионометрических измерений использования контрольных карт Шухарта [7].

### Материалы и методы

На базе Вятского государственного университета совместно с Федеральным бюджетным учреждением здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в Кировской области» (г. Киров) была усовершенствована методика потенциометрического количественного определения высоких концентраций аммонийного азота в техногенно-загрязнённых солями аммония поверхностных водоёмах методом добавки анализируемой пробы к стандарту, а также проведена процедура установления метрологических характеристик. Выполнение измерений по усовершенствованной методике потенциометрическим методом с ионоселективным плёночным электродом (ЭЛИС-121NH<sub>4</sub>) в диапазоне концентраций от 2,0 до 9,0 г/дм<sup>3</sup> включительно основано на изменении потенциалов электрода в зависимости от активности ионов аммония в стандартном растворе и



в стандартном растворе с добавкой исследуемой разбавленной пробы (способ: добавление пробы к стандарту) [8].

В качестве процедур контроля результатов измерений при их периодическом применении установлена процедура контроля точности с применением образцов для контроля. Однако при постоянном выполнении измерений, ввиду непостоянства КЭФ, было предложено внедрить процедуру контроля стабильности измерений с использованием контрольных карт. Цель исследования состояла в установлении целесообразности применения метода контрольных карт Шухарта для оценки стабильности измерений при реализации методики в лабораторных условиях, а также установлении границ КЭФ (для условий реализации методики), при которых точность измерений считается приемлемой.

Исследования проводились в течение трёх месяцев (июль 2019 г. – сентябрь 2019 г.) с использованием поверенных средств измерения и

аттестованного испытательного оборудования. В качестве исследуемого материала использовались четыре специально приготовленных лабораторных образца стабильных во времени эксперимента с концентрациями ионов аммония, охватывающими диапазон измерения методики. Концентрация ионов аммония в образцах измерялась в условиях повторяемости и воспроизводимости.

Подготовка электродом к измерению осуществлялась путем вымачивания рабочей мембраны электрода в растворе хлористого аммония с концентрацией 0,01 моль/дм<sup>3</sup> не менее 24 часов согласно паспорту на электрод.

### Результаты и их обсуждение

По результатам проведённых исследований были построены карты Шухарта (расчёт результатов в относительных величинах) для контроля повторяемости (рис. 1) и точности (рис. 2) исследований в приведённых величинах.

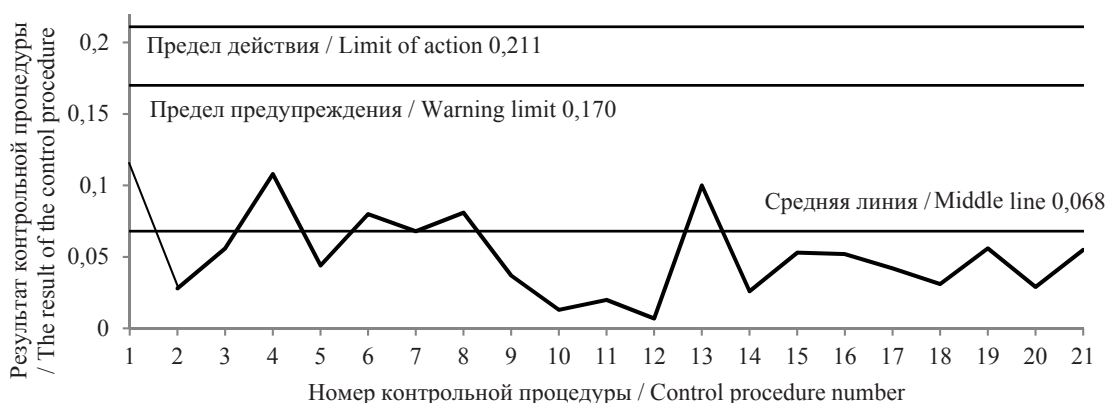


Рис. 1. Карта Шухарта для контроля повторяемости результатов потенциметрического определения аммония с использованием образцов для контроля

Fig. 1. Shewhart chart for repeatability control of potentiometric determination of ammonium using control samples

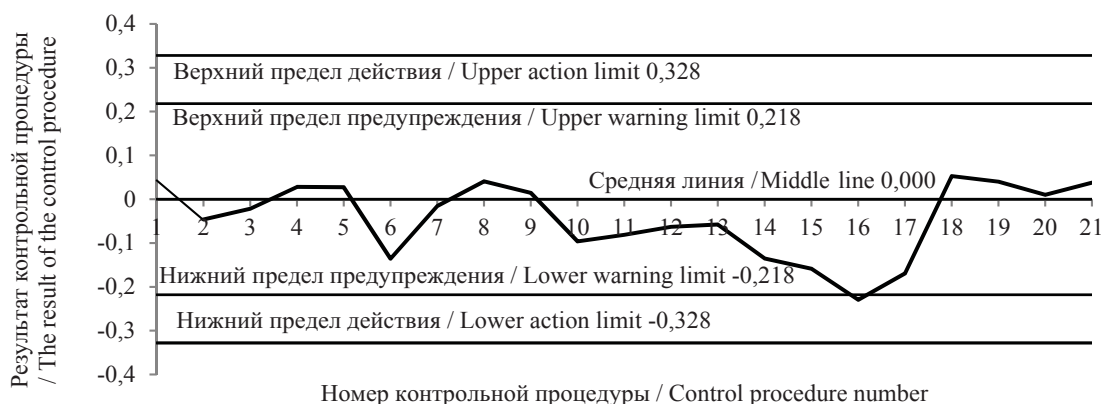


Рис. 2. Карта Шухарта для контроля точности результатов потенциметрического определения аммония с использованием образцов для контроля

Fig. 2. Shewhart card for control of the accuracy of the results potentiometric determination of ammonium using control samples



В случае оценки карт для контроля повторяемости установлены следующие сигналы нарушения стабильности измерения [9]:

- одна точка вышла за предел действия;
- девять точек подряд находятся выше средней линии;
- шесть возрастающих точек подряд;
- две из трёх последовательных точек находятся выше предела предупреждения;
- четыре из пяти последовательных точек находятся выше половинной границы зоны предупреждения.

В случае оценки карт для контроля точности установлены следующие сигналы нарушения стабильности измерений [9]:

- одна точка вышла за пределы действия;
- девять точек подряд находятся по одну сторону от средней линии;
- шесть возрастающих или убывающих точек подряд;
- две из трёх последовательных точек вышли за пределы предупреждения;
- четыре из пяти последовательных точек вышли за половинные границы зоны предупреждения;
- восемь последовательных точек находятся по обеим сторонам средней линии, и все эти точки вышли за половинные границы зоны предупреждения.

При анализе карты для контроля повторяемости (см. рис. 1) не было выявлено сигналов нарушения стабильности процесса анализа в течение времени исследования. Это говорит о том, что процесс исследования по разработанной методике в части повторяемости результатов признается стабильным. Смещение углового коэффициента электродной функции не оказывает значительного влияния на расхождение результатов параллельных определений за всё время эксперимента.

При анализе карты для контроля точности (см. рис. 2) также не было выявлено сигналов нарушения стабильности анализа. Однако начиная с процедуры № 13 на карте наблюдается тенденция к нарушению стабильности измерений. Результат контроля процедуры №16 вышел за нижний предел предупреждения, а процедура контроля точности не была признана удовлетворительной, так как результат контроля превысил норматив контроля. Согласно паспорту на ионоселективный электрод, срок его эксплуатации заканчивался. Поэтому начиная с процедуры № 17 измерения проводились с использованием нового электрода.

Важно подчеркнуть, что значения углового коэффициента электродной функции электрода в процедурах № 14–16, согласно табл. 1, превышали допустимое значение, указанное в сопроводительных документах на электрод (при 20°C  $S_i = 54 \pm 6$  мВ/рNH<sub>4</sub><sup>+</sup>) [10, 11].

Таблица 1 / Table 1

**Значения угловых коэффициентов электродной функции и результаты контроля точности процедур № 12–16**  
**The values of the slope coefficients of the electrode function and the results of control of the accuracy of procedures No. 12–16**

Номер контрольной процедуры / Control procedure number	КЭФ электрода ( $S_i$ ), мВ/рNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / EFC of the electrode ( $S_i$ ), mV/pNH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Опорное значение $C(NH_4^+)$ , г/дм <sup>3</sup> / Reference value $C(NH_4^+)$ , gm/cdm	Полученное значение $C(NH_4^+)$ , г/дм <sup>3</sup> / The resulting value $C(NH_4^+)$ , gm/cdm	Результат контроля точности / Accuracy control result		Норматив контроля, г/дм <sup>3</sup> / Norm of control, gm/cdm
				г/дм <sup>3</sup> / gm/cdm	% от норматива / % of the norm	
12	60	8.00	7.50	0.50	28.6	1.75
13	60	6.00	5.66	0.34	26.0	1.31
14	63	4.00	3.46	0.54	62.0	0.87
15	62	5.00	4.10	0.60	55.0	1.09
16	62	8.00	6.17	1.83	105	1.75

Сравнительный анализ результатов контроля точности позволил сделать вывод о том, что при выполнении измерений в диапазоне температур (25±5)°C (условия методики) при значении КЭФ свыше 62 мВ/рNH<sub>4</sub><sup>+</sup>, независимо от концентрации аналита, наблюдается отклонение результата контроля точности от норматива контроля в среднем выше 50%.

Возможной причиной снижения точности при величине углового коэффициента свыше 62 мВ/рNH<sub>4</sub><sup>+</sup> является вымывание ионофора (нейтрального переносчика). Вследствие этого не все ионы аммония могут быть связаны в катионные комплексы и в дальнейшем перенесены в мембрану, отсюда наблюдается занижение результатов.



Также возможной причиной занижения результатов и потери точности может являться накопление мембраной электрода ионов калия (электролит из электрода сравнения), натрия (использование стеклянной посуды) и ионов кальция при использовании буфера для поддержания ионной силы ионов кальция. Вследствие этого при выполнении измерения концентрации аммонийного азота, особенно в области низких концентраций, может происходить больше одного электродного процесса с участием не только ионов аммония, но также калия, натрия,

кальция. Для подтверждения данной гипотезы необходимо провести ряд исследований, результаты которых являются предметом отдельного обсуждения.

Начиная с процедуры контроля № 17 измерения производились с использованием нового электрода. При этом на рис. 2 можно отметить улучшение в точности измерений, так как результаты контрольной процедуры стали близки к значению средней линии. Результаты, подтверждающие улучшение точности измерений, представлены в табл. 2.

Таблица 2 / Table 2

**Значения угловых коэффициентов электродной функции и результаты контроля точности процедур № 17–21**  
**The values of the slope coefficients of the electrode function and the results of control of the accuracy of procedures No. 17–21**

Номер контрольной процедуры / Control procedure number	КЭФ электрода ( $S_r$ ), мВ/рNH <sub>4</sub> <sup>+</sup> / EFC of the electrode ( $S_r$ ), mV/pNH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Опорное значение C(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), г/дм <sup>3</sup> / Reference value C(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), gm/cdm	Полученное значение C(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), г/дм <sup>3</sup> / The resulting value C(NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ), gm/cdm	Результат контроля точности / Accuracy control result		Норматив контроля, г/дм <sup>3</sup> / Norm of control, gm/cdm
				г/дм <sup>3</sup> / gm/cdm	% от норматива / % of the norm	
17	61	6.00	4.99	1,01	77.1	1.31
18	58	4.00	4.21	0.21	24.1	0.87
19	57	5.00	5.06	0.06	5.50	1.09
20	58	8.00	8.08	0.08	4.57	1.75
21	58	6.00	6.06	0.06	4.58	1.31

Исходя из общего анализа данных и контрольных карт сделан вывод о том, что при температуре (25±5)°С, наиболее точные измерения концентрации ионов аммония по методу добавок наблюдаются при величине углового коэффициента электродной функции (58±4) мВ/рNH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

### Заключение

Таким образом, в ходе эксперимента установлено, что применение контрольных карт Шухарта в процедуре внутрилабораторного контроля качества количественных потенциометрических измерений методом добавок оправданно, так как помогает оценить вклад смещения углового коэффициента электродной функции во времени на точность измерений, а соответственно сделать вывод о качестве измерений и достоверности полученных результатов.

Кроме того, экспериментально подтверждено, что смещение значения углового коэффициента электродной функции оказывает значительное влияние на точность измерений. Установлено, что точность определения высоких концентраций ионов аммония по методу добавок признается удовлетворительной при значении

углового коэффициента электродной функции (58±4) мВ/рNH<sub>4</sub><sup>+</sup> при температуре (25±5)°С.

При более высоких значениях углового коэффициента электродной функции наблюдается занижение результатов измерений и значительные отклонения (от 50% и более) разницы между найденным и опорным значением концентраций от нормативов контроля точности. Все это находит отражение в виде определённых сигналов в контрольной карте Шухарта для контроля точности результатов измерений и может быть регламентировано в методике потенциометрического количественного определения высоких концентраций (более 1 г/дм<sup>3</sup>) ионов аммония по методу добавки пробы к стандарту.

### Список литературы

1. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Методики выполнения измерений. Основные положения: ГОСТ 8.010-2013: [Введен в действие приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22.11.2013 г. №2122-ст]. М.: Стандартинформ, 2019. 11 с.
2. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий: ГОСТ ISO/IEC 17025-





- 2019: [Введен в действие приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 15.07.2019 г. №385-ст]. М.: Стандартиформ, 2020. 25 с.
3. Государственная система обеспечения единства измерений. Внутренний контроль качества результатов количественного химического анализа: РМГ 76-2014: [Введен в действие приказом федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 09.07.2014 г. №778-ст]. М.: Стандартиформ, 2016. 110 с.
  4. Камман К. Работа с ионселективными электродами. М.: Мир, 1980. 283 с.
  5. Корята И., Штулик К. Ионселективные электроды. М.: Мир, 1982. 272 с.
  6. Печенкина И. А., Михельсон К. Н. Материалы мембран ионселективных электродов на основе ионофоров: проблемы и достижения (обзор) // Электрохимия. 2015. Т. 51, № 2. С. 115–126.
  7. Причард Э., Барвик В. Контроль качества в аналитической химии. СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. 320 с.
  8. Шатунов В. М., Фокина А. И., Ашихмина Т. Я. Усовершенствование методики потенциометрического определения ионов аммония в поверхностных водах для проб с высокой концентрацией // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 3. С. 268–274. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-3-268-274>
  9. Внутренний контроль качества гидрохимической информации: РД.52.24.509-2015: [утв. заместителем руководителя Росгидромета 13.08.2015]. Ростов-на-Дону: Росгидромет, ФГБУ «ГХИ», 2016. 75 с.
  10. Приложение к свидетельству №12924/1 об утверждении типа средств измерений. Описание типа средства измерения. Электроды ионселективные ЭЛИС-1. М.: ФБУ «ЦСМ Московской области», 2015. 5 с.
  11. Паспорт. Электрод ионселективный ЭЛИС-121NH<sub>4</sub>: ГРБА.418422.015-02 ПС. М.: ООО «Измерительная техника», 2015. 7 с.
  2. *General requirements for the competence of testing and calibration laboratories: GOST ISO / IEC 17025-2019*: [Enacted by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of 15.07.2019, №385-st]. Moscow, Standartinform Publ., 2020. 25 p. (in Russian).
  3. *State system for ensuring the uniformity of measurements. Internal quality control of the results of quantitative chemical analysis: RMG 76-2014*: [Enacted by order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology of 09.07.2014, №778-st]. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 110 p. (in Russian).
  4. Kamman K. *Rabota s ionselektivnymi elektrodami* [Work with Ion-selective Electrodes]. Moscow, Mir Publ., 1980. 283 p. (in Russian).
  5. Koryta I., Shtulik K. *Ionoselektivnye elektrody* [Ionoselective electrodes]. Moscow, Mir Publ., 1982, 272 p. (in Russian).
  6. Pechenkina I. A., Mikhelson K. N. Materials for the ionophore based membranes for ion selective electrodes problems and achievements (Review paper). *Russian Journal of Electrochemistry*, 2015, vol. 51, no. 2, pp. 93–102.
  7. Prichard E., Barvik V. *Kontrol' kachestva v analiticheskoy himii* [Quality Assurance in Analytical Chemistry]. St. Petersburg, COP "Professiya" Publ., 2014. 320 p. (in Russian).
  8. Shatunov V. M., Fokina A. I., Ashikhmina T. Ya. Improvement of Potentiometric Determination of Ammonium Ions in Surface Waters for the Samples with a High Concentration. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 3, pp. 268–274 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-3-268-274>
  9. *Internal quality control of hydrochemical information: RD.52.24.509-2015*: [approved. Deputy Head of Roshydromet 13.08.2015]. Rostov-on-Don, Roshydromet, FGBU "GKHI" Publ., 2016. 75 p. (in Russian).
  10. *Prilozhenie k svidetel'stvu №12924/1 ob utverzhenii tipa sredstv izmerenij. Opisaniye tipa sredstva izmereniya. Elektrody ionoselektivnye ELIS-1* [Appendix to certificate № 12924/1 on type approval of measuring instruments. Description of the type of measuring instrument. Ion-selective electrodes ELIS-1]. Moscow, FBU "CSM of the Moscow region" Publ., 2015. 5 p. (in Russian).
  11. *Pasport. Elektrod ionoselektivnyj ELIS-121NH4: GRBA.418422.015-02 PS* [Passport. Ion-selective electrode ELIS-121NH<sub>4</sub>: GRBA.418422.015-02 PS]. Moscow, ООО "Measuring equipment" Publ., 2015. 7 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 07.02.21, после рецензирования 16.02.21, принята к публикации 18.02.21  
Received 07.02.21, revised 16.02.21, accepted 18.02.21



Научная статья  
УДК 547.541.3, 547.542.7

## Изучение взаимосвязи геометрической изомерии и биологически активных свойств соединений



А. Г. Гасанов , И. Г. Аюбов, Г. Э. Гаджиева, Ф. С. Гурбанова

Институт нефтехимических процессов Национальной Академии Наук Азербайджана, 1025, г. Баку, пр. Ходжалы, д. 30

Гасанов Ариф Гасанович, доктор химических наук, профессор, заслуженный деятель науки Азербайджана, заведующий лабораторией «Циклоолефины», [aqasanov@mail.ru](mailto:aqasanov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1316-1482>

Аюбов Ильгар Гаджиевич, кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории «Циклоолефины», [ilgar.ayyubov@mail.ru](mailto:ilgar.ayyubov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3582-7158>

Гаджиева Гюльсум Энвер кызы, старший научный сотрудник, [gulsum.mete@mail.ru](mailto:gulsum.mete@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9445-186X>

Гурбанова Фидан Сахиб кызы, младший научный сотрудник лаборатории «Циклоолефины», [fidanqurbanzadeh@gmail.com](mailto:fidanqurbanzadeh@gmail.com)

**Аннотация.** Представлены результаты исследований в области изучения взаимосвязи геометрического строения органических соединений с их биологической активностью. Показано, что стереоспецифическое строение органических и неорганических молекул может оказывать непосредственное влияние на биологически активные свойства веществ. Среди известных видов стереоизомерии (геометрическая и оптическая) в данной работе обобщено влияние различных видов геометрической изомерии на биоактивность соединений. Кроме того, представлены результаты собственных исследований авторов. В частности, показаны результаты изучения антимикробной и антифунгальной активности гидроксикарбоновых моноэфиров норборнендикарбоновой кислоты в зависимости от их стереоизомерных форм в отношении различных патогенных микроорганизмов. Исследования проводились методом серийных разведений. В качестве питательных сред использовали МПА pH 7,2–7,4 для бактерий и среду Сабуро для грибов. Длительность инкубации в термостате для бактерий – 18–24 ч при 37°C, для грибов 1–10 дней при 28°C. Отмечено, что эндо-изомеры синтезированных соединений обладают более высокой антимикробной и антифунгальной активностью в отношении грамположительных (золотистый стафилококк), грамотрицательных (кишечная палочка, синегнойная палочка) бактерий, а также дрожжеподобных грибов рода Кандида. На основе полученных актов испытаний синтезированные соединения были рекомендованы для использования в качестве местных антисептических препаратов.

**Ключевые слова:** стереоизомеры, геометрическая изомерия, биологическая активность, моноэфиры норборнендикарбоновой кислоты, эндо-изомеры, экзо-изомеры, антимикробные препараты, антифунгальная активность

**Для цитирования:** Гасанов А. Г., Аюбов И. Г., Гаджиева Г. Э., Гурбанова Ф. С. Изучение взаимосвязи геометрической изомерии и биологически активных свойств соединений // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 405–414. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-405-414>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Study of the relationship between geometric isomerism and biologically active properties of compounds

A. G. Gasanov , I. G. Ayyubov, G. E. Hajiyeva, F. S. Qurbanova

Institute of Petrochemical Processes of National Academy of Sciences of Azerbaijan, 30 Xodjaly Ave., Baku 1025, Azerbaijan

Arif G. Gasanov, [aqasanov@mail.ru](mailto:aqasanov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-1316-1482>

Ilgar G. Ayyubov, [ilgar.ayyubov@mail.ru](mailto:ilgar.ayyubov@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3582-7158>

Gulsum E. Hajiyeva, [gulsum.mete@mail.ru](mailto:gulsum.mete@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9445-186X>

Fidan S. Qurbanova, [fidanqurbanzadeh@gmail.com](mailto:fidanqurbanzadeh@gmail.com)

**Abstract.** The results of the research in the field of studying the relationship of the geometric structure of organic compounds with their biological activity are presented. It has been shown that the stereospecific structure of organic and inorganic molecules can have a direct effect on the biologically active properties of substances. Among the known types of stereoisomerism (geometric and optical), this work summarizes the effect of various types of geometric isomerism on the bioactivity of compounds. In addition, the results of the authors' own research are presented. In particular, the results of studying the antimicrobial and antifungal activity of hydroxyalkyl monoesters of norbornedicarboxylic acid depending on their stereoisomeric forms in relation to various pathogenic microorganisms are shown. The studies were carried out by the serial dilution method. As nutrient media, we used MPA pH 7,2–7,4 for bacteria and Sabouraud's medium



for fungi. The incubation time in a thermostat for bacteria was 18–24 hours at 37°C, for fungi 1–10 days at 28°C. It has been noted that the *endo*-isomers of the synthesized compounds have a higher antimicrobial and antifungal activity against grampositive (*Staphylococcus aureus*), gramnegative (*Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*) bacteria, as well as yeast-like fungi of the genus *Candida*. Based on the obtained test reports, the synthesized compounds have been recommended for use as local antiseptic preparations.

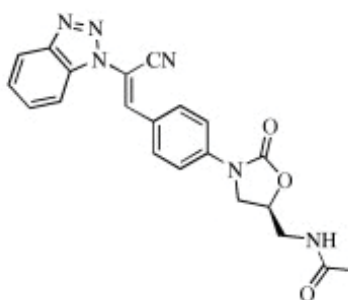
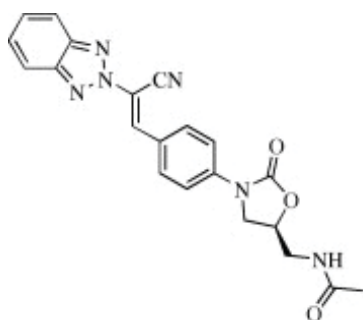
**Keywords:** stereoisomers, geometric isomerism, biological activity, monoesters of norbornene-dicarboxylic acid, *endo*-isomers, *exo*-isomers, antimicrobial drugs, antifungal activity

**For citation:** Gasanov A. G., Ayyubov I. G., Hajiyeva G. E., Qurbanova F. S. Study of the relationship between geometric isomerism and biologically active properties of compounds. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 405–414. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-405-414>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

Изучение взаимосвязи между строением соединений и их биологической активностью является одним из ключевых вопросов органической и биоорганической химии. Стерическое строение биологически активных соединений может оказывать влияние на его свойства, при этом один из изомеров может обладать этим свойством, а другой обладать им в менее выраженной форме или вовсе не проявлять его. Так, в работе [1] отмечается, что некоторые

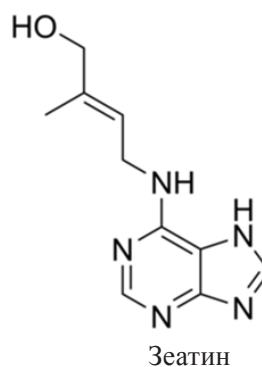
новые производные оксазолидинона, содержащие бензотриазольный фрагмент, были синтезированы и протестированы на антибактериальную активность. Показано, что линейно присоединенное производное бензотриазола (А) проявило большую эффективность по сравнению с угловым производным (В) *in vitro*. Было обнаружено, что из *E/Z*-изомеров угловых производных *E*-изомер является более сильным, чем *Z*-изомер.



Стереизомерия органических соединений включает в себя два основных вида: геометрическую и оптическую изомерию. Каждый из этих видов изомерии может оказывать существенное влияние на биологически активные свойства молекул. В настоящей работе изучена взаимосвязь геометрической изомерии молекул с их биологической активностью.

Геометрическая изомерия включает в себя несколько видов, среди которых наиболее важной является *цис, транс*-изомерия. Она заключается в возможности расположения заместителей по одну или по разные стороны плоскости кратной связи или цикла (от латинских слов «*цис*» – по одну сторону, и «*транс*» – по разные стороны, напротив). Так, в работе [2] показана связь между строением зеатина и его биоактивностью. Отмечается, что зеатин относится к классу цитокининов – гормонов растений, стимулирующих деление клеток. Геометрические и позиционные изомеры зеатина были протестированы в биоанализе табака (*Nicotiana*

*tabacum* var. Wisconsin No. 38). Показано, что между *транс*- и *цис*-зеатином была гораздо большая разница в активности (> 50 раз).

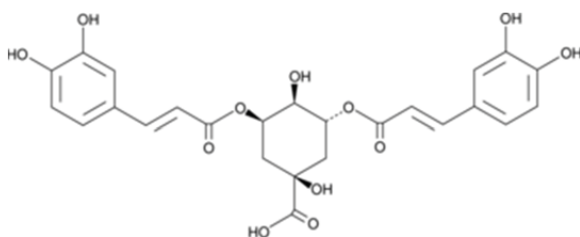


Зеатин

В работе [3] показано, что мощный ингибитор ВИЧ-1 растительного происхождения, 3,5-дикафеоилхиновая кислота (diCQA), подвергается изомеризации под воздействием УФ-излучения, при котором встречающийся в природе 3-*транс*, 5-*транс* изомер diCQA дает 3-*цис*, 5-*транс*-diCQA, 3-*транс*, 5-*цис*-diCQA и

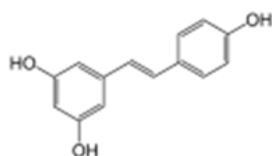


3-*цис*, 5-*цис*-diCQA изомеры. Ингибирование INT ВИЧ-1 УФ-индуцированными изомерами было исследовано с использованием методов молекулярного докинга на основе теории функционала плотности (DFT) для оптимизации геометрии изомеров 3,5-diCQA. Авторами обнаружено, что все геометрические изомеры 3,5-diCQA связываются с каталитическим коровым доменом фермента INT. Более того, *цис*-геометрические изомеры взаимодействуют с металлическим кофактором ВИЧ-1INT. Также обнаружено, что изомер 5-*цис* diCQA взаимодействует как с LYS156, так и с LYS159, которые являются важными остатками для интеграции вирусной ДНК. Авторы заключают, что различия в способах связывания этих естественно сосуществующих изомеров могут допускать более широкую синергетическую активность, которая может быть полезной по сравнению с активностями каждого отдельного изомера.



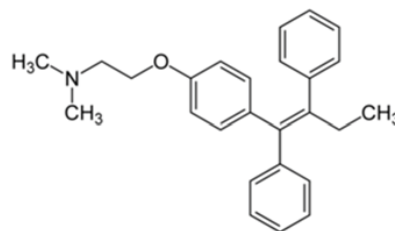
3,5-Дикаффеоилхиновая кислота

Отмечается [4], что ресвератрол (RESV) представляет собой природное фенольное соединение, которое существует в виде *цис*- и *транс*-изомеров [*c*-RESV или (*Z*)-RESV и *t*-RESV или (*E*)-RESV, соответственно]. *t*-RESV – это натуральный компонент *Vitis vinifera* L. (Vitaceae), который присутствует в большом количестве в кожуре винограда (но не в мякоти) и в эпидермисе листьев, а также в винах, особенно в красных. На основе экспериментов *in vitro*, *ex vivo* и *in vivo* показано, что *t*-RESV проявляет ряд биологических активностей, включая противовоспалительные и антиканцерогенные свойства. RESV также присутствует в винах в виде *цис*-изомера, который (в отличие от *t*-RESV) в настоящее время коммерчески недоступен; в результате о фармакологической активности этого изомера известно немного.



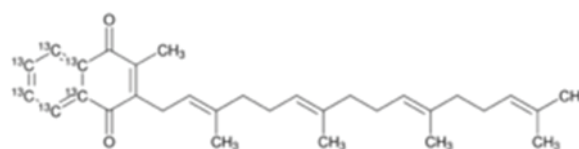
Ресвератрол

Тамоксифен (Tam) – это селективный модулятор рецепторов эстрогена (ER) (SERM), который является важным лекарством для лечения ER-положительного рака молочной железы. Помимо известного воздействия на ER, недавние исследования показали, что Там также проявляет активность в отношении рецепторов каннабиноидов подтипа 1 и 2 (CB1R и CB2R). Авторы отмечают, что *цис*-(*E*-Там) и *транс*-(*Z*-Там) изомеры Там обнаруживают более чем 100-кратную разницу в аффинности к ER [5].



Тамоксифен

Сообщается [6], что адекватное потребление менахинона-7 (МК-7) дает многочисленные преимущества для здоровья. Однако низкая доступность МК-7 в рационе требует разработки диетических добавок или функциональных пищевых продуктов для дополнения натуральных источников пищи и удовлетворения потребностей в ежедневном потреблении. Как и большинство биологических молекул, МК-7 может существовать в виде геометрических изомеров, которые могут находиться в *цис*-, *транс*- и *цис/транс*-формах; однако биологически значима только полностью *транс*-форма. МК-7 традиционно получают путем бактериальной ферментации, но в последнее время стали доступны различные синтетические препараты. На состав изомеров в конечном продукте влияют многочисленные факторы, включая методы производства и очистки, а также особые условия окружающей среды и хранения. Авторы отвечают, что профиль МК-7, полученный различными методами производства, еще не выяснен, и идеальный метод синтеза полностью *транс*-формы витамина также является спорным.

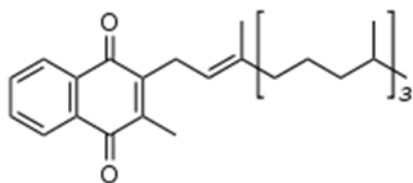


Менахинон (витамин K<sub>2</sub>)

В работе [7] показано, что *цис*- и *транс*-изомеры витамина K<sub>1</sub> были приготовлены с чистотой выше 99,5% и протестированы на влияние на уровень фактора VII в плазме у крыс, пред-

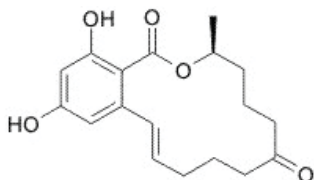


варительно обработанных кумариновым антикоагулянтом. Оба изомера проявляют активность, но у животных, предварительно обработанных кумариновым антикоагулянтом, активность *цис*-изомера составляет приблизительно 1%, а у *транс*-изомера она составляет 10%. *Цис*-изомер также показывает более медленное начало и скорость увеличения ответа. Восстановление 2',3'-двойной связи фитильной боковой цепи любого изомера до одного и того же 2',3'-дигидропроизводного витамина K<sub>1</sub> оставляет активность *транс*-изомера неизменной, но увеличивает активность *цис*-изомера до *транс*-изомера.



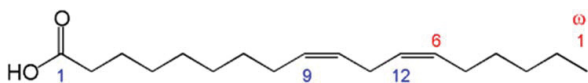
Витамин K<sub>1</sub>

*Цис*- и *транс*-изомеры зеараленона и зеараленола тестировали на утеротропную активность на белых крысах в работе [8]. Метаболиты вводили перорально и местно. Показано, что *цис*-зеараленон был значительно более активен, чем *транс*-изомер, при пероральном введении крысам в рационе или при местном применении путем нанесения на кожу. Однако *цис*-изомер зеараленола существенно не отличался от его *транс*-изомера.



Зеараленон

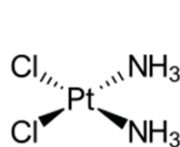
Ярким примером различий в свойствах биологически активных соединений в контексте геометрической изомерии является линолевая кислота, представляющая собой одноосновную карбоновую кислоту с двумя изолированными связями – CH<sub>3</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>3</sub>-(CH<sub>2</sub>CH=CH)<sub>2</sub>(CH<sub>2</sub>)<sub>7</sub>COOH [9].



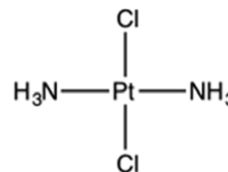
Линолевая кислота относится к семейству омега-6 полиненасыщенных жирных кислот и в организме осуществляет регуляцию свойств клеточных и субклеточных мембран. Примечательно то, что только *цис*-изомер линолевой кислоты может использоваться организмом для синтеза арахидоновой кислоты, в то время как

*транс*-изомеры малоактивны и могут накапливаться в органах и тканях. Вместе с тем, далеко не всегда *транс*-изомеры жирных кислот являются индифферентными. Имеется ряд публикаций, указывающих на связь потребления *транс*-жиров и риском развития сердечно-сосудистых заболеваний, на возникновение рака, диабета, болезни Альцгеймера и других заболеваний.

Цисплатин – это противораковое средство, повреждающее ДНК, которое широко используется для лечения различных типов опухолей [10]. Несмотря на клинический успех, лечение цисплатином все еще связано с рядом ограничивающих дозу токсических побочных эффектов. Целью этого исследования было выяснить молекулярные события, которые важны для противоопухолевой активности цисплатина, с использованием методов профилирования экспрессии генов. Кроме того, был протестирован его клинически неактивный изомер, трансплатин.



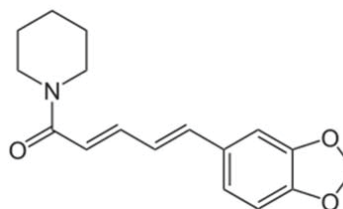
Цисплатин



Трансплатин

В работе [11] изучена противораковая активность трансплатина *in vitro* на панели линий раковых клеток человека и органоидов рака кишечника мыши. Показано, что этот комплекс проявляет значительные противоопухолевые свойства с другим спектром активности, чем у классических бифункциональных сшивающих агентов, таких как цисплатин.

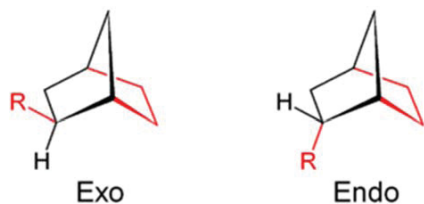
Два чистых фитохимических вещества *цис*-пиперин и *транс*-пиперин, выделенные из сушеных плодов *Piper longum*, были протестированы на антигепатотоксическую активность в дозе 50 мг/кг перорально соответственно по сравнению с силимарином в качестве стандарта. Показано, что фитохимические вещества *цис*-пиперин и *транс*-пиперин показали значительную антигепатотоксическую активность, причем оба изомера по своей активности были приблизительно близки [12].



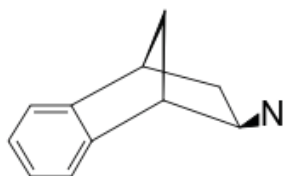
Пиперин



Еще одним видом геометрической изомерии является *эндо-экзо*-изомерия. Это особый тип стереоизомерии, обнаруживаемый в органических соединениях с заместителем в мостиковой кольцевой системе. Префикс *эндо*- зарезервирован для изомера с ближайшим заместителем, или «син», к самому длинному мостику, а в случае изомера с дальним заместителем выделяют *экзо*-изомер (или *анти*-форма). Этот тип изомерии особенно характерен для производных норборнена (норборнана).



Ученые также пытаются определить взаимосвязь между *эндо-экзо*-изомерией и биологической активностью производных норборнена. Так, в работе [13] описан стереоспецифический синтез *эндо*-2-аминобензорборнена. Его симпатомиметическая активность и активность его *N*-метилпроизводного сравнивали с эквивалентными *экзо*-изомерами с использованием изолированной анококцигеальной мышцы крысы и препаратов артериального давления крыс, находящихся под наркозом. На препарате анококцигеальной мышцы *эндо*- и *экзо*-изомеры первичных аминов обладали сходной косвенно действующей симпатомиметической активностью. Напротив, *экзо-N*-метильное производное было гораздо более сильным симпатомом *in vitro*, чем *эндо-N*-метильный изомер. У анестезированных крыс все *экзо*- и *эндо*-изомеры 2-аминобензорборнена и их *N*-метилпроизводные обладали сходной прессорной активностью, хотя последовательные инъекции двух *экзо*-производных предполагали дополнительную активность по блокированию альфа-адренорецепторов.

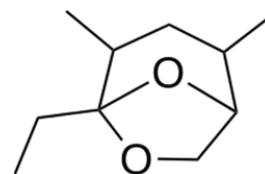


Экзо-аминобензорборнен

В работе [14] на основе реакции Дильса-Альдера с использованием этилдигидробензоата и фенилвинилкетона был синтезирован ключевой промежуточный продукт – *экзо*-6-бензоил-1-карбоэтоксидибензо[2.2.2]-2-октен. Впоследствии он был модифицирован в *экзо*-6-

бензил-1-диметиламинобисцикло[2.2.2]-2-октен. Биологические испытания показали слабую активность этого соединения по сравнению с его *эндо*-изомером.

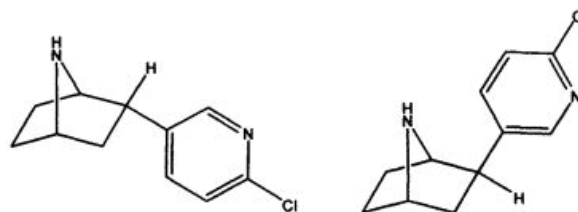
Лабораторные биоанализы и полевые испытания продемонстрировали, что швейцарская популяция жуков-долгоносиков из подсемейства короедов *Scolytus multistriatus* (заболонник струйчатый) намного сильнее реагировала на альфа-мультистриатин (*эндо*-изомер), чем дельта-мультистриатин (*экзо*-изомер) в сочетании с 4-метил-3-гептанолом и альфа-кубебенном [15].



Мультистриатин

Как *экзо*-, так и *эндо*-изомеры 4-фенил-3,5,8-триоксабисцикло[5.1.0]-октана реагировали с тиофенолом с получением индивидуальных диастереомеров гидроксисульфидов, которые затем обрабатывались в поисках новых антимикотических веществ в работе [16]. Показано, что оба изомера обладали высокой антифунгальной активностью.

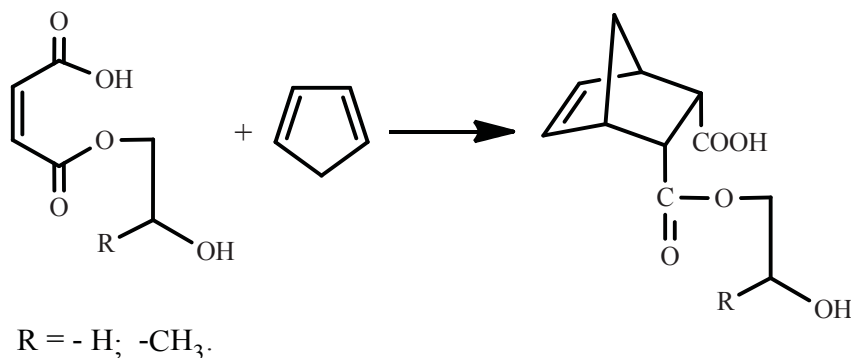
В работе [17] рассмотрен способ получения *экзо*- и *эндо*-изомеров 2-(6'-хлорпиридин-3'-ил)-7-азабисцикло[2.2.1]гептана – анальгетиков неопиоидного действия. Показано, что оба изомера проявляют высокую анальгетическую активность, превышающую морфин.



Эндо-изомер

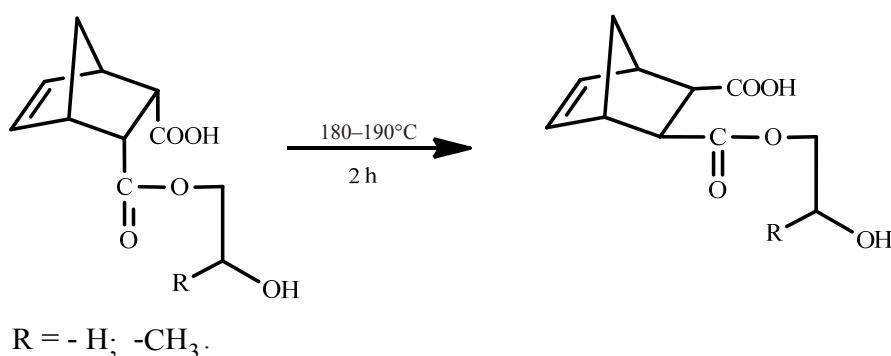
Экзо-изомер

В наших исследованиях была подробно исследована зависимость геометрических изомеров (*эндо*- и *экзо*-) гидроксиалкиловых моноэфиров норборнендикарбоновой кислоты с их строением. Для синтеза  $\beta$ -гидроксиалкиловых моноэфиров эндиковой кислоты использовали реакцию диенового синтеза с участием циклопентадиена и  $\beta$ -гидроксиалкиловых моноэфиров малеиновой кислоты в качестве диенофилов. Реакция получения *эндо*-изомеров вышеуказанных соединений протекает по следующей схеме:



Для получения экзо-изомеров  $\beta$ -гидроксиалкиловых моноэфиров норборнендикарбоновой кислоты полученные ранее соот-

ветствующие *эндо*-изомеры нагревали при температуре 180–190°C в течение двух часов по схеме:



Методика получения синтезированных гидроксиалкиловых моноэфиров бицикло(2.2.1)-гепт-5-ен-2,3-дикарбоновой кислоты подробно описана в работах [18–21]. Целью настоящей работы было проведение исследований по выявлению антимикробной и антифунгальной активности синтезированных нами *эндо*- и *экзо*-изомеров  $\beta$ -гидроксиалкиловых моноэфиров бицикло[2.2.1]-гепт-5-ен-2,3-дикарбоновой кислоты и определению взаимосвязи между их строением и биологической активностью.

Испытания антимикробного действия синтезированных  $\beta$ -гидроксиалкиловых моноэфиров бицикло[2.2.1]-гепт-5-ен-2,3-дикарбоновой кислоты проводились методом серийных разведений. Для этого 1%-ный спиртовой раствор исследуемого вещества разводили в дистиллированной воде до различных концентраций. Затем в каждую пробирку с испытуемым веществом высевали 0.1 мл тест-культуры, содержащей 900 тысяч микробных тел в 1 мл. Высевы делались через 10, 20, 30, 40, 60 мин (время экспозиции). Степень разведения соединений составляла 1:100, 1:200, 1:400, 1:800 и 1:3200 соответственно.

В качестве питательных сред использовали МПА pH 7.2–7.4 для бактерий и среду Сабуро для

грибов. Длительность инкубации в термостате для бактерий была 18–24 ч при 37°C, для грибов 1–10 дней при 28°C.

В качестве тест-культур использовали: грамположительные (золотистый стафилококк), грамотрицательные (синегнойная палочка, кишечная палочка) бактерии, а также дрожжеподобные грибы рода Кандида.

**Золотистый стафилококк** (*Staphylococcus aureus*) представляет собой вид шаровидных грамположительных бактерий из рода стафилококков. В настоящее время приблизительно 25–40% населения являются постоянными носителями этой бактерии, которая может сохраняться на кожных покровах и слизистых оболочках верхних дыхательных путей. *Staphylococcus aureus* может вызывать широкий диапазон заболеваний, начиная с лёгких кожных инфекций до смертельно опасных заболеваний (пневмония, менингит, остеомиелит, эндокардит, сепсис). Этот вид бактерий до сих пор является одной из четырёх наиболее частых причин внутрибольничных инфекций, часто вызывая послеоперационные раневые инфекции.

**Кишечная палочка** (*Escherichia coli*) представляет собой вид грамотрицательных палочковидных бактерий, широко распространённых в



нижней части кишечника человека и животных. Большинство штаммов *E. coli* являются безвредными, однако серотип O157:H7 может вызывать тяжёлые пищевые отравления у людей и животных. Непатогенные бактерии *E. coli*, в норме в больших количествах населяющие кишечник, могут, тем не менее, вызвать развитие патологии при попадании в другие органы или полости человеческого тела (перитонит, кольпит и др.)

**Синежнойная палочка** (*Pseudomonas aeruginosa*) представляет собой вид грамотрицательных подвижных палочковидных бактерий. Обитает в воде, почве, условно патогенна для человека и является возбудителем некоторых инфекционных заболеваний у человека. Лечение затруднительно ввиду ее высокой устойчивости к антибиотикам.

**Дрожжеподобные грибы рода Кандида** (*Candida albicans*) представляют собой форму дрожжеподобных грибов вида диплоидного грибка, способных к спариванию, и являются возбудителем ряда инфекционных заболеваний у человека, которые передаются через рот и гениталии. *Candida albicans* при нормальных обстоятельствах присутствует у 80% людей, не вызывая болезней, хотя чрезвычайное увеличение его количества вызывает кандидоз, часто наблюдающийся у пациентов с иммунодефицитом.

Изучение антимикробной активности вышеуказанных соединений проводились в сравнении с известными бактерицидными препаратами, широко применяемыми в медицинской практике, такими как этанол, риванол, фурациллин, карболовая кислота, хлорамин.

В качестве анализируемых веществ использовали: *эндо-β*-гидроксиэтиловый моноэфир эндиковой кислоты, *экзо-β*-гидроксиэтиловый моноэфир эндиковой кислоты, *эндо-β*-гидроксипропиловый моноэфир эндиковой кислоты, а также *экзо-β*-гидроксипропиловый моноэфир эндиковой кислоты. Результаты исследований представлены в таблице.

Как видно из таблицы, синтезированные *эндо*- и *экзо-β*-гидроксиалкиловые моноэфиры бицикло[2.2.1]-гепт-5-ен-2,3-дикарбоновой кислоты обладают достаточно высокой антимикробной и антифунгальной активностью.

Из таблицы следует, что *β*-гидроксиэтиловые моноэфиры эндиковой кислоты резко отличаются по своей активности в отношении золотистого стафилококка. Так, если *эндо*-изомер этого соединения оказывает губительное воздействие на золотистый стафилококк в течение 10 мин практически при всех степенях разведения, кроме 1:800, при котором антимикробное действие достигается в течение

**Изучение антимикробной активности β-гидроксиалкиловых моноэфиров бицикло[2.2.1]-гепт-5-ен-2,3-дикарбоновой кислоты**

**Study of antimicrobial activity of β-hydroxyalkyl monoesters of bicycle[2.2.1]-hept-5-ene-2,3-dicarboxylic acid**

Соединения / Compounds	Концентрация водных растворов, % Concentration of water solution, %	Тест-культура / Test-culture			
		Время экспозиции, мин / Exposition time, min			
		<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Candida albicans</i>
<i>Эндо-β</i> -гидроксиэтиловый моноэфир НДК / Endo-β-hydroxyethyl monoester of NDA	0.1	10	10	10	10
	0.05	10	10	10	10
	0.025	10	30	10	20
	0.0125	60	60	30	60
<i>Эндо-β</i> -гидроксипропиловый моноэфир НДК / Endo-β-hydroxypropyl monoester of NDA	0.1	10	10	10	10
	0.05	60	60	60	60
	0.0125	60	60	60	60
	0.0125	60	60	60	60
<i>Экзо-β</i> -гидроксиэтиловый моноэфир НДК / Exo-β-hydroxyethyl monoester of NDA	0.1	10	10	10	10
	0.05	10	10	10	10
	0.025	10	30	30	10
	0.0125	20	30	30	20
<i>Экзо-β</i> -гидроксипропиловый моноэфир НДК / Exo-β-hydroxypropyl monoester of NDA	0.1	10	10	10	10
	0.05	10	10	10	20
	0.025	10	20	20	20
	0.0125	60	30	20	20





часа, то для экзо-изомера высокая активность наблюдается лишь при концентрации 0.1 мг/мл.

Экзо-изомер  $\beta$ -гидроксиэтилового моноэфира эндиновой кислоты при высоких степенях разведения менее активен и для воздействия на бактерии золотистого стафилококка ему требуется более длительное время (около часа).

Если сравнивать активность эндо- и экзо-изомеров  $\beta$ -гидроксипропилового моноэфира эндиновой кислоты, то можно отметить, что их активность примерно одинакова, за исключением высокой степени разведения, при которой время экспозиции для эндо-изомера составляет 20 мин, а для экзо-изомера 60 мин.

Примерно аналогичная картина наблюдается в отношении активности синтезированных эндо- и экзо-изомеров  $\beta$ -гидроксиалкиловых моноэфиров бицикло[2.2.1]-гепт-5-ен-2,3-дикарбоновой кислоты в отношении кишечной палочки. Так, для эндо-изомера  $\beta$ -гидроксиэтилового моноэфира время экспозиции с увеличением степени разведения меняется в следующей последовательности: при 1:100 и 1:200 время 10 мин, при 1:400 – полчаса, а при 1:800 требуется около часа. В аналогичном сравнении с экзо-изомером можно отметить, что его активность меняется так же, как и в случае золотистого стафилококка (10, 60, 60 и 60 мин соответственно).

Эндо- и экзо-изомеры  $\beta$ -гидроксипропилового моноэфира эндиновой кислоты в отношении кишечной палочки по своей активности практически одинаковы, однако здесь мы наблюдаем небольшое преимущество у экзо-изомера при степени разведения 1:400, при котором время экспозиции этих изомеров отличаются друг от друга в пользу экзо-изомера (20 минут и 30 мин соответственно).

В отношении синегнойной палочки результаты исследований приводят нас к практически аналогичному выводу. Как видно из таблицы, эндо-изомер гидроксиэтилового моноэфира очень активен и практически при всех степенях разведения имеет время экспозиции 10 мин и только при концентрации 0.0125 мг/мл для него время экспозиции составляет 30 мин.

У экзо-изомера эти показатели значительно ниже (10 минут требуется только при степени разведения 1:100, а при других разведениях время экспозиции возрастает до часа).

Эндо- и экзо-изомеры  $\beta$ -гидроксипропилового моноэфира эндиновой кислоты в отношении синегнойной палочки по своей активности практически одинаковы, но, как и в случае кишечной палочки, при более высо-

ких степенях разведения (1:400 и 1:800) более активен экзо-изомер (время экспозиции 20 мин против 30 мин у эндо-изомера).

Наконец, в случае грибов Кандида, эндо-изомер  $\beta$ -гидроксиэтилового моноэфира эндиновой кислоты намного активнее, чем его экзо-изомер, что подтверждается данными таблицы. Так, для эндо-изомера время экспозиции составляет 10, 10, 20 и 60 мин при степенях разведения 1:100, 1:200, 1:400 и 1:800 соответственно, тогда как для экзо-изомера эти показатели намного ниже (10 мин при разведении 1:100 и 60 мин при всех последующих разведениях).

Эндо- и экзо-изомеры  $\beta$ -гидроксипропилового моноэфира эндиновой кислоты в отношении грибов Кандида по своей активности практически не уступают друг другу, однако при больших разведениях наблюдается доминирование эндо-изомера (при степени разведения 1:200 время экспозиции соответственно для эндо- и экзо-изомеров составляют 10 и 20 мин, при разведении 1:400 соответственно 20 и 30 мин, и наконец, при разведении 1:800 оно составляет соответственно 20 и 30 мин в пользу эндо-изомера).

Подводя итог исследованиям по изучению антимикробной активности  $\beta$ -гидроксиалкиловых моноэфиров бицикло[2.2.1]-гепт-5-ен-2,3-дикарбоновой кислоты, можно прийти к заключению, что эти соединения обладают ярко выраженной антимикробной и антифунгальной активностью по отношению к исследуемым микроорганизмам, причем эндо-изомеры проявляют несколько большую активность, чем их соответствующие экзо-изомеры. Таким образом, можно сделать вывод о возможности использования синтезированных  $\beta$ -гидроксиалкиловых моноэфиров бицикло[2.2.1]-гепт-5-ен-2,3-дикарбоновой кислоты в качестве антисептических препаратов и рекомендовать их для применения в медицинской практике.

#### Список литературы

1. Jagattaran D., Laxman R., Sastry R., Gowrisankar A. Effects of positional and geometrical isomerism on the biological activity of some novel oxazolidinones // Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters. 2005. Vol. 15, №2. P. 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2004.10.073>
2. Schmitz R., Skoog F., Playtis A., Leonar N. Cytokinins: Synthesis and Biological Activity of Geometric and Position Isomers of Zeatin // Plant Physiol. 1972. Vol. 50, № 6. P. 702–705. <https://doi.org/10.1104/pp.50.6.702>
3. Makota M., Dubery I., Koorsen G., Steenkamp P. The Effect of Geometrical Isomerism of 3,5-Dicaffeoylquinic Acid on Its Binding Affinity to HIV-Integrase Enzyme:



- A Molecular Docking Study // *Evid Based Complement Alternat. Med.* 2016. № 10. P. 4138–4142. <https://doi.org/10.1155/2016/4138263>
4. Orailo F. Comparative studies of the antioxidant effects of *cis*- and *trans*-resveratrol // *Curr. Med. Chem.* 2006. Vol. 13, № 1. P. 87–98. <https://doi.org/10.2174/092986706775197953>
  5. Ford B., Franks L., Radomska-Pandya A., Prather P. Tamoxifen Isomers and Metabolites Exhibit Distinct Affinity and Activity at Cannabinoid Receptors: Potential Scaffold for Drug Development // *PLoS One*. 2016. Vol. 11, № 12. P. 1672–1679. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167240>
  6. Lal N., Berenjian L. Cis and trans isomers of the vitamin menaquinone-7: which one is biologically significant // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2020. Vol. 104, № 7. P. 2765–2776. DOI: 10.1007/s00253-020-10409-1
  7. Loventhal J., Vergel-Rivera G. M. Comparison of the activity of the cis and trans isomer of vitamin K1 in vitamin K-deficient and coumarin anticoagulant-pretreated rats // *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*. 1979. Vol. 209, № 3. P. 330–333. PMID: 439009
  8. Mirosha C., Pathre S., Behrens J., Schauerhamer B. Uterotropic activity of cis and trans isomers of zearalenone and zearalenol // *Applied Environment Microbiology*. 1978. Vol. 35, № 5. P. 986–987. <https://doi.org/10.1128/AEM.35.5.986-987.1978>
  9. Carvalho E., Pereira I. M., Mancini-Filho J. Chemical and physiological aspects of isomers of conjugated fatty acids // *Food Science and Technology*. 2010. Vol. 30, № 2. P. 2061–2075. DOI: 10.1590/S0101-20612010000200002
  10. Valenzuela A., Morgado N. Trans fatty acid isomers in human health and in the food industry // *Biol. Res*. 1999. Vol. 32, № 4. P. 273–287. <https://doi.org/10.4067/s0716-97601999000400007>
  11. Zhou W., Almeqdadt M., Xifaras M., Riddell I. The effect of geometric isomerism on the anticancer activity of the monofunctional platinum complex *trans*-[Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(phenanthridine)Cl]NO<sub>3</sub> // *Chem. Commun.* 2018. Vol. 54, № 22. P. 2788–2791. <https://doi.org/10.1039/c8cc00393a>
  12. Tripathi K., Pandey N. D., Bahar A. Structure elucidation and antihepatotoxic activity of cis- and trans-isomers of piperine isolated from dried fruits of Piper longum // *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2014. Vol. 29, № 1. P. 251–258. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6\(1\).251-58](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6(1).251-58)
  13. Burn P., Crooks P., Ratcliffe B., Rees J. Sympathomimetic effects of exo- and endo-isomers of 2-aminobenzonorbornene in vitro and in vivo // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. 1980. Vol. 32, № 2. P. 87–91. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1980.tb12858.x>
  14. Belanger P., Dufresne C. Preparation of exo-6-benzyl-exo-2-(m-hydroxyphenyl)-1-dimethylaminomethylbicyclo[2.2.2.]-tane. A non-peptide mimic of enkephalins // *Canadian Chem. Journal*. 1986. Vol. 64. P. 1514–1520. <https://doi.org/10.1139/v86-248>
  15. Angst M., Mueller C., Lanjer G., Jans P. Response of *Scolytus multistriatus* (Coleoptera: Scolytidae) to alpha- and delta-multistriatin in Switzerland // *Journal of Chemical Ecology*. 1982. Vol. 8, № 11. P. 1345–1352. <https://doi.org/10.15287/afr.2014.196>
  16. Pavelyev R. S., Gnevashev S. G., Vafina R. M., Gnezdilov O. I. Synthesis and antimycotic properties of hydroxy sulfides derived from exo- and endo-4-phenyl-3,5,8-trioxabicyclo[5.1.0]octanes // *Mendeleev Commun.* 2012. Vol. 22. P. 127–128. <https://doi.org/10.1016/j.mencom.2012.05.003>
  17. Пат. RU2591042C1, 2015 Способ получения эндо- и экзо-изомеров 2-(6'-хлорпиридин-3'-ил)-7-азабицикло[2.2.1]гептана / Казаков П. В., Лукашов О. И., Мирзабекова Н. С., Власов М. И.
  18. Gasanov A. G., Mamedov E. G., Ayyubov I. G., Qurbanova M. M. Stereoselective synthesis of acidic 2-oxyalkyl ethers of norbornenedicarboxylic acid on the basis of conjugated cyclodienes of pyrolysis C<sub>5</sub> fraction and investigation of their biological activity // *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*. 2004. № 1. P. 57–60.
  19. Gasanov A. G., Mamedov E. G., Ayyubov I. G., Guseynov N. S. The esters of mono- and dicarboxylic acids of bicycle(2.2.1)-hept-5-ene-series and their biological activity // *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*. 2005. № 2. P. 19–22.
  20. Мамедов Э. Г., Гасанов А. Г., Аюбов И. Г., Бабаева Р. З. Асимметрическое (4+2)-циклоприсоединение: синтез хиральных эфиров норборненкарбоновых кислот // *Азерб. хим. журн.* 2006. № 1. С. 124–128.
  21. Gasanov A. G., Mamedov E. G., Ayyubov I. G., Babayeva R. Z. Stereo- and enantioselective synthesis of monoethers of bicyclic carboxylic acids // *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*. 2006. № 3. P. 52–60.

## References

1. Jagattaran D., Laxman R., Sastry R., Gowrisankar A. Effects of positional and geometrical isomerism on the biological activity of some novel oxazolidinones. *Bioorganic and Medicinal Chemistry Letters*, 2005, vol. 15, no. 2, pp. 337–343. <https://doi.org/10.1016/j.bmcl.2004.10.073>
2. Schmitz R., Skoog F., Playtis A., Leonar N. Cytokinins: Synthesis and Biological Activity of Geometric and Position Isomers of Zeatin. *Plant Physiol.*, 1972, vol. 50, no. 6, pp. 702–705. <https://doi.org/10.1104/pp.50.6.702>
3. Makota M., Dubery I., Koorsen G., Steenkamp P. The Effect of Geometrical Isomerism of 3,5-Dicaffeoylquinic Acid on Its Binding Affinity to HIV-Integrase Enzyme: A Molecular Docking Study. *Evid Based Complement Alternat. Med.*, 2016, no. 10, pp. 4138–4142. <https://doi.org/10.1155/2016/4138263>
4. Orailo F. Comparative studies of the antioxidant effects of cis- and trans-resveratrol. *Curr. Med. Chem.*, 2006, vol. 13, no. 1, pp. 87–98. DOI: 10.2174/092986706775197953
5. Ford B., Franks L., Radomska-Pandya A., Prather P. Tamoxifen Isomers and Metabolites Exhibit Distinct Affinity and Activity at Cannabinoid Receptors: Potential Scaffold for Drug Development. *PLoS One*, 2016, vol. 11, no. 12, pp. 1672–1679. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167240>



6. Lal N., Berenjian L. Cis and trans isomers of the vitamin menaquinone-7: which one is biologically significant. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 2020, vol. 104, no. 7, pp. 2765–2776. <https://doi.org/10.1007/s00253-020-10409-1>
7. Loventhal J., Vergel-Rivera G.M. Comparison of the activity of the cis and trans isomer of vitamin K1 in vitamin K-deficient and coumarin anticoagulant-pretreated rats. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 1979, vol. 209, no. 3, pp. 330–33. PMID: 439009
8. Mirosha C., Pathre S., Behrens J., Schauerhamer B. Uterotropic activity of cis and trans isomers of zearalenone and zearalenol. *Applied Environment Microbiology*, 1978, vol. 35, no. 5, pp. 986–987. <https://doi.org/10.1128/AEM.35.5.986-987.1978>
9. Carvalho E., Pereira I. M., Mancini-Filho J. Chemical and physiological aspects of isomers of conjugated fatty acids. *Food Science and Technology*, 2010, vol. 30, no. 2, pp. 2061–2075. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612010000200002>
10. Valenzuela A., Morgado N. Trans fatty acid isomers in human health and in the food industry. *Biol. Res.*, 1999, vol. 32, no. 4, pp. 273–287. <https://doi.org/10.4067/s0716-97601999000400007>
11. Zhou W., Almeqdadt M., Xifaras M., Riddell I. The effect of geometric isomerism on the anticancer activity of the monofunctional platinum complex trans-[Pt(NH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>(phenanthridine)Cl]NO<sub>3</sub>. *Chem. Commun.*, 2018, vol. 54, no. 22, pp. 2788–2791. <https://doi.org/10.1039/c8cc00393a>
12. Tripathi K., Pandey N. D., Bahar A. Structure elucidation and antihepatotoxic activity of cis and trans-isomers of piperine isolated from dried fruits of Piper longum. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2014, vol. 29, no. 1, pp. 251–258. [https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6\(1\).251-58](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.6(1).251-58)
13. Burn P., Crooks P., Ratcliffe B., Rees J. Sympathomimetic effects of exo- and endo-isomers of 2-aminobenzonorborene *in vitro* and *in vivo*. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 1980, vol. 32, no. 2, pp. 87–91. <https://doi.org/10.1111/j.2042-7158.1980.tb12858.x>
14. Belanger P., Dufresne C. Preparation of exo-6-benzyl-exo-2-(m-hydroxyphenyl)-1-dimethylaminomethyl-bicyclo[2.2.2]-tane. A non-peptide mimic of enkephalins. *Canadian Chem. Journal*, 1986, vol. 64, pp. 1514–1520. <https://doi.org/10.1139/v86-248>
15. Angst M., Mueller C., Lanjer G., Jans P. Response of *Scolytus multistriatus* (Coleoptera: Scolytidae) to alpha- and delta-multistriatin in Switzerland. *Journal of Chemical Ecology*, 1982, vol. 8, no. 11, pp. 1345–1352. <https://doi.org/10.15287/afr.2014.196>
16. Pavelyev R. S., Gnevashev S. G., Vafina R. M., Gnezdillov O. I. Synthesis and antimycotic properties of hydroxy sulfides derived from exo- and endo-4-phenyl-3,5,8-trioxabicyclo[5.1.0]octanes. *Mendeleev Commun.*, 2012, vol. 22, pp. 127–128. <https://doi.org/10.1016/j.mencom.2012.05.003>
17. Pat. RU2591042C1, 2015 *Sposob polucheniya endo- i ekzo-izomerov 2-(6'-chloropiridin-3'-il)-7-azabitsiklo[2.2.1]heptana* [Metod for producing endo- and exoisomers of 2-(6'-chloropyridin-3'-yl)-7-azaficyclo[2,2,1]heptane] / Kazakov P. V., Lukashov O. I., Mairzabekova N. S., Vlasov M. I.
18. Gasanov A. G., Mamedov E. G., Ayyubov I. G., Qurbanova M. M. Stereoselective synthesis of acidic 2-oxyalkyl ethers of norbornedicarboxylic acid on the basis of conjugated cyclodienes of pyrolysis C<sub>5</sub> fraction and investigation of their biological activity. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*, 2004, no. 1, pp. 57–60.
19. Gasanov A. G., Mamedov E. G., Ayyubov I. G., Guseynov N. S. The esters of mono- and dicarboxylic acids of bicycle(2.2.1)-hept-5-ene-series and their biological activity. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*, 2005, no. 2, pp. 19–22.
20. Mamedov E. G., Gasanov A. G., Ayyubov I. G., Babayeva R. Z. Asimmetricheskoe (4+2)-tsikloprisoedinenie sintez chiralnykh efirov norbornenkarbonovykh kislot. *Azerbaijan Chemical Journal*, 2006, no. 1, pp. 124–128.
21. Gasanov A. G., Mamedov E. G., Ayyubov I. G., Babayeva R. Z. Stereo- and eantioselective synthesis of monoethers of bicyclic carboxylic acids. *Processes of Petrochemistry and Oil Refining*, 2006, no. 3, pp. 52–60.

Поступила в редакцию 27.02.21, после рецензирования 10.03.21, принята к публикации 10.03.21  
Received 27.02.21, revised 10.03.21, accepted 10.03.21

## БИОЛОГИЯ

Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 415–420

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 415–420

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-415-420>

Научная статья

УДК 57.047/ 631.53.04

### **Влияние *Amanita muscaria* (класс *Agaricomycetes*, сем. *Amanitaceae*) и *Flammulina velutipes* (класс *Agaricomycetes*, сем. *Physalacriaceae*) на рост и развитие семян *Picea abies* (класс *Pinophyta*, сем. *Pinaceae*) и *Abies sibirica* (класс *Pinophyta*, сем. *Pinaceae*)**

Р. Г. Калякина, Г. Т. Бастаева, Е. М. Ангальт,  
В. А. Симоненкова ✉, О. А. Лявданская

Оренбургский государственный аграрный университет, Россия, 460014, г. Оренбург, ул. Челюскинцев, д. 18

Калякина Раиля Губайдулловна, кандидат биологических наук, доцент кафедры лесоводства и лесопаркового хозяйства, [kalyakina\\_railya@mail.ru](mailto:kalyakina_railya@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-8892-0669>

Бастаева Галия Танамовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесопаркового хозяйства, [oren78@mail.ru](mailto:oren78@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2202-3927>

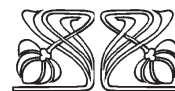
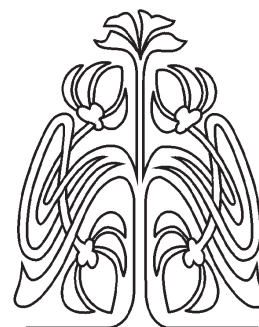
Ангальт Елена Михайловна, кандидат биологических наук, доцент кафедры лесоводства и лесопаркового хозяйства, [elenaangalt@mail.ru](mailto:elenaangalt@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-8401-8288>

Симоненкова Виктория Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства и лесопаркового хозяйства, [simon\\_vik@mail.ru](mailto:simon_vik@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-2897-8778>

Лявданская Ольга Анатольевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры лесоводства и лесопаркового хозяйства, [gomashkaoa@mail.ru](mailto:gomashkaoa@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3640-4475>

**Аннотация.** В статье приводятся исследования влияния *Amanita muscaria* и *Flammulina velutipes* на рост и развитие семян видов семейства *Pinaceae*. Установлено положительное влияние микоризации данными видами грибов на рост и развитие *Picea abies* и *Abies sibirica*. Так, присутствие *Flammulina velutipes* и *Amanita muscaria* в субстрате ускорило появление первых всходов на 4–8 дней. Микоризация *Amanita muscaria* влияла на морфометрию семян *Picea abies* и *Abies sibirica*. Изменилась длина главного корня: у *Picea abies* увеличилась на 17,2%, у *Abies sibirica* уменьшилась на 12,9%, по сравнению с контролем. Длина боковых корней в присутствии *Amanita muscaria* увеличивалась у семян *Picea abies* на 51,0%, семян *Abies sibirica* – на 32,4%, по сравнению с контрольной группой. Высота надземной части в присутствии *Flammulina velutipes* увеличивалась по сравнению с контрольной группой у семян *Picea abies* на 52,2%, семян *Abies sibirica* – на 18,3%. Микоризация семян *Amanita muscaria* вызвала увеличение диаметра стволика у корневой шейки семян *Picea abies* на 13,6%, семян *Abies sibirica* – на 12,1%.

**Ключевые слова:** микориза, семена, жизнеспособность, *Picea abies*, *Abies sibirica*



**НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ**





**Для цитирования:** Калякина Р. Г., Бастаева Г. Т., Ангальт Е. М., Симоненкова В. А., Лявданская О. А. Влияние *Amanita muscaria* (класс *Agaricomycetes*, сем. *Amanitaceae*) и *Flammulina velutipes* (класс *Agaricomycetes*, сем. *Physalacriaceae*) на рост и развитие сеянцев *Picea abies* (класс *Pinophyta*, сем. *Pinaceae*) и *Abies sibirica* (класс *Pinophyta*, сем. *Pinaceae*) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 415–420. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-415-420>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

**Influence of *Amanita muscaria* (class *Agaricomycetes*, fam. *Amanitaceae*) and *Flammulina velutipes* (class *Agaricomycetes*, fam. *Physalacriaceae*) on the growth and development of seedlings of *Picea abies* (class *Pinophyta*, fam. *Pinaceae*) and *Abies sibirica* (class *Pinophyta*, fam. *Pinaceae*)**

**R. G. Kalyakina, G. T. Bastaeva, E. M. Anhalt, V. A. Simonenkova ✉, O. A. Lyavdanskaya**

Orenburg State Agrarian University, 18 Chelyuskintsev St., Orenburg 460014, Russia

Railia G. Kalyakina, kalyakina\_railya@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8892-0669>

Galiya T. Bastaeva, oren78@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2202-3927>

Elena M. Anhalt, elenaangalt@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8401-8288>

Victoria A. Simonenkova, simon\_vik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2897-8778>

Olga A. Lyavdanskaya, romashkaoa@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3640-4475>

**Abstract.** The article presents studies of the influence of *Amanita muscaria* and *Flammulina velutipes* on the growth and development of seedlings of species of the *Pinaceae* family. The positive effect of mycorrhization by these fungi species on the growth and development of *Picea abies* and *Abies sibirica* was established. Thus, the presence of *Flammulina velutipes* and *Amanita muscaria* in the substrate accelerated the appearance of the first shoots by 4–8 days. Mycorrhization of *Amanita muscaria* influenced the morphometry of the seedlings of *Picea abies* and *Abies sibirica*. The main root length changed: in *Picea abies* it increased by 17.2%, in *Abies sibirica* it decreased by 12.9%, compared with the control group. In the presence of *Amanita muscaria*, the length of lateral roots increased by 51.0% in *Picea abies* seedlings, and by 32.4% in *Abies sibirica* seedlings, compared with the control group. The height of the aerial part in the presence of *Flammulina velutipes* increased in comparison with the control group in *Picea abies* seedlings by 52.2% and in *Abies sibirica* seedlings by 18.3%. Mycorrhization of *Amanita muscaria* seedlings caused an increase in the stem diameter at the root collar of *Picea abies* seedlings by 13.6%, and *Abies sibirica* seedlings by 12.1%.

**Key words:** mycorrhiza, seedlings, viability, *Picea abies*, *Abies sibirica*

**For citation:** Kalyakina R. G., Bastaeva G. T., Anhalt E. M., Simonenkova V. A., Lyavdanskaya O. A. Influence of *Amanita muscaria* (class *Agaricomycetes*, fam. *Amanitaceae*) and *Flammulina velutipes* (class *Agaricomycetes*, fam. *Physalacriaceae*) on the growth and development of seedlings of *Picea abies* (class *Pinophyta*, fam. *Pinaceae*) and *Abies sibirica* (class *Pinophyta*, fam. *Pinaceae*). *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 415–420. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-415-420>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

Повышение количества и улучшение качества хвойного посадочного материала дают предпосылки для тщательного изучения особенностей роста и развития молодых растений в определенной экологической обстановке [1–3].

Для этого требуются определенные исследования в области разработки методик оптимизации процессов выращивания здорового посадочного материала, уменьшения сроков выращивания, а также применение новых агротехнических приемов.

Жизнеспособность растений на ювенильном и виргинильном этапах онтогенеза в первую очередь зависит от развития главного корня и боковых всасывающих корешков [4–6].

Для всесторонней оценки качества сеянцев необходимо учитывать не только высоту и диаметр стволика, но и длину главного корня, количество придаточных корней, а также общую длину корней [7–9].

Общеизвестно, что успешность роста древесных растений в естественных условиях зачастую обусловлена взаимовыгодными симбиотическими отношениями корней растений с некоторыми видами грибов. Особенно важны такие отношения на начальных этапах развития сеянцев.

Микоризация сеянцев повышает их приживаемость, способствует улучшению питания и роста растения, усиливает поглощение воды и минеральных элементов, особенно фосфора и азота. Кроме того, микориза может защищать растение от патогенов.

Древесные породы семейства *Pinaceae* рекомендуется микоризировать для повышения приживаемости и улучшения роста в естественных условиях. Однако влияние микоризации на рост и развитие видов семейства *Pinaceae* изучено недостаточно. В современной литературе можно встретить фрагментарные исследования о влиянии микоризных грибов на рост данных видов [10]. Установлено, что



некоторые виды семейства Pinaceae относятся нейтрально к микоризным грибам, к примеру, *Picea sitchensis* не изменяет своих биометрических показателей в присутствии в субстрате *Amanita muscaria*, *Hebeloma crustuliniform*, а также реагирует незначительно на присутствие *Laccaria laccata*. Известны данные о положительном влиянии *Pisolithus tinctorius* на рост *P. abies* и *P. engelmannii* [9–11].

В связи с этим поиск видов грибов, способных оказывать положительное влияние на рост видов семейства Pinaceae, на сегодняшний день перспективен. Особенно важно изучать влияние местной микрофлоры территорий, не входящих в ареал елей, но пригодных для их интродукции.

**Целью данного исследования** являлось изучения влияния *Amanita muscaria* и *Flammulina velutipes* на рост и развитие семян *Picea abies* и *Abies sibirica*, выращиваемых в закрытом грунте.

#### Материалы и методы

Исследования проводились в условиях лаборатории Опытного-производственного центра по лесному делу Оренбургского ГАУ. Семена *Picea abies* и *Abies sibirica* собраны на территории дендрария Оренбургского ГАУ. Лабораторная всхожесть характеризовалась 3-м классом всхожести по ГОСТу [12]. Выращивание семян производилось в готовом грунте «торф низинный» фирмы «Огородник». Предварительно в увлажненных сосновых опилках проращивали мицелий грибов *Flammulina velutipes* и *Amanita muscaria*. Мицелий выращивали в течение трех недель при постоянном поддержании влажности опилок и температуры окружающей среды 20°C, ежедневно емкость с проращиваемым мицелием проветривали. В качестве контроля использовался торф без добавления мицелия.

Учет результатов проводился с появлением первых всходов ежедневно. Сохранность семян определяли как процент выживших проростков к общему числу всходов. Определение биометрических показателей проводили на 48-й день. Высоту надземной части и длину главного корня определяли линейкой, диаметр стволика у корневой шейки при помощи окулярной шкалы микроскопа МБС-10, количество боковых корней – методом пересчета под микроскопом МБС-10.

Для статистической обработки результатов полученные данные были проанализированы с использованием однофакторного параметрического дисперсионного анализа и *t*-критерия Стьюдента с применением программного обеспечения Statistica 7.

#### Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования свидетельствуют о положительном влиянии *Amanita muscaria* и *Flammulina velutipes* на рост и развитие семян *Picea abies* и *Abies sibirica*. Установлено что всхожесть семян *Picea abies* в присутствии в субстрате *Amanita muscaria* увеличивалась на 79,6%, семян *Abies sibirica* в присутствии в субстрате *Flammulina velutipes* – на 23,0%. В присутствии *Flammulina velutipes* в субстрате первые всходы *Picea abies* появились на 4 дня раньше по сравнению с контролем, *Abies sibirica* – на 8 дней. Присутствие *Amanita muscaria* также ускорило появление первых всходов *Abies sibirica* на 8 дней.

Из данных, приведенных в таблице, видно, что различия морфометрических показателей существенны в обоих вариантах с присутствием мицелия по сравнению с контролем, как у семян *Abies sibirica* и *Picea abies*. Однако действие микоризации зависит от видовых характеристик семян и грибов.

На 48-й день эксперимента семена значительно отличались по морфометрическим признакам. Так, по длине главного корня лидировали семена *Picea abies*, культивируемые в субстрате с присутствием *Amanita muscaria* (на 17,2% больше по сравнению с контролем). Минимальная длина главного корня была у семян *Abies sibirica* (на 12,9% меньше по сравнению с контролем).

Сравнение опытных групп показало, что в присутствии в субстрате *Amanita muscaria* у семян *Picea abies* длина главного корня была выше на 25,7%, семян *Abies sibirica* – на 90%, по сравнению с аналогичными сеянцами микоризированными *Flammulina velutipes*.

Количество боковых корней у семян *Picea abies*, микоризированных *Amanita muscaria*, было выше на 54,7% у аналогичных семян *Abies sibirica* и на 68,8% по сравнению с сеянцами из контрольных групп.

Присутствие *Flammulina velutipes* в субстрате по-разному оказывало влияние на рост боковых корней: стимулировало у семян *Picea abies* и угнетало у семян *Abies sibirica*. Количество боковых корней в первом случае увеличилось на 68,8%, во втором – уменьшилось на 40,9% по сравнению с контрольными группами.

Однако данные статистического анализа не выявили зависимости между количеством боковых корней и присутствием микоризы как для *Picea abies*, так для *Abies sibirica*, в то же время зависимость длины боковых корней и состава субстрата была достоверной для обоих видов.

При этом длина боковых корней в присутствии *Amanita muscaria* увеличивалась у семян



**Биометрические показатели сеянцев *Picea abies* и *Abies sibirica***  
**Biometric indicators of seedlings *Picea abies* and *Abies sibirica***

Показатель / Indicator	Грунт / Soil								
	Торф + <i>Flammulina velutipes</i> / Peat + <i>Flammulina velutipes</i>				Торф + <i>Amanita muscaria</i> / Peat + <i>Amanita muscaria</i>				
	min	max	X±Sx	X±Sx	min	max	X±Sx	X±Sx	
<i>Picea abies</i>									
Высота надземной части, мм / Height of the aboveground part, mm	35	70	52,5±0,67*	25	44	34,5±0,24**	24	53	38,5±0,44*
Диаметр стволика у корневой шейки, мм / Diameter of the stem at the root collar, mm	0,5	1,5	1,2±0,04**	0,5	2	1,25±0,08*	0,4	1,8	1,1±0,07
Длина главного корня, мм / Main root length, mm	61	79	71,8±1,02**	38,0	137,9	96,7±1,76*	52	115	82,5±1,41*
Длина боковых корней, мм / Lateral root length, mm	41,0	85,2	60,84±0,83*	29,4	153,2	91,8±1,23**	31	61	46,5±1,58**
Количество боковых корней, шт. / Number of lateral roots, pcs	4	13	8,23±0,11	8	11	9,5±0,35	4	8	6,14±0,19
<i>Abies sibirica</i>									
Высота надземной части, мм / Height of the aboveground part, mm	52	71	61,5±0,83**	36	73	54,5±0,39*	41	63	52±0,68**
Диаметр стволика у корневой шейки, мм / Diameter of the stem at the root collar, mm	1,1	2,3	1,65±0,08	1,0	2,1	1,85±0,11*	1,0	2,3	1,65±0,11*
Длина главного корня, мм / Main root length, mm	20,2	80,7	50,3±1,20**	40,4	150,8	95,1±1,68**	50,0	170,2	110,6±1,43**
Длина боковых корней, мм / Lateral root length, mm	19,7	83,2	51,5±1,04*	40,8	94,7	67,3±1,26*	21,4	81,5	51,2±1,11**
Количество боковых корней, шт. / Number of lateral roots, pcs	2	9	5,6±0,17	11	16	13,4±0,25	5	11	8,2±0,20

Примечание. \* результаты являются статистически достоверными ( $P < 0,05$ ), \*\* – результаты являются статистически достоверными ( $P < 0,01$ ).  
 Note. \* The results are statistically significant ( $P < 0,05$ ), \*\* – the results are statistically significant ( $P < 0,01$ ).



*Picea abies* на 51,0%, семян *Abies sibirica* – на 32,4%, по сравнению с контрольной группой. Присутствие *Flammulina velutipes* стимулировало развитие боковых корней *Picea abies* и практически не оказывало воздействия на длину боковых корней *Abies sibirica*. Данный показатель составил 30,8 и 1% соответственно.

Увеличение общей длины корней отразилось на развитии надземной части, так как на первоначальных этапах развития главный и боковой корни играют важную физиологическую и структурообразовательную роль корневых волосков, выполняющих роль сосущих корней (рисунок).



Развитие корневой системы *Picea abies*: 1 – торф + *Flammulina velutipes*, 2 – торф + *Amanita muscaria*, 3 – торф  
Root system development: 1 – peat + *Flammulina velutipes*, 2 – peat + *Amanita muscaria*, 3 – peat

Отмечена общая закономерность влияния изучаемых видов грибов на рост семян *Picea abies* и *Abies sibirica*. Присутствие в субстрате *Flammulina velutipes* способствовало росту высоты надземной части, присутствие *Amanita muscaria* – утолщению стволика у корневой шейки. Так, высота надземной части в присутствии *Flammulina velutipes* увеличивалась по сравнению с контрольной группой у семян *Picea abies* на 52,2%, семян *Abies sibirica* – на 18,3%. Микоризация семян *Amanita muscaria* вызывала увеличение диаметра стволика у корневой шейки семян *Picea abies* на 13,6%, семян *Abies sibirica* – на 12,1%.

### Заключение

Таким образом, установлено положительное влияние микоризации семян *Flammulina velutipes* и *Amanita muscaria* на рост и развитие растений, о чем свидетельствует достоверное увеличение длины боковых корней семян *Picea abies* и *Abies sibirica*. При этом установлены видовые особенности симбиотических взаимоотношений рассматриваемых видов грибов и древесных растений. Присутствие *Flammulina velutipes* стимулировало рост надземной части и боковых корней и подавляло рост главного корня семян *Picea abies* и *Abies sibirica*. При этом длина боковых корней семян *Picea abies* менее отличалась от такового показателя (5,8%), по сравнению с *Abies sibirica* (30,8%).

Действие *Amanita muscaria* на рост и развитие семян *Picea abies* и *Abies sibirica* было несколько разнонаправленно. Высота надземной части *Abies sibirica* достоверно увеличилась на 4,8% в присутствии микоризы *Amanita muscaria*, а длина главного корня, напротив, уменьшилась на 14,4%. Присутствие данного вида грибов оказало противоположное влияние на *Picea abies*. Высота надземной части достоверно уменьшилась на 10,4%, длина главного корня достоверно увеличилась на 17,2%. При этом установлено увеличение длины боковых корней *Picea abies* и *Abies sibirica* на 97,4 и 31,4% соответственно.

### Список литературы

1. Веселкин Д. В. Анатомическое строение эктомикоризы *Abies sibirica* Ledeb. и *Picea obovata* Ledeb. в условиях загрязнения лесных экосистем выбросами медеплавильного комбината // Экология. 2004. № 2. С. 90–98.
2. Каратыгин И. В. Козволюция грибов и растений. СПб.: Гидрометеоздат, 1993. 115 с.
3. Калякина Р. Г., Рябухина М. В., Рябинина З. Н., Ангальт Е. М. Эколого-биологические особенности хвойных пород деревьев в урбанизированной среде. Оренбург: Оренбургский государственный аграрный университет, 2018. 172 с.
4. Панина Г. А., Калякина Р. Г. Качественные показатели семенного материала кустарниковых пород // Леса России в XXI веке: материалы седьмой международной научно-технической интернет-конференции. СПб.: Санкт-Петербургская Государственная лесотехническая академия им. С. М. Кирова, 2011. С. 98–101.





5. Лобанов Н. В. Микотрофность древесных растений. М. : Лес. пром-сть, 1971. 216 с.
6. Харли Дж. Л. Биология микоризы // Микориза растений : сб. / под ред. Н. В. Лобанова. М. : Сельхозиздат, 1963. С. 15–244.
7. Шемаханова Н. М. Микотрофия древесных пород. М. : Изд-во АН СССР, 1962. 374 с.
8. Редько Г. И., Огиевский Д. В., Наквасина Е. Н., Романов Е. М. Биоэкологические основы выращивания сеянцев сосны и ели в питомниках. М. : Лес. пром-сть, 1983. 64 с.
9. Селиванов И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. М. : Наука, 1981. 232 с.
10. Веселкин Д. В. Строение и микоризация корней сеянцев ели и пихты при изменении почвенного субстрата // Лесоведение. 2002. № 3. С. 12–17.
11. Еропкин К. И. О взаимосвязи форм микоризных окончаний у хвойных // Микориза растений : сб. науч. тр. Пермь : Б. и., 1979. С. 61–77.
12. ГОСТ 13056.6-97 Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. Минск : Изд-во стандартов, 1998. 27 с.
- burg State Agrarian University, 2018. 172 p. (in Russian).
4. Panina G. A., Kalyakina R. G. Qualitative indicators of seed material of shrubs. *Forests of Russia in the XXI century: materials of the Seventh International Scientific and Technical Internet Conference*. Saint Petersburg, Saint Petersburg State Forestry Academy named after S. M. Kirov, 2011, pp. 98–101 (in Russian).
5. Lobanov N. V. *Mikotrofnost' drevesnykh rasteniy* [Mycotrophicity of Woody Plants]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 216 p. (in Russian).
6. Harley J. L. Biology of mycorrhiza. In: *Mikoriza rasteniy: sb., pod red. N. V. Lobanova* [Lobanov N. V., ed. Mycorrhiza of Plants: coll. arts]. Moscow, Selkhozizdat Publ., 1963, pp. 15–244 (in Russian).
7. Shemakhanova N. M. *Mikotrofiya drevesnykh porod* [Mycotrophy of tree species]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1962. 374 p. (in Russian).
8. Red'ko G. I., Ogiyevskiy D. V., Nakvasina E. N., Romanov E. M. *Bioekologicheskiye osnovy vyrashchivaniya seyantssev sosny i eli v pitomnikakh* [Bioecological Basis for Growing Pine and Spruce Seedlings in Nurseries]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 64 p. (in Russian).
9. Selivanov I. A. *Mikosimbiotrofizm kak forma konsortivnykh svyazey v rastitel'nom pokrove Sovetskogo Soyuza* [Mycosymbiotrophism as a Form of Consortium ties in the Vegetation Cover of the Soviet Union]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 232 p. (in Russian).
10. Veselkin D. V. The structure and mycorrhization of the roots of spruce and fir seedlings when changing the soil substrate. *Lesovedenie*, 2002, no. 3, pp. 12–17 (in Russian).
11. Eropkin K. I. On the relationship of the forms of mycorrhizal endings in conifers. In: *Mikoriza rasteniy: sb. nauch. tr.* [Mycorrhiza of Plants: coll. arts.]. Perm, 1979. pp. 61–77 (in Russian).
12. *GOST 13056.6-97 Seeds of trees and shrubs. Germination method*. Minsk, Izd-vo standartov Publ., 1998. 27 p. (in Russian).

## References

1. Veselkin D. V. Anatomical structure of ectomycorrhiza *Abies sibirica* Ledeb. and *Picea obovata* Ledeb. in conditions of pollution of forest ecosystems by emissions from a copper smelter. *Ecology*, 2004, no. 2, pp. 90–98 (in Russian).
2. Karatygin I. V. *Koevol'yutsiya gribov i rasteniy* [Coevolution of Fungi and Plants]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 1993. 115 p. (in Russian).
3. Kalyakina R. G., Ryabukhina M. V., Ryabinina Z. N., Anhalt E. M. *Ekologo-biologicheskiye osobennosti khvoynykh porod derev'yev v urbanizirovannoy srede* [Ecological and Biological Features of Coniferous Tree Species in an Urbanized Environment]. Orenburg, Oren-

Поступила в редакцию 15.03.21, после рецензирования 05.04.21, принята к публикации 17.04.21  
Received 15.03.21, revised 05.04.21, accepted 17.04.21



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 421–433

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 421–433

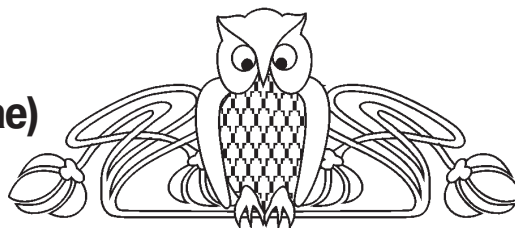
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-421-433>

Научная статья

УДК 581.9:582.734.4(470.344)

## Род манжетка (*Alchemilla* L., Rosaceae) во флоре Чувашии



А. В. Чкалов<sup>1</sup> ✉, М. М. Гафурова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет имени Н. И. Лобачевского, Россия, 603950, г. Нижний Новгород, просп. Гагарина, д. 23

<sup>2</sup>Чувашский национальный музей, Россия, 428032, г. Чебоксары, Красная пл., д. 5/2

Чкалов Андрей Вячеславович, кандидат биологических наук, доцент кафедры ботаники и зоологии, [biofor@yandex.ru](mailto:biofor@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3852-7663>

Гафурова Маргарита Мстиславовна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, [mmgafurova@rambler.ru](mailto:mmgafurova@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2469-9891>

**Аннотация.** Во флоре Чувашской Республики выявлено 40 видов рода *Alchemilla*. Из них 11 (*A. altaica*, *A. argutiserrata*, *A. barbulata*, *A. cheirochlora*, *A. exilis*, *A. gibberulosa*, *A. hebescens*, *A. oxyodonta*, *A. plicata*, *A. sibirica*, *A. vorotnikovii*) приводятся впервые для республики. Два вида (*A. pustynensis* Czkalov, а также *A. obtusa* auct. non Buser) указывались ранее для республики ошибочно. Выявленное видовое богатство соответствует ожидаемому исходя из данных, полученных для сопредельных регионов, и близко к предельно возможному. Видовое богатство в ботанико-географических подрайонах резко различается между лесными (20–27), с одной стороны, и остепненными, степными и зандровыми подрайонами (2–11 видов) – с другой.

**Ключевые слова:** *Alchemilla*, видовое богатство, Поволжье, флористические находки, Чувашская Республика

**Благодарности:** Выражаем благодарность сотрудникам гербариев (ЧНМ, NNSU, MW, LE, IBIW, PVB, YOLA), где проводились работы, С. А. Сенатору (Главный ботанический сад им. Н. В. Цицина РАН) за предоставленные дополнительные материалы.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-04-00183).

**Для цитирования:** Чкалов А. В., Гафурова М. М. Род манжетка (*Alchemilla* L., Rosaceae) во флоре Чувашии // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 421–433. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-421-433>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### The Genus *Alchemilla* L. (Rosaceae) in the Flora of Chuvashia

А. В. Chkalov<sup>1</sup> ✉, М. М. Gafurova<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Lobachevsky University of Nizhny Novgorod, 23 Gagarina Av., Nizhny Novgorod 603950, Russia

<sup>2</sup>Chuvash National Museum, 5/2 Red Square, Cheboksary 428032, Russia,

Andrey V. Chkalov, [biofor@yandex.ru](mailto:biofor@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-3852-7663>

Margarita M. Gafurova, [mmgafurova@rambler.ru](mailto:mmgafurova@rambler.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2469-9891>

**Abstract.** In the flora of the Chuvash Republic, 40 species of the genus are revealed. 11 of these (*A. altaica*, *A. argutiserrata*, *A. barbulata*, *A. cheirochlora*, *A. exilis*, *A. gibberulosa*, *A. hebescens*, *A. oxyodonta*, *A. plicata*, *A. sibirica*, *A. vorotnikovii*) are registered in the Republic for the first time. Earlier, two species (*A. pustynensis* Czkalov and *A. obtusa* auct. non Buser) were noted here erroneously. Species are revealed whose richness corresponds to the level seen in neighbouring regions and approaches the maximum possible. Species richness of the botanical-geographical areas differs crucially between forest (20–27) and other (steppe/steppedied/outwash) landscapes (2–11) species.

**Keywords:** *Alchemilla*, Chuvash Republic, floristic records, species richness, Volga region

**Acknowledgments:** We are grateful to the staff of many herbaria (Chuvash National Museum, NNSU, MW, LE, IBIW, PVB, YOLA), where the work was carried out, Stepan A. Senator (Principal Botanical Garden named after N. V. Tsitsin of RAS), who provided additional data.

This work is supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 20-04-00183).

**For citation:** Chkalov A. V., Gafurova M. M. The Genus *Alchemilla* L. (Rosaceae) in the Flora of Chuvashia. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 421–433. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-421-433>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



К настоящему времени в работах, посвященных изучению флоры Чувашской Республики [1–14] упоминался 31 вид манжеток. По результатам ревизии сборов, хранящихся в Чувашском национальном музее (ЧНМ) и личном гербарии М. М. Гафуровой (ГГ) (2001–2019 гг.), экспедиционных исследований, проведенных на территории республики в 2011 и 2015 гг. А. В. Чкаловым и М. В. Макаровым, эти данные существенно дополнены. Целью работы является составление аннотированного конспекта рода во флоре Чувашской Республики.

### Материалы и методы

128 образцов из гербария ЧНМ и ГГ проверены А. В. Чкаловым (2020), из них большая часть переопределена. Материалы (около 150 листов), собранные в ходе вышеупомянутых экспедиций 2011 и 2015 гг., по большей части хранятся в NNSU. Цитированные сборы определены (если не указано иное) или просмотрены А. В. Чкаловым.

На основе критической ревизии гербарных сборов в ЧНМ, ГГ, NNSU, MW, LE, IBIW, PVB, YOLA и с учетом литературных данных составлен конспект рода *Alchemilla* для Чувашской Республики (54°38'–56°24' с.ш., 46°00'–48°27' в.д.), расположенной в подзоне хвойно-широколиственных лесов на северо-востоке Приволжской возвышенности и в левобережье р. Волги (Чувашском Заволжье) [15–17].

В конспекте виды приведены в алфавитном порядке латинских названий. Для каждого вида приводятся латинское и русское названия вида, основные синонимы, краткие номенклатурные цитаты, характеристика общего распространения, предпочитаемых местообитаний, распространения видов на территории по ботанико-географическим и административным районам; для большинства видов (за исключением самых обыкновенных) цитируются гербарные этикетки. Новые для флоры Чувашии виды [12] отмечены звездочкой (\*).

Кроме общепринятых, введены следующие сокращения: ГПЗ – государственный природный заповедник, заказник – государственный природный заказник, НП – национальный парк, административные районы: Алат. – Алатырский, Алик. – Аликовский; Бат. – Батыревский, Вурн. – Вурнарский, Ибр. – Ибресинский, Кан. – Канашский, Козл. – Козловский, Комс. – Комсомольский, Красн. – Красноармейский, Кр-чет. – Красночетайский, Марп. – Мариинско-Посадский, Морг. – Моргаушский, Порец. – Порецкий, Цив. – Цивильский, Чеб. – Чебоксарский, Шем. – Шемуршинский, Шум. – Шумерлинский, Ядр. – Ядринский,

Янт. – Янтиковский. Регионы: Морд. – Республика Мордовия; МЭ – Республика Марий Эл; Нижегород. – Нижегородская область, Сам. – Самарская область, Тат. – Республика Татарстан, Ульян. – Ульяновская область. Сборщики: М. Г. – М. М. Гафурова, А. Ч. – А. В. Чкалов, М. М. – М. В. Макаров. Прочее: ООПТ – особо охраняемая природная территория; экз. – экземпляр(-ы); Нт – голотип; Ит – изотип; Рт – паратип.

Ботанико-географические районы территории Чувашии [12, 15–17]:

ЗВ – Заволжский низменно-полесский район подтаежных лесов,

АлПС – Алатырский присурский район южной полосы хвойных и смешанных лесов,

КрПС – Красночетайский присурский район широколиственных и смешанных лесов,

ПВ – Приволжский Чебоксарский район нагорных дубрав с небольшим участием ели и сельскохозяйственных ландшафтов на месте сведенных лесов,

Ц – Центральный Канашский подрайон Возвышенно-равнинного района приволжских нагорных дубрав и сельскохозяйственных ландшафтов на месте сведенных дубрав,

СВ – Северо-Восточный Козловский остепненный подрайон Возвышенно-равнинного района приволжских нагорных дубрав и сельскохозяйственных ландшафтов на месте сведенных дубрав,

ЮЗ – Юго-Западный Порецкий район луговых степей и лесов,

ЮВ – Юго-Восточный Яльчикский район Среднерусско-приволжских луговых степей, остепненных лугов и лесов.

### Результаты и их обсуждение

1. *A. acutiloba* Opiz 1838, in Bercht. et Opiz, Oekon.-Techn. Fl. Bohm. 2, 1: 15. – *A. acutangula* Buser 1894, Ber. Schweiz. Bot. Ges. 4: 69; Юз. 1941, во Фл. СССР, 10: 353. – *A. vulgaris* auct. non L.: S. E. Fröhner 1986, Gleditschia 14, 1: 64; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 512. – **М. остроугольная**. Европейско-западносибирский [18]. Во всех областях, обыкновенно [11]. Неоднократно указывался ранее для республики [19, 20]. По лугам, пастбищам, полянам, кустарникам, опушкам, вырубкам.

АлПС: **Алат.:** Алатырский участок ГПЗ «Присурский», 16.VI.1999, Н. В. Налимова (MW).

КрПС: **Шум.:** 4 км к ЮЗ от д. Торханы, сырой луг вдоль отводной канавы дороги по опушке широколиственного леса, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 3 (NNSU); 1 км от вост. окраины г. Шумерля, зарастающая заболоченная вырубка с *Geum rivale*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa pratensis*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 16 (NNSU); вост. окраина г. Шумерля,



окашиваемые лужайки между липами на опушке еловой посадки, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 1 (NNSU).

ПВ: **Чиб.**: Карачуры, совхоз, яровая пшеница, бот. экспед. КГУ в ЧАССР, А. Соколова, 20.VI.1926 (ЧНМ); дорога от Чебоксар в Карачуры, 19.VI.1926, бот. экспед. КГУ в ЧАССР, А. Соколова (ЧНМ); окр. д. Хыркасы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч., (MW, NNSU); **Морг.**, в 2 км зап. д. Юнга, поляна в дубраве, 3.VIII.2006, М. Г. (ГГ); Ильинское л-во, кв. 12, 25.VI.1927, бот. экспед. КГУ в ЧАССР, б/а (ЧНМ); у д. Сярмыськасы, луг на крутом склоне в долине ручья, 12.VI.2008, А. Ч., (NNSU); там же окраина залежи у опушки липняка, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU); **Ядр.**: Ядр. лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU).

Ц: **Вурн.**: 2 км к Ю от д. Тимерчкасы, по опушке лиственничной посадки С экспозиции, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 25 (NNSU); **Красн.**: берег оз. Кошки, 18.VI.2004, М. Г. (ГГ).

2. \**A. altaica* Juz. 1932, Сист. зам. Герб. Томск. ун-та 5–6: 5; он же 1941, во Фл. СССР 10: 371. – **М. алтайская**. Восточноевропейско-центральноазиатский вид. Недавно выявлен в Средней России – Нижегород., МЭ [21]. Опушки, вырубки.

Ц: **Кан.**: 2,5 км к Ю от д. Малые Бикшихи, поляна с мезогигрофильным травостоем (*Ranunculus acris*, *Scrophularia nodosa*) в липняке, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 21 (NNSU).

КрПС: **Шум.**: 1 км от вост. окраины г. Шумерля, зарастающая заболоченная вырубка с *Geum rivale*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa pratensis*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 16 (NNSU).

3. \**A. argutiserrata* H. Lindb. ex Juz. 1932, Сист. зам. Томск. ун-та 5–6 (в примеч.): 4; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 332; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 503. – **М. тонкопильчатая**. Восточноевропейско-западносибирский. Отмечен в Нижегород. [21], Морд. [22]. Лесные поляны.

АлПС: **Шем.**: НП «Чаваш вармане», окр. п. Кучеки, поляна в смешанном лесу, 24.VI.2010, М. Г. (ГГ).

ПВ: **Морг.**: в 2 км зап. д. Юнга, поляна в дубраве, 3.VIII.2006, М. Г. (ГГ).

4. *A. trifolia* Zämelis 1937, Acta Soc. Biol. Latv. 7: 147; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 351 (в прим.). – *A. lindbergiana* auct. non Juz.: В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 511, р. р. – **М. темнолистная**. Восточноевропейско-южносибирский вид, один из немногих, распространенных в лесостепи. Отмечен в Нижегород. и МЭ [21], Морд. [23]. Преимущественно тенистые места: опушки широколиственных лесов, луга и берега водотоков по днищам балок [21].

ЗВ: **Чиб.**: Голодяиха, заливные луга, 10.07.1931, бот. экспед. КГУ в ЧАССР, И. Яковлева (ЧНМ).

АлПС: **Шем.**: НП «Чаваш вармане», окр. с. Асаново, опушка смешанного леса, 5.VII.2014, 20.VII.2019, М. Г. (ГГ); **Алат.**: разъезд Атрат, ГПЗ «Присурский», кв. 36, опушка смешанного леса, 16.VI.1999, Н. В. Налимова (LE, MW).

КрПС: **Ядр.**: луг по берегу р. Урга, 22.VI.1986, В. Папченков (IBIW) [12].

Ц: **Кан.**: (бывш. Цив. у.) с. Шихазаны, д. Выселки, ручей, 13.VII.1928, бот. экспед. КГУ в ЧАССР, И. Яковлева (ЧНМ).

5. *A. baltica* Sam. ex Juz. 6 IX 1940, в Маевск., Фл. ср. пол. евр. ч. СССР 7 изд.: 449; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 523. – *A. nebulosa* Sam. 18 XI 1940, Sv. Bot. Tidskr. 34, 4: 444; Юз. 1941, Фл. СССР 10: 338. – **М. балтийская**. Восточноевропейско-центральноазиатский вид. Во всех сопредельных регионах [11]. Часто. Лесные опушки, поляны, суходольные, мезофитные и пойменные луга, овраги, придомовые лужайки.

ЗВ: **Чиб.** АлПС: **Алат.**, **Шем.** КрПС: **Кр-чет.**, **Шум.** ПВ: **Марп.**, **Морг.**, **Чиб.**, **Ядр.** Ц: **Кан.**, **Ядр.** ЮЗ: **Алат.**, **Порец.**

6. \**A. barbulate* Juz. 1931, Сист. зам. Герб. Томск. ун-та 3: 4; он же 1941, во Фл. СССР 10: 333. – *A. bungei* auct. non Juz.: В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 502, р. р. – **М. бородчатая**. Восточноевропейско-центральноазиатский вид. Отмечен в Нижегород., нередко [21], Морд. [22]. Поляны, опушки, вырубки, луговые склоны, задернованные залежи.

АлПС: **Ибр.**: Ибреси, посев проса, 11.VIII.1927, бот. экспед. КГУ в ЧАССР (ЧНМ); **Шем.**: НП «Чаваш вармане», п. Муллиная, экотропа «Липовый край», 7.VI.2017, М. Г. (ГГ); там же, экотропа «Травкина премудрость», 7.VI.2017, М. Г. (ГГ).

КрПС: **Шум.**: вост. окраина г. Шумерля, окашиваемые лужайки между липами на опушке еловой посадки, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 1 (NNSU); 1 км от вост. окраины г. Шумерля, зарастающая заболоченная вырубка с *Geum rivale*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa pratensis*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 16 (NNSU).

Ц: **Кан.**: 2 км к ЮЗ от д. Малые Бикшихи, лужайки по пологому склону лога СЗ экспозиции с *Poa pratensis*, *Galium mollugo*, *Veronica chamaedrys*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 26 (NNSU).

7. *A. breviloba* H. Lindb. 1909, Acta Soc. Sci. Fenn. 37, 10: 4 (in adnot.); Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 341; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 507. – **М. коротколопастная**. Восточноевропейский вид с оторванными местонахождениями в Средней



Азии. В Средней России – почти во всех областях [11], в Нижег. и МЭ – часто [21]. Луга, травянистые склоны, дубравы, опушки, поляны, вырубки.

КрПС: **Кр-чет.**: охранная зона памятника природы «Группа торфяных болот «Мульча-Топи», суходольный луг [7]; оз. Тимерзяны, 25.VII.1969, Малютин (MW); **Шум.**: 4 км к ЮЗ от д. Торханы, вырубка, суховатые гривки с ежой и вейником наземным, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 14 (NNSU); вост. окраина г. Шумерля, окашиваемые лужайки между липами на опушке еловой посадки, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 1 (NNSU).

ПВ: **Чиб.**: окр. д. Хыркасы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (MW, NNSU);

Ц: **Вурн.**: 2 км к Ю от д. Тимерчкасы, по опушке лиственничной посадки С экспозиции, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 25 (NNSU).

ЮЗ: **Алат.**: с. Стемасы, 12.VI.1928, Вернандер (MW); северный склон оврага близ Алатырских отрогов, 12.VI.1928 (MW).

ЮВ: **Бат.**: в дубняке и на лесном лугу [20].

8. \**A. cheirochlora* Juz. 1951, Бот. мат. (Ленинград) 14: 153; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 504. – **М. ярко-зеленая.**

Эндемик Среднего Поволжья. Отмечается для Нижег., МЭ [21], Морд. [24, 25], Тат. [26]. Как заносное – в Пермском крае, на северо-западе Европейской России [27].

КрПС: **Шум.**: 4 км к ЮЗ от д. Торханы, вырубка, суховатые гривки с ежой и вейником наземным, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 14 (NNSU).

9. *A. conglobata* H. Lindb. 1909, Acta Soc. Sci. Fenn. 37, 10: 36 (in adnot.); Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 338; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 506. – **М. шаровидно-скупенная.** Широко распространенный восточноевропейско-центральноазиатско-кавказский вид. Отмечен во всех сопредельных регионах [11, 28, 29], в Нижег. и МЭ – часто [21]. Опушки и поляны в широколиственных лесах, суходольные, заливные и остепненные луга, кустарники, травянистые склоны, днища балок, вырубки, залежи.

ЗВ: **Чиб.**: Заволжье, оз. Светлое, смешанный лес, 4.VII.2010, М. Г. (ГГ).

АлПС: **Алат.**: разъезд Атрата, ГПЗ «Присурский», кв. 52, опушка леса, 17.VI.1999, Н. Налимова, test. К. П. Глазунова, 2005 (MW); в 7 км ЮВ с. Атрадь, ГПЗ «Присурский», поляна у р. Орлик, 17.VIII.2017, М. Г. (ГГ); **Шем.**: НП «Чаваш вармане», окр. п. Кучеки, луговая поляна, 24.VI.2010, М. Г. (LE); там же, СЗ п. Кучеки, кв. 8, 3.VII.2015, М. Г.; там же, 16.VII.2012, М. Г. (ГГ); там же, окр. с. Бичурга-Баишево, кордон Лопатинский, 17, 19.VI.2011, М. Г. (PVB); там же, близ

с. Бичурга-Баишево, 22.VII.2011, М. Г.; там же, в 3 км зап. Кириллстана, луг у р. Бездна, 4.VII.2015, М. Г. (ЧНМ).

КрПС: **Кр-чет.**: село Четаи, в лесу, 8.VI.1925, А. Савинов (MW); **Шум.**: 4 км к ЮЗ от д. Торханы, вырубка, суховатые гривки с ежой и вейником наземным, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 14 (NNSU); там же, сырой луг вдоль отводной канавы дороги по опушке широколиственного леса, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 3 (NNSU); вост. окраина г. Шумерля, окашиваемые лужайки между липами на опушке еловой посадки, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 1 (NNSU); Ядринский лесхоз, сыровая вырубка в широколиственном лесу, 8.VI.1996, В. Тихомиров (+det.) (MW) [4]; кордон Шумерлинский, сырой луг на просеке ЛЭП с *Angelica sylvestris*, *Geum rivale*, слегка остепненный (с *Filipendula vulgaris*, *Phlomis tuberosa*), 12.VI.2011, А. Ч., М. М., 18 (NNSU).

ПВ: **Чиб.**: Карачуры, ржаное поле, 26.VI.1926, бот. экспед. КГУ в ЧАССР, А. Соколова, det. М. Г. (ЧНМ); **Ядр.**: Ядр. лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU); **Марп.**: окр. д. Ящерино, травянистый склон, 31.05.2008, М. Г., det. М. Г. (ГГ).

Ц: **Красн.**: окр. д. Шивбоси, сухой выгон, 1.VII.2009, М. Г. (ГГ) (2 экз.).

ЮЗ: **Порец.**: в 5–6 км СВ с. Митрополье, 8.VI.1996, В. Тихомиров (+det.) (MW).

ЮВ: **Шем.**: в 5 км ЮЮВ д. Яблоновка, 18.VI.2010, М. Г. (ГГ).

10. *A. cymatophylla* Juz. 1922, Бот. мат. (Ленинград) 3, 11–12: 41; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 345; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 508. – **М. волнистолистная.** Восточноевропейско-южносибирско-кавказский вид. Отмечен во всех сопредельных регионах, кроме Тат. [26], Ульянов. [28]; в Нижег. и МЭ – очень часто [21]. Опушки и поляны в хвойных, смешанных и широколиственных лесах, суходольные и пойменные луга, обочины лесных дорог, остепненные склоны.

АлПС: **Шем.**: НП «Чаваш вармане», окр. с. Бичурга-Баишево, кордон Лопатинский, поляна в смешанном лесу, 15.VIII.2009, М. Г. (ГГ).

КрПС: **Кр-чет.**: с. Красные Четаи, сад, Н. Мидакова, О. Столярова, 1997 (ЧНМ).

ПВ: **Марп.**: Сотниковское л-во, кв. 38, 1.VIII.1927, бот. экспед. КГУ в ЧАССР, И. Яковлева (ЧНМ); окр. д. Юрьевка, долина р. Н. Сундырка, склон, 17.VII.2006, М. Г. (ГГ); **Морг.**: в 2 км зап. д. Юнга, поляна в дубраве, 3.VIII.2006, М. Г. (ГГ).

Ц: **Вурн.**: 2 км к Ю от д. Тимерчкасы, по опушке лиственничной посадки С экспозиции, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 25 (NNSU).



СВ: **Козл.:** окр. ст. Тюрлема, хвойно-широколиственный лес, 17.VII.2011, М. Г. (ГГ).

ЮВ: **Шем.:** в 5 км ЮЮВ д. Яблоновка, остепненный склон, 18.VI.2010, М. Г. (ГГ).

11. ***A. dasycrater*** Juz. 1951, Бот. мат. (Ленинград) 14: 151; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 503. – **М. пушистоцветковая.** Эндемик Среднего Поволжья. Редкий вид, указывается для Морд, Тат., Твер. [11], в Нижегород. – очень редко, МЭ – нередко [21]. По сырым лесным полянам, опушкам, лугам, травянистым склонам оврагов, балок и речных долин.

ПВ: **Ядр.:** Ядр. лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (MW); **Чиб.:** окр. д. Хыркасы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (MW); **Морг.:** у д. Сярмыськасы, луг на крутом склоне в долине ручья, 12.VI.2008, А. Ч. (MW).

12. ***A. decalvans*** Juz. 1933, Тр. Бот. ин-та АН СССР 1, 1: 125; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 360; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 516. – **М. лысеющая.** Эндемик центральных и восточных районов европейской части России, включая Урал. Указывается для Пенз. и Нижегород. [11, 21, 29]. По лесным полянам.

АлПС: **Шем.:** НП «Чаваш вармане», окр. п. Кучеки, луговая поляна, 26.VI.2010, М. Г. (ЧНМ, LE) [5].

13. **\**A. exilis*** Juz. 1931, Тр. Бот. сада АН СССР 43, 2: 537 (русс.); Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 325; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 502. – ***A. rubens*** Juz. 1941, во Фл. СССР 10: 626. – **М. тощая.** Вид востока Средней России и, после дизъюнкции, гор Центральной Азии. Очень редкий вид, указывается для Морд., Ульянов. [11, 23, 28], Нижегород. [21]. Сосняки, опушки лесов.

АлПС: **Шем.:** (НП «Чаваш вармане»), в 4 км от южн. Кириллстана, ур. «Фабрика», опушка сосняка, 8.VII.2012, М. Г. (sub. nom. *A. hirsuticaulis* Н. Lindb.) (РВВ-016392) [8]; окр. п. Муллиная, вытоптанная луговина на опушке дубравы, 12.VII.2017, М. Г. (ГГ); окр. с. Бичурга-Баишево, опушка смешанного леса, 10.VII.2010, М. Г. (ГГ); Кириллстан, опушка сосняка, 10.VII.2010, М. Г. (ГГ).

14. **\**A. gibberulosa*** Н. Lindb. 1909, Acta Soc. Sci. Fenn. 37, 10: 4 (in adnot.); Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 329; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 502. – **М. горбиковатая.** Восточноевропейский эндемик (характерный преимущественно для регионов Средней России). Из сопредельных регионов указывается для Морд. [11, 23], в Нижегород. – редко [21]. Луговые склоны и опушки дубрав.

АлПС: **Шем.:** НП «Чаваш вармане», окр. с. Бичурга-Баишево, опушка дубравы, 10.VII.2010, М. Г. (ГГ).

ЮЗ: **Алат.:** с. Стемасы, северный склон к оврагу близ Алатырских отрогов, 12.VI.1928, Вернандер (MW).

15. ***A. glabricaulis*** Н. Lindb. 1909, Acta Soc. Sci. Fenn. 37, 10: 3 (in adnot.); Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 376; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 519. – **М. голостебельная.** Восточноевропейский вид. Отмечен во всех сопредельных регионах [11]; в Нижегород. и МЭ – часто [21]. По тенистым и влажным опушкам и полянам, просекам, луговым склонам, болотистым лугам.

АлПС: **Алат.:** Алатырский участок ГПЗ «Присурский», 17.VI.1999, Н. В. Налимова (MW).

КрПС: **Шум.:** вост. окраина г. Шумерля, окашиваемые лужайки между липами на опушке еловой посадки, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 1 (NNSU); 4 км к ЮЗ от д. Торханы, вырубка, суховатые гривки с ежой и вейником наземным, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 14 (NNSU); кордон Шумерлинский, сырой луг на просеке ЛЭП с *Angelica sylvestris*, *Geum rivale*, слегка остепненный (с *Filipendula vulgaris*, *Phlomis tuberosa*), 12.VI.2011, А. Ч., М. М., 18 (NNSU).

ПВ: **Чиб.:** д. Сирмапоси, травяное болото, 15.VI.2018, М. Г. (ГГ); **г. Чебоксары,** возле кладбища на сев. стороне, 18.V.1924, Н. Петрова (MW); **Ядр.:** Ядр. лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU, MW).

Ц: **Кан.:** 2 км к ЮЗ от д. Малые Бикшихи, лужайки по пологому склону лога СЗ экспозиции с *Poa pratensis*, *Galium mollugo*, *Veronica chamaedrys*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 26 (NNSU); 2,5 км к Ю от д. Малые Бикшихи, поляна с мезогигрофильным травостоем (*Ranunculus acris*, *Scrophularia nodosa*) в липняке, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 21 (NNSU); **Янт.:** д. Уразкасы Цив. у. (Янтик.), 15.VI.1924, Н. Петрова (MW); с. Турмыши (Янтик.), 18.VI. и 10.VII.1924, Н. Петрова (MW).

ЮЗ: **Алат.:** у г. Алатырь, притеррасный склон левого берега р. Суры, Воеводские луга, 11.VII.2004, М. Г., test. Н. Н. Цвелев (LE) [12]; **Порец.:** в 5–6 км СВ с. Митрополье (Горьковской обл.), опушка дубравы по склону балки, 23.VI.1982, В. Тихомиров, А. Симонова, С. Язвенко, det. В. Тихомиров (MW).

16. ***A. glaucescens*** Wallr. 1840, Linnaea 14: 134; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 497. – ***A. minor*** auct. non Huds.: Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 316. – **М. сизоватая.** Европейский вид (заносный в Канаде), тяготеющий к северным и западным областям «Флоры...» [11], доходящий на восток до Тат. [26] и Пермского края [27], не отмечен в МЭ [21] и Ульянов. [28]. Поляны, просеки, травянистые склоны.



ПВ: **Чиб.**: окр. д. Хыркасы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU); **Морг.**: с. Ильинка, поляна в дубраве, 23.VI.2018, М. Г. (ГГ); **Ядр.**: Ядринское лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (MW).

17. \**A. hebescens* Juz. 1931, Тр. Бот. сада АН СССР 43, 2: 537 (русс.); Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 330; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 502. – **М. притупляющаяся**. Редкий восточноевропейско-центральноазиатский вид. Из соседних регионов указывается для Нижег. (очень редко) [21], Морд. [23, 24] и Ульянов. [11, 28]. Сосняки.

АлПС: **Шем.**: НП «Чаваш вармане», сев. с. Асаново, сосняк дубовый, 20.VI.2018, М. Г. (ГГ).

18. *A. heptagona* Juz. 1922, Бот. мат. (Ленинград) 3: 45; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 376; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 516. – **М. семиугольная**. Восточноевропейский бореальный вид. Известен в Морд. [11, 23, 24], в Нижег. и МЭ – нередко [21]. Сырые луга, вырубки, опушки дубрав, луговые склоны.

КрПС: **Шум.**: 4 км к ЮЗ от д. Торханы, вырубка, суховатые гривки с ежой и вейником наземным, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 14 (NNSU); там же, сырой луг вдоль отводной канавы дороги по опушке широколиственного леса, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 3 (NNSU).

ПВ: **Чиб.**: окр. д. Хыркасы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU); **Марп.**: окр. д. Юрьевка, долина р. Н. Сундырка, дубравный склон, 17.VII.2006, М. Г. (ГГ).

19. *A. hirsuticaulis* H. Lindb. 1904, Meddel. Soc. Fauna Fl. Fennica 30: 143; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 323; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 499. – **М. жестковолосистостебельная**. Восточноевропейско-центрально-азиатский вид. Во всех областях [11], в Нижег. и МЭ – очень часто [21]. Остепненные, степные и залуженные склоны, сухие луга, сосняки.

АлПС: **Алат.**: ГПЗ «Присурский», кв. 19, луговина, опушка леса, 17.VI.1999, Н. В. Налимова, test. К. П. Глазунова (MW); там же, в 7 км ЮВ ст. Атрать, поляна у р. Орлик, 17.VIII.2017, М. Г. (ГГ); там же, в 1 км ЮЗ ст. Атрать, сосняк у ЛЭП, кв. 54, 28.VII.2017, М. Г. (ГГ); между г. Алатырь и Н. Айбеси, луг в пойме р. Бездна, V.1916, А. П. Шенников, det. С. Юзепчук (LE), [30]; **Порец.**: Порецкое л-во, 11.VIII.1928, бот. экспед. КГУ в ЧАССР, И. Яковлева (ЧНМ).

КрПС: **Шум.**: кордон Шумерлинский, сырой луг на просеке ЛЭП с *Angelica sylvestris*, *Geum rivale*, слегка остепненный (с *Filipendula vulgaris*, *Phlomis tuberosa*), 12.VI.2011, А. Ч., М. М., 18 (NNSU).

Ц: **Ядр.**: д. Чиганары, сурковый склон, 12.VI.2007, М. Г. (ГГ); д. Торхлово, 12.VI.2007, М. Г. (ГГ).

ЮЗ: **Алат.**: с. Ичиксы, луг у дома, 8.V.1975, В. Макаров (+ det.) (МНА); с. Стемасы, восточный склон к оврагу близ Алатырских отрогов, 12.VI.1928, Вернандер (MW); северный склон к оврагу Стемашки близ Алатырских отрогов, 12.VI.1928, Вернандер, Жохарев, det. С. Юзепчук (LE); **Порец.**: пос. Волчий Враг, северный и западный степные склоны, 25.VI.1930, бот. экспед. КГУ в ЧАССР (ЧНМ); в 5–6 км СВ с. Митрополье (Горьковской обл.), остепненный луг по склону балки, 23.VI.1982, В. Тихомиров, А. Тимонин, det. В. Тихомиров (MW); в 6 км ВСВ с. Митрополье (Горьковской обл.), степной склон, 23.VI.1982, В. Тихомиров, Т. Троицкая, П. Токарев, det. В. Тихомиров (MW).

ЮВ: **Бат.**: сухой луг у соснового леса на песке [20]; **Шем.**: в 5 км ЮЮВ д. Яблоновка, остепненный склон, 18.VI.2010, М. Г. (ГГ).

20. *A. homoeophylla* Juz. 1951, Бот. мат. (Ленинград) 14: 159; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 514. – **М. одинаковолистная**. Эндемик Среднего Поволжья, описанный из Тат. [18]. Очень редкий вид. Отмечен в Морд. [25], Нижег. и МЭ [21]. Залуженные склоны.

ПВ: **Чиб.**: окр. д. Хыркасы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU).

21. *A. lindbergiana* Juz. 1923, Бот. мат. (Ленинград) 4, 23–24: 181; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 350; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 511, р. р. – **М. Линдберга**. Восточноевропейский бореальный вид. Отмечен в Морд. [25], Тат. [26]; в Нижег. и МЭ – изредка [21]. Влажные опушки и поляны в дубравах, кустарники, сырые луга.

АлПС: **Шум.**: охранная зона памятника природы «Торфяное болото Большое Сосновое» [6]; **Шем.**: НП «Чаваш вармане», окр. п. Кучеки, луговая поляна, 24.VI.2010, М. Г. (LE); там же, п. Муллина, экотропа «Липовый край», кв. 89, опушка дубравы, 12.VII.2017, М. Г. (ГГ).

КрПС: **Ядр.**: закустаренный луг по берегу р. Урга, 22.VI.1986, В. Папченков (IBIW).

22. *A. micans* Buser 1893, Bull. Herb. Boiss. 1, Append. 2: 28; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 348; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 510–511. – *A. gracilis* auct. mult. non Opiz. – **М. сверкающая**. Евро-сибирский, заносный на многих континентах, вид. Один из самых обыкновенных, широко распространенных видов. Во всех областях [11], неоднократно указывался для региона [8, 20, 31, 32]. По лугам, пастбищам, полянам, лесам, дорогам, полям, берегам водоемов.



АлПС: Алат., Шем., Комс. КрПС: Шум. ПВ: г. Чебоксары, Марп., Морг., Чеб., Ядр. Ц: Алик., Вурн., Кан., Цив., Ядр., Янт. ЮЗ: Порец. [12].

23. *A. mininzonii* Czkalov 2011, Turczaninowia 14, 3: 11. – М. Мининзона. Эндемик Среднего Поволжья [10]. Довольно обычный в регионе вид, в Нижег. и МЭ – часто [21]. По лугам, полянам и опушкам лесов.

АлПС: Комс.: Комсомольское л-во, лесная поляна, 19.VII.2006, М.Г. (ГГ); там же, кв. 70, 19.VII.2006, М. Г. (ГГ).

КрПС: Шум.: вост. окраина г. Шумерля, оканчиваемые лужайки между липами на опушке еловой посадки, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 1 (NNSU); 1 км от вост. окраины г. Шумерля, зарастающая заболоченная вырубка с *Geum rivale*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa pratensis*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 16 (NNSU); 4 км к ЮЗ от д. Торханы, вырубка, суховатые грибки с ежой и вейником наземным, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 14 (NNSU).

ПВ: Марп.: окр. г. Мариинский Посад, дубрава, 5.VIII.2001, М. Г. (ГГ); Ядр.: Ядр. лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (Ht – LE, It – ALTB) [10].

Ц: Вурн.: 2 км к Ю от д. Тимерчкасы, по опушке лиственничной посадки С экспозиции, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 25 (NNSU); Янт.: с. Турмышы (Янтик.), 5.VII.1924, Н. Петрова (MW).

ЮЗ: Алат.: [с. Стемасы], близ Алатырских отрогов, восточный склон оврага, 1928, [Вернандер] (MW).

24. *A. monticola* Opiz 1838, in Bercht. et Opiz, Oekon.-Techn. Fl. Boehm. 2, 1: 13; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 504. – *A. pastoralis* Buser 1891, Not. Alchim.: 18; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 334. – М. горная. Европейско-западносибирский. Один из самых обычных видов во всех регионах Средней России [11], в т. ч. указывался для республики [20].

По лугам, холмам, придорожным луговинам, осветленным лесам.

ЗВ: Чеб. [2]. АлПС: Ибр., Шем. КрПС: Шум. ПВ: Марп., Морг. Ц: Алик., Вурн., Красн., Цив.

Экземпляр, на основании которого для республики указывалась *A. pustynensis* Czkalov, переопределен как представитель данного вида.

25. *A. nemoralis* Alechin 1928, Предв. отчет о раб. Нижегород. геобот. экспед. в 1927 г.: 79 (in adnot.); Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 352; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 512, р. р. – М. дубравная. Восточноевропейский вид, тяготеющий к лесостепным областям. Отмечен в Морд. [11]; в Нижег. – только в Правобережье [21]. По лесам,

преимущественно широколиственным, полянам, опушкам, лугово-степным склонам, кустарникам, у выходов ключей.

АлПС: Алат.: разъезд Атрат, ГПЗ «Присурский», кв 36, опушка смешанного леса, 16.VI.1999, Н. В. Налимова (MW) [31]; Шем.: НП «Чаваш вармане», п. Муллиная, лесные поляны [8]; там же, окр. п. Кучеки, лесная поляна, 24.VI.2010, М. Г. (ГГ); там же, сев. с. Асаново, шпажниковый луг, 5.VII.2014, М. Г. (ГГ).

КрПС: Шум.: 4 км к ЮЗ от д. Торханы, сырой луг вдоль отводной канавы дороги по опушке широколиственного леса, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 3 (NNSU).

Ц: Ядр.: луг на берегу р. Арбашка, 24.VI.1986, В. Папченков (IBIW).

ЮЗ: Порец.: вост. с. Митрополье Горьков. обл., по склону балки, на опушке дубняка, 23.VI.1982, В. Тихомиров, Т. Троицкая, det. В. Тихомиров (MW); там же, остепненный склон балки, в кустах, 23.VI.1982, В. Тихомиров (+det.) (MW) [33]; правобережье р. Киша, в 3 км юго-зап. п. Зеленый Дол, заказник «Ендовский степной склон», луговая степь, 29.V.2013, М. Г. (ЧНМ) [12].

ЮВ: Шем.: в 5 км юго-юго-вост. от д. Яблонька, опушка леса, 18.VI.2010, М. Г. (LE).

26. \**A. oxyodonta* (Buser) C. G. Westerl. – М. острозубчатая.

Североевропейский вид, обнаруженный в настоящее время в высокогорных поясах Урала (неопубл. данные). Приведенное местонахождение заносное, в полосе отчуждения автомобильной трассы.

Ц: Вурн.: 2 км к Ю от д. Тимерчкасы, по опушке лиственничной посадки С экспозиции, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 25 (NNSU).

27. \**A. plicata* Buser 1893, Bull. Herb. Boiss. 1, append. 2: 20; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 319; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 500. – М. складчатая. Европейский вид. Из сопредельных регионов указывается для Нижег., МЭ – изредка [21]. Поляны и опушки смешанных, сосновых лесов, дубравы, остепненные луга.

АлПС: Алат.: ст. Айбеси, луг около оврага Ор-Бездны, 3.VII.1927, бот. экспед. КГУ в ЧАССР (ЧНМ); Шем.: НП «Чаваш вармане», окр. п. Кучеки, сырая поляна, 24.VI.2010, 3.VII.2015, М. Г. (ГГ); там же, окр. с. Бичурга-Баишево, кордон Лопатинский, поляна в смешанном лесу, 17–19.VI.2011, М. Г. (ГГ); там же, в 3 км зап. Кириллстана, луг у р. Бездна в окружении сосняка липового, 4.VII.2015, М. Г. (ГГ).

ПВ: Марп.: окр. г. Мариинский Посад, дубрава у а/д, 17.VI.2009, М. Г. (ГГ).





Ц: **Цив.**: окр. д. Красная горка, ЮЗ склон, остепненный луг, 6.VI.2009, М. Г. (ГГ).

28. **A. propinqua** Н. Lindb. ex Alexandrov et Nekr. 1923, в Александров и Некрасова, Нескучн. сад и его растит.: 126 (русс.); Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 336; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 505. – **М. близкая**. Широко распространенный восточноевропейский вид. Отмечен во всех сопредельных регионах [11], в Нижег. и МЭ – очень часто [21]. Пойменные, материковые и остепненные луга, основания остепненных склонов, опушки хвойных, смешанных лесов, дубрав и березняков, разреженные березняки, просеки, вырубки, обочины грунтовых дорог, зарастающие залежи, придомовые и придорожные лужайки.

АлПС: **Алат.**, **Ибр.**, **Шем.**, **Шум.** КрПС: **Шум.**, **Ядр.** ПВ: **Чиб.**, **Марп.**, **Ядр.** Ц: **Алик.**, **Вурн.**, **Шум.** ЮЗ: **Порец.** ЮВ: **Шем.**

29. **A. sarmatica** Juz. 1936, Тр. Бот. инст. АН СССР 1, 3: 202; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 340; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 507. – **М. сарматская**. Европейско-центральноазиатско-кавказский вид. Отмечен во всех сопредельных регионах [11], в Нижег. и МЭ – очень часто [21]. Поляны и опушки в смешанных лесах и дубравах, луговые склоны, вырубки.

АлПС: **Шум.**: 12 км к юго-вост. от д. Б. Алгаши, лесная поляна, 23.VII.1949, Горячкина, det. С. Юзепчук (LE) [11].

КрПС: **Кр-чет.**: Пандиковское лес-во, кордон 11, кв. 79, оз. Большие Тимерзяны, поля дубового леса, 25.VII.1969, К. Г. Малютин, det. В. Тихомиров (MW); **Шум.**: 4 км к ЮЗ от д. Торханы, вырубка, суховатые гривки с ежой и вейником наземным, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 14 (NNSU).

ПВ: **Чиб.**: окр. д. Хыркасы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU); г. **Чебоксары**: 18.V.1924, Н. Петрова (под назв. *A. strigulosa* Bus.: С. Юзепчук 1937, test. К. П. Глазунова, 2005) (MW) [12]; **Марп.**: окр. д. Сутчево, склон, 31.V.2008, М. Г. (ГГ); **Ядр.**: Ядр. лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU).

Ц: **Кан.**: 2,5 км к Ю от д. Малые Бикшихи, поляна с мезогигрофильным травостоем (*Ranunculus acris*, *Scrophularia nodosa*) в липняке, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 21 (NNSU).

30. **A. schistophylla** Juz. 1933, Тр. Бот. инст. АН СССР 1, 1: 121; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 335; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 504. – **М. расщепленнолистная**. Восточноевропейский бореальный вид. Из сопредельных регионов указывается для Морд., Тат. [11], в Нижег. и МЭ – нередко [21]. Травянистые склоны, просеки.

ПВ: **Ядр.**: Ядр. лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU); **Морг.**: у д. Сярьмыськасы, луг на крутом склоне в долине ручья, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU).

31. **A. schmakovii** Czkalov 2015, Nordic J. Bot. 33, 5: 519. – **М. Шмакова**. Описан как эндемик Среднего Поволжья: из Нижег., Сам., МЭ, Морд., Тат. и Чувашии [13]. Впоследствии выявлен и на Урале [27]. Травянистые склоны, опушки смешанных и широколиственных лесов, обочины лесных дорог, сырые луга, вырубки.

АлПС: **Шем.**: НП «Чаваш вармане», сев. с. Асаново, мезофитный луг, 5.VII.2014, М. Г. (ГГ).

КрПС: **Шум.**: 4 км к ЮЗ от д. Торханы, вырубка, суховатые гривки с ежой и вейником наземным, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 14 (NNSU); там же, сырой луг вдоль отводной канавы дороги по опушке широколиственного леса, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 3 (NNSU); 1 км от вост. окраины г. Шумерля, зарастающая заболоченная вырубка с *Geum rivale*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa pratensis*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 16 (NNSU).

ПВ: **Чиб.**: окр. д. Хыркасы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (Pt – LE) [13].

32. **A. semilunaris** Alechin 1922, Бот. мат. (Ленинград) 3: 132; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 346; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 508. – **М. полулунная**. Восточноевропейский бореальный вид. Для Морд. указан как редкий [24], в Нижег. и МЭ встречается изредка [21]. По тенистым и влажным местам: опушкам, полянам, вырубкам, просекам в широколиственных и смешанных лесах.

АлПС: **Алат.**: ГПЗ «Присурский», кв. 36, опушка смешанного леса, 16.VI.1999, Н. Налимова, test. К. П. Глазунова (MW).

КрПС: **Шум.**: 1 км от вост. окраины г. Шумерля, зарастающая заболоченная вырубка с *Geum rivale*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa pratensis*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 16 (NNSU); 4 км к ЮЗ от д. Торханы, сырой луг вдоль отводной канавы дороги по опушке широколиственного леса, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 3 (NNSU).

ПВ: **Чиб.**: западные окр. г. Чебоксары, лиственный лес, 4.X.2008, В. Васюков, А. Чкалов, С. Сенатор (PVB); **Морг.**: с. Ильинка, поляна в дубраве, 23.VI.2018, М. Г. (ГГ); **Ядр.**: Ядр. лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU).

ЮЗ: **Порец.**: близ с. Митрополье, по склону балки, на опушке дубняка, 23.VI.1982, В. Тихомиров, Т. Троицкая, det. В. Тихомиров (MW).

33. **\*A. sibirica** Zämelis 1931, Сист. зам. Герб. Томск. ун-та 3: 3; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 338, р. р.; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 506, р.



р. – *A. conglobata* auct. non H. Lindb.: Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 338, р. р.; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр., 10: 506, р. min. р. – **М. сибирская**. Восточноевропейско-центральноазиатско-кавказский вид [27]. В Нижег. и МЭ – изредка [21]. Поляны, обочины дорог.

АлПС: **Шем.**: НП «Чаваш вармане», окр. п. Кучеки, лесная поляна, 24.VI.2010, М. Г. (ГГ); там же, сев. д. Асаново, к. Дружба, дорога, 17–19.VI.2011, М. Г. (ГГ).

34. *A. subcrenata* Buser 1893, in Magnier, Scr. Fl. Select. 12: 18; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 355; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 514. – **М. городковатая**. Европейско-сибирский вид. Указано как натурализовавшееся в Канаде. Почти во всех областях Средней России [11]; в Нижег. и МЭ – очень часто [21]. По лесам, кустарникам, опушкам, оврагам, заливным лугам.

КрПС: **Шум.**: 4 км к ЮЗ от д. Торханы, вырубка, суховатые грибки с ежой и вейником наземным, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 14 (NNSU); там же, сырой луг вдоль отводной канавы дороги по опушке широколиственного леса, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 3 (NNSU).

ПВ: **Чиб.**: дорога от Чебоксар в Карачуры, бот. экспед. КГУ в ЧАССР, 19.VI.1926, А. Соколова (ЧНМ); окр. д. Хыркаксы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU); **Морг.**: в 2 км зап. д. Юнга, дубрава, 3.VIII.2006, М. Г. (ГГ); у д. Сярмыськасы, луг на крутом склоне в долине ручья, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU).

СВ: **Козл.**: окр. ст. Тюрлема, хвойно-широколиственный лес, 17.VII.2011, М. Г. (ГГ).

35. *A. substrigosa* Juz. 1940, в Маевский, Фл. Средн. Росс., изд. 7: 446; Юз. 1941, во Фл. СССР 10: 341; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 508. – **М. почти-щегинистая**. Эндемик Среднего Поволжья, однако спорадически, как заносный, собирается по всей Восточной Европе. Указывается для Морд. [11, 24, 25], в Нижег. – очень часто, в МЭ – очень редко [21]. Травянистые склоны, просеки.

ПВ: **Чиб.**: окр. д. Хыркаксы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (MW); **Ядр.**: Ядр. лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (NNSU).

36. *A. tichomirovii* Czakalov 2011, Turczaninowia 14, 3: 19. – **М. Тихомирова**. Восточноевропейский вид. Описан, в т.ч., с территории Чувашии [10]. Произрастает в Нижег. и МЭ – часто [21], спорадически отмечается вплоть до Урала [27]. Обычный вид. Чаще по открытым местообитаниям, от суховатых до переувлажненных, а также по опушкам и залежам.

АлПС: **Шем.**: НП «Чаваш вармане», окр. п. Кучеки, лесная поляна, 24.VI.2010, М. Г. (ГГ).

КрПС: **Шум.**: вост. окраина г. Шумерля, окашиваемые лужайки между липами на опушке еловой посадки, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 1 (NNSU); там же, по опушкам и полянам в еловой посадке, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 11 (NNSU); 1 км от вост. окраины г. Шумерля, зарастающая заболоченная вырубка с *Geum rivale*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa pratensis*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 16 (NNSU).

ПВ: **Марп.**: окр. г. Мариинский Посад, дубрава у а/д, 17.VI.2009, М. Г. (ГГ); **Морг.**: у д. Сярмыськасы, окраина залежи у опушки липняка, 12.VI.2008, А. Ч. (Pt – LE) [10]; там же, луг на крутом склоне в долине ручья, 12.VI.2008, А. Ч. (Pt – LE); **Чиб.**: окр. д. Хыркаксы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (Pt – LE, NNSU) [10]; близ г. Новочебоксарск, 1989 (YOLA); **Ядр.**: Ядринское лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (Pt – LE, NNSU) [10]; близ с. Б. Сундырь, луг, 5.VII.2006, М. Г. (ГГ).

Ц: **Кан.**: 2 км к ЮЗ от д. Малые Бикшихи, лужайки по пологому склону лога СЗ экспозиции с *Poa pratensis*, *Galium mollugo*, *Veronica chamaedrys*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 26 (NNSU); **Красн.**: д. Шивбоси, у ручья в овраге, 1.VII.2009, М. Г. (ГГ); вост. д. Бурундуки, заказник «Бурундукский», опушка дубравы, 26.VI.2013, М. Г. (ГГ); **Ядр.**: южн. д. Чеморданы, к-з «Ленинская искра», мезофитный луг, 5.VII.2006, М. Г. (ГГ); окр. д. Чеморданы, луг, 5.VII.2006, М. Г. (ГГ).

37. *A. trichocrater* Juz. 1957, Список раст. Герб. фл. СССР 14, 83: 55; В. Тихом. 2001, во Фл. Вост. Евр. 10: 504. – **М. волосистоцветковая**. Эндемик Среднего Поволжья, описанный из Кировской области [18]. Отмечается в Нижег. и МЭ – изредка [21].

ПВ: **Чиб.**: окр. д. Хыркаксы, склон заболоченного лога, 12.VI.2008, А. Ч. (MW).

38. *A. tzvelevii* Czakalov 2015, Phytotaxa 227, 3: 284. Эндемик Среднего Поволжья: описан из Чувашии, Пензенской и Рязанской областей [14]. Луговые склоны, поляны в широколиственных лесах.

АлПС: **Шем.**: окр. п. Кучеки, луговая поляна, 24.VI.2010, М. Г. (sub. nom. *A. decalvans* Juz., det. Н.Н. Цвелёв) (Pt – PVB-018307, LE) [14].

Ц: **Кан.**: 2 км к ЮЗ от д. Малые Бикшихи, лужайки по пологому склону лога СЗ экспозиции с *Poa pratensis*, *Galium mollugo*, *Veronica chamaedrys*, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 26 (Ht – LE, It – LE, NNSU, MW); 2,5 км к Ю от д. Малые Бикшихи, поляна с мезогигрофильным траво-



стоюм (*Ranunculus acris*, *Scrophularia nodosa*) в липняке, 13.VI.2011, А. Ч., М. М., 21 (Pt – LE, NNSU, MW) [14].

39. \**A. vorotnikovii* Czakalov 2011, Turczaninowia 14, 3: 22. – М. Воротникова. Эндемик Среднего Поволжья [10]. Нередко в Нижег., редко – в МЭ [21], выявлен также в Морд. [25]. Опушки и поляны в лесах, луга, травянистые склоны, окраины полей, вырубки.

АлПС: Шем.: НП «Чаваш вармане», сев. с. Асаново, мезофитный луг, 5.VII.2014, М. Г. (ГГ); там же, кордон Лопатинский, лесная поляна, 15.VIII.2009, М. Г. (ГГ).

КрПС: Шум.: 1 км от вост. окраины г. Шумерля, зарастающая заболоченная вырубка с *Geum rivale*, *Deschampsia cespitosa*, *Poa pratensis*, 16, 13.VI.2011, А. Ч., М. М. (NNSU); 4 км к ЮЗ от д. Торханы, сырой луг вдоль отводной канавы дороги по опушке широколиственного леса, 3, 13.VI.2011, А. Ч., М. М. (NNSU).

ПВ: Марп.: близ д. Ящерино, брошенный дачный участок, 15.VI.2017, М. Г. (ГГ); Чеб.: Карачуры, совхоз, яровая пшеница, 20.VI.1926, бот. экспед. КГУ в ЧАССР, А. Соколова (под назв. *A. acutangula* Buser) (ЧНМ).

40. *A. zimoenkensis* Czakalov 2011, Turczaninowia 14, 3: 24. – М. зименковская. Эндемик Среднего Поволжья [10]. Произрастает в Морд. [25], нередко в Нижег., редко – в МЭ [21]. Луга, просеки.

ПВ: Ядр.: Ядринское лес-во, у поворота на с. Янымово, луг на просеке в широколиственном лесу, 12.VI.2008, А. Ч. (It – LE) [10].

Впервые для флоры Чувашской Республики (после ряда публикаций [1–14, 30–33]) приводится 11 видов (*A. altaica*, *A. argutiserrata*, *A. barbulate*, *A. cheirochlora*, *A. exilis*, *A. gibberulosa*, *A. hebescens*, *A. oxyodonta*, *A. plicata*, *A. sibirica*, *A. vorotnikovii*). Из приведенных в сводке по флоре Чувашской Республики [12] не подтвердилось произрастание двух видов: *A. pustynensis* Czakalov, а также *A. obtusa* auct. non Buser (НП «Чаваш вармане», п. Муллиная, п. Кучеки, опушки [8]). Вследствие неточностей в ключе [11], вероятно, исследователями к последнему виду были отнесены образцы *A. baltica* (см. [21]).

Из 40 зарегистрированных видов 12 – широко распространены и встречаются часто. Из них большинство – обыкновенные в Средней России широкоареальные виды [11], но некоторые – относительно обильные в регионе эндемики (*A. minizonii*, *A. tichomirovii*, *A. vorotnikovii*). Остальные виды встречаются спорадически или редко. Не найдено 19 видов, зарегистрированных во флорах сопредельных Нижегородской области

и Республике Марий Эл [21]. Из сопредельных регионов только в Чувашии отмечены 2 вида (*A. oxyodonta* и *A. tzvelevii*).

В административных районах Чувашии видовое богатство распределено очень неравномерно (в порядке убывания): Шемуршинском – 22, Шумерлинском – 22, Чебоксарском – 21, Ядринском – 19, Алатырском – 14, Мариинско-Посадском – 12, Моргаушском – 12, Канашском – 9, Вурнарском – 8, Порецком – 8, Красночетайском – 5, Красноармейском – 4, Аликовском – 3, Ибресинском – 3, г. Чебоксары – 3, Батыревском – 2, Козловском – 2, Цивильском – 3, Комсомольском – 2, Янтиковском – 3 вида. Исследование охватило все ботанико-географические районы и подрайоны республики. Характеристика видового богатства манжеток в разрезе ботанико-географических районов и подрайонов [12, 15–17]: в низменно-полесском районе ЗВ – 4; в широколиственно-лесных (расположены по мере большего остепнения): ПВ – 26, Ц – 20, СВ – 2; присурских лесных: АлПС – 27, КрПС – 24; степных: ЮЗ – 11, ЮВ – 6 видов. Наибольшее число видов представлено в Алатырском Присурье и Приволжье, резко наименьшее – в степных и заволжском районах, что согласуется с распределением видового богатства манжеток в сопредельных регионах [21].

Согласно предыдущим исследованиям, стандартной цифрой видового богатства манжеток для региона лесной зоны с территорией порядка 25 000–50 000 км<sup>2</sup> можно считать около 50 видов [21, 27]. Пропорционально площади территории Чувашии (18343 км<sup>2</sup>) ожидаемое количество видов могло бы быть порядка 37. Таким образом, выявленное видовое богатство (40 видов) близко к предельно возможному.

Если продолжить этот ряд данными из других регионов: количество видов в Нижег. (55), МЭ (51), Пенз. (37), Ульянов. (22), Самар. (19 видов) [21], то мы получаем ряд уменьшения видового богатства манжеток при движении из лесной в степную зону. Данные, представленные здесь, хорошо укладываются в представленную закономерность.

Значительная часть образцов манжеток была собрана на ООПТ [34], в том числе в НП «Чаваш вармане» – 46 (21 вид, из них 8 видов приводятся впервые [8]), ГПЗ «Присурский» и его охранной зоне – 12 (7 видов, см. в т.ч. [3, 5, 30]), на территориях заказников и памятников природы – 9 видов.

### Заключение

Во флоре Чувашской Республики выявлено 40 видов рода. Из них 11 приводятся для республики впервые. Два вида (*A. pustynensis* Czakalov,



а также *A. obtusa* auct. non Buser) указывались для республики ошибочно. Выявленное видовое богатство соответствует ожидаемому, исходя из данных, полученных для сопредельных регионов, и близко к предельно возможному. Видовое богатство в ботанико-географических подрайонах резко различается между лесными (20–27), с одной стороны, и остепненными, степными и зандровыми подрайонами (2–11 видов), с другой.

### Список литературы

1. Плетнева-Соколова А. Д. Флора лугов Чувашской АССР // Тр. Чуваш. сельскохоз. ин-та. 1955. Т. 3, вып. 1. С. 17–40.
2. Теплова Л. П. Материалы по флоре и растительности природного парка «Заволжье». Чебоксары : Чуваш. гос. пед. ин-т, 1998. 144 с.
3. Налимова Н. В. Флористический список высших растений Алатырского участка ГПЗ «Присурский» // Экол. вестн. Чуваш. Респ. Чебоксары, 2001. Вып. 24. С. 64–75.
4. Тихомиров В. Н. Заметки о распространении манжеток (*Alchemilla* L., Rosaceae) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1998. Т. 103, вып. 2. С. 65.
5. Налимова Н. В. Дополнения к флоре государственного природного заповедника «Присурский» // Науч. тр. гос. природ. заповедника «Присурский». Чебоксары ; Атраг, 2002. Т. 10. С. 137–141.
6. Налимова Н. В. Памятник природы «Торфяное болото «Большое Сосновое». Растительность и флора: Изучение биоразнообразия в Шумерлинском районе // Экол. вестн. Чуваш. Респ. Чебоксары, 2007. Вып. 61, ч. 4. С. 64–69.
7. Налимова Н. В. Памятник природы «Группа торфяных болот «Мульча-Топи». Растительность и флора : Изучение биоразнообразия в Красночетайском районе // Экол. вестн. Чуваш. Респ. Чебоксары, 2007. Вып. 61, ч. 4. С. 22–28.
8. Петрова Е. А., Утемова Л. Д. Дополнения к флоре Национального парка «Чаваш вармане» // Науч. тр. Нац. парка «Чаваш вармане». Чебоксары; Шемурша, 2008. Т. 2. С. 22–38.
9. Коноваленко Е. И. Итоги инвентаризации флоры сосудистых растений г. Алатырь и его ближайших окрестностей // Науч. тр. гос. природ. заповедника «Присурский». Чебоксары ; Атраг, 2008. Т. 19. С. 16–32.
10. Чкалов А. В. Новые виды *Alchemilla* L. из Центральной России // Turczaninowia. 2011. Т. 14, вып. 3. С. 14–27.
11. Маевский П. Ф. Флора средней полосы европейской части России. 11-е изд. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2014. 635 с.
12. Гафурова М. М. Сосудистые растения Чувашской Республики (Флора Волжского бассейна. Т. 3). Тольятти : Кассандра, 2014. 333 с.
13. Chkalov A. V. *Alchemilla schmakovii* sp. nov. from eastern Europe // Nord. J. Bot. 2015. Vol. 33, № 5. P. 518–521. <https://doi.org/10.1111/njb.00804>
14. Chkalov A. V. A new species of the genus *Alchemilla* (Rosaceae) from Central Russia // Phytotaxa. 2015. Vol. 227, № 3. P. 282–288. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.227.3.8>
15. Миронов А. В., Ступишин А. В. Сельскохозяйственные ландшафты лесостепи Приволжской возвышенности. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1983. 149 с.
16. Физико-географическое районирование Среднего Поволжья / под ред. А. В. Ступишина. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 1964. 198 с.
17. Плетнева-Соколова А. Д. Растительный покров Чувашской АССР // Чувашская АССР: Очерки о природе. Чебоксары : Чувашгосиздат, 1952. С. 74–112.
18. Тихомиров В. Н. Манжетка – *Alchemilla* L. // Флора Восточной Европы / под ред. Н. Н. Цвелева. Т. 10. СПб. : Мир и семья ; Изд-во СПХФА, 2001. С. 470–531.
19. Коржинский С. И. Северная граница черноземно-степной области восточной полосы Европейской России в ботанико-географическом и почвенном отношении. II. Фитогеографические исследования в губерниях Симбирской, Самарской, Уфимской, Пермской и отчасти Вятской // Тр. о-ва естествоиспыт. при Импер. Казанском ун-те. 1891. Т. XXII, вып. 6. С. 1–201.
20. Куданова З. М. Определитель высших растений Чувашской АССР. Чебоксары : Чуваш. кн. изд-во, 1965. 346 с.
21. Чкалов А. В., Аверкиев Д. Д., Воронников В. П. Род манжетка (*Alchemilla* L., Rosaceae) во флорах Нижегородской области и Республики Марий Эл // Вестник Пермского университета. Биология. 2019. Вып. 3. С. 264–279. <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2019-3-264-279>
22. Письмаркина Е. В., Чкалов А. В., Силаева Т. Б., Пакина Д. В. Флористические находки в Республике Мордовия и Пензенской области // Бюл. МОИП. Отд. биол. 2020. Т. 125, вып. 3. С. 49–51.
23. Тихомиров В. Н. Новый вид и обзор манжеток (*Alchemilla* L.) флоры Мордовии // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1996. Т. 101, вып. 5. С. 81–86.
24. Сосудистые растения Республики Мордовия (конспект флоры) / под ред. Т. Б. Силаевой. Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2010. 352 с.
25. Силаева Т. Б., Хатугин А. А., Еришкова Е. В., Агеева А. М. Список сосудистых растений Республики Мордовия в пределах бассейна реки Оки // Труды Мордов. гос. природ. заповедника им. П. Г. Смидовича. 2019. № 22. С. 175–221.
26. Бакин О. В., Рогова Т. В., Ситников А. П. Сосудистые растения Татарстана. Казань : Изд-во Казан. ун-та, 2000. 496 с.
27. Чкалов А. В., Пакина Д. В. Род *Alchemilla* (Rosaceae) во флоре Пермского края // Turczaninowia. 2019. Т. 22, вып. 1. С. 77–110. <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.22.1.9>
28. Раков Н. С., Саксонов С. В., Сенатор С. А., Васюков В. М. Сосудистые растения Ульяновской области / под ред. Н. Н. Цвелева (Флора Волжского бассейна. Т. 2). Тольятти : Кассандра, 2014. 295 с.
29. Васюков В. М., Саксонов С. В. Конспект флоры Пензенской области (Флора Волжского бассейна. Т. 4). Тольятти : Анна, 2020. 211 с.



30. Утемова Л. Д. Изучение флоры под линией электропередач 10 кВ // Науч. тр. гос. природ. заповедника «Присурский». Чебоксары, Атрат, 2009. Т. 21. С. 35–38.
31. Налимова Н. В. Оценка биоразнообразия растительного покрова и состояния ландшафтов Чувашской Республики. М. : ООО «Ти-Ру», 2014. 376 с.
32. Теплова Л. П. Старовозрастные дубравы у с. Чукалы – перспективный объект // Экол. вестн. Чуваш. Респ. Чебоксары, 2004. Вып. 47, ч. 2. С. 31–35.
33. Тихомиров В. Н. Некоторые новые и редкие для Средней полосы европейской части СССР виды растений // Биол. науки. 1990. № 1. С. 88–96.
34. Особо охраняемые природные территории и объекты Чувашской Республики. Чебоксары : Дирекция ООПТ и объектов Чуваш. Респ., 2012. 424 с.
12. Gafurova M. M. *Vascular plants of Chuvash Republic*. (Flora of the Volga river basin. Vol. 3). Togliatti, Kassandra Publ., 2014. 333 p. (in Russian).
13. Chkalov A. V. *Alchemilla schmakovii* sp. nov. from eastern Europe. *Nord. J. Bot.*, 2015, vol. 33, no. 5, pp. 518–521. <https://doi.org/10.1111/njb.00804>
14. Chkalov A. V. A new species of the genus *Alchemilla* (Rosaceae) from Central Russia. *Phytotaxa*, 2015, vol. 227, no. 3, pp. 282–288. <https://doi.org/10.11646/phytotaxa.227.3.8>
15. Mironov A. V., Stupishin A. V. *Sel'skokhozyaystvennye landschafty lesostepi Privolzhskoy vozvyshehnosti* [Agricultural Landscapes in Forest-steppe of the Volga Upland]. Kazan, Izd-vo Kazan. un-ta, 1983. 149 p. (in Russian).
16. *Fiziko-geograficheskoye rayonirovaniye Srednego Povolzhya*, pod red. A. V. Stupishina [A. V. Stupishin, ed. Physical-geographical Zoning of the Middle Volga Basin]. Kazan, Izd-vo Kazan. un-ta, 1964. 198 p. (in Russian).
17. Pletnyova-Sokolova A. D. Rastitel'nyy pokrov Chuvashskoy ASSR [Vegetation cover of Chuvash ASSR]. In: *Chuvashskaya ASSR: Ocherki o prirode* [Chuvash ASSR: Studies on the Nature]. Cheboksary, Chuvashgosizdat Publ., 1952, pp. 74–112 (in Russian).
18. Tikhomirov V. N. *Alchemilla* L. In: *Flora Vostochnoy Evropy*, pod red. N. N. Tzveleva [N. N. Tzvelev, ed. Flora of the Eastern Europe]. St. Petersburg, Mir i Semya, SPSPA Publ., 2001, vol. 10, pp. 470–531 (in Russian).
19. Korzhinskiy S. I. Botanical-geographical and soil peculiarities on the northern border of black-earth-steppe area in the eastern part of European Russia. II. Phytogeographical studies in the Simbirsk, Samara, Ufa, Perm, and partly Vyatka provinces. *Trudy obschestva yestestvopytateley pri Imperatorskom Kazanskom un-te* [Proceedings of Naturalists Society of the Imperial Kazan University], 1891, vol. 22, iss. 6, pp. 1–201 (in Russian).
20. Kudanova Z. M. *Opredelitel vysshikh rasteniy ChuvASSR* [Key to the Vascular Plants of Chuvash ASSR]. Cheboksary, Chuvash kn. izd-vo, 1965. 346 p. (in Russian).
21. Chkalov A. V., Averkiev D. D., Vorotnikov V. P. The genus *Alchemilla* L. (Rosaceae) in floras of the Nizhny Novgorod Region and Republic of Mari El. *Bulletin of Perm University. Biology*, 2019, iss. 3, pp. 264–279 (in Russian). <https://doi.org/10.17072/1994-9952-2019-3-264-279>
22. Pismarkina E. V., Chkalov A. V., Silaeva T. B., Pakina D. V. Floristic records in the Republic of Mordovia and Penza province. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*, 2020, vol. 125, iss. 3, pp. 49–51 (in Russian).
23. Tikhomirov V. N. New species and review of *Alchemilla* L. in the flora of Mordovia. *Bulletin of Moscow Society of Naturalists. Biological series*, 1996, vol. 101, iss. 5, pp. 81–86 (in Russian).
24. *Sosudistye rasteniya Respubliki Mordovia*. Pod red. T. B. Silaevoy [T. B. Silaeva, ed. Vascular Plants of the Republic of Mordovia]. Saransk, Izd-vo Mordov. un-ta Publ., 2010. 352 p. (in Russian).



25. Silaeva T. B., Khapugin A. A., Ershkova E. V., Ageeva A. M. The list of vascular plants in the Republic of Mordovia within the Oka river basin. *Proceedings of the Mordovia State Nature Reserve*, 2019, no. 22, pp. 175–221 (in Russian).
26. Bakin O. V., Rogova T. V., Sitnikov A. P. *Sosudistye rasteniya Tatarstana* [Vascular Plants of the Republic of Tatarstan]. Kazan, Izd-vo Kazan. un-ta, 2000. 496 p. (in Russian).
27. Chkalov A. V., Pakina D. V. The genus *Alchemilla* (Rosaceae) in the Perm Territory flora. *Turczaninowia*, 2019, vol. 22, no. 1, pp. 109–142 (in Russian). <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.22.1.9>
28. Rakov N. S., Saksonov S. V., Senator S. A., Vasjukov V. M. *Vascular Plants of Ulyanovsk Region*. Ed. by N. N. Tzvelev. (Flora of the Volga river basin. Vol. 2). Togliatti, Kassandra Publ., 2014. 333 p. (in Russian).
29. Vasjukov V. M., Saksonov S. V. *Vascular Plants of Penza Region* (Flora of the Volga river basin. Vol. 4). Togliatti, Anna Publ., 2020. 211 p. (in Russian).
30. Utyomova L. D. Studying flora under power line 10 kV. *Proceedings of "Prisurskiy" State Nature Reserve*. Cheboksary, Atrat Publ., 2009, vol. 21. pp. 35–38 (in Russian).
31. Nalimova N. V. *Otsenka bioraznoobraziya rastitelnogo pokrova i sostoyaniya landshaftov Chuvashskoy Respubliki* [Biodiversity Estimation of Vegetation Cover and Landscapes Conditions of the Chuvash Republic]. Moscow, OOO "Ti-Ru" Publ., 2014. 376 p. (in Russian).
32. Teplova L. P. Aged oak forest near the Chukaly village as a promising object. *Ecological Bulletin of the Chuvash Republic*. Cheboksary, 2004, iss. 47, pt. 2, pp. 31–35 (in Russian).
33. Tikhomirov V. N. Some new and rare plant species from the middle part of European USSR. *Biological Sciences*, 1990, no. 1, pp. 88–96 (in Russian).
34. *Osobo okhranyayemye prirodnye territorii i obyekty Chuvashskoy Respubliki* [Specially Protected Natural Areas and Objects of the Chuvash Republic]. Cheboksary, Direktsiya OOPT i ob'ektov Chuvash. Resp. Publ., 2012. 424 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 22.01.21, после рецензирования 23.02.21, принята к публикации 24.02.21  
Received 22.01.21, revised 23.02.21, accepted 24.02.21



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 434–449

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 434–449

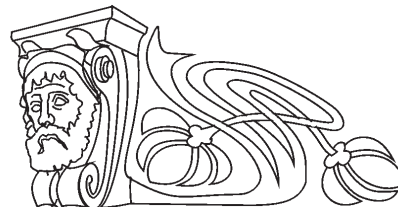
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-434-449>

Научная статья

УДК 581.553(470.325)

## Растительность памятника природы «Урочище Кузилинка» и его окрестностей (Орловская область)



Е. А. Аверина<sup>1</sup>, М. В. Казакова<sup>2</sup> ✉, А. С. Кугушева<sup>2</sup>, Н. А. Соболев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Брянский государственный университет имени академика И. Г. Петровского, Россия, 241036, г. Брянск, ул. Бежицкая, д. 14

<sup>2</sup>Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина, Россия, 390000, г. Рязань, ул. Свободы, д. 46

Аверина Елена Александровна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии, [elena\\_averi@mail.ru](mailto:elena_averi@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5153-5676>

Казакова Марина Васильевна, доктор биологических наук, профессор кафедры биологии и методики её преподавания, [kazakova\\_marina@bk.ru](mailto:kazakova_marina@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9101-9959>

Кугушева Анастасия Сергеевна, лаборант кафедры биологии и методики её преподавания, [a.kugusheva@365.rsu.edu.ru](mailto:a.kugusheva@365.rsu.edu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2677-1287>

Соболев Николай Андреевич, кандидат г. наук, старший научный сотрудник лаборатории по изучению и охране биоразнообразия, [sobolev\\_nikolas@mail.ru](mailto:sobolev_nikolas@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4974-1996>

**Аннотация.** В статье описаны кальцефитные степные сообщества на территории памятника природы «Урочище Кузилинка» и его окрестностей (Орловская область), которые отнесены к ассоциации *Onosmato simplicissimae–Salvietum nutantis* Averinova ass. nov. На основании комплекса диагностических видов данная единица включена в состав подсоюза *Bupleuro falcati–Gypsophilenion altissimae* Averinova 2005 (союз *Festucion valesiacaе* Klika 1931, порядок *Festucetalia valesiacaе* Soó 1947, класс *Festuco–Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947). Дана характеристика новой ассоциации. Приводятся результаты ординационного анализа ведущих факторов среды для описанных сообществ.

**Ключевые слова:** *Onosmato simplicissimae–Salvietum nutantis*, *Bupleuro falcati–Gypsophilenion altissimae*, *Festuco–Brometea*, кальцефитные степные сообщества, обнажения известняка, непрямая ординация, памятник природы «Урочище Кузилинка», Орловская область

**Для цитирования:** Аверина Е. А., Казакова М. В., Кугушева А. С., Соболев Н. А. Растительность памятника природы «Урочище Кузилинка» и его окрестностей (Орловская область) // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 434–449. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-434-449>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Vegetation of the natural monument “Urochishche Kuzilinka” and its surroundings (Orel region)

Е. А. Аверина<sup>1</sup>, М. В. Казакова<sup>2</sup> ✉, А. С. Кугушева<sup>2</sup>, Н. А. Соболев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bryansk State University named after academician I. G. Petrovsky, 14 Bezhitskaya St., Bryansk 241036, Russia

<sup>2</sup>Ryazan State University named after S. A. Esenin, 46 Svobody St., Ryazan 390000, Russia

Elena A. Averinova, [elena\\_averi@mail.ru](mailto:elena_averi@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-5153-5676>

Marina V. Kazakova, [kazakova\\_marina@bk.ru](mailto:kazakova_marina@bk.ru), <https://orcid.org/0000-0002-9101-9959>

Anastasia S. Kugusheva, [a.kugusheva@365.rsu.edu.ru](mailto:a.kugusheva@365.rsu.edu.ru), <https://orcid.org/0000-0003-2677-1287>

Nikolai A. Sobolev, [sobolev\\_nikolas@mail.ru](mailto:sobolev_nikolas@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-4974-1996>

**Abstract.** The article describes the calciphytic steppe communities located in the territory of the natural monument “Urochishche Kuzilinka” and its surroundings (Orel region). The communities were assigned to the association *Onosmato simplicissimae–Salvietum nutantis* Averinova ass. nov. That unit was included in the sub-union *Bupleuro falcati–Gypsophilenion altissimae* Averinova 2005 (union *Festucion valesiacaе* Klika 1931, order *Festucetalia valesiacaе* Soó 1947, class *Festuco–Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947) on the basis of a diagnostic species analysis. The new association was characterized. Results of the ordination analysis of leading environmental factors for the described communities are provided.

**Keywords:** *Onosmato simplicissimae–Salvietum nutantis*, *Bupleuro falcati–Gypsophilenion altissimae*, *Festuco–Brometea*, calciphytic steppe communities, limestone outcrops, indirect ordination, nature monument “Urochishche Kuzilinka”, Orel region



**For citation:** Averinova E. A., Kazakova M. V., Kugusheva A. S., Sobolev N. A. Vegetation of the natural monument “Urochishche Kuzilinka” and its surroundings (Orel region). *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 434–449. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-434-449>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

Памятник природы «Урочище Кузилинка» (Ливенский район, Орловская область), созданный для охраны уникальных кальцефитно-петрофитных сообществ с редкими и охраняемыми видами растений, занимает участок левого коренного склона долины р. Олым площадью 2 га (рис. 1). Здесь известно единственное в области местонахождение *Allium inaequale* и *Onosma sim-*

*plicissima* [1]. Урочище является продолжением Северо-Донского реликтового района, в основном находящегося на западе Липецкой области [2].

Уникальность флоры Кузилинки впервые была показана в 1950 гг. [3–5] и подтверждена в XXI в. [6]. В последние годы предпринимались попытки классификации растительности урочища по методу Браун-Бланке [7, 8]. Однако синтаксоны выделялись в указанных работах провизорно.



Рис. 1. Место расположения урочища Кузилинка на востоке Орловской области [9]

Fig. 1. The location of the urochishche Kuzilinka in the east of Orel region [9]

## Материалы и методы

В 2014 г. в урочище Кузилинка (включая лог Богатое) нами было выполнено 12 полных геоботанических описаний растительности на площади 100 м<sup>2</sup> (рис. 2). Классификация проведена по методу Браун-Бланке [10] с использованием программ TURBOVEG [11] и JUICE [12]. Интерпретация взаимосвязи растительности с условиями среды осуществлялась с помощью непрямой ординации DCA-методом, реализованным в пакете программ CANOCO 4.5 [13].

Названия синтаксонов даны согласно Кодексу фитосоциологической номенклатуры [14]. Названия видов приведены в соответствии со сводкой С. К. Черепанова [15].

## Результаты и их обсуждение

Продромус установленных синтаксонов  
Класс *Festuco–Brometea* Br.-Bl. et R. Tx. ex  
Soó 1947

Порядок *Festucetalia valesiaca* Br.-Bl. et R.  
Tx. ex Br.-Bl. 1949

Союз *Festucion valesiaca* Klika 1931



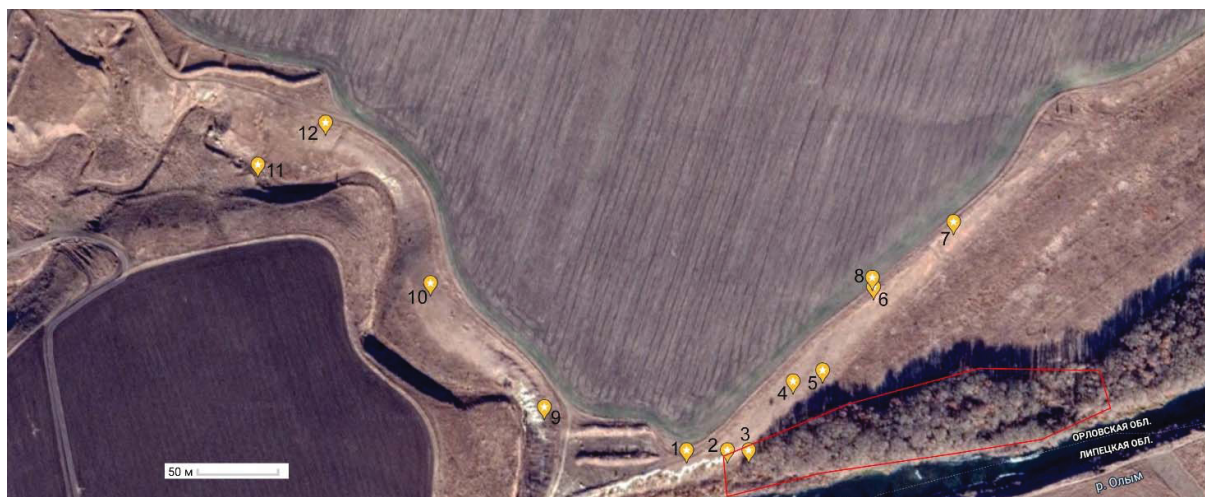


Рис. 2. Геоботанические описания в урочище Кузилинка (№ 1–8) и логе Богатое (№ 9–12). Красным контуром показаны границы памятника природы «Урочище Кузилинка» согласно постановлению Правительства Орловской области от 25 января 2021 г. № 21 (цвет online)

Fig. 2. Relevés in the urochishche Kuzilinka (No. 1–8) and Bogatoye gully (No. 9–12). The red outline shows the boundaries of the nature monument “Urochishche Kuzilinka” in accordance with the decree of the Orel region Government, January 25, 2021 No. 21 (color online)

Подсоюз *Bupleuro falcati–Gypsophilenion altissimae* Averinova 2005

Ассоциация *Onosmato simplicissimae–Salvietum nutantis* Averinova ass. nov.

Варианты *typica, inops*

В результате исследований установлена новая ассоциация *Onosmato simplicissimae–Salvietum nutantis* Averinova ass. nov. hoc loco (табл. 1; номенклатурный тип (*holotypus*) – оп. 3).

**Состав и структура.** Диагностические виды ассоциации: *Amygdalus nana*, *Asparagus officinalis*, *Clematis integrifolia*, *Echinops ruthenicus* (dom.), *Onosma simplicissima*, *Salvia nutans* (dom.). Имяобразующие таксоны являются обычными для степей (*Salvia nutans*) и кальцефитных сообществ (*Onosma simplicissima*) южной подзоны лесостепи Среднерусской возвышенности и степной зоны. Однако в северной подзоне среднерусской лесостепи они очень редки и, таким образом, придают сообществам «известнякового севера» Среднерусской возвышенности черты «мелового юга».

Внешний вид фитоценозов чаще всего определяют ярко-зелёные дерновины *Carex humilis* в сочетании с серебристыми и сизо-зелёными пятнами *Centaurea sumensis*, *Veronica incana*, *Jurinea arachnoidea* и *Onosma simplicissima*. Оносма в период цветения создаёт желтовато-белый аспект, в начале лета с сине-фиолетовыми вкраплениями *Salvia nutans*. При некотором уменьшении крутизны склона основным фоновым видом становится *Stipa pennata*, а обилие *Centaurea sumensis*, *Carex humilis* и *Jurinea*

*arachnoidea* снижается. В мае–июне ковыль создаёт на таких участках ярко выраженный аспект.

Общее проективное покрытие травостоя колеблется от 40 до 80% (среднее 60%). Средняя высота его на уровне наибольшего развития растительной массы составляет 10–20 см. Генеративные побеги *Stipa pennata* и *Salvia nutans* достигают 50–90 см высоты. На одной площадке отмечен кустарниковый ярус из *Amygdalus nana* с покрытием около 3%. Из мхов местами встречается *Abietinella abietina*, покрывающая не более 2% почвы. Флористическая насыщенность фитоценозов варьирует от 35 до 52 видов на 100 м<sup>2</sup> (средняя 45).

**Распространение и экология.** Сообщества ассоциации занимают левый коренной долины р. Олым с обнажениями известняка – от его пологой (1–2°) придолинной части, где фитоценозы граничат с полем, до нижней включительно. Экспозиция склона преимущественно юго-восточная, крутизна задернованной части ниже бровки составляет на большем протяжении 10–15°. Сообщества распространены также на склонах разной экспозиции лога Богатое, впадающего в долину Олыма. Почвы эродированные чернозёмовидные с обильной примесью известнякового щебня. Фитоценозы подвергаются весенним палам, в связи с чем отсутствует ветошь, и очень слабо развиты мхи.

Ассоциация включает два варианта.

**Вариант *typica*** (см. табл. 1, оп. 1–8) представляет типичные сообщества ассоциации,



Таблица 1 / Table 1

Характеризующая таблица ассоциации *Onosmato simplicissimae-Salvietum nutantis* Averinova ass. nov. hoc loco  
 Characterizing table of association *Onosmato simplicissimae-Salvietum nutantis* Averinova ass. nov. hoc loco

Варианты / Variants	typica (a)								inops (b)				Постоянство / Constancy			
Табличный номер описания / Relevé number in table	1	2	3*	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
Экспозиция склона / Aspect	ЮВ / SE	ЮВ / SE	ЮВ / SE	ЮВ / SE	ЮВ / SE	ЮВ / SE	ЮВ / SE	ЮВ / SE	З / W	ЮЗ / SW	ЮЗ / SW	Ю / S				
Часть склона <sup>1</sup> / Part of slope	в	в	в	н	н	в	в	пр	в	в	ср	в				
Крутизна склона, ° / Slope angle, °	15	10	10	10	10	10	10	1	15	15	30	10				
ОПП <sup>2</sup> кустарников. яруса, % / Cover shrub layer, %	-	-	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-				
ОПП травяного яруса, % / Cover herb layer, %	50	55	50	65	65	70	50	75	45	50	40	80				
ОПП мохового яруса, % / Cover moss layer, %	-	-	2	-	-	-	2	-	-	-	-	-				
Средняя высота травостоя, см / Average height herbs, sm	15	10	10	15	15	20	15	20	20	10	10	15				
Макс. высота травостоя, см / Max. height herbs, sm				50	50	50	90	60								
Широта / Latitude	52.15.684	52.15.696	52.15.708	52.15.721	52.15.727	52.15.772	52.15.807	52.15.777	52° 15' 42,43''	52° 15' 46,45''	52° 15' 50,28''	52° 15' 51,64''				
Долгота / Longitude	38.02.247	38.02.283	38.02.302	38.02.341	38.02.367	38.02.412	38.02.483	38.02.411	38° 2' 7,27''	38° 2' 1,24''	38° 1' 52,1''	38° 1' 55,69''				
Число видов / Number of species	50	45	52	48	48	45	48	39	42	39	35	51			a	b
Диагностические виды ассоциации <i>Onosmato simplicissimae-Salvietum nutantis</i> Diagnostic species of association <i>Onosmato simplicissimae-Salvietum nutantis</i>																
<i>Salvia nutans</i>	+	2	1	2	2	2	1	1	1	1	+	+	V	V		
<i>Echinops ruthenicus</i>	+	1	1	2	+	+	1	r	1	1	+	1	V	V		
<i>Asparagus officinalis</i>	.	r	r	r	r	r	r	r	.	.	.	r	V	II		
<i>Onosma simplicissima</i>	1	+	+	r	+	r	+	.	.	.	+	.	V	II		
<i>Clematis integrifolia</i>	.	r	+	.	.	+	r	+	.	.	.	.	IV	.		
<i>Amygdalus nana</i>	r	.	.	r	.	1	r	r	.	.	.	.	IV	.		
Диагностические виды подсоюза <i>Bupleuro falcati-Gypsophilenion altissimae</i> Diagnostic species of suballiance <i>Bupleuro falcati-Gypsophilenion altissimae</i>																
<i>Gypsophila altissima</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	V	V		
<i>Jurinea arachnoidea</i>	1	1	1	+	1	+	r	+	+	+	+	+	V	V		
<i>Astragalus austriacus</i>	+	+	+	r	+	r	.	.	+	r	r	+	IV	V		
<i>Bupleurum falcatum</i>	.	+	.	.	r	.	r	r	+	.	.	r	III	III		
<i>Poa compressa</i>	+	.	.	.	r	.	.	.	.	.	r	.	II	II		
<i>Polygala sibirica</i>	+	.	r	.	r	.	r	.	.	.	.	.	III	.		
<i>Euphorbia seguieriana</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I	.		



Продолжение табл. 1 / Continuation of the Table 1

Табличный номер описания / Relevé number in table	1	2	3*	4	5	6	7	8	9	10	11	12	a	b
<b>Диагностические виды союза <i>Festucion valesiaca</i> и порядка <i>Festucetalia valesiaca</i></b> Diagnostic species of alliance <i>Festucion valesiaca</i> and order <i>Festucetalia valesiaca</i>														
<i>Veronica jacquinii</i>	.	+	r	+	+	+	+	+	+	r	.	r	V	IV
<i>Thymus marschallianus</i>	+	+	+	+	+	.	+	+	.	+	+	r	V	IV
<i>Adonis vernalis</i>	.	.	.	r	r	r	r	.	r	.	.	r	III	III
<i>Onobrychis arenaria</i>	.	r	.	.	r	.	.	.	.	.	r	r	II	III
<i>Scabiosa ochroleuca</i>	.	.	.	+	r	.	r	+	.	.	.	.	III	.
<i>Campanula sibirica</i>	.	r	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II	.
<i>Hypericum elegans</i>	+	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II	.
<b>Диагностические виды класса <i>Festuco-Brometea</i></b> Diagnostic species of class <i>Festuco-Brometea</i>														
<i>Carex humilis</i>	2	2	2	2	2	2	1	+	1	2	2	1	V	V
<i>Festuca valesiaca</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	V	V
<i>Medicago falcata</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	+	r	+	r	V	V
<i>Stachys recta</i>	r	+	+	+	+	+	+	+	r	+	+	+	V	V
<i>Centaurea scabiosa</i>	+	+	.	+	r	+	+	+	r	+	r	+	V	V
<i>Koeleria cristata</i>	.	.	.	+	+	.	r	r	+	r	+	+	III	V
<i>Stipa pennata</i>	+	.	+	+	.	2	2	3	1	.	.	.	IV	II
<i>Poa angustifolia</i>	.	+	+	+	.	+	+	+	.	.	+	.	IV	II
<i>Fragaria viridis</i>	.	.	r	r	.	.	.	r	+	r	.	+	II	IV
<i>Galium verum</i>	.	.	.	.	.	+	+	+	+	.	.	+	II	III
<i>Stipa capillata</i>	.	.	+	.	.	+	+	.	.	1	.	+	II	III
<i>Phleum phleoides</i>	.	+	r	.	.	.	.	.	.	.	.	+	II	II
<i>Artemisia austriaca</i>	+	.	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	II	.
<i>Filipendula vulgaris</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	1	1	+	1	.	V
<b>Диагностические виды класса <i>Trifolio-Geranietea sanguinei</i></b> Diagnostic species of class <i>Trifolio-Geranietea sanguinei</i>														
<i>Vincetoxicum hirundinaria</i>	r	+	1	1	1	+	.	r	1	+	+	+	V	V
<i>Thalictrum minus</i>	+	+	+	+	+	+	+	1	+	+	.	1	V	IV
<i>Seseli libanotis</i>	+	+	+	+	+	1	+	2	1	1	+	.	V	IV
<i>Anthericum ramosum</i>	.	+	1	+	+	+	.	.	1	+	+	+	IV	V
<i>Galium tinctorium</i>	+	+	+	+	+	+	.	.	+	r	.	+	IV	IV
<i>Securigera varia</i>	+	+	+	+	1	+	+	.	.	.	.	r	V	II
<i>Aster amellus</i>	r	r	.	.	.	.	.	.	.	1	1	r	II	IV
<i>Knautia arvensis</i>	.	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	r	I	II
<i>Campanula rapunculoides</i>	.	r	.	.	.	r	.	.	.	.	.	.	II	.
<i>Agrimonia eupatoria</i>	.	.	.	r	.	.	.	r	.	.	.	.	II	.
<b>Прочие виды / Other species</b>														
<i>Galium octonarum</i>	+	+	+	+	+	.	+	+	+	+	+	+	V	V
<i>Elytrigia intermedia</i>	+	+	+	+	+	+	+	+	.	+	+	r	V	IV
<i>Artemisia campestris</i>	+	+	.	+	+	r	+	+	r	.	r	r	V	IV
<i>Potentilla humifusa</i>	+	.	.	+	.	+	+	+	.	+	+	+	IV	IV
<i>Veronica incana</i>	+	+	1	+	+	.	.	r	+	+	r	.	IV	IV
<i>Allium flavescens</i>	+	.	+	r	+	r	+	.	+	.	r	+	IV	IV
<i>Euphorbia subtilis</i>	r	r	+	r	r	r	r	.	r	r	.	.	V	III
<i>Senecio jacobaea</i>	.	.	r	.	r	r	+	r	.	r	r	.	IV	III



Окончание табл. 1 / End of the Table 1

Табличный номер описания / Relevé number in table	1	2	3*	4	5	6	7	8	9	10	11	12	a	b
<i>Eremogone micradenia</i>	+	+	+	.	+	+	.	r	+	.	.	+	IV	III
<i>Viola ambigua</i>	+	r	r	.	.	.	r	r	.	.	.	r	IV	II
<i>Melampyrum argyrocomum</i>	+	+	r	+	+	.	r	.	.	.	.	r	IV	II
<i>Trinia multicaulis</i>	+	r	+	.	+	.	.	.	.	+	r	+	III	IV
<i>Amoria montana</i>	.	.	.	+	r	r	.	r	+	.	+	+	III	IV
<i>Potentilla patula</i>	+	+	+	.	.	+	.	.	.	.	r	r	III	III
<i>Iris aphylla</i>	.	+	.	+	.	.	.	.	+	2	1	1	II	V
<i>Falcaria vulgaris</i>	.	.	.	.	.	r	r	.	.	r	.	r	II	III
<i>Scorzonera hispanica</i>	.	.	.	.	.	r	r	.	.	r	.	r	II	III
<i>Scorzonera purpurea</i>	.	.	r	.	r	.	.	.	r	.	.	.	II	II
<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>	r	+	r	.	.	.	.	.	+	.	.	.	II	II
<i>Convolvulus arvensis</i>	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	.	r	II	II
<i>Hieracium sp.</i>	.	.	+	.	.	.	.	.	+	+	+	+	I	V
<i>Centaurea ruthenica</i>	+	.	.	.	.	.	.	.	r	.	.	.	I	II
<i>Galium boreale</i>	.	.	r	.	.	.	.	.	.	r	.	.	I	II
<i>Bromopsis inermis</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	+	.	.	.	I	II
<i>Achillea millefolium</i>	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	+	I	II
<i>Centaurea sumensis</i>	2	2	1	1	1	r	1	r	.	.	.	.	V	.
<i>Verbascum lychnitis</i>	.	r	r	+	+	r	r	r	.	.	.	.	V	.
<i>Linum perenne</i>	+	+	+	r	+	.	.	r	.	.	.	.	IV	.
<i>Euphorbia virgata</i>	.	.	+	.	.	r	r	r	.	.	.	.	III	.
<i>Scutellaria supina</i>	.	.	.	r	.	r	1	.	.	.	.	.	II	.
<i>Allium inaequale</i>	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	II	.
<i>Thesium arvense</i>	.	.	.	.	.	r	r	.	.	.	.	.	II	.
<i>Draba nemorosa</i>	+	.	+	+	.	.	.	.	.	.	.	.	II	.
<i>Silene exaltata</i>	+	.	.	.	+	.	.	.	.	.	.	.	II	.
<i>Sisymbrium polymorphum</i>	r	.	.	r	.	.	.	.	.	.	.	.	II	.
<i>Silene chlorantha</i>	.	.	r	.	r	.	.	.	.	.	.	.	II	.
<i>Salvia stepposa</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	+	.	IV
<i>Bromopsis riparia</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	+	+	.	.	.	III
<i>Eremogone saxatilis</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	r	.	+	.	III
<i>Abietinella abietina</i>	+	+	1	+	.	.	1	.	.	.	.	.	IV	.

Примечание. Знаком \* обозначен номенклатурный тип ассоциации. Часть склона<sup>1</sup>: в – верхняя, н – нижняя, ср – средняя, пр – придолинная. ОПП<sup>2</sup> – общее проективное покрытие, %.

Note. \* – the nomenclature type of the association. Part of slope<sup>1</sup>: в – upper, н – lower, ср – middle, пр – near-valley. ОПП<sup>2</sup> – total cover, %.

Единично встречены (Singly met): *Agropyron sp.*, *Allium sp.* – 1 (r), *Alyssum calycinum* – 1 (+), *Anemone sylvestris* – 12 (r), *Arabis sagittata* – 5 (+), *Artemisia armeniaca* – 9 (1), *Camelina microcarpa* – 1 (r), *Campanula bononiensis* – 5 (r), *Echium russicum* – 11 (r), *Galatella angustissima* – 9 (+), *Hyacinthella leucophaea* – 12 (+), *Hypericum perforatum* – 3 (r), *Lavatera thuringiaca* – 7 (r), *Linum nervosum* – 10 (r), *Nonea pulla* – 6 (r), *Oxytropis pilosa* – 5 (r), *Polygonatum odoratum* – 4 (r), *Potentilla argentea* – 7 (r), *P. heptaphylla* – 9 (1), *P. pimpinelloides* – 3 (r), *Thymus dimorphus* – 9 (+), *Trommsdorfia maculata* – 12 (r), *Verbascum phoeniceum* – 10 (r), *Veronica prostrata* – 8 (r), *V. spicata* – 9 (r).

Локализация описаний. Орловская область, Ливенский р-н, 8 км к востоку от с. Навесное, 21.05.2014 г.: оп. 1–8 – левый коренной склон долины р. Олым (урочище Кузилинка), автор Е. А. Аверина; оп. 9–12 – склоны впадающей в долину р. Олым балки (лог Богатое), авторы М. В. Казакова, А. С. Кугушева.

Localization of relevés. Orel region, Livensky district, 8 km east of the v. Navesnoe, 05/21/2014: 1–8 – left bedrock slope of the river Olym (urochishche Kuzilinka), author E. A. Averinova; 9–12 – slopes of the steppe gully Bogatoe near Olym valley, authors M. V. Kazakova, A. S. Kugusheva.



распространённые на левом коренном склоне долины Олыма (урочище Кузилинка). Общее проективное покрытие травостоя варьирует от 50 до 75%, а флористическая насыщенность – от 39 до 52 видов на 100 м<sup>2</sup> (в среднем 47). В остальном фитоценозы соответствуют приведённой выше характеристике.

**Вариант *inops*** (см. табл. 1, оп. 9–12) отличается несколько обеднённым видовым составом и значительным ослаблением диагностического блока ассоциации, из которого высокую константность сохраняют только *Salvia nutans* и *Echinops ruthenicus*. Меняется и облик сообществ: исчезает *Centaurea sumensis*, становится редкой *Onosma simplicissima*, ослабевают позиции *Jurinea arachnoidea*, что лишает фитоценозы характерных серебристых и сизо-зелёных вкраплений. Роль фонового вида сохраняет *Carex humilis* при заметном участии *Echinops ruthenicus* и местами *Seseli libanotis*. Для сообществ варианта характерно появление с высоким обилием *Filipendula vulgaris*, а также существенное усиление фитоценотической роли *Iris aphylla* и *Aster amellus*. Вариант отличается сильным варьированием общего проективного покрытия травостоя – от 40 до 80 %. Моховый и кустарниковый ярусы не выражены. Флористическая насыщенность фитоценозов колеблется от 35 до 51 вида на 100 м<sup>2</sup> (в среднем 42). Сообщества варианта описаны в верхней и средней части южных, западных и юго-западных склонов лога Богатое. Крутизна их преимущественно 10–15°, но на одном участке возрастает до 30°.

#### **Синтаксономическое положение и сравнение с близкими синтаксонами.**

Ассоциация отнесена к подсоюзу *Bupleuro falcati–Gypsophilenion altissimae*, объединяющему кальцефитные варианты луговых степей лесостепной зоны Среднерусской возвышенности [16, 17]. В составе сообществ ассоциации константные диагностические виды подсоюза: *Astragalus austriacus*, *Jurinea arachnoidea*, *Bupleurum falcatum*, *Gypsophila altissima*, *Polygala sibirica*. Дифференциация синтаксонов подсоюза представлена в табл. 2. Обращают на себя внимание комплексы видов, разграничивающие кальцефитные степные фитоценозы на известняках северной части Среднерусской возвышенности и на мелах южной её части. Эти флористические отличия создают предпосылки для выделения в будущем сообществ на известняках в отдельный подсоюз.

Возможность выделения фитоценозов Кузилинки в ранге новой ассоциации *Onosma simplicissimae–Salvietum nutantis* ass. nov. prov. обсуждалась в предварительной заметке Е. А. Авериновой

[7]. Позже А. В. Полуянов и П. А. Дорофеева [8] отнесли сообщества Кузилинки и лога Богатое к ассоциации *Allio flavescens–Stipetum pennatae* ass. nov. prov. В качестве её диагностических видов авторами были предложены *Allium flavescens*, *Carex humilis*, *Scorzonera purpurea*, *Stipa pennata*, *Thesium arvense*. Однако как показывает табл. 2, эти виды не дифференцируют сообщества Кузилинки от других синтаксонов подсоюза *Bupleuro–Gypsophilenion*. Поэтому мы оставляем предложенное Е. А. Авериновой [7] название ассоциации, исправленное согласно Кодексу [14], и несколько скорректированный диагностический блок.

Использованные для классификации А. В. Полуяновым и П. А. Дорофеевой [8] геоботанические описания из Кузилинки приведены в работе Л. Л. Киселёвой и др. [18, табл. 5.3.7]. В них достаточно полно представлен диагностический блок *Onosmato simplicissimae–Salvietum nutantis*, и в целом флористический состав очень сходен с нашей ассоциацией. Следовательно, эти описания также представляют *Onosmato–Salvietum*. К ней же необходимо отнести и описание, включённое А. В. Полуяновым и П. А. Дорофеевой [8] в состав безрангового сообщества *Bromopsis inermis–Stipa pennata* [*Festucion valesiacae*] [18, табл. 5.3.6, оп. 27K12]. В нём из 6 диагностических видов ассоциации представлено 5 при общем сходстве флористического состава.

Как показывают табл. 2 и рис. 3, наибольшее сходство *Onosmato–Salvietum* обнаруживает с синтаксонами Липецкой области, особенно с безранговым сообществом *Centaurea sumensis* [*Bupleuro falcati–Gypsophilenion altissimae*] из её западной части (неопубликованные данные Е. А. Авериновой). Это вполне закономерно, так как фитоценозы двух указанных синтаксонов наименее удалены друг от друга в пространстве. Однако в составе безрангового сообщества из диагностических видов *Onosmato–Salvietum* присутствуют с I классом постоянства только *Asparagus officinalis* и *Echinops ruthenicus*. Есть и ряд других флористических отличий.

Из опубликованных синтаксонов близкой по видовому составу является ассоциация *Allio paniculati–Gypsophiletum altissimae* Averinova 2012 ass. prov., описанная в урочище Быкова шея заповедника Галичья гора [19]. Синтаксоны сближает обширный блок общих константных видов (*Adonis vernalis*, *Allium flavescens*, *Carex humilis*, *Centaurea sumensis*, *Euphorbia subtilis*, *Galium octonarium*, *Melampyrum argyrocotum*, *Trinia multicaulis*, *Veronica incana* и др.). Однако есть и существенные отличия. Например, для



Таблица 2 / Table 2

**Дифференциация синтаксонов подсоюза *Bupleuro falcati*–*Gypsophilenion altissimae* Averinova 2005  
(фрагмент синоптической таблицы)  
Differentiation of the syntaxa of the suballiance *Bupleuro falcati*–*Gypsophilenion altissimae* Averinova 2005  
(fragment of the synoptic table)**

Область / Region	Орловская / Orel	Липецкая / Lipetsk			Тульская / Tula		Курская / Kursk				
Номер синтаксона / Syntaxon number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Число описаний / Number of relevés	8	8	17	22	22	21	22	9	25	26	20
Диагностические виды ассоциации <i>Onosmato simplicissimae</i> – <i>Salvietum nutantis</i> Diagnostic species of association <i>Onosmato simplicissimae</i> – <i>Salvietum nutantis</i>											
<i>Salvia nutans</i>	V <sup>1-2</sup>	.	.	.	.	.	III	II	IV	V	V
<i>Echinops ruthenicus</i>	V <sup>r-2</sup>	I	.	I	V <sup>r-2</sup>	II	I	.	I	II	.
<i>Asparagus officinalis</i>	V	I	II	III	I	.	.	.	I	I	I
<i>Onosma simplicissima</i>	V	.	III	.	.	.	.	.	III	II	.
<i>Clematis integrifolia</i>	IV	.	.	III	.	.	.	.	I	I	.
<i>Amygdalus nana</i>	IV	.	III	.	.	.	.	.	.	.	.
Диагностические виды сообщества <i>Centaurea sumensis</i> Diagnostic species of community <i>Centaurea sumensis</i>											
<i>Sisymbrium polymorphum</i>	II	IV	.	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Steris viscaria</i>	.	III	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Диагностические виды ассоциации <i>Allio paniculati</i> – <i>Gypsophiletum altissimae</i> Diagnostic species of association <i>Allio paniculati</i> – <i>Gypsophiletum altissimae</i>											
<i>Allium paniculatum</i>	.	.	V	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Euphorbia sareptana</i>	.	.	IV	.	.	.	.	.	I	.	.
<i>Inula hirta</i>	.	II	IV	.	I	I	.	.	II	.	I
<i>Anthyllis vulneraria</i>	.	.	III	I	I	I	I	.	.	.	I
Диагностические виды ассоциации <i>Diantho andrzejowskiani</i> – <i>Spiraeetum litwinowii</i> Diagnostic species of association <i>Diantho andrzejowskiani</i> – <i>Spiraeetum litwinowii</i>											
<i>Dianthus andrzejowskianus</i>	.	.	.	V	.	.	.	.	.	.	I
<i>Spiraea litwinowii</i>	.	IV	IV	V <sup>r-4</sup>	.	.	.	.	.	.	.
<i>Salvia tesquicola</i>	.	.	.	V	.	.	.	.	.	.	.
<i>Campanula rapunculoides</i>	II	.	II	V	II	II	.	I	.	I	.
<i>Androsace septentrionalis</i>	.	.	.	IV	.	.	.	.	I	.	.
<i>Erysimum hieracifolium</i>	.	.	I	IV	.	.	.	.	.	.	I
<i>Potentilla pimpinelloides</i>	I	II	I	III	.	.	.	.	.	.	.
<i>Gypsophila paniculata</i>	.	.	.	III	.	.	.	.	.	.	.
Диагностические виды ассоциации <i>Stachyo rectae</i> – <i>Echinopetum ruthenicum</i> Diagnostic species of association <i>Stachyo rectae</i> – <i>Echinopetum ruthenicum</i>											
<i>Linum flavum</i>	.	.	II	.	IV	.	.	.	I	I	III
<i>Echium russicum</i>	.	.	.	.	III	.	.	.	I	.	I
<i>Trommsdorfia maculata</i>	.	II	.	.	III	I	.	.	.	.	.
Диагностические виды ассоциации <i>Gentiano cruciatae</i> – <i>Stipetum pennatae</i> Diagnostic species of association <i>Gentiano cruciatae</i> – <i>Stipetum pennatae</i>											
<i>Astragalus danicus</i>	.	II	I	I	III	V	.	.	I	I	.
<i>Gentiana cruciata</i>	.	I	.	.	I	IV	.	.	I	.	.
<i>Cirsium polonicum</i>	.	.	.	.	I	III	.	I	I	.	.
<i>Pedicularis kaufmannii</i>	.	.	.	.	.	III	.	.	I	.	.
<i>Veronica teucrium</i>	.	.	.	I	I	III	.	.	.	.	.



Продолжение табл. 2 / Continuation of the Table 2

Номер синтаксона / Syntaxon number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Диагностические виды ассоциации <i>Asperulo cynanchicae–Onobrychidetum arenariae</i> Diagnostic species of association <i>Asperulo cynanchicae–Onobrychidetum arenariae</i>											
<i>Medicago lupulina</i>	.	.	.	.	.	.	IV	II	.	I	.
<i>Viola rupestris</i>	.	.	.	.	I	II	IV	I	II	II	I
<i>Helichrysum arenarium</i>	.	.	.	I	.	.	III	.	I	I	I
<i>Veronica prostrata</i>	I	.	.	I	.	.	III	.	I	I	.
Диагностические виды ассоциации <i>Allio rotundi–Astragaletum onobrychis</i> Diagnostic species of association <i>Allio rotundi–Astragaletum onobrychis</i>											
<i>Allium rotundum</i>	.	.	II	III	I	I	I	V	I	.	.
<i>Astragalus onobrychis</i>	.	.	.	II	II	.	.	IV	I	.	II
<i>Reseda lutea</i>	.	.	.	.	.	.	I	IV	.	I	.
<i>Tragopogon dubius</i>	.	.	.	.	.	.	I	IV	.	I	.
<i>Oxytropis pilosa</i>	I	.	.	.	I	I	I	IV	I	II	.
<i>Festuca pratensis</i>	.	.	.	.	I	I	II	IV	I	.	I
<i>Trifolium pratense</i>	.	.	.	.	.	.	I	IV	I	.	.
<i>Hypericum perforatum</i>	I	.	.	I	I	II	II	IV	I	I	II
Диагностические виды ассоциации <i>Astero amelli–Potentilletum humifusae</i> Diagnostic species of association <i>Astero amelli–Potentilletum humifusae</i>											
<i>Aster amellus</i>	II	II	IV	.	.	.	.	.	IV	I	II
<i>Pulsatilla patens</i>	.	II	I	.	.	.	.	.	III	.	I
Диагностические виды ассоциации <i>Gypsophilo altissimae–Stipetum capillatae</i> Diagnostic species of association <i>Gypsophilo altissimae–Stipetum capillatae</i>											
<i>Achillea setacea</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	II	IV	.
Диагностические виды ассоциации <i>Inulo ensifoliae–Stipetum pennatae</i> Diagnostic species of association <i>Inulo ensifoliae–Stipetum pennatae</i>											
<i>Inula ensifolia</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	V
<i>Chamaecytisus austriacus</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	.	I	III
Диагностические виды подсоюза <i>Bupleuro falcati–Gypsophilenion altissimae (BG)</i> Diagnostic species of suballiance <i>Bupleuro falcati–Gypsophilenion altissimae (BG)</i>											
<i>Gypsophila altissima</i>	V	V	V	III	III	II	IV	II	V	V	V
<i>Astragalus austriacus</i>	IV	II	V	II	I	.	II	IV	III	III	.
<i>Bupleurum falcatum</i>	III	II	III	V	.	.	III	III	V	IV	.
<i>Jurinea arachnoidea</i>	V	V	IV	.	I	IV	III	.	II	I	I
<i>Salvia verticillata</i>	.	IV	IV	I	II	.	III	V	III	IV	IV
<i>Polygala sibirica</i>	III	II	I	.	II	.	III	.	I	.	I
<i>Poa compressa</i>	II	.	I	I	I	I	III	V	I	I	I
Диагностические виды союза <i>Festucion valesiacaе</i> и порядка <i>Festucetalia valesiacaе (Fv)</i> Diagnostic species of alliance <i>Festucion valesiacaе</i> and order <i>Festucetalia valesiacaе (Fv)</i>											
<i>Adonis vernalis</i>	III	III	IV	.	V	II	I	.	IV	III	III
<i>Scabiosa ochroleuca</i>	III	IV	III	I	V	III	V	II	IV	V	V
<i>Veronica spicata</i>	.	II	I	V	I	V	II	.	II	I	I
<i>Onobrychis arenaria</i>	II	II	I	III	III	V	IV	I	IV	III	III
<i>Thymus marschallianus</i>	V	IV	V	IV	III	IV	III	I	I	.	.
<i>Campanula sibirica</i>	II	.	II	I	III	IV	V	II	IV	V	IV
<i>Hypericum elegans</i>	II	I	I	II	II	I	II	II	I	I	I



Продолжение табл. 2 / Continuation of the Table 2

Номер синтаксона / Syntaxon number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Диагностические виды класса <i>Festuco–Brometea</i> (FB) Diagnostic species of class <i>Festuco–Brometea</i> (FB)											
<i>Carex humilis</i>	V	V	V	II	V	III	II	I	V	III	III
<i>Festuca valesiaca</i>	V	IV	IV	III	IV	V	V	III	IV	IV	III
<i>Galium verum</i>	II	II	III	V	V	V	V	V	IV	IV	III
<i>Medicago falcata</i>	V	IV	V	V	V	V	V	V	IV	III	V
<i>Stipa pennata</i>	IV	IV	V	III	V	V	.	.	V	V	V
<i>Poa angustifolia</i>	IV	IV	II	V	V	V	IV	V	III	II	III
<i>Stachys recta</i>	V	V	IV	II	V	I	III	II	III	III	IV
<i>Centaurea scabiosa</i>	V	I	IV	V	IV	V	I	II	II	I	III
<i>Fragaria viridis</i>	II	IV	I	V	V	V	II	III	II	III	I
<i>Filipendula vulgaris</i>	.	IV	V	IV	V	V	I	.	IV	II	II
<i>Asperula cynanchica</i>	.	.	III	III	III	I	V	.	III	IV	V
<i>Stipa capillata</i>	II	IV	IV	III	IV	I	I	.	II	V	III
<i>Koeleria cristata</i>	III	II	III	II	III	II	III	.	II	I	I
<i>Seseli annuum</i>	.	II	III	.	I	V	I	.	IV	II	II
<i>Salvia pratensis</i>	.	V	III	I	V	V	IV	I	.	.	.
<i>Potentilla heptaphylla</i>	.	.	.	.	II	III	II	I	.	.	.
<i>Potentilla arenaria</i>	.	.	IV	II	.	.	III	.	.	I	.
Диагностические виды класса <i>Trifolio–Geranietea sanguinei</i> (TG) Diagnostic species of class <i>Trifolio–Geranietea sanguinei</i> (TG)											
<i>Thalictrum minus</i>	V	V	V	V	V	V	II	II	IV	III	IV
<i>Securigera varia</i>	V	V	IV	II	III	III	II	III	II	III	II
<i>Agrimonia eupatoria</i>	II	II	I	IV	V	V	IV	V	II	III	IV
<i>Galium tinctorium</i>	IV	II	IV	I	III	I	.	.	III	II	I
<i>Anemone sylvestris</i>	.	II	.	.	III	I	I	I	II	I	I
<i>Anthericum ramosum</i>	IV	V	V	.	IV	I	.	.	III	I	IV
<i>Vincetoxicum hirsutum</i>	V	V	V	II	IV	I	I	.	III	III	III
<i>Knautia arvensis</i>	I	II	.	III	IV	V	I	.	I	I	I
<i>Viola hirta</i>	.	.	.	.	III	II	III	III	I	.	I
<i>Geranium sanguineum</i>	.	II	III	.	I	I	.	.	I	.	.
Диагностические виды класса <i>Molinio–Arrhenatheretea</i> Diagnostic species of class <i>Molinio–Arrhenatheretea</i>											
<i>Lotus corniculatus</i>	.	.	.	II	II	III	III	V	I	I	I
<i>Plantago lanceolata</i>	.	I	.	I	.	I	V	V	II	II	II
<i>Leucanthemum vulgare</i>	.	.	.	.	III	I	II	I	I	I	I
<i>Phleum pratense</i>	.	.	.	.	.	I	II	III	I	.	I
<i>Galium mollugo</i>	.	.	.	I	I	.	II	II	I	.	I
<i>Centaurea jacea</i>	.	.	.	.	.	II	.	II	I	.	I
<i>Prunella vulgaris</i>	.	.	.	.	.	I	I	II	I	.	.
<i>Vicia cracca</i>	.	.	.	I	I	II	.	.	.	.	.





Продолжение табл. 2 / Continuation of the Table 2

Номер синтаксона / Syntaxon number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Виды, дифференцирующие сообщества подсоюза <i>Bupleuro-Gypsophilenion</i> на известняках Species differentiating the communities of the suballiance <i>Bupleuro-Gypsophilenion</i> on limestones											
<i>Veronica jacquini</i> (Fv)	V	III	II	V	V	V	.	.		I	I
<i>Eremogone micradenia</i>	IV	IV	V	II	I	III	.	.	I	.	I
<i>Phlomis tuberosa</i> (FB)	.	II	I	IV	IV	III	I	.	.	.	I
<i>Amaranthus montanus</i>	III	II	III	IV	V	V	.	.	II	.	I
<i>Senecio jacobaea</i>	IV	.	III	II	III	IV	II	.	I	I	I
<i>Euphorbia subtilis</i>	V	V	III	I	III	I	.	.	I	.	.
<i>Allium flavescens</i>	IV	IV	III	I	III	II	I	.	II	II	I
<i>Trinia multicaulis</i>	III	II	III	III	II	I	I	.	I	.	I
<i>Melampyrum argyrocomum</i>	IV	II	V	V	.	.	I	.	II	II	.
<i>Galium octonarium</i>	V	V	V	.	III	.	.	.	.	I	.
<i>Scorzonera purpurea</i>	II	I	I	III	III	III	.	.	I	.	I
<i>Eryngium planum</i>	.	.	I	IV	II	III	I	II	I	I	I
<i>Campanula rotundifolia</i>	.	.	I	II	II	III	I	.	.	.	.
<i>Seseli libanotis</i> (TG)	V	II	III	V	.	.	.	.	I	I	I
<i>Centaurea ruthenica</i>	I	II	III	.	II	.	.	.	I	.	.
<i>Campanula altaica</i>	.	II	II	II	I	.	.	.	I	.	.
<i>Prunus spinosa</i>	.	.	II	III	I	I	.	.	.	.	.
Виды, дифференцирующие сообщества подсоюза <i>Bupleuro-Gypsophilenion</i> на мелах Species differentiating the communities of the suballiance <i>Bupleuro-Gypsophilenion</i> on cretaceous substrate											
<i>Centaurea pseudomaculosa</i>	.	II	.	I	.	.	IV	V	II	II	IV
<i>Euphorbia seguieriana</i> (BG)	I	.	.	.	.	.	II	.	V	IV	V
<i>Helianthemum nummularium</i> (BG)	.	.	.	.	I	.	III	.	III	III	.
<i>Hieracium pilosella</i>	.	.	.	.	.	.	V	I	II	III	I
Виды классов антропогенной растительности Species of classes of anthropogenic vegetation											
<i>Euphorbia virgata</i>	III	II	III	V	IV	IV	I	III	I	I	I
<i>Convolvulus arvensis</i>	II	II	II	II	III	III	III	V	I	I	.
<i>Achillea millefolium</i>	I	II	.	III	III	IV	V	V	I	.	IV
<i>Lactuca serriola</i>	.	.	IV	IV	.	.	I	II	.	I	.
<i>Stachys annua</i>	.	.	I	III	.	.	I	.	.	I	.
<i>Bromopsis inermis</i>	I	.	I	I	IV	IV	II	I	I	I	I
<i>Cichorium intybus</i>	.	.	.	.	II	III	II	V	I	I	I
<i>Picris hieracioides</i>	.	.	.	.	I	III	I	III	I	I	II
<i>Melilotus officinalis</i>	.	.	.	II	I	I	II	IV	.	.	I
<i>Taraxacum officinale</i>	.	.	.	I	I	I	III	III	I	.	I
<i>Carduus acanthoides</i>	.	.	.	.	.	I	II	V	I	I	I
<i>Daucus carota</i>	.	.	.	.	.	.	V	V	I	I	II
<i>Achillea nobilis</i>	.	.	.	.	I	.	II	III	I	I	.
<i>Echium vulgare</i>	.	.	.	.	II	.	III	V	.	II	II
<i>Elytrigia repens</i>	.	.	.	I	.	I	IV	III	I	.	.
<i>Artemisia absinthium</i>	.	.	.	.	I	.	I	V	.	.	I
<i>Pastinaca sylvestris</i>	.	.	.	.	.	I	I	IV	.	.	I
<i>Lappula squarrosa</i>	.	.	.	.	.	.	III	.	.	.	.



Окончание табл. 2 / End of the Table 2

Номер синтаксона / Syntaxon number	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Прочие виды / Other species											
<i>Verbascum lychnitis</i>	V	IV	IV	IV	I	III	II	III	II	III	I
<i>Elytrigia intermedia</i>	V	.	IV	V	III	III	I	III	I	III	IV
<i>Artemisia campestris</i>	V	IV	III	I	II	IV	II	.	II	I	IV
<i>Centaurea sumensis</i>	V	V <sup>r-3</sup>	IV	.	III	I	I	.	IV	II	III
<i>Galium boreale</i>	I	IV	III	I	V	III	I	.	III	I	.
<i>Chamaecytisus ruthenicus</i>	II	IV	IV	III	III	V	.	.	III	I	II
<i>Genista tinctoria</i>	.	I	IV	II	II	III	.	.	III	I	II
<i>Anthemis tinctoria</i>	.	II	III	I	I	.	III	IV	.	I	I
<i>Acinos arvensis</i>	.	II	III	II	.	.	IV	III	I	I	.
<i>Viola ambigua</i>	IV	III	III	I	.	.	.	.	II	III	II
<i>Linum perenne</i>	IV	.	III	II	.	.	III	.	II	II	III
<i>Veronica incana</i>	IV	II	IV	.	I	.	.	.	III	I	II
<i>Potentilla humifusa</i>	IV	II	.	.	.	.	.	.	V	V	II
<i>Iris aphylla</i>	II	II	II	.	II	.	.	.	I	I	.
<i>Plantago media</i>	.	.	.	I	I	III	III	II	III	II	II
<i>Pimpinella saxifraga</i>	.	I	.	.	II	III	II	II	I	II	III
<i>Ranunculus polyanthemos</i>	.	I	.	I	II	III	I	II	II	I	I
<i>Hieracium echiooides</i>	.	.	IV	III	.	.	.	.	I	I	.
<i>Thesium arvense</i>	II	.	.	.	.	.	I	.	I	.	.

Примечание / Note. Синтаксоны / Syntaxa: 1 – *Onosmato simplicissimae–Salvietum nutantis* Averinova ass. nov. var. *typica*; 2 – сообщество / community *Centaurea sumensis* [*Bupleuro falcati–Gypsophilenion altissimae*]; 3 – *Allio paniculati–Gypsophiletum altissimae* Averinova 2012 ass. prov.; 4 – *Diantho andrzejowskiani–Spiraeetum litwinowii* Averinova 2012 ass. prov.; 5 – *Stachyo rectae–Echinopetum ruthenicum* Averinova 2010 ass. prov.; 6 – *Gentiano cruciatae–Stipetum pennatae* Averinova 2010 ass. prov.; 7 – *Asperulo cynanchicae–Onobrychidetum arenariae* Averinova 2005; 8 – *Allio rotundi–Astragaletum onobrychis* (Averinova 2005) Poluyanov et Averinova 2012; 9 – *Astero amelli–Potentilletum humifusae* Poluyanov in Poluyanov et Averinova 2012; 10 – *Gypsophilo altissimae–Stipetum capillatae* Poluyanov 2009; 11 – *Inulo ensifoliae–Stipetum pennatae* Poluyanov in Poluyanov et Averinova 2012.

Источники информации: синтаксон 2 – неопубликованные данные Е. А. Авериновой; синтаксоны 3, 4 – [19]; синтаксоны 5, 6 – [20]; синтаксоны 7–11 – [21].

Sources of information: syntaxon 2 – unpublished data by E. A. Averinova; syntaxa 3, 4 – [19]; syntaxa 5, 6 – [20]; syntaxa 7–11 – [21].

*Allio–Gypsophiletum* характерна высокая константность *Acinos arvensis*, *Allium paniculatum*, *Anthemis tinctoria*, *Anthyllis vulneraria*, *Asperula cynanchica*, *Euphorbia sareptana*, *Genista tinctoria*, *Geranium sanguineum*, *Hieracium echiooides*, *Inula hirta*, *Lactuca serriola*, *Potentilla arenaria*, *Salvia verticillata*, *Seseli annuum*, *Spiraea litwinowii*, которые в сообществах Кузилинки отмечены не были. В то же время *Onosmato–Salvietum* отличается высокое постоянство *Asparagus officinalis*, *Clematis integrifolia*, *Echinops ruthenicus*, *Polygala sibirica*, *Salvia nutans*, *Potentilla humifusa*, *Veronica jacquinii*. Кроме того, у фитоценозов Быковой шеи выше флористическая насыщенность – от 48 до 63 видов на 100 м<sup>2</sup> (средняя 55).

Экологическую специфику сообществ ассоциации *Onosmato–Salvietum* в сравнении с другими синтаксонами подсоюза *Bupleuro–Gypsophilenion* иллюстрируют результаты DCA-ординации (см. рис. 3). Здесь ось 1 интерпретирована как фактор интенсивности антропогенной нагрузки. В левой части оси, преимущественно в диапазоне значений от 0 до 1, сгруппированы сообщества, описанные в Государственном природном заповеднике «Галичья гора» (Липецкая область) [19]. Это ассоциации *Allio paniculati–Gypsophiletum altissimae* (синтаксон 3) и *Diantho andrzejowskiani–Spiraeetum litwinowii* (4). В заповеднике действует абсолютно заповедный режим, следовательно, антропогенная нагрузка сведена к

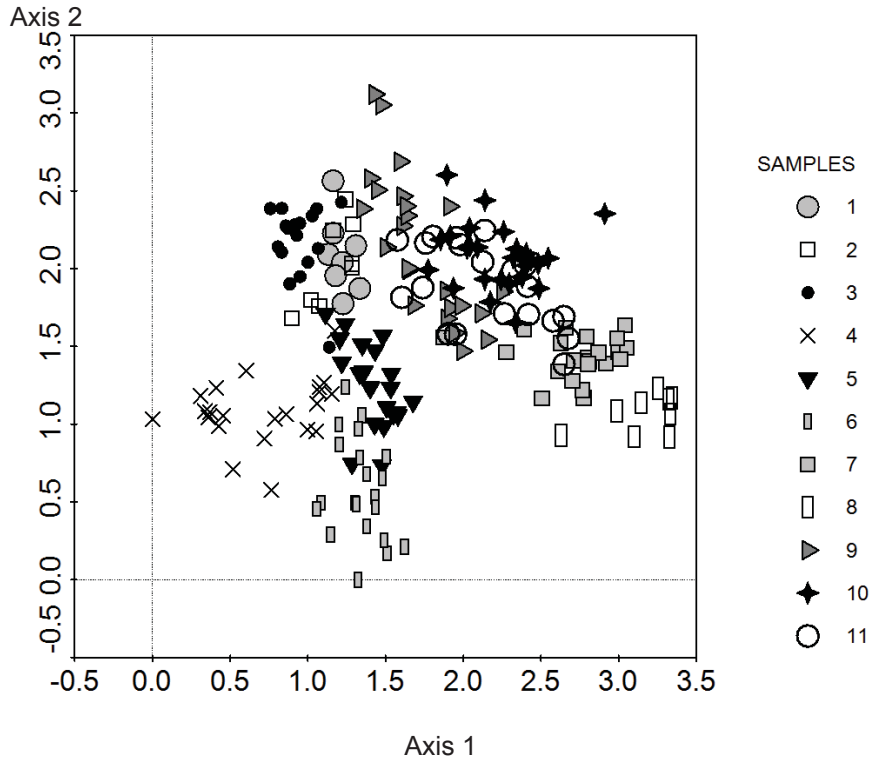


Рис. 3. Ординация сообществ синтаксонов подсоюза *Bupleuro falcati*–*Gypsophilenion altissimae* Averinova 2005 в пространстве первых двух осей максимального варьирования. Нумерацию синтаксонов см. табл. 2

Fig. 3. Ordination of the communities of the syntaxa of the suballiance *Bupleuro falcati*–*Gypsophilenion altissimae* Averinova 2005 in the space of the first two axes of maximum variation. The numbering of the syntaxa is like in the Table 2

минимуму. Фитоценозы *Onosmato*–*Salvietum* из Кузилинки (1) расположены в диапазоне значений от 1 до 1,5, что свидетельствует о незначительном влиянии антропогенного фактора. Также преимущественно в этом диапазоне сгруппированы сообщества ассоциаций *Stachyo rectae*–*Echinopetum ruthenicum* (5) и *Gentiano cruciatae*–*Stipetum pennatae* (6), описанные в Государственном военно-историческом и природном музее-заповеднике «Куликово поле» (Тульская область) [20]. В правой части оси 1 в диапазоне значений от 1,5 до 3,5 находятся фитоценозы синтаксонов 7–11, распространённые в Курской области на территориях преимущественно без охранного статуса и, соответственно, испытывающие существенное давление антропогенного пресса [21]. Данные DCA-ординации согласуются с встречаемостью в сообществах видов растений, свойственных антропогенной растительности (см. табл. 2).

Ось 2 интерпретирована как комплексный градиент влажности и плодородия субстрата. Эти признаки коррелируют со степенью эродированности почв и участием в формировании субстрата

карбонатных пород. В нижней части оси сгруппированы сообщества *Gentiano*–*Stipetum* (6), распространённые в северной подзоне лесостепи на относительно хорошо развитых карбонатных чернозёмах с незначительной примесью известнякового щебня или вообще без выходов известняка (крайние нижние положения на оси) [20].

Самые верхние точки на оси в диапазоне от 3 до 3,5 соответствуют сообществам *Astero amelli*–*Potentilletum humifusae* (9), распространённым в южной подзоне лесостепи (юго-восточные районы Курской области) на меловом щебне с примесью карбонатного чернозёма [8, 21]. Сообщества *Gypsophilo altissimae*–*Stipetum capillatae* (10), расположенные в диапазоне от 1,5 до 2,5, также тяготеют к южной подзоне лесостепи, краем ареала заходя в центральную подзону. Фитоценозы центральной подзоны (7, 8 и отчасти 11) сгруппированы преимущественно в диапазоне от 1 до 1,5.

Важно, что сообщества Кузилинки (как и урочища Быкова шея), находящиеся в северной подзоне лесостепи, располагаются на оси 2 на



одном уровне с фитоценозами южной подзоны. Это полностью согласуется с присутствием в их составе «южных» видов растений. Видимо, причина заключается в физических свойствах девонских известняков, выходящих на поверхность в Северо-Донском реликтовом районе. Для них характерна высокая твёрдость и низкая пористость по сравнению с мелями юга Среднерусской возвышенности и, следовательно, более низкая влагоёмкость. Данные ДСА-ординации подтверждаются распространением в сообществах синтаксонов луговых видов класса *Molinio-Arrhenatheretea* (см. табл. 2).

### Заключение

Уникальные для Орловской области сообщества памятника природы «Урочище Кузилинка» и его окрестностей выделены в ранге ассоциации *Onosmato simplicissimae-Salvietum nutantis* Averiņova ass. nov., которая включает два варианта (*typica* и *inops*). Находясь в северной подзоне лесостепи, фитоценозы ассоциации обладают чертами кальцефитных степей южной подзоны, что подтверждается результатами непрямой ординации. Видимо, это связано с физическими свойствами девонских известняков.

Геоботаническая целостность урочища Кузилинка и лога Богатое подтверждает целесообразность расширения границ памятника природы «Урочище Кузилинка» в соответствии с имеющимися предложениями [2].

### Список литературы

1. Красная книга Орловской области. Грибы. Растения. Животные / отв. ред. О. М. Пригоряну. Орёл : Издатель А. В. Воробьёв, 2007. 264 с.
2. Киселёва Л. Л., Пригоряну О. М., Вышегородских Н. В., Золотухин Н. И., Рыжков О. В., Фандеева О. И. Вопросы охраны ковылей и ковыльных степей в Орловской области // Ковыли и ковыльные степи Белгородской, Курской, Орловской областей : кадастр сведений, вопросы охраны. Курск : Изд-во ИП Бабкина Г. П., 2015. С. 428–461.
3. Виноградов Н. П., Голицын С. В. Реликты Северного Дона // Бот. журн. 1950. Т. 35, № 1. С. 70–71.
4. Виноградов Н. П., Голицын С. В. «Сниженные альпы» и тимьянники Среднерусской возвышенности // Бот. журн. 1954. Т. 39, № 3. С. 423–430.
5. Виноградов Н. П., Голицын С. В., Денисова Л. В. Ботанические памятники природы Центрально-Чернозёмных областей // Охрана природы и заповедное дело в СССР. М., 1960. Бюл. № 5. С. 3–37.
6. Киселёва Л. Л., Фандеева О. И. Репрезентативность видов Красной книги РФ (2008) и Красной книги Орловской области (2007) на лугово-степных ООПТ региона : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 130-летию со дня рождения проф. В. В. Алёхина (г. Курск – пос. Заповедный, 15–18 января 2012 г.). Курск, 2012. С. 84–87.
7. Аверина Е. А. Предварительные итоги эколого-флористической классификации растительности памятника природы «Урочище Кузилинка» // Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 135-летию со дня рождения проф. В. Н. Хитрово «Актуальность идей В. Н. Хитрово в исследовании биоразнообразия России» и Круглый стол «Продукционный процесс растений и его регуляция» в честь 110-летия со дня рождения проф. С. И. Ефремова : сб. ст. (Орёл, 18–20 сентября 2014 г.) / под ред. Т. И. Пузиной. Орёл, 2014. С. 113–117.
8. Полуянов А. В., Дорофеева П. А. Синтаксономия растительных сообществ с участием видов рода *Stipa* L. в Белгородской, Курской и Орловской областях // Ковыли и ковыльные степи Белгородской, Курской, Орловской областей: кадастр сведений, вопросы охраны. Курск : Изд-во ИП Бабкина Г. П., 2015. С. 306–340.
9. Киселёва Л. Л., Пригоряну О. М., Щербаков А. В., Золотухин Н. И. Атлас редких и охраняемых растений Орловской области / под ред. М. В. Казаковой. Орёл : Издатель А. В. Воробьёв, 2012. 468 с.
10. Westhoff V., van der Maarel E. The Braun-Blanquet approach // Classification of plant communities. The Hague : Junk, 1978. P. 287–399.
11. Hennekens S. M. TURBO(VEG). Software package for input, processing and presentation of phytosociological data. Lancaster : Wageningen et University of Lancaster, 1995. 70 p.
12. Tichý L., Holt J., Nejezchlebová M. JUICE. Program for management, analysis and classification of ecological data. 2nd ed. Brno : Masaryk Univ., 2011. 61 p.
13. Ter Braak C. J. F., Smilauer P. Reference manual and CanoDraw for Windows User's guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power. Ithaca, NY, USA, 2002.
14. Weber H. E., Moravec J., Theourillat D.-P. International code of phytosociological nomenclature. 3rd ed. // Journal of Vegetation Science. 2000. Vol. 11, № 5. P. 739–768.
15. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб. : Мир и семья–95, 1995. 990 с.
16. Аверина Е. А. Кальцефитные степные сообщества бассейна реки Сейм (в пределах Курской области) // Растительность России. 2005. № 7. С. 39–49.
17. Аверина Е. А. Травяная растительность бассейна реки Сейм (в пределах Курской области). Брянск : РИО БГУ, 2010. 351 с.
18. Киселёва Л. Л., Фандеева О. И., Золотухин Н. И., Пригоряну О. М., Золотухина И. Б., Полуянов А. В. Геоботанические описания сообществ с ковылями в Орловской области // Ковыли и ковыльные степи Белгородской, Курской, Орловской областей : кадастр сведений, вопросы охраны. Курск : Изд-во ИП Бабкина Г. П., 2015. С. 279–305.



19. Аверина Е. А. Луговые степи заповедника Галичья гора (Липецкая область) // Вестник Брянского государственного университета. 2012. № 4: Точные и естественные науки. С. 12–16.
20. Аверина Е. А. Синтаксономия степей Тульской области // Вестник Брянского государственного университета. 2010. № 4: Точные и естественные науки. С. 73–81.
21. Полуянов А. В., Аверина Е. А. Травяная растительность Курской области (синтаксономия и вопросы охраны). Курск : Изд-во КГУ, 2012. 276 с.

## References

1. *Krasnaya kniga Orlovskoj oblasti. Griby. Rasteniya. Zhivotnye*. Otv. red. O. M. Prigoryanu [O. M. Prigoryanu, ed. Red Book of Orel region. Mushrooms. Plants. Animals]. Oryol, Izdatel' A. V. Vorob'yov, 2007. 264 p. (in Russian).
2. Kiselyova L. L., Prigoryanu O. M., Vyshegorodskikh N. V., Zolotuhin N. I., Ryzhkov O. V., Fandeeva O. I. The matters of conservation of the feather-grass and the feather-grass steppes in the Orel region. In: *Kovyli i kovyl'nye stepi Belgorodskoj, Kurskoj, Orlovskoj oblastej: kadastr svedenij, voprosy ohrany* [The Feather-grass and the Feather-grass Steppes of the Belgorod, Kursk, Orel Regions: Cadastre of Information, the Matters of Conservation]. Kursk, Izd-vo IP Babkina G. P., 2015, pp. 428–461 (in Russian).
3. Vinogradov N. P., Golicyn S. V. Relicts of North Don. *Botanical Journal*, 1950, vol. 35, no. 1, pp. 70–71 (in Russian).
4. Vinogradov N. P., Golicyn S. V. "The Lowered Alps" and thyme communities of the Middle-Russian Upland. *Botanical Journal*, 1954, vol. 39, no. 3, pp. 423–430 (in Russian).
5. Vinogradov N. P., Golicyn S. V., Denisova L. V. Botanical nature monuments of the Central Chernozem regions. In: *Ohrana prirody i zapovednoe delo v SSSR* [Nature Conservation and Reserve Management and Studies in USSR]. Moscow, 1960, bull. no. 5, pp. 3–37 (in Russian).
6. Kiselyova L. L., Fandeeva O. I. Representativeness of the species of the Red Book of the Russian Federation (2008) and the Red Book of the Orel region (2007) in the meadow-steppe protected areas of the region. In: *Materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 130-letiyu so dnya rozhdeniya prof. V. V. Alyohina (g. Kursk – pos. Zapovednyj, 15–18 yanvarya 2012 g.)* [Materials of the International Scientific and Practical Conference, Dedicated to 130th Anniversary of the Birth of Prof. V. V. Alyokhin (Kursk – village Zapovednyj, January 15–18, 2012)]. Kursk, 2012, pp. 84–87 (in Russian).
7. Averinova E. A. Preliminary results of the ecological and floristic classification of vegetation of the nature monument "Urochishche Kuzilinka" In: *Vseross. nauch. konf. s mezhdunar. uchastiem, posvyashch. 135-letiyu so dnya rozhdeniya prof. V. N. Hitrovo "Aktual'nost' idej V. N. Hitrovo v issledovanii bioraznoobraziya Rossii" i Kruglyj stol "Produkcionnyj process rastenij i ego regulyaciya" v chest' 110-letiya so dnya rozhdeniya prof. S. I. Efremova. Sbornik statej. Oryol, 18–20 sentyabrya 2014 g., pod red. T. I. Puzinoj* [Puzina T. I., ed. All-Russian Scientific Conference with International Participation, Dedicated to the 135th Anniversary of the Birth of Prof. V. N. Khitrovo "Relevance of V. N. Khitrovo's Ideas in the Study of Russian Biodiversity" and the Round Table "Plant Production Process and Its Regulation" in Honor of the 110th Anniversary of the Birth of Prof. S. I. Efremov. Collection of articles. Orel, September 18–20, 2014]. Oryol, 2014, pp. 113–117 (in Russian).
8. Poluyanov A. V., Dorofeeva P. A. Syntaxonomy of plant communities with the species of the genus *Stipa* L. in the Belgorod, Kursk and Orel regions. In: *Kovyli i kovyl'nye stepi Belgorodskoj, Kurskoj, Orlovskoj oblastej: kadastr svedenij, voprosy ohrany* [The Feather-grass and the Feather-grass Steppes of the Belgorod, Kursk, Orel Regions: Cadastre of Information, the Matters of Conservation]. Kursk, Izd-vo IP Babkina G. P., 2015, pp. 306–340 (in Russian).
9. Kiselyova L. L., Prigoryanu O. M., Shcherbakov A. V., Zolotuhin N. I. *Atlas redkih i ohranyaemyh rastenij Orlovskoj oblasti, pod red. M. V. Kazakovoy* [M. V. Kazakova, ed. Atlas of Rare and Protected Plants of the Orel Region]. Oryol, Izdatel' A. V. Vorob'yov, 2012. 468 p (in Russian).
10. Westhoff V., van der Maarel E. The Braun-Blanquet approach. In: *Classification of Plant Communities*. The Hague, Junk, 1978, pp. 287–399.
11. Hennekens S. M. *TURBO(VEG). Software Package for Input, Processing and Presentation of Phytosociological Data*. Lancaster, Wageningen et University of Lancaster, 1995. 70 p.
12. Tichý L., Holt J., Nejezchlebová M. *JUICE. Program for Management, Analysis and Classification of Ecological Data*. 2nd ed. Brno, Masaryk University, 2011. 61 p.
13. Ter Braak C. J. F., Smilauer P. *Reference Manual and CanoDraw for Windows User's Guide: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5)*. Microcomputer Power. Ithaca, NY, USA, 2002.
14. Weber H. E., Moravec J., Theourillat D.-P. International code of phytosociological nomenclature. 3rd ed. *Journal of Vegetation Science*, 2000, vol. 11, no. 5, pp. 739–768.
15. Cherepanov S. K. *Sosudistye rasteniya Rossii i sopredel'nyh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular Plants of Russia and Neighboring States (within the former USSR)]. St. Petersburg, Mir i semya–95 Publ., 1995. 990 p (in Russian).
16. Averinova E. A. Calciphytic steppe communities of the Seim River basin (Within the Kursk Region). In: *Rastitel'nost' Rossii* [Vegetation of Russia], 2005, no. 7, pp. 39–49 (in Russian).



17. Averinova E. A. *Travyanaya rastitel'nost' bassejna reki Sejm (v predelah Kurskoj oblasti)* [Grass Vegetation of the Seim River Basin (Within the Kursk Region)]. Bryansk, RIO BGU, 2010. 351 p (in Russian).
18. Kiselyova L. L., Fandeeva O. I., Zolotuhin N. I., Prigoryanu O. M., Zolotuhina I. B., Poluyanov A. V. Relevés of the communities with the feather-grass in the Orel region. In: *Kovyli i kovyl'nye stepi Belgorodskoy, Kurskoj, Orlovskoy oblastej: kadastr svedenij, voprosy ohrany* [The Feather-grass and the Feather-grass Steppes of the Belgorod, Kursk, Orel Regions: Cadastre of Information, the Matters of Conservation]. Kursk, Izd-vo IP Babkina G. P., 2015, pp. 279–305 (in Russian).
19. Averinova E. A. Meadow steppes of the Galichya Gora nature reserve (Lipetsk region). *Bulletin of the Bryansk State University. Exact and Natural Sciences*, 2012, no. 4, pp. 12–16 (in Russian).
20. Averinova E. A. Syntaxonomy of the steppes of the Tula region. *Bulletin of the Bryansk State University. Exact and Natural Sciences*, 2010, no. 4 pp. 73–81 (in Russian).
21. Poluyanov A. V., Averinova E. A. *Travyanaya rastitel'nost' Kurskoj oblasti (sintaksonomiya i voprosy ohrany)* [Grass Vegetation of the Kursk Region (Syntaxonomy and the Matters of Conservation)]. Kursk, Izd-vo KGU, 2012. 276 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 10.05.21, после рецензирования 10.06.21, принята к публикации 17.06.21  
Received 10.05.21, revised 10.06.21, accepted 17.06.21



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 450–456

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 450–456

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-450-456>

Научная статья  
УДК 581.1+633.11



## Структура элементов продуктивности твердой пшеницы сортов саратовской селекции

Э. Г. Хачатуров , В. В. Коробко

Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, Россия, 410012, г. Саратов, ул. Астраханская, д. 83

Хачатуров Эдуард Гариевич, студент биологического факультета, [sitnikov.edick@yandex.ru](mailto:sitnikov.edick@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4391-8909>

Коробко Валерия Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры микробиологии и физиологии растений, [v.v.korobko@mail.ru](mailto:v.v.korobko@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0444-8238>

**Аннотация.** Объектами исследования служили растения 14 сортов твердой пшеницы *Triticum durum* Desf., допущенные к использованию в разное время в период с 1975 по 2014 г. Проведен анализ элементов продуктивности колоса у растений твердой пшеницы сортов саратовской селекции в условиях 2020 г. Выявлены сортовые особенности развития колоса главного побега по ряду признаков: количеству колосков в колосе, количеству зерновок в колосе, массе зерновки, количеству неозерненных и озерненных колосков. Измерены высота растения и длина колоса. На основании полученных данных рассчитаны селекционные индексы: канадский индекс, мексиканский индекс, индекс линейной плотности колоса, морфогенетический индекс продуктивности. Выявлен сорт со сбалансированным типом морфогенетических систем по элементам продуктивности колоса – количеству колосков, количеству зерновок и их массе – Луч 25. Данный сорт характеризуется наиболее развитым среди изученных сортов эмбриональным побегом, а также максимальной длиной зародышевой корневой системы и высокой скоростью роста корневой системы проростка.

**Ключевые слова:** *Triticum durum* Desf., сорт, элементы структуры урожайности, продуктивность главного колоса, селекционные индексы продуктивности, морфогенетический индекс продуктивности

**Для цитирования:** Хачатуров Э. Г., Коробко В. В. Структура элементов продуктивности твердой пшеницы сортов саратовской селекции // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 450–456. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-450-456>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### The structure of productivity elements of durum wheat varieties of Saratov selection

E. G. Hachaturov , V. V. Korobko

Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia

Eduard G. Hachaturov, [sitnikov.edick@yandex.ru](mailto:sitnikov.edick@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4391-8909>

Valeria V. Korobko, [v.v.korobko@mail.ru](mailto:v.v.korobko@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0444-8238>

**Abstract.** The objects of the study were plants of 14 varieties of durum wheat *Triticum durum* Desf., permitted for use at different times in the period from 1975 to 2014. An analysis of the elements of ear productivity in durum wheat plants of Saratov varieties under the conditions of 2020 was carried out. The varietal features of the development of the spike of the main shoot were revealed according to a number of characteristics: the number of spikelets in a spike, the number of grains in an ear, the weight of a grain, the number of ungrained and grained spikelets. The height of the plant and the length of the spike were measured. On the basis of the data obtained, the selection indices were calculated – the Canadian index, the Mexican index, the index of the linear density of the ear, the morphogenetic index of productivity. A cultivar with a balanced type of morphogenetic systems was revealed in terms of the elements of ear productivity – the number of spikelets, the number of caryopses and their weight – Luch 25. This cultivar is characterized by the most developed embryonic shoot among the studied cultivars, as well as the maximum length of the embryonic root system and a high growth rate root system of the seedling.

**Keywords:** *Triticum durum* Desf., variety, elements of the structure of productivity, productivity of the main spike, selection indices of productivity, morphogenetic index of productivity

**For citation:** Hachaturov E. G., Korobko V. V. The structure of productivity elements of durum wheat varieties of Saratov selection. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 450–456. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-450-456>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



## Введение

Изучение элементов структуры урожайности любой возделываемой культуры позволяет установить закономерности ее формирования. Их анализ необходим для контроля состояния растений и возможности целенаправленного влияния на формирование определенных элементов структуры урожайности [1]. Установление вклада в урожайность отдельных элементов ее структуры имеет также практическое значение и при корректировке программ селекционируемых культур [2].

Твердая пшеница является важнейшей сельскохозяйственной продовольственной культурой, для целенаправленного использования сортового многообразия которой необходимо иметь представление об особенностях формирования продуктивности в конкретных агроклиматических условиях [3]. Известно, что для любой агроклиматической зоны характерен определенный уровень выраженности элементов структуры урожайности пшеницы. Даже при наличии общих тенденций в формировании продуктивности пшеницы в том или ином регионе всегда будут иметься сортовые различия [4].

## Материалы и методы

Исследования проводились в 2020–2021 гг. на кафедре микробиологии и физиологии растений Саратовского национального исследовательского государственного университета имени Н. Г. Чернышевского.

Объекты изучения – четырнадцать сортов яровой твердой пшеницы *Triticum Durum* Desf. саратовской селекции, созданные сотрудниками лаборатории твердой пшеницы ФГБУ «ФАНЦ ЮГО-ВОСТОКА» (в скобках указан год, когда сорт был допущен к использованию): Саратовская 40 (1975), Саратовская 57 (1989), Саратовская 59 (1992), Саратовская золотистая (1993), Людмила (1995), Валентина (1998), Ник (2000), Елизаветинская (2002), Золотая волна (2003), Аннушка (2007), Луч 25 (2014), Крассар (2007), Лилек (2009), Николаша (2009). Последние три сорта созданы совместно с ГНУ Краснодарский НИИСХ им. П. П. Лукьяненко.

Обработка полей полностью соответствовала агротехническим требованиям, предъявляемым для возделывания яровой пшеницы.

Отбор проб проводили в конце вегетации ( $n = 30$ ). Учитывали следующие параметры: длину целого растения, длину главного побега и длину колоса главного побега, количество колосков в колосе, количество озерненных и неозерненных колосков, массу зерновки и 1000 зерновок. По данным параметрам рассчитывали селекционные

индексы. Мексиканский индекс ( $Mx$ ) определяли как отношение массы зерна с колоса (г) к высоте растения (см). Канадский индекс, характеризующий удельный урожай колоса ( $Ki$ ) – как число зерен в колосе (шт.) к длине колоса (см). Индекс линейной плотности колоса (ЛПК) рассчитывали как отношение массы зерна с колоса (г) к длине колоса (см) [5].

Морфогенетический индекс продуктивности (МИП) рассчитывали по формуле:

$$\text{МИП} = (n_1 \times k_1 + n_2 \times k_2 + \dots + n_6 \times k_6) / n_1 + n_2 + \dots + n_6,$$
 где  $n$  – число растений соответствующего класса вариационного ряда элемента продуктивности побега,  $k$  – класс вариационного ряда [6].

На основании полученных данных МИП в соответствии с существующей методикой были построены вариационные кривые, отражающие формирование элементов продуктивности колоса каждого сорта в условиях 2020 г. Наиболее оптимальным для реализации потенциалов колоса на этапах формирования колосков, цветения и налива зерна является расположение полученных из анализа структуры урожая вариационных кривых элементов продуктивности колоса таким образом, чтобы их максимальные значения приходились на один, более высокий класс [7]. Анализ полученных вариационных кривых позволил выявить сорта со сбалансированным типом морфогенетических систем по элементам продуктивности колоса – числу колосков, числу зерновок и их массе.

Статистическую обработку результатов исследований проводили, по Б. А. Доспехову [8], в табличном процессоре Excel пакета MS Office 2010.

## Результаты и их обсуждение

Одним из главных компонентов структуры урожайности пшеницы является продуктивность колоса. Для продуктивных сортов характерны большее число колосков, число зерновок в колосе и колоске, меньший процент неозерненных колосков, большая масса зерновки.

В условиях 2020 г. вегетации длина колоса составила от 8% (сорт Николаша) до 13% (сорт Саратовская 57) от высоты всего растения. Длина колоса растений сортов Лилек, Крассар и НИК соответствует или незначительно отличается от медианного значения данного параметра исследованных сортов (7,8 см). Длина колоса, превышающая значение медианы, выявлена у сортов Саратовская 40, Саратовская 57, Золотая волна, Саратовская золотистая, Валентина, Елизаветинская.

Количество колосков в колосе у растений исследованных сортов твердой пшеницы саратовской селекции в условиях вегетации 2020 г.





составило от 17,7 (Елизаветинская) до 26 шт. (Саратовская 57). Медианному значению (21,0 шт.) соответствует данный показатель у сор-

тов Лилек, Крассар, Николаша, НИК и Луч 25. В табл. 1 представлены данные по количеству озерненных и неозерненных колосков в колосе.

Таблица 1 / Table 1

Элементы продуктивности *Triticum durum* Desf. сортов саратовской селекции  
Elements of productivity *Triticum durum* Desf. varieties of Saratov selection

Сорт / The wheat variety	Количество колосков, шт. / The quantity of spikelets, pcs.	Количество зерновок, шт. / The quantity of grains, pcs.	Масса зерновки, мг / The weight of grain, mg	Длина побега, см / The length of the shoot, cm	Длина колоса, см / The length of ear, cm
Саратовская 40 / Saratovskaya 40	22,20±1,13	36,30±5,07	45,94±4,73	68,17±3,23	8,15±0,30
Саратовская 57 / Saratovskaya 57	26,00±1,83	34,50±4,29	59,60±11,55	61,82±0,89	8,93±0,13
Саратовская 59 / Saratovskaya 59	20,20±1,98	38,40±5,11	45,22±3,44	62,85±3,04	7,54±1,15
Саратовская золотистая / Saratovskaya zolotistaya	23,05±1,74	36,80±3,44	57,23±4,30	76,57±2,74	8,28±0,45
Людмила / Lyudmila	23,20±1,68	39,05±4,70	57,16±5,40	80,04±4,09	7,31±0,47
Валентина / Valentina	18,45±1,28	38,65±4,55	54,47±9,52	75,02±1,51	8,33±0,13
Ник / Nik	21,00±2,18	37,45±5,61	45,88±6,79	71,52±5,74	7,90±0,37
Елизаветинская / Yelizavetinskaya	17,75±1,98	40,90±5,03	43,60±6,02	82,80±3,69	8,81±0,36
Золотая волна / Zolotaya volna	22,40±1,51	35,75±5,30	66,22±9,78	80,23±3,24	8,22±0,46
Аннушка / Annushka	19,35±0,92	47,85±5,83	40,21±5,34	78,07±4,04	7,43±0,37
Крассар / Krassar	21,10±2,06	42,90±5,78	69,86±3,85	68,32±3,47	7,68±0,44
Лилек / Lilyok	21,05±1,40	39,95±5,11	55,36±4,75	70,14±1,57	7,58±0,17
Николаша / Nikolasha	20,55±1,16	37,25±4,43	57,79±2,88	71,77±1,09	6,95±0,12
Луч 25 / Luch 25	20,55±1,92	40,65±7,21	43,46±4,29	76,49±3,45	7,47±0,45
CV, %	9,94	8,69	15,14	12,22	7,32

Примечание. CV, % – коэффициент вариации.

Note. CV, % – variation coefficient.

Статистический анализ полученных данных показал, что степень варьирования количества неозерненных колосков среди сортов саратовской селекции является значительной (коэффициент варьирования 50%).

При проведении структурного анализа продуктивности сортов твердой пшеницы саратовской селекции установлено, что максимальным количеством зерновок в колосе в условиях вегетации 2020 г. характеризуются растения сорта Аннушка (47,85 шт.); минимальным – растения сорта Саратовская 57 (34,5 шт.). Характерно, что по количеству колосков сорт Саратовская 57, наоборот, превосходит другие сорта. Значение медианы составило 38,5; данному значению соответствуют показатель следующих сортов: Николаша, Людмила, Валентина, НИК, Саратовская 59.

Совершенно иная тенденция в развитии колоса отмечена в отношении массы зерновки.

Масса зерновки составляла среди сортов саратовской селекции от 40,21±5,34 (Аннушка) до 69,86±3,85 (Крассар) мг. Медианный показатель составил 53 мг, что характерно для растений сортов Лилек и Валентина.

Коэффициент варьирования является незначительным по трем показателям и составляет 9,9% – по количеству всех колосков, 9,4% – по количеству озерненных колосков и 8,7% – по количеству зерновок в колосе. По показателям массы зерновки и массы 1000 зерновок степень варьирования является средней, составляя 16,0%.

При идентичных условиях выращивания биомасса растений имеет различные значения, что в первую очередь определяется признаком высоты растений. Высота растений пшеницы исследованных сортов варьировала от 70,39±3,15 (Саратовская 59) до 91,61±3,69 см (Елизаветинская).



Увеличение биомассы растений ведёт к накоплению пластических веществ в большем количестве, но зерновая продуктивность у каждого генотипа будет отличаться в связи с различием интенсивности процессов, связанных с перераспределением и утилизацией продуктов фотосинтеза [9, 10]. Косвенно в этом аспекте можно оценить растения, применив мексиканский ин-

декс ( $Mx$ ), который учитывает продуктивность колоса во взаимосвязи с высотой растения. В таблице представлены значения  $Mx$  у исследованных сортов твердой пшеницы. Максимальное значение  $Mx$  отмечено у растений сорта Крассар и Аннушка – 16,45 и 12,64 г/см, наименьшими характеризуются растения сортов Саратовская 57 и Саратовская 40 – 7,30 и 7,52 г/см (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

**Характеристика сортов *Triticum durum* Desf. по селекционным индексам**  
**Characteristics of *Triticum durum* Desf varieties. by selection indices**

Сорт / The wheat variety	$Ki$ , шт./см / pcs/cm	$Mx$ , г/см / g/cm	ЛПК, г/см/ LDE, g/cm
Саратовская 40 / Saratovskaya 40	0,80	7,52	4,45
Саратовская 57 / Saratovskaya 57	0,92	7,30	3,86
Саратовская 59 / Saratovskaya 59	0,96	8,93	5,10
Саратовская золотистая / Saratovskaya zolotistaya	0,91	9,28	4,44
Людмила / Lyudmila	0,98	11,74	5,34
Валентина / Valentina	0,94	9,44	4,64
Ник / Nik	0,78	7,86	4,74
Елизаветинская / Yelizavetinskaya	0,81	8,47	4,64
Золотая волна / Zolotaya volna	0,88	9,50	4,35
Аннушка / Annushka	1,10	12,64	6,44
Крассар / Krassar	1,66	16,45	5,59
Лилек / Lilyok	1,10	11,26	5,27
Николаша / Nikolasha	1,02	11,54	5,36
Луч 25 / Luch 25	0,87	9,83	5,44

Примечание.  $Mx$  – мексиканский индекс,  $Ki$  – канадский индекс, ЛПК – индекс линейной плотности колоса.  
 Note.  $Mx$  – mexican index,  $Ki$  – canadian index, LDE – the index of the linear density of the ear.

Важнейший элемент продуктивности, определяющий урожайность конкретного растения в биоценозе – масса зерна с колоса, формируется с течение всего вегетационного периода и складывается из числа зерен и массы каждой зерновки. Поэтому индекс линейной плотности представляет важную информацию по взаимосвязи «генотип и среда» [11]. По данному индексу выделены сорта с максимальными показателями – это Аннушка и Крассар (значение ЛПК составило 6,44 и 5,59 г/см соответственно).

На основании полученных данных был рассчитан удельный урожай колоса (канадский индекс) и выделены сорта с наиболее высоким его значением в 2020 г.: Аннушка и Лилек – 1,10 шт./см (см. табл. 2). Следует отметить, что распределение влаги в период заложения меристематических бугорков, определяющих количество зёрен и колосков, может быть равномерным по всей делянке только при выровненном рельефе, чего в полевых условиях достичь сложно, в связи

с этим на основании исключительно канадского индекса невозможно корректно оценить сорт [10].

В настоящее время одним из наиболее информативных селекционных критериев потенциала сорта и, соответственно, его урожайности является морфогенетический индекс продуктивности (МИП) для каждого из элементов продуктивности колоса – числа колосков и зерновок, их массы. О существенной информативности данного показателя свидетельствует высокий коэффициент корреляции ( $k = 0,98$ ) между МИП и урожайностью сорта [6].

Как показали исследования (табл. 3), морфогенетический индекс по числу колосков в колосе варьировал от 2,95 (Золотая волна) до 4,25 (Ник). МИП по числу зерновок в колосе исследованных сортов составил 3,15 (Золотая волна, Елизаветинская, Луч 25) – 4,45 (Николаша). Морфогенетический индекс по массе зерновки варьировал от 3,15 (Елизаветинская) до 4,3 (Николаша). Значение МИП по длине побега составило от



Таблица 3 / Table 3

**Морфогенетический индекс продуктивности сортов *Triticum durum* Desf.  
Morphogenetic index of productivity of *Triticum durum* Desf. varieties**

Сорт / The wheat variety	Морфогенетический индекс продуктивности / Morphogenetic index of productivity				
	по числу колосков / by the number of spikelets	по числу зерновок / by the number of grains	по массе зерновки / by weight of the grain	по длине побега / by the length of the shoot	по длине колоса / by the length of the ear
Саратовская 40 / Saratovskaya 40	3,50	3,85	4,15	3,57	2,87
Саратовская 57 / Saratovskaya 57	3,15	3,65	2,85	3,07	3,44
Саратовская 59 / Saratovskaya 59	4,20	3,40	4,75	3,80	4,37
Саратовская золотистая / Saratovskaya zolotistaya	3,75	3,50	3,3	2,90	3,64
Людмила / Lyudmila	3,75	3,75	4,05	3,67	3,40
Валентина / Valentina	3,35	3,55	2,7	2,70	3,37
Ник / Nik	4,25	3,35	2,25	3,64	3,24
Елизаветинская / Yelizavetinskaya	3,40	3,15	2,6	3,60	3,27
Золотая Волна / Zolotaya volna	2,95	3,15	2,8	3,77	3,04
Аннушка / Annushka	3,20	4,00	4,45	4,77	3,57
Крассар / Krassar	4,10	3,50	3,4	3,20	4,10
Лилек / Lilyok	3,75	3,65	4,1	3,54	3,54
Николаша / Nikolasha	3,40	4,45	2,7	4,17	3,70
Луч 25 / Luch 25	3,95	3,15	4	3,47	3,47

2,7 (Валентина) до 4,77 (Аннушка). Морфогенетический индекс по длине колоса варьировал от 2,87 (Саратовская 40) до 4,37 (Саратовская 59).

Морфогенетический анализ растений в период полной спелости зерна позволяет судить по степени развития отдельных элементов продуктивности о характере и условиях процессов роста и органогенеза в конкретных условиях. Созревшее растение с элементами его конструкции представляет собой морфологически фиксированную диаграмму, содержащую всю сумму информации о характере и условиях процессов роста и развития, протекавших на всех этапах органогенеза [12].

Сбалансированность морфогенетических процессов между элементами продуктивности колоса является одним из критериев урожайности того или иного сорта.

На основании полученных данных были построены вариационные кривые, отражающие формирование элементов продуктивности колоса каждого сорта в условиях 2020 г. Анализ полученных данных показал, что в условиях 2020 г. только сорт Луч 25 можно отнести к сортам со сбалансированным типом морфогенетических

систем по элементам продуктивности колоса – числу колосков, числу зерновок и их массе.

В ранее проведенных нами исследованиях [13–15] установлено, что проростки сорта Луч 25 характеризуются наиболее развитым среди изученных сортов эмбриональным побегом, наибольшей длиной и высокой скоростью роста корневой системы. Установлено, что сорт Луч 25 отличается от других изученных сортов по изменению корнеобеспеченности проростка: к 12-му дню вегетации корнеобеспеченность проростков всех сортов снижается, тогда как для проростков сорта Луч 25 характерно увеличение данного показателя в период с 5-го по 12-й день вегетации на 9%.

### **Заключение**

Наиболее полная реализация потенциала продуктивности сортов в определенных условиях культивирования является, по мнению многих исследователей [2, 6, 7], основным резервом повышения урожайности.

Выявлены особенности в развитии элементов продуктивности колоса у растений твердой пшеницы сортов саратовской селекции в условиях



2020 г.: количество колосков в колосе варьирует от 17,7 (Елизаветинская) до 26 (Саратовская 57) шт.; количество зерновок в колосе – от 34,5 (Саратовская 57) до 47,85 (Аннушка) шт.; масса зерновки – от 1,65 (НИК) до 2,94 (Крассар) мг; количество неозерненных колосков – от 1,1 (Луч 25, Саратовская 59) до 4 (Николаша) шт.; количество озерненных колосков составляет от 16,5 (Николаша) до 22,3 (Саратовская 57) шт.

Морфогенетический индекс продуктивности в условиях 2020 г. составил: по числу колосков в колосе – от 2,95 до 4,25; по числу зерновок в колосе – от 3,15 до 4,45; по массе зерновки – 2,25–4,75; по длине колоса – от 2,87 до 4,37.

В условиях 2020 г. к сортам со сбалансированным типом морфогенетических систем по элементам продуктивности колоса – числу колосков, числу зерновок и их массе можно отнести только один сорт – Луч 25, проростки которого характеризуются наиболее развитым среди изученных сортов эмбриональным побегом, высокой скоростью роста и длиной корневой системы.

Данные, полученные в результате проведенного исследования, могут быть использованы для целенаправленного применения сортового многообразия твердой пшеницы на территории Юго-Востока европейской части России и более полного выявления адаптивного потенциала сортов саратовской селекции.

### Список литературы

1. Дружкин А. Ф., Попов Н. Г., Полянский М. В. Продуктивность проса в зависимости от применения гербицидов, удобрений и ростостимулирующих веществ в Саратовском Правобережье // Аграрный научный журнал. 2018. № 12. С. 21–24.
2. Шаманин В. П., Петуховский С. Л., Краснова Ю. С. Кластерный анализ сортов мягкой яровой пшеницы по элементам структуры урожая в южной лесостепи Западной Сибири // Вестник Красноярского ГАУ. 2016. № 4. С. 147–152.
3. Васильчук Н. С. Селекция яровой твердой пшеницы. Саратов : НИИСХ Юго-Востока, 2001. 119 с.
4. Захарова Н. Н., Захаров Н. Г., Грошева Т. Д. Густота продуктивного стеблестоя озимой мягкой пшеницы и составляющие ее элементы в условиях лесостепи Среднего Поволжья // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3 (43). С. 64–71.
5. Драгавцев В. А. Эколого-генетическая организация количественных признаков растений и теория селекционных индексов // Экологическая генетика культурных растений: сб. докладов на Школе молодых ученых по экологической генетике. Краснодар : ВНИИ риса, 2012. С. 31–50.
6. Степанов С. А., Сигнаевский В. Д., Касаткин М. Ю., Ивлева М. В. Формирование элементов продуктивности колоса яровой мягкой пшеницы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2013. Т. 13, вып. 1. С. 65–70.
7. Морозова З. А. Основные закономерности морфогенеза пшеницы и их значение для селекции. М. : Изд-во МГУ, 1986. 164 с.
8. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М. : Агропромиздат, 1985. 352 с.
9. Михайленко И. М., Драгавцев В. А. Основные принципы моделирования систем взаимодействия генотип–среда // Сельскохозяйственная биология. 2010. № 3. С. 26–35.
10. Плиско Л. Г., Пакуль В. Н. Оценка селекционных линий яровой мягкой пшеницы по селекционным индексам // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 12-3 (66). С. 127–130.
11. Комаров Н. М. Некоторые аспекты проблемы взаимодействия «Генотип–среда» // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 7. С. 39–41.
12. Тарчевский И. А. Сигнальные системы клеток растений. М. : Наука, 2002. 293 с.
13. Хачатуров Э. Г., Коробко В. В., Степанов С. А. Сортовые особенности развития зародыша зерновки *Triticum durum* Desf. // Вопросы биологии, экологии, химии и методики обучения: сб. науч. ст. Саратов : Амирит, 2020. Вып. 22. С. 7–11.
14. Хачатуров Э. Г., Коробко В. В. Некоторые особенности роста и развития проростков *Triticum durum* Desf. сортов саратовской селекции // Вавиловские чтения – 2020 : сб. ст. междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию открытия закона гомологических рядов и 133-летию со дня рождения академика Н. И. Вавилова. Саратов : Амирит, 2020. С. 263–266.
15. Хачатуров Э. Г., Коробко В. В. Особенности роста зародышевой корневой системы *Triticum durum* Desf. сортов саратовской селекции // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 4. С. 433–437. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-4-433-437>

### Reference

1. Druzhkin A. F., Popov N. G., Polyansky M. V. Productivity of millet depending on the use of herbicides, fertilizers and growth-stimulating substances in the Saratov Right Bank. *Agrarian Scientific Journal*, 2018, no. 12, pp. 21–24 (in Russian).
2. Shamanin V. P., Petukhovskiy S. L., Krasnova Yu. S. Cluster analysis of soft spring wheat varieties by the elements of the yield structure in the southern forest-steppe of Western Siberia. *Bulletin of Krasnoyarsk GAU*, 2016, no. 4, pp. 147–152 (in Russian).
3. Vasilchuk N. S. *Seleksiya yarovoy tverdoy pshenitsy* [Breeding of Spring Durum Wheat]. Saratov, NIISKH Yugo-Vostoka Publ., 2001. 119 p. (in Russian).



4. Zakharova N. N., Zakharov N. G., Grosheva T. D. Density of productive stalk of soft winter wheat and its constituent elements in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2018, no. 3 (43), pp. 64–71 (in Russian).
5. Dragavcev V. A. Ekologo-genetichesky organization of quantitative signs of plants and theory of selection. In: *Ecological genetics of cultural plants: coll. of reports on School of young scientists on ecological genetics*. Krasnodar, All-Russian Research Institute of rice, 2012, pp. 31–50 (in Russian).
6. Stepanov S. A., Signaevsky V. D., Kasatkin M. Yu., Ivleva M. V. Formation of productivity elements of an ear of spring soft wheat. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2013, vol. 13, iss. 1, pp. 65–70 (in Russian).
7. Morozova Z. A. *Osnovnyye zakonomernosti morfogeneza pshenitsy i ikh znachenije dlya seleksii* [Main Patterns of Wheat Morphogenesis and Their Importance for Breeding]. Moscow, Moscow University Press, 1986. 164 p. (in Russian).
8. Dospikhov B. A. *Metodika polevogo opyta* [Field Experiment Technique]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 352 p. (in Russian).
9. Mikhaylenko I. M., Dragavcev V. A. Basic principles of modeling of systems of interaction genotype – environment. *Agricultural Biology*, 2010, no. 3, pp. 26–35 (in Russian).
10. Plisko L. G., Pakul V. N. Assessment of breeding lines of spring soft wheat by breeding indices. *International Scientific Research Journal*, 2017, no. 12-3 (66), pp. 127–130 (in Russian).
11. Komarov N. M. Some aspects of the problem of interaction “Genotype–environment”. *Achievements of Science and Technology of the Agro-industrial Complex*, 2012, no. 7, pp. 39–41 (in Russian).
12. Tarchevsky I. A. *Signal'nyye sistemy kletok rasteniy* [Plant Cell Signaling Systems]. Moscow, Nauka Publ., 2002. 293 p. (in Russian).
13. Hachaturov E. G., Korobko V. V., Stepanov S. A. Varietal features of the development of the embryo of the weevil *Triticum durum* Desf. *Questions of Biology, Ecology, Chemistry and Teaching Methods: coll. of sci. art.* Saratov, Amirit Publ., 2020, iss. 22, pp. 7–11 (in Russian).
14. Hachaturov E. G., Korobko V. V. Some features of growth and development of seedlings of *Triticum durum* Desf. varieties of Saratov selection. *Vavilov Readings – 2020: coll. of articles of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 100th anniversary of the discovery of the law of homological series and the 133rd anniversary of the birth of Academician N. I. Vavilov*. Saratov, Amirit Publ., 2020, pp. 263–266 (in Russian).
15. Hachaturov E. G., Korobko V. V. The Features of Growth of the Primary Root System of *Triticum durum* Desf. Varieties of the Saratov Breeding. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 4, pp. 433–437 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-4-433-437>

Поступила в редакцию 25.06.21, после рецензирования 01.07.21, принята к публикации 06.07.21  
Received 25.06.21, revised 01.07.21, accepted 06.07.21



Научная статья  
УДК 631.521:633.11



## Хозяйственно-биологическая характеристика биотипного состава сортов яровой пшеницы

И. С. Браилова , Н. И. Юрьева, Ю. В. Белоусова

Воронежский федеральный аграрный научный центр имени В. В. Докучаева, Россия, 397463, Воронежская область, Таловский район, Каменная Степь, пос. 2 участка Института им. В. В. Докучаева, квартал 5, д. 81

Браилова Ирина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела генетики и иммунитета, [niish1c@mail.ru](mailto:niish1c@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5844-4614>

Юрьева Наталья Ивановна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник отдела генетики и иммунитета, [niish1c@mail.ru](mailto:niish1c@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4874-1233>

Белоусова Юлия Владимировна, научный сотрудник отдела генетики и иммунитета, [niish1c@mail.ru](mailto:niish1c@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3481-4128>

**Аннотация.** Цель данной работы – изучение компонентного состава и внутрисортного полиморфизма запасных белков трех сортов мягкой и одного твердой яровой пшеницы и их взаимосвязи с комплексом хозяйственно-ценных признаков. Исследования были проведены в 2018–2020 гг. на базе существующего в Воронежском федеральном аграрном научном центре имени В. В. Докучаева отдела генетики и иммунитета, в условиях юго-востока Центрального Черноземья. В процессе работы проводилась идентификация глиадиновых биотипов методом электрофореза в 6,5% полиакриламидном геле, по результатам которой выяснилось, что в геноме исследуемых сортов присутствует: Черноземноуральская 2 – пять биотипов, Воронежская 18 – пять биотипов, Воронежская 20 – четыре биотипа и у твердого сорта Воронежская 13 – один биотип. Выделенные биотипы в течение 3 лет были размножены, проанализированы и оценены по показателям структурного анализа элементов продуктивности и качества. На основании этого была дана их хозяйственно-биологическая характеристика. При этом было установлено, что наиболее продуктивными, относительно стандарта в течение исследуемого периода, показали себя третий и четвертый биотипы сорта Черноземноуральская 2, первый и второй биотипы сорта Воронежская 18, первый и второй биотипы сорта Воронежская 20. Что касается показателей качества, в результате исследований была выявлена разнокачественность глиадиновых биотипов, которую важно учитывать в селекционной работе для повышения генетического разнообразия при создании высококачественных сортов. Лучшими по качеству были первый биотип сорта Черноземноуральская 2, второй и третий биотипы сорта Воронежская 18. Выделенные по комплексу хозяйственно-ценных признаков лучшие биотипы, отличающиеся от исходного сорта, могут использоваться в дальнейшей селекционной работе для ускоренного создания высокопродуктивных и высококачественных сортов яровой пшеницы.

**Ключевые слова:** биотип, электрофорез, качество, продуктивность, сорт, белок, клейковина, геном

**Для цитирования:** Браилова И. С., Юрьева Н. И., Белоусова Ю. В. Хозяйственно-биологическая характеристика биотипного состава сортов яровой пшеницы // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 457–465. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-457-465>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Economic and biological characteristics of the biotypical composition of spring wheat varieties

I. S. Brailova , N. I. Yurieva, Yu. V. Belousova

Voronezh Federal Agrarian Research Center named after V. V. Dokuchaev, 2 section of the institute Dokuchaeva 5 block Kamennaya Steppe, Talovskiy district, Voronezh region 397463, Russia

Irina S. Brailova, [niish1c@mail.ru](mailto:niish1c@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0001-5844-4614>

Natalya I. Yurieva, [niish1c@mail.ru](mailto:niish1c@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-4874-1233>

Yulia V. Belousova, [niish1c@mail.ru](mailto:niish1c@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0003-3481-4128>

**Abstract.** The aim of this work is to study the component composition and intravarietal polymorphism of storage proteins of three soft and one hard varieties of spring wheat and their relationship with a complex of economically valuable traits. The studies were carried out in 2018–2020 by the department of genetics and immunity at the institute, in the conditions of the southeast of the Central Black Earth Region. In the course of the work, the identification of gliadin biotypes was carried out by electrophoresis in 6.5% polyacrylamide gel,



the results of which revealed that the genome of the studied varieties contains: Chernozemnouralskaya 2 (5 biotypes), Voronezh 18 (5 biotypes), Voronezh 20 (4 biotypes) and a solid variety Voronezhskaya 13 (1 biotype). The selected biotypes were propagated for 3 years, analyzed and evaluated according to the indicators of the structural analysis of the elements of productivity and quality. Based on this, their economic and biological characteristics were given. It was found that biotypes 3 and 4 of the Chernozemnouralskaya variety 2, biotypes 1 and 2 of the Voronezhskaya 18 variety, biotypes 1 and 2 of the Voronezhskaya 20 variety proved to be the most productive relative to the standard during the study period. As for the quality indicators, as a result of the research the difference in quality of gliadin biotypes was revealed, which is important to take into account in breeding work to increase genetic diversity when creating high-quality varieties. The ones with the best quality were: biotype 1 of the Chernozemnouralskaya variety 2, biotypes 2 and 3 of the Voronezhskaya 18 variety. The best biotypes, distinguished by a complex of economically valuable traits, which differ from the initial variety, can be used in further breeding work for the accelerated creation of highly productive and high-quality spring wheat varieties.

**Keywords:** biotype, electrophoresis, quality, productivity, variety, protein, gluten, genome

**For citation:** Brailova I. S., Yurieva N. I., Belousova Yu. V. Economic and biological characteristics of the biotypical composition of spring wheat varieties. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 457–465. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-457-465>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

К настоящему времени факт внутренней генетической неоднородности и изменчивости сортовой популяции сельскохозяйственных культур доказывался неоднократно. Тем не менее не всегда в ходе использования сортов осуществляется процедура контроля за внутренней структурой сортовой популяции, ведется ее анализ в сравнении с первичным уровнем. Поскольку биотипы, определяющие сортовую популяцию, различаются как по уровню обеспечения продуктивности, так и по степени адаптивности, отсутствие контроля за полнотой сохранности внутренней структуры сортовой популяции может привести к утере первоначальных качеств сорта, реализуемых через вклад биотипов. В большей степени именно этим определяется необходимость изучения внутрисортного полиморфизма и адаптивной ценности биотипов сорта на основе использования стандартизированных методов контроля внутренней изменчивости сортовой популяции наиболее приближенных к уровню генотип-средовых взаимодействий [1].

Сорта последних лет селекции обладают высокой сортовой специфичностью и однородностью и лишь некоторые характеризуются внутрисортным полиморфизмом и состоят из нескольких биотипов. В селекционной практике рекомендуется использовать конкретные биотипы или однородные сорта во избежание изменения соотношения биотипов и снижения товарного качества в процессе производства зерна [2].

Возможность проведения электрофоретического анализа на одной зерновке с сохранением их жизнеспособности позволяет уже в первых генерациях по отдельным зернам определять геномный состав и степень проявления геномов при отдаленной гибридизации. Это также позволяет оценивать генотип растения и степень уклонения его в сторону одного из родителей при межсор-

товой гибридизации, выделять в гибридных поколениях формы и линии с заданной структурой генотипа, несущей хозяйственно-ценные признаки, и определять перспективность дальнейшей работы с имеющимся исходным и селекционным материалом. Все это дает основание считать, что методы, основанные на принципе белковых маркеров, открывают новые перспективы развитию селекции и семеноводства и будут способствовать дальнейшему повышению эффективности селекции [3].

Полученные электрофоретические спектры глиадина отдельных зерновок каждого сорта на основании их анализа и описания сортируют по биотипам. К одному и тому же биотипу относят спектры с идентичным компонентным составом, а также спектры, незначительно отличающиеся по интенсивности окрашивания отдельных компонентов, что в свою очередь зависит от электрофоретической подвижности у проламинов пшеницы (глиадинов). В результате выявлено четыре группы компонентов:  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  и  $\omega$ . Фракция  $\omega$ -глиадинов характеризуется низкой электрофоретической подвижностью и высокой молекулярной массой составляющих ее белковых компонентов (до 140 тыс. усл. ед.). В отличие от  $\omega$ -глиадинов  $\alpha$ -глиадины представляют белки с высокой электрофоретической подвижностью и небольшой молекулярной массой – от 30 до 75 кД [4]. Компоненты  $\beta$ - и  $\gamma$ -глиадинов занимают промежуточное положение между  $\omega$ - и  $\alpha$ -глиадинами [5].

Цель настоящей работы – изучить компонентный состав и внутрисортной полиморфизм сортов яровой пшеницы, проанализировать и оценить их по комплексу хозяйственно-ценных свойств. Лучшие биотипы использовать в дальнейшей селекционной работе по повышению потенциала продуктивности и качества селекционного материала яровой пшеницы.



### Материалы и методы

Исследования были проведены в 2018–2020 гг. на базе существующего в Воронежском федеральном аграрном научном центре имени В. В. Докучаева отдела генетики и иммунитета, в условиях юго-востока Центрального Черноземья. Материалом для исследований служили мягкие сорта яровой пшеницы: Черноземноуральская 2, Воронежская 18, Воронежская 20 и твердый сорт Воронежская 13.

В процессе работы проводилась идентификация глиадиновых биотипов у сортов яровой пшеницы методом электрофореза в 6,5% полиакриламидном геле с использованием методики Всероссийского института растениеводства (ВИР) (1999). Выделенные по результатам анализа биотипы в течение 3 лет были размножены на ручных посевах и изучены по ведущим структурным элементам продуктивности как целого

растения, так и отдельного колоса (по методу ГСИ (Государственная система обеспечения единства измерений), 1989). Также были изучены и проанализированы их качественные показатели. Определены формулы глиадина, которые используются в дальнейшей селекционной работе.

Клейковину в зерне определяли по ГОСТу Р 54478-2011, для определения содержания белка использовали метод Къельдаля (ЦИНАО). Массу 1000 зерен определяли по ГОСТу ISO 520-2014, натурную массу – по ГОСТу Р 54895-2012, стекловидность – ГОСТ 10987-76, седиментацию проводили по методу А. Я. Пумпянского, 1971 г. Обработку статистических результатов осуществляли общепринятыми методами, с использованием компьютерных программ Excel, Statistica.

Метеорологические условия за годы исследования в период вегетации по данным водно-балансовой станции «Каменная Степь» были разные (табл. 1).

Таблица 1 / Table 1

Погодно-климатические условия, 2018–2020 гг.  
Weather and climatic conditions, 2018–2020

Год / Year	Апрель / April	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August
Температура, град. С / Temperature, deg. C					
2018	8,6	18,2	19,2	22,4	21,7
2019	9,9	17,8	22,2	19,4	21,7
2020	7,0	13,7	21,2	22,6	19,9
Среднегодовое 1893–2006 гг. / Average long-term 1893–2006	6,7	14,4	18,2	20,1	19,0
Осадки, мм / Precipitation, mm					
2018	58,0	22,0	3,1	134(7*)	11
2019	56,5	61,3	53,0	63,3	49,5
2020	49,8	42,1	53,3	44,8	20,0
Среднегодовое 1894–2005 гг. / Average long-term 1894–2005	30,6	44,7	57,6	62,0	50,6

Примечание. \* – осадков в III декаде июля.  
Note. \* – precipitation in the III decade of July.

Недостаточное увлажнение и высокая температура воздуха в период вегетации 2018 г. крайне неблагоприятно сказались на формировании вторичной корневой системы растений яровой пшеницы, что в свою очередь существенно повлияло на продуктивность растений. Все это спровоцировало плохую завязываемость и щуплость зерна.

В 2019 г. температурный режим апреля, мая и июня был повышенным в сравнении со средне-годовыми данными. В эти же месяцы был недобор осадков в сравнении с нормой. В апреле

выпало 18,3 мм осадков при норме 32 мм, в мае недобор осадков составил 2 мм, в июне – 19,3 мм. Июль во всех декадах был холодным и дождливым, особенно в 3-й декаде. Всего за этот месяц выпало 108 мм при норме 57 мм. Кроме этого, в период кущения яровой пшеницы было нашествие скрытостебельных вредителей (шведская и яровая мухи), а в период колошения было массовое повреждение (особенно твердых пшениц) красногрудой пядицей.

Период вегетации яровой пшеницы в 2020 г. по количеству выпавших осадков можно отнести





по характеру увлажнения к средне обеспеченному. Из-за влажной холодной погоды полные всходы появились только на 22-й день. С апреля по 1-ю декаду августа включительно выпало 203 мм осадков при норме 201,4 мм. В апреле и мае до фазы выхода в трубку наблюдался пониженный температурный режим и оптимальная влажность на глубине заделки семян, что явилось благоприятными условиями для проявления твердой головки. С фазы колошения и до спелости резкое нарастание температур отрицательно сказалось на наливе зерна. Зерновки сформировались в основном средней крупности, у некоторых сортов зерно было шуплым.

### Результаты и их обсуждение

Результаты электрофоретических исследований по спектрам запасного белка в полиакриламидном геле показали, что все исследуемые сорта мягкой пшеницы являются полиморфными: в геноме сортов Черноземноуральская 2, Воронежская 18 присутствует пять биотипов, Воронежская 20 – четыре биотипа. Исключение составил твердый сорт Воронежская 13, он был мономорфный, то есть состоял из одного биотипа.

В табл. 2 представлена хозяйственно-биологическая характеристика элементов продуктивности биотипного состава мягкой яровой пшеницы сорта Черноземноуральская 2 за период 2018–2020 гг.

По данным структурного анализа, у сорта мягкой пшеницы Черноземноуральская 2 практически по всему комплексу показателей самыми перспективными по сравнению не только со стандартом (сорт, не разложенный на биотипы), но и с показателями среднего значения, являются третий и четвертый биотипы. Данные биотипы характеризуются длинным, хорошо озерненным, высокопродуктивным колосом, причем у этих же биотипов максимальные показатели и по высоте растений (74,9 – 78,4 см). По элементам продуктивности колоса и массе 1000 зерен, характеризующей крупность и выполненность зерна, лучшие результаты у второго биотипа. Данный образец превосходит стандарт по этим значениям на 11,8 – 3,4% соответственно.

У биотипов сорта Воронежская 18 (табл. 3), относительно стандарта, лучшие результаты по показателям элементов продуктивности наблюдаются у первого и второго биотипов.

Таблица 2 / Table 2

**Хозяйственно-биологическая характеристика элементов продуктивности биотипов яровой пшеницы сорта Черноземноуральская 2 (2018–2020 гг.)**  
**Economic and biological characteristics of the elements of productivity of biotypes of spring wheat varieties Chernozemouralskaya 2 (2018–2020)**

Хозяйственно-биологические показатели / Economic and biological indicators	Биотипы / Biotypes					St	Среднее / Average	Ошибка средней / Average error	Доверительный интервал, 95% / Confidence interval, 95%
	1	2	3	4	5				
Число растений, шт. / Number of plants, pcs	15,1	15,8	17,1	17,4	16,4	16,7	16,4	0,35	15,98–16,82
Количество стеблей, шт. / Number of stems, pcs	9,0	10,1	11,1	10,9	9,3	11,8	10,4	0,45	9,69–11,07
Количество продуктивных стеблей, шт. / Number of productive stems, pcs	6,2	7,6	8,3	8,0	7,0	8,4	7,6	0,35	6,95–8,21
Высота, см / Height, cm	70,3	71,5	74,9	78,4	71,3	70,6	72,8	1,30	72,06–73,54
Длина главного колоса, см / Main spike length, cm	9,5	9,2	9,6	9,8	9,4	9,4	9,5	0,08	9,35–9,62
Число колосков в колосе, шт. / The number of spikelets per ear, pcs	16,3	16,9	16,8	17,3	17,2	17,2	17,0	0,15	16,77–17,13
Число зерен с колоса, шт. / The number of grains per ear, pcs	37,1	41,5	41,8	39,5	42,6	38,8	40,2	0,86	39,57–40,87
Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	1,18	1,53	1,46	1,48	1,43	1,35	1,41	0,05	1,16–1,65
Масса зерна с растения, г / Grain weight per plant, g	4,13	5,3	6,0	6,1	5,4	6,1	5,5	0,31	4,84–6,17
Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	32,1	35,0	34,2	34,2	33,0	33,8	33,7	0,42	33,37–34,07

**Хозяйственно-биологическая характеристика элементов продуктивности биотипов яровой пшеницы сорта Воронежская 18 (2018–2020 гг.)**

**Economic and biological characteristics of the elements of productivity of biotypes of spring wheat variety Voronezhskaya 18 (2018–2020)**

Хозяйственно-биологические показатели / Economic and biological indicators	Биотипы / Biotypes					St	Среднее/ Average	Ошибка средней / Average error	Доверительный интервал, 95% / Confidence interval, 95%
	1	2	3	4	5				
Число растений, шт. / Number of plants, pcs	16,0	15,3	14,4	14,9	16,4	15,5	15,4	0,3	15,05–15,78
Количество стеблей, шт. / Number of stems, pcs	9,6	9,3	8,5	8,7	8,8	9,7	9,1	0,2	8,77–9,43
Количество продуктивных стеблей, шт. / Number of productive stems, pcs	7,3	7,0	6,4	6,3	6,3	7,2	6,8	0,19	6,38–7,12
Высота, см / Height, cm	73,6	78,1	73,6	69,1	70,6	72,2	72,9	1,27	72,15–73,58
Длина главного колоса, см / Main spike length, cm	9,8	10,0	9,9	9,5	9,9	9,8	9,8	0,07	9,70–9,93
Число колосков в колосе, шт. / The number of spikelets per ear, pcs	17,6	17,7	17,9	17,8	17,5	17,7	17,7	0,06	17,63–17,77
Число зерен с колоса, шт. / The number of grains per ear, pcs	42,9	45,3	41,4	35,7	41,6	38,8	41,0	1,36	39,92–41,98
Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	1,38	1,49	1,23	1,19	1,27	1,23	1,3	0,05	1,07–1,52
Масса зерна с растения, г / Grain weight per plant, g	5,1	4,9	4,5	4,4	4,2	4,8	4,7	0,14	4,31–5,00
Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	30,6	30,5	30,5	30,2	28,9	31,3	30,3	0,32	30,05–30,62

Первый биотип сорта Воронежская 18 характеризуется высокими показателями продуктивности как целого растения, так и колоса. Причем по озерненности и массе зерна с колоса этот биотип превосходит стандарт на 9,6 – 10,9% соответственно. Второй биотип превосходит стандарт по показателям продуктивности колоса (озерненность, масса зерна с колоса) на 14,4 – 17,5% соответственно. По показателям крупнозерности (массы 1000 зерен) и количеству продуктивных стеблей наиболее приближенным к показателям стандарта был первый биотип. Разница по высоте растений между биотипами изучаемого сорта наблюдалась незначительная.

Что касается биотипов сорта Воронежская 20, самыми высокопродуктивными, значительно превосходящими показатели стандарта и среднего значения, являются первый и второй биотипы (табл. 4).

Данные биотипы существенно превышают стандарт по показателям, характеризующим озерненность колоса: на 12,9% первый биотип и на 12,1% второй биотип. Следует также отметить,

что эти же биотипы на 13,2–14,8% превысили стандарт по показателям продуктивности целого растения. По массе 1000 зерен все изучаемые биотипы сорта Воронежская 20, кроме третьего, были приближены к показателям стандарта и среднего значения.

Сорт твердой яровой пшеницы Воронежская 13 является мономорфным (табл. 5) и представлен всего одним биотипом.

Выделенный биотип уступает стандарту практически по всем показателям структурного анализа. В наибольшей степени это выражено в значениях следующих показателей: озерненности колоса, различии между растениями сорта со стандартом и его крупнозерности: по числу и массе зерен с колоса на 7 – 4,8% соответственно, по массе 1000 зерен – на 4,2%.

По массе зерна с растения стандарт также превышает изучаемый биотип на 2,6%.

У биотипов всех изученных сортов варьирование по высоте растений наблюдалось в достаточно широких пределах 53,5–92,5 см. Самыми низкими были растения в 2018 г. (55,5 см). Следу-



Таблица 4 / Table 4

**Хозяйственно-биологическая характеристика биотипов яровой пшеницы сорта Воронежская 20 (2018–2020 гг.)  
Economic and biological characteristics of biotypes of spring wheat varieties Voronezhskaya 20 (2018–2020)**

Хозяйственно-биологические показатели / Economic and biological indicators	Биотипы / Biotypes				St	Среднее / Average	Ошибка средней / Average error	Доверительный интервал. 95% / Confidence interval, 95%
	1	2	3	4				
Число растений, шт. / Number of plants, pcs	18,4	18,8	19,4	15,7	17,7	18,0	0,64	17,34–18,66
Количество стеблей, шт. / Number of stems, pcs	9,5	9,9	8,9	8,7	9,5	9,3	0,22	8,98–9,62
Количество продуктивных стеблей, шт. / Number of productive stems, pcs	7,3	7,6	6,1	6,1	6,9	6,8	0,31	6,25–7,35
Высота, см / Height, cm	75,3	74,1	76,1	70,9	73,7	74,0	0,89	73,57–74,47
Длина главного колоса, см / Main spike length, cm	9,2	9,3	8,9	8,6	9,0	9,0	0,12	8,82–9,18
Число колосков в колосе, шт. / The number of spikelets per ear, pcs	16,0	16,7	16,0	16,1	16,3	16,2	0,13	16,08–16,36
Число зерен с колоса, шт. / The number of grains per ear, pcs	45,8	45,4	43,3	42,6	39,9	43,4	1,06	42,69–44,11
Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	1,44	1,38	1,37	1,17	1,37	1,35	0,05	1,14–1,55
Масса зерна с растения, г / Grain weight per plant, g	5,3	5,4	4,4	4,2	4,6	4,8	0,24	4,25–5,31
Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	31,6	31,2	30,9	31,6	31,8	31,4	0,16	31,29–31,55

Таблица 5 / Table 5

**Хозяйственно-биологическая характеристика биотипа яровой твердой пшеницы  
сорта Воронежская 13, (2018–2020 гг.)****Economic and biological characteristics of the biotype of spring durum wheat variety Voronezhskaya 13, (2018–2020)**

Хозяйственно-биологические показатели / Economic and biological indicators	Биотип / Biotypes	St	Среднее / Average	Ошибка средней / Average error	Доверительный интервал, 95% / Confidence interval, 95%
	1				
Число растений, шт. / Number of plants, pcs	21,3	20,8	21,1	0,25	20,90–21,20
Количество стеблей, шт. / Number of stems, pcs	9,4	10,6	10,0	0,60	9,47–10,53
Количество продуктивных стеблей, шт. / Number of productive stems, pcs	6,3	6,9	6,6	0,30	6,26–6,94
Высота, см / Height, cm	78,1	80,4	79,3	1,15	78,89–79,61
Длина главного колоса, см / Main spike length, cm	6,9	7,0	7,0	0,05	6,89–7,01
Число колосков в колосе, шт. / The number of spikelets per ear, pcs	17,0	17,2	17,1	0,10	17,03–17,17
Число зерен с колоса, шт. / The number of grains per ear, pcs	38,6	41,3	40,0	1,35	39,35–40,55
Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	1,87	1,96	1,92	0,09	1,53–20,03
Масса зерна с растения, г / Grain weight per plant, g	5,4	6,6	6,0	0,60	5,32–6,68
Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	38,7	39,7	39,2	0,50	38,98–39,42



ет также отметить, что во все годы исследований по большинству хозяйственно-ценных признаков наилучшие результаты были у биотипов с максимальными показателями высоты.

В табл. 6 представлены формулы глиадинов лучших биотипов сортов мягкой яровой пшеницы, выделившиеся по элементам продуктивности в условиях 2018–2020 гг.

Таблица 6 / Table 6

**Белковые формулы глиадина яровой мягкой пшеницы, выделившиеся по показателям продуктивности в период 2018–2020 гг.**  
**Protein formulas of spring bread wheat gliadin, distinguished in terms of productivity in the period 2018–2020**

Биотип / Biotypes	Частота / Frequency	Электрофоретические компоненты / Electrophoretic components			
		$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\omega$
Черноземноуральская 2 / Chernozemnoualskaya 2					
3	20	$\underline{245} \underline{67}$	$\underline{12} \underline{3}_1 \underline{3}_3 \underline{45}_1$	$\underline{2}_2 \underline{3}_2 \underline{4} \underline{5}$	$\underline{1} \underline{2} \underline{34}_1 \underline{4}_2 \underline{56}_1 \underline{6}_3 \underline{7}_2 \underline{8}_2 \underline{9}_2 \underline{10}_2$
4	6	$\underline{24} \underline{67}$	$\underline{2} \underline{3}_1 \underline{4} \underline{5}_2$	$\underline{12}_2 \underline{3}_1 \underline{3}_2 \underline{4}$	$\underline{34}_1 \underline{56}_1 \underline{6}_3 \underline{7}_2 \underline{8}_2 \underline{9}_2 \underline{10}_2$
Воронежская 18 / Voronezhskaya 18					
1	85	$\underline{24} \underline{67}_1 \underline{7}_3$	$\underline{2} \underline{3}_1 \underline{3}_3 \underline{4} \underline{5}_2$	$\underline{12}_2 \underline{3}_2 \underline{4}$	$\underline{23}_1 \underline{4}_1 \underline{4}_2 \underline{5} \underline{6}_1 \underline{6}_3 \underline{7}_1 \underline{8}_1 \underline{8}_2 \underline{9}_2 \underline{10}_2$
2	8	$\underline{567}_1$	$\underline{2} \underline{3}_1 \underline{3}_3 \underline{4} \underline{5}_2$	$\underline{12}_2 \underline{3}_2 \underline{4}$	$\underline{23}_1 \underline{4}_1 \underline{5} \underline{6}_1 \underline{6}_3 \underline{7}_1 \underline{8}_1 \underline{8}_2 \underline{9}_2 \underline{10}_2$
Воронежская 20 / Voronezhskaya 18					
1	75	$\underline{246} \underline{7}_2 \underline{7}_3$	$\underline{2} \underline{3}_1 \underline{3}_3 \underline{45}_2$	$\underline{2}_1 \underline{2}_3 \underline{3}_2 \underline{45}$	$\underline{23}_1 \underline{4}_1 \underline{5} \underline{6}_2 \underline{6}_3 \underline{7}_1 \underline{8}_2 \underline{9}_2 \underline{9}_3 \underline{10}_2$
2	23	$\underline{246} \underline{7}_2 \underline{7}_3$	$\underline{23}_1 \underline{3}_3 \underline{45}_2$	$\underline{2}_1 \underline{2}_3 \underline{3}_2 \underline{45}$	$\underline{23}_1 \underline{4}_1 \underline{5} \underline{6}_2 \underline{7}_2 \underline{8}_2 \underline{9}_1 \underline{9}_3 \underline{10}_2$

Следует отметить, что у всех компонентов сорта Черноземноуральская 2 в  $\gamma$ -глиадине идентифицируется только один слабый компонент – субкомпонент  $\gamma_{21}$  или  $\gamma_{22}$ .  $\gamma_3$  может быть как одинарным, так и сдвоенным. Четвертый биотип имеет минимальное число компонентов в  $\omega$ -зоне, частота встречаемости которых составляет всего 6%. Значительное различие биотипов сорта Воронежская 18 сопряжено с  $\alpha$  глиадинами. У выделенных биотипов этого сорта большая часть зерновок имела близкие  $\beta$ -,  $\gamma$ - и  $\omega$ -глиадины, различия сопряжены с экспрессией  $\beta_2$ , а также наличием слабого компонента  $\omega_4$ . У сорта Воронежская 20 выделенные типичные биотипы имели одинаковые  $\alpha$ - и  $\beta$ -компоненты. Различия в  $\gamma$ -глиадинах обусловлены экспрессией 4-го компонента. Биотипам данного сорта присуще наличие сильных компонентов  $\beta_{25_2}$ ,  $\gamma_{3_2}$  и ослабленного  $\gamma_{5_2}$ , а также слабых сдвоенных  $\gamma_2$ .

Качество зерна глиадиновых биотипов у изучаемых сортов яровой твердой и мягкой пшеницы изучали по показателям натуре (г/л), процентному содержанию белка, клейковины, стекловидности и уровню седиментации (мл) (табл. 7).

Установлено, что электрофоретические компоненты глиадина наследуются блоками,

которые в определенной степени связаны с содержанием белка в муке, величиной седиментации, количеством и качеством клейковины [6].

Анализ полученных данных показал, что максимальное значение по показателям натуре, характеризующей выполненность, плотность и форму зерна, во все годы исследования было у биотипов сорта Воронежская 20 и у сорта твердой пшеницы Воронежская 13. Лучшие результаты по комплексу качественных показателей (кроме натурной массы) имеет первый биотип сорта Черноземноуральская 2, при этом по содержанию белка, клейковины, стекловидности и седиментации данный биотип достоверно превосходит стандарт на 3,1% – 5,7% – 8% – 9,6% соответственно.

Максимальные значения по этим же показателям у второго и третьего биотипов сорта Воронежская 18. Показатели седиментации у биотипов сортов мягкой пшеницы варьировали в широких пределах 44 – 65 мл.

Таким образом, изучение компонентного состава и внутрисортного полиморфизма запасных белков сортов яровой пшеницы позволяет выявить лучшие глиадиновые биотипы, выделившиеся за 3 года исследований по показателям качества зерна.



Таблица 7 / Table 7

**Качество зерна глиадиновых биотипов различных сортов яровой мягкой и твердой пшеницы (2018–2020 гг.)**  
**Grain quality of gliadin biotypes of various varieties spring soft and durum wheat (2018–2020)**

Сорт / Variety	Биотип / Biotype	Натура, г/л / Nature, g/l	Белок, % / Protein, %	Клейковина, % / Gluten, %	Стекловидность, % / Glassiness, %	Седиментация, мл / Sedimentation, ml
Черноземноуральская 2 / Chernozemnoualskaya 2	St	646	15,9	33,4	78,2	47
	1	603	16,4	35,4	85,0	52
	2	629	15,7	31,5	83,7	59
	3	628	15,2	29,8	81,4	48
	4	635	15,9	33,4	82,9	53
	5	640	14,2	28,7	81,0	44
Воронежская 18 / Voronezhskaya 18	St	647	14,5	30,3	85,4	50
	1	662	14,6	29,5	84,2	46
	2	627	14,9	33,0	85,7	52
	3	628	15,4	34,2	83,9	50
	4	683	14,8	31,4	79,4	55
	5	646	15,4	32,7	82,7	64
Воронежская 20 / Voronezhskaya 20	St	689	15,0	32,1	82,2	65
	1	697	14,6	31,8	80,0	61
	2	683	14,7	31,1	85,5	65
	3	691	14,6	31,7	84,0	65
	4	689	14,5	32,5	82,5	64
Воронежская 13 / Voronezhskaya 13	St	738	16,6	37,8	92,9	33
	1	719	16,5	39,8	97,3	28
Среднее / Average		662	15,2	32,6	84,1	53,7
Ошибка средней / Average error		8,29	0,17	0,63	1,02	2,43
Доверительный интервал, 95% / Confidence interval, 95%		659,35–664,86	14,85–15,61	31,69–33,59	83,14–85,06	49,81–55,56
Доверительный интервал, 99% / Confidence interval, 99%		640,76–683,45	14,79–15,67	31,02–34,26	81,46–86,74	46,44–58,93

В табл. 8 представлены формулы запасного белка – глиадин лучших по качеству биотипов изучаемых сортов яровой пшеницы, в условиях 2018–2020 гг.

Таблица 8 / Table 8

**Белковые формулы глиадина сортов яровой мягкой пшеницы, выделенные по показателям качества, 2018–2020 гг.**

**Protein formulas of gliadin of spring soft wheat varieties distinguished by quality indicators, 2018–2020**

Биотип / Biotypes	Частота / Frequency	Электрофоретические компоненты / Electrophoretic components			
		α	β	γ	ω
Черноземноуральская 2 / Chernozemnoualskaya 2					
1	41	24 67	1 23 <sub>1</sub> 3 <sub>3</sub> 45 <sub>1</sub>	12 <sub>1</sub> 3 <sub>2</sub> 45	1 2 34 <sub>1</sub> 4 <sub>2</sub> 56 <sub>1</sub> 6 <sub>3</sub> 7 <sub>1</sub> 8 <sub>2</sub> 9 <sub>2</sub> 10 <sub>1</sub> 10 <sub>2</sub>
Воронежская 18 / Voronezhskaya 18					
2	8	567 <sub>1</sub>	23 <sub>1</sub> 3 <sub>3</sub> 4 5 <sub>2</sub>	12 <sub>2</sub> 3 <sub>2</sub> 4	23 <sub>1</sub> 4 <sub>1</sub> 5 6 <sub>1</sub> 6 <sub>3</sub> 7 <sub>1</sub> 8 <sub>1</sub> 8 <sub>2</sub> 9 <sub>2</sub> 10 <sub>2</sub>
3	2	567 <sub>1</sub>	23 <sub>1</sub> 3 <sub>3</sub> 5 <sub>2</sub>	123 <sub>1</sub> 4	2 3 <sub>2</sub> 4 <sub>2</sub> 5 6 <sub>1</sub> 6 <sub>2</sub> 7 <sub>1</sub> 8 <sub>1</sub> 8 <sub>2</sub> 9 <sub>1</sub> 9 <sub>2</sub> 10 <sub>2</sub>



Все изученные сортообразцы хорошо отличимы между собой по спектрам глиаина, что очень важно для их идентификации лабораторными методами.

### Заключение

Результаты анализа полученных данных свидетельствуют о перспективности использования электрофореза запасных белков зерна – глиадинов для изучения внутрисортного полиморфизма сортов яровой мягкой и твердой пшеницы и связи выявленных биотипов с комплексом хозяйственно-ценных признаков и свойств.

Была выявлена разнокачественность глиадиновых биотипов, которую важно учитывать в селекционной работе для повышения генетического разнообразия при создании высококачественных сортов.

Выделенные лучшие биотипы могут использоваться в селекции в качестве доноров хозяйственно-ценных признаков и в селекционных программах при подборе родительских форм для гибридизации с учетом их фенотипических особенностей.

### Список литературы

1. Кононенко Л. А., Егоров С. В., Дуктова Н. А. Параметры адаптивности сортов и биотипов озимой мягкой пшеницы в условиях северо-востока Республики Беларусь // Вестн. Белорус. гос. с.-х. академии. 2012. № 2. С. 22–29.
2. Шаяхметов И. Ф., Ахмадиева А. А., Леонова С. А., Никонов В. И. Использование молекулярно-множественных форм белков в изучении полиморфизма сортов пшеницы (*Triticum L.*) // Вестник Башкирского университета. 2012. Т. 17, № 1. С. 89–93.
3. Конарев В. Г., Сидорова В. В., Конарев А. В., Молекулярно-биологические исследования генофонда культурных растений в ВИРе. 2-е изд., доп. СПб. : ВИР, 2007. 134 с.
4. Biets J. A., Huebner F. R., Rothfus J. A. Chromatographic comparisons of peptic digests of individual gliadin proteins // *Cereal Chem.* 1970. Vol. 47. P. 393.
5. Konarev V. G., Gavriljuk I. P., Gubareva N. K., Peneva T. I. Seed proteins in genome analysis, cultivar identification and documentation of cereal genetic resources: a review // *Cereal Chem.* 1979. Vol. 56. P. 272–278.
6. Козуб Н. А., Созинов И. А., Созинов А. А. Сопряженность 1BL/1RS транслокации с качественными и количественными признаками у мягкой пшеницы *T. aestivum* // Цитология и генетика. 2001. Т. 35, № 5. С. 74–80.

### References

1. Kononenko L. A., Egorov S. V., Duktova N. A. Adaptability parameters of varieties and biotypes of winter soft wheat in the north-east of the Republic of Belarus. *Bulletin of the Belarussian State Agricultural Academy*, 2012, no. 2, pp. 22–29 (in Russian).
2. Shayakhmetov I. F., Akhmadieva A. A., Leonova S. A., Nikonov V. I. The use of molecular-multiple forms of proteins in the study of polymorphism of wheat varieties (*Triticum L.*). *Bulletin of the Bashkir University*, 2012, vol. 17, no. 1, pp. 89–93 (in Russian).
3. Konarev V. G., Sidorova V. V., Konarev A. V. *Molekulyarno-biologicheskie issledovaniya genofonda kul'turnykh rastenij v VIRE. 2-e izd. dop.* [Molecular Biological Studies of the Gene Pool of Cultivated Plants in VIR. 2nd revised ed.]. St. Petersburg, VIR Publ., 2007. 134 p. (in Russian).
4. Biets J. A., Huebner F. R., Rothfus J. A. Chromatographic comparisons of peptic digests of individual gliadin proteins. *Cereal Chem.*, 1970, vol. 47, pp. 393.
5. Konarev V. G., Gavriljuk I. P., Gubareva N. K., Peneva T. I. Seed proteins in genome analysis, cultivar identification and documentation of cereal genetic resources: A review. *Cereal Chem.*, 1979, vol. 56, pp. 272–278 (in Russian).
6. Kozub N. A., Sozinov I. A., Sozinov A. A. Conjugacy of 1BL/1RS translocation with qualitative and quantitative traits in common wheat *T. aestivum*. *Cytology and Genetics*, 2001, vol. 35, no. 5, pp. 74–80 (in Russian).

Поступила в редакцию 02.03.21, после рецензирования 05.03.21, принята к публикации 09.03.21  
Received 02.03.21, revised 05.03.21, accepted 09.03.21



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 466–477

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 466–477

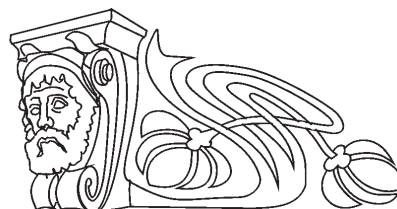
<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-466-477>

Научная статья

УДК 574.5:597.5+57.044:504.4.054

## Особенности видового состава и структуры сообществ рыб в малых антропогенных водоемах с разным содержанием растворенного минерального азота



Б. Г. Котегов

Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт биологической промышленности, Россия, 141142, Московская область, г. Лосино-Петровский, пос. Биокombината, д. 17

Котегов Борис Георгиевич, кандидат биологических наук, заведующий лабораторией санитарии, [rutilus@yandex.ru](mailto:rutilus@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0749-2899>

**Аннотация.** В 22 малых антропогенных водоемах площадью от 0.4 до 62 га, расположенных на территории Удмуртской Республики, произведены отловы представителей ихтиофауны и взяты пробы воды на анализ содержания  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  и  $\text{NH}_4^+$  в конце весны. Во многих водоемах отмечены концентрации аммония, превышающие предельно допустимые рыбохозяйственные нормативы качества воды, в некоторых – также нитритов. Пруды, в составе рыбного населения которых присутствовали зоопланктофаги – уклейка *Alburnus alburnus* (L.) и верховка *Leucaspis delineatus* (Heckel), статистически значимо отличались повышенным содержанием общего растворенного минерального азота от водоемов, где эти два вида рыб зарегистрированы не были. Для окуневых водоемов выявлена отрицательная и статистически значимая связь численной доли речного окуня *Perca fluviatilis* L. в уловах с уровнем загрязнения воды ионными формами азота.

**Ключевые слова:** пруды, сообщества рыб, зоопланктофаги, антропогенное загрязнение, минеральный азот

**Для цитирования:** Котегов Б. Г. Особенности видового состава и структуры сообществ рыб в малых антропогенных водоемах с разным содержанием растворенного минерального азота // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 466–477. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-466-477>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

### Features of the species composition and structure of fish communities in small anthropogenic reservoirs with different content of dissolved mineral nitrogen

B. G. Kotegov

Russian Research and Technological Institute of Biological Industry, 17 Biocombinat, Losino-Petrovsky141142, Moscow region, Russia

Boris G. Kotegov, [rutilus@yandex.ru](mailto:rutilus@yandex.ru), <https://orcid.org/0000-0003-0749-2899>

**Abstract.** In 22 small anthropogenic reservoirs with an area of 0.4 to 62 ha located in the territory of the Udmurt Republic, individuals of different fish species were captured and water samples were taken in late spring for analysis of  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  and  $\text{NH}_4^+$  content. In many reservoirs, concentrations of ammonium exceed the maximum permissible according to the fishing standards for water quality, and in some this is also the case with nitrites. Ponds with zooplanktophages (bleak *Alburnus alburnus* (L.) and belica *Leucaspis delineates* (Heckel)) present in fish communities were statistically significantly different in the increased content of total dissolved mineral nitrogen from reservoirs where these two fish species were not registered. In perch and roach reservoirs, the numerical proportion of river perch *Perca fluviatilis* was negatively and statistically significantly related to the level of their contamination with nitrogen ionic forms.

**Keywords:** ponds, fish communities, zooplanktophages, anthropogenic pollution, mineral nitrogen

**For citation:** Kotegov B. G. Features of the species composition and structure of fish communities in small anthropogenic reservoirs with different content of dissolved mineral nitrogen. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 466–477. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-466-477>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)



## Введение

Поступление сточных вод с водосборов, трансформированных хозяйственной деятельностью, способствует увеличению концентраций загрязняющих веществ в реках, а зарегулирование речного стока плотинами, в свою очередь, приводит к задержанию и накоплению многих из них в искусственно созданных водоемах – водохранилищах и прудах, снижая показатели качества воды и усиливая процессы их эвтрофирования [1–3]. Примером таких веществ, обладающих разнонаправленными биологическими эффектами действия и приводящих к неоднозначным экологическим последствиям при поступлении их в водоемы в разных формах и концентрациях, могут служить растворимые неорганические соединения азота: соли нитратов, нитритов и аммония. С одной стороны, попадая со сточными водами извне или образуясь автохтонно при разложении органических веществ, они становятся неотъемлемой частью минеральной базы питания водных продуцентов, в первую очередь организмов фитопланктона, способствуя наряду с фосфатами повышению биологической продуктивности и трофического статуса водоемов [4–6]. В то же время в повышенных концентрациях ионы  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  и  $\text{NH}_4^+$  способны вызывать патологические изменения в организмах пресноводных животных, а в случае достижения летальных доз, различающихся для разных таксонов, стадий жизненного цикла, возраста и физиологического состояния, приводить к их избирательной гибели [7–10]. Как следствие, данные химические формы азота могут рассматриваться не только как биогенные вещества, но и как экотоксиканты.

Вклад различных антропогенных источников химического загрязнения в изменение приходно-расходного баланса растворенного минерального азота, содержащегося в континентальных водных экосистемах, достаточно хорошо изучен [11, 12]. Основные «поставщики» нитратов, нитритов и аммония в пресные водоемы – объекты сельского хозяйства, городского коммунального хозяйства и пищевой промышленности. В Удмуртской Республике большинство водоемов и водотоков тоже подвержено загрязняющему влиянию таких хозяйственных объектов. Во многих сельских и городских прудах региона регулярно регистрируются превышения санитарно-гигиенических и рыбохозяйственных нормативов содержания аммония и нитритов, которые наряду с органическими веществами являются основными антропогенными химическими загрязнителями данных водоемов [13, 14] и их притоков [15]. Ранее по результатам исследования ряда малых прудов, расположенных на территории Удмуртии, было

установлено, что при усилении антропогенной нагрузки со стороны сельскохозяйственной деятельности и урбанизированной среды видовая и экологическая структура сообществ рыб, обитающих в них, направленно изменяется [16].

Цель настоящей работы – выяснить особенности видового состава и структуры сообществ рыб в малых антропогенных водоемах, в разной степени подверженных загрязнению растворенными минеральными формами азота.

## Материалы и методы

Исследования проведены в центральных и восточных районах Удмуртской Республики на 22 малых водных объектах, представленных плотинными и дамбовыми прудами, а также обводненными карьерами и копанями. Водоемы расположены в черте крупного промышленного города Ижевска, в его пригородной зоне, на территориях добычи полезных ископаемых (нефти, торфа, песка и гравия), а также в сельской местности. Все они относятся к бассейнам правобережных притоков реки Камы, в первую очередь средних рек Иж и Сива (рис. 1, табл. 1), и выполняют средообразующие функции на локальных территориях, измененных антропогенной деятельностью. Большинство водоемов используется для любительского рыболовства, некоторые из них (№№ 1, 6, 16) – в частных рыбохозяйственных целях, другие (№№ 2, 7–10, 17) – для массовой летней рекреации. Ряд водоемов выполняет функции отстойников-биофильтров, принимающих неорганизованные загрязненные стоки с водосборов, трансформированных влиянием нефтедобычи (№№ 4, 18–20, 22) или урбанизации (№№ 3, 12–14). Три водоема (№№ 5, 11, 15), расположенные в пригороде г. Ижевска, выполняют также противопожарные функции. Бессточный карьерный водоем № 21, находящийся в рекреационной зоне национального парка «Нечкинский», используется в учебно-познавательных и научно-просветительских целях.

Протяженность водосборного бассейна каждого из водоемов (кроме № 21) определена как расстояние от места вытекания из него зарегулированной реки или иного постоянного/временного стока до наиболее удаленной точки водораздела по доступным картографическим материалам. Информация о площади водного зеркала большинства плотинных прудов взята из базы данных Экологического портала Удмуртской Республики на интернет-сайте [eco18.ru](http://eco18.ru), у остальных водоемов площадь измерена по картографическим материалам с помощью цифровых инструментов интернет-сайта [kosmosnimki.ru](http://kosmosnimki.ru).

Отловы представителей ихтиофауны в исследованных водоемах произведены в летние



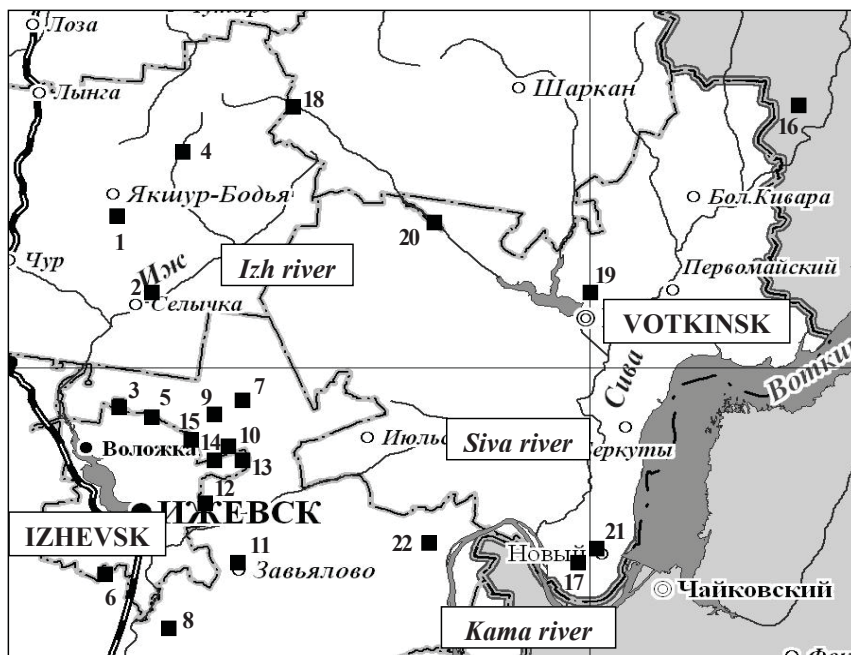


Рис. 1. Карта-схема района исследований с указанием местоположения водоемов (нумерацию см. табл. 1)

Fig. 1. Map of the research area with the location of reservoirs (numbering as in Table 1)

Таблица 1 / Table 1

**Основные гидрографические характеристики исследованных водоемов**  
**Main hydrographic characteristics of the studied reservoirs**

№ водоема / Reservoir no.	Зарегулированный (или вытекающий) водоток / Regulated (or flowing) watercourse	Речной бассейн / River basin	Протяженность водосбора, км / Catchment length, km	Площадь водоема, га / Reservoir area, ha
1	Сельчка / Selychka	Иж / Izh	12.7	34.9
2	Ручей-приток Ижа / Tributary of Izh	Иж / Izh	0.8	15.7
3	Игерманка / Igermanka	Иж / Izh	3.8	10.2
4	Большой Иж / Bolshoy Izh	Иж / Izh	6.8	7.3
5	Орловка / Orlovka	Иж / Izh	1.0	0.7
6	Пироговка / Pirogovka	Иж / Izh	25.3	38.1
7	Вожойка / Vozhoyka	Иж / Izh	11.0	19.1
8	Старая Кенка / Staraya Kenka	Иж / Izh	9.6	18.9
9	Ягулка / Jagulka	Иж / Izh	7.9	13.6
10	Ручей-приток Вожойки / Tributary of Vozhoyka	Иж / Izh	1.6	10.1
11	Будвайка / Budvayka	Иж / Izh	9.8	7.6
12	Чемошурка / Chemoshurka	Иж / Izh	4.6	6.2
13	Тонковка / Tonkovka	Иж / Izh	3.8	1.6
14	Старковка / Starkovka	Иж / Izh	1.7	1.5
15	Ручей-приток Каркашурки / Tributary of Karashurka	Иж / Izh	1.4	0.4
16	Ручей-приток Вахринки / Tributary of Vakhrinka	Сива / Siva	3.2	1.9
17	Язевка / Jazjovka	Сива / Siva	4.1	62.3
18	Вотка / Votka	Сива / Siva	8.8	23.8
19	Березовка / Berjozovka	Сива / Siva	5.9	7.2
20	Вотка / Votka	Сива / Siva	27.3	0.9
21	Нет / No	Кама / Kama	0.8	0.6
22	Докшанка / Dokshanka	Кама / Kama	6.8	0.7



периоды 2009–2019 гг. различными орудиями лова: набором ставных сетевых экранов размером 1.0 × 0.8 м с ячейей от 12 до 27 мм, ставными жаберными сетями размером 30 × 2 м с ячейей 18 и 30 мм, подъемником размером 1 × 1 м с ячейей 3 мм, придонным ловушками, мальковым сачком и крючковыми снастями. Всего отловлено более 3000 экземпляров рыб, не считая сеголетков. Для более полного выявления видового состава рыб дополнительно проводились осмотры уловов местного населения в полевых условиях. Видовые названия рыб приведены в соответствии с обновляемыми сводками международной электронной базы данных на интернет-сайте fishbase.de.

Пробы воды на химический анализ взяты в прибрежной акватории исследованных водоемов в репродуктивных биотопах основных массовых видов рыб в сроки их нереста и эмбриогенеза: в 2018 г. – в первой половине мая, в 2019 г. – во второй половине мая. Анализ проб воды на содержание ионов аммония, нитритов и нитратов проводился в день их отбора в лаборатории Удмуртского государственного университета по аттестованному методикам количественного химического анализа, допущенным для целей государственного экологического контроля.

Суммарное содержание в воде растворенного минерального азота ( $N_{\Sigma\text{мин}}$ ) как биогенного химического элемента определено стандартным расчетным методом по значениям концентраций всех трех ионов для каждой пробы. Кроме того, по первичным результатам химического анализа рассчитан интегральный показатель загрязнения воды неорганическими формами азота (ИЗВ<sub>N</sub>) как сумма отношений измеренных концентраций трех ионов к величинам их предельно допустимых концентраций (ПДК), утвержденных Минсельхозом РФ для водоемов рыбохозяйственного значения и составляющих 0.5 мг/дм<sup>3</sup> для аммония, 0.08 мг/дм<sup>3</sup> для нитритов, 40 мг/дм<sup>3</sup> для нитратов.

Для анализа связей количественных показателей между собой использован ранговый коэффициент корреляции Спирмена ( $r_s$ ). Парный сравнительный анализ данных проведен по ранговому критерию Манна – Уитни ( $U$ ). Для расчетов использованы стандартные пакеты компьютерных программ MS Excel и Statistica.

### Результаты и их обсуждение

По результатам сбора ихтиологического материала в исследованных водоемах было установлено обитание 17 видов рыб (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

Видовой состав ихтиофауны и число видов рыб, обитающих в исследованных водоемах  
Species composition of the ichthyofauna and the number of fish species living in the studied reservoirs

№ водоема / Reservoir no.	<i>Rutilus rutilus</i>	<i>Perca fluviatilis</i>	<i>Carassius carassius</i>	<i>Carassius gibelio</i>	<i>Leucaspis delineatus</i>	<i>Alburnus alburnus</i>	<i>Tinca tinca</i>	<i>Esox lucius</i>	<i>Cyprinus carpio</i>	<i>Gobio gobio</i>	<i>Barbatula barbatula</i>	<i>Abramis brama</i>	<i>Gymnocephalus cernua</i>	<i>Scardinius erythrophthalmus</i>	<i>Sander lucioperca</i>	<i>Phoxinus phoxinus</i>	<i>Squalius cephalus</i>	Общее число видов / Total number of species
1	+	+	-	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	7
2	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	5
3	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
4	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	6
5	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
6	+	+	-	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7
7	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
8	+	+	+	-	-	-	-	+	-	-	-	+	-	-	-	-	-	5
9	+	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
10	+	+	-	-	+	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
11	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5
12	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	9
13	-	-	+	+	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	7
14	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3
15	-	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	5
16	-	-	+	-	+	-	+	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	4
17	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-	-	7
18	+	+	+	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6
19	+	+	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4
20	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	9
21	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2
22	-	-	+	+	+	-	+	-	-	+	+	-	-	-	-	+	-	7

Примечание. «+» – вид присутствует в водоеме, «-» – вид отсутствует в водоеме.

Note. “+” – the species is present in the reservoir, “-” – the species is not present in the reservoir.



В плотинных прудах и обводненных карьерах площадью более 5 га, как правило, доминировала по численности плотва *Rutilus rutilus* (L.). Во многих из таких водоемов высокие показатели обилия имел также речной окунь *Perca fluviatilis* L., а в других – наряду с плотвой наиболее многочисленными видами рыб были верховка *Leucaspis delineatus* (Heckel) и уклейка *Alburnus alburnus* (L.). Достаточно обычными, но менее многочисленными представителями ихтиофауны в некоторых из этих водоемов были щука *Esox lucius* L., линь *Tinca tinca* (L.), серебряный карась *Carassius gibelio* (Bloch) и золотой карась *Carassius carassius* (L.). Реже здесь отмечались другие лимнофильные виды рыб – сазан *Cyprinus carpio* L., представленный вселенной одомашненной формой – карпом, а также лещ *Abramis brama* (L.) и ерш *Gymnocephalus cernua* (L.). Красноперка *Scardinius erythrophthalmus* (L.) зарегистрирована лишь в одном из плотинных прудов (№ 1), который много лет используется для вылова рыбы частным рыболовным хозяйством «Карашурское». В самом большом из исследованных водоемов – выработанном и обводненном карьере песчано-гравийных материалов (№ 17), соединенном протокой с устьевой областью реки Сивы, – был отловлен ювенильный экземпляр судака *Sander lucioperca* (L.). В городском Чешошурском пруду (№ 12) в его подпорных зонах и на мелководьях отмечены также обыкновенный пескарь *Gobio gobio* (L.) и усатый голец *Barbatula barbatula* (L.).

В малых антропогенных водоемах, имеющих площадь менее 2 га, структура сообществ рыб оказалась более разнотипной и во многом зависела от степени проточности конкретного водоема. Так, в одном из прудов, представленном небольшим участком среднего течения реки Вотки, зарегулированным плотиной с поверхностным водосливом и высоким расходом воды (№ 20), как и в крупных прудах доминировала плотва. Наряду с окунем, щукой, уклейкой и рядом типичных лимнофилов здесь был отловлен также голавль *Squalius cephalus* (L.) – реофил, более обычный для проточных участков рассматриваемой реки. В остальных плотинных прудах и проточной копани (№ 15) аналогичного размера перечисленные выше виды ихтиофауны как постоянные их обитатели отсутствовали совсем. Доминирующие комплексы в сообществах рыб были представлены здесь верховкой и одним из двух придонных видов – обыкновенным пескарем или золотым карасем. Из других представителей ихтиофауны с меньшими показателями обилия в этих водоемах зарегистрированы серебряный карась, линь и карп. В одном из самых малых

плотинных прудов (№ 22) отловлен экземпляр обыкновенного голяна *Phoxinus phoxinus* (L.), реофильного вида рыб, по-видимому, случайно попавшего в данный водоем из ручьевых притоков. В единственном полностью бессточном водоеме – старом и мелководном обводненном карьере (№ 21) – отмечен лишь золотой карась с высокой численностью и серебряный карась как редкий вид.

По результатам химического анализа воды в конце весенних периодов 2018–2019 гг. зарегистрировано превышение рыбохозяйственных нормативов предельно допустимого содержания аммония в 12 из 22 исследованных водоемов, нитритов – в четырех из них. Майские концентрации нитратов ни в одном из водоемов не превышали значений ПДК, но абсолютные их величины в разных прудах различались в несколько десятков раз (табл. 3). Наименьшее суммарное содержание растворенного минерального азота ( $N_{\Sigma\text{мин}}$  менее  $0.3 \text{ мг/дм}^3$ ) было зарегистрировано в двух обводненных карьерах (№№ 2 и 21), выработанных в результате добычи песчано-гравийных материалов, расположенных за пределами городских территорий и имеющих небольшой удельный водосбор с высокой степенью облесенности. Практически на порядок больше содержалось этого биогенного элемента в конце весны в самом загрязненном водоеме, Чешошурском пруду (№ 12), на водосборе которого сосредоточены разнообразные источники антропогенного загрязнения: промышленные предприятия г. Ижевска, объекты транспортной инфраструктуры (автогаражи, автостоянки и т.п.), многоэтажные жилые здания и коттеджи, садово-огородные массивы и сельхозугодья.

Концентрации отдельных ионов ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ ) и суммарного минерального азота в исследованных водоемах в мае 2019 года были положительно и статистически значимо связаны с протяженностью их водосборов (табл. 4). Аналогичная тенденция прослежена и в 2018 г., что свидетельствует о преимущественно аллохтонном характере весеннего происхождения рассматриваемых неорганических веществ, особенно нитратов, растворенных в воде этих водоемов. С учетом значительной степени антропогенной трансформации водосборной территории тех прудов, в которых отмечено наибольшее содержание минеральных форм азота (в первую очередь № 11 и 12), следует признать хозяйственную деятельность основным фактором, влияющим на уровни поступления этого биогенного элемента в рассматриваемые пресноводные экосистемы.

Таблица 3 / Table 3

**Майское содержание нитратов, нитритов, аммония и общего минерального азота ( $N_{\Sigma\text{мин}}$ ) в исследованных водоемах ( $\text{мг}/\text{дм}^3$ ), а также интегральный показатель загрязнения воды тремя ионами (ИЗВ<sub>N</sub>)**

**May content of nitrates, nitrites, ammonium and total mineral nitrogen ( $N_{\Sigma\text{мин}}$ ) in the studied reservoirs ( $\text{mg}/\text{дм}^3$ ), as well as the integral index of water contamination with three ions (IWC<sub>N</sub>)**

№ водоема / Reservoir no.	2018 год / Year 2018					2019 год / Year 2019				
	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NH}_4^+$	$N_{\Sigma\text{мин}} / N_{\Sigma\text{мин}}$	ИЗВ <sub>N</sub> / IWC <sub>N</sub>	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NH}_4^+$	$N_{\Sigma\text{мин}} / N_{\Sigma\text{мин}}$	ИЗВ <sub>N</sub> / IWC <sub>N</sub>
1	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	4.36	0.044	0.38	1.293	1.42
2	0.32	0.021	0.26	0.279	0.79	0,55	<0.020	0.18	0.270	0.62
3	3.20	0.056	0.94*	1.470	2.66	1.71	<0.020	0.51*	0.789	1.31
4	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	2.39	0.040	0.49	0.933	1.54
5	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	0.53	<0.020	0.27	0.337	0.81
6	4.70	0.052	0.68*	1.606	2.13	0.37	0.029	0.79*	0.706	1.95
7	3.39	0.080	1.14*	1.676	3.36	0.68	0.078	1.22*	1.126	3.43
8	3.90	0.090*	0.58*	1.359	2.38	2.32	0.068	0.46	0.902	1.83
9	3.80	0.055	0.39	1.178	1.56	2.02	0.042	0.74*	1.044	2.06
10	0.35	0.032	0.47	0.454	1.35	0.74	0.021	0.28	0.391	0.84
11	8.30	0.090*	0.55*	2.329	2.43	7.11	0.073	0.33	1.884	1.75
12	11.30	0.180*	0.55*	3.034	3.63	13.10	0.181*	0.40	3.324	3.39
13	0.90	0.031	0.27	0.426	0.96	0.67	0.022	0.26	0.358	0.81
14	0.80	0.047	0.80*	0.817	2.21	0.60	<0.020	0.92*	0.857	2.11
15	4.40	0.100*	1.11*	1.887	3.58	0.97	<0.020	1.03*	1.026	2.33
16	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	0.84	<0.020	0.37	0.484	1.01
17	0.70	<0.020	0.29	0.390	0.85	1.00	<0.020	0.33	0.489	0.94
18	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	2.02	0.028	0.40	0.776	1.20
19	0.70	<0.020	0.58*	0.615	1.43	1.73	<0.020	0.39	0.700	1.07
20	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	нд / nd	4.78	0.067	0.63*	1.590	2.22
21	0.24	<0.020	0.30	0.295	0.86	0.13	<0.020	0.24	0.218	0.72
22	4.20	0.08	0.63*	1.463	2.37	2.28	0.032	0.40	0.836	1.26

Примечание. «нд» – нет данных, \* – величины, превышающие ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения.

Note. “nd” – no data, \* – values exceeding the maximum permissible concentration (MPC) for reservoirs of fishery significance.

Таблица 4 / Table 4

**Коэффициенты ранговой корреляции ( $r_s$ ) майского содержания нитратов, нитритов, аммония и общего минерального азота ( $N_{\Sigma\text{мин}}$ ) в исследованных водоемах со значениями их площади и протяженности водосборов**

**Rank correlation coefficients ( $r_s$ ) of the may content of nitrates, nitrites, ammonium and total mineral nitrogen ( $N_{\Sigma\text{мин}}$ ) in the studied reservoirs with the values of their area and length of catchments**

Характеристика водоема / Characteristics of the reservoir	2018 год / Year 2018				2019 год / Year 2019			
	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NH}_4^+$	$N_{\Sigma\text{мин}} / N_{\Sigma\text{мин}}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NH}_4^+$	$N_{\Sigma\text{мин}} / N_{\Sigma\text{мин}}$
Площадь водоема / Reservoir area	-0.019	-0.124	-0.088	-0.059	0.104	0.268	0.076	0.098
Протяженность водосбора / Catchment length	0.637*	0.396	0.347	0.563*	0.578*	0.770*	0.479*	0.673*

Примечание. \* – значения, соответствующие уровню значимости  $p < 0.05$ .

Note. \* – values corresponding to the significance level  $p < 0.05$ .



С использованием данных табл. 2 и 3 нами проведен сравнительный анализ гидрохимических особенностей водоемов, предварительно разделенных на альтернативные группы по критерию присутствия/отсутствия в составе их сообществ того или иного вида рыб. Выяснено, что водоемы, в которых обитали верховка и уклейка, статистически значимо отличались от водоемов,

где эти виды ихтиофауны зарегистрированы не были, повышенным содержанием растворенных минеральных соединений азота. Наоборот, линь отловлен в тех водоемах, где концентрации ионных форм азота в конце весны в среднем были значительно ниже, чем в водоемах, характеризующихся отсутствием этого вида в составе сообществ рыб (табл. 5, рис. 2).

Таблица 5 / Table 5

**Значения критерия Манна – Уитни ( $U$ ) при сравнении альтернативных групп водоемов, в которых присутствовали или отсутствовали отдельные виды рыб, по содержанию минеральных форм азота**  
**Values of the Mann – Whitney criterion ( $U$ ) when comparing alternative groups of reservoirs in which certain fish species were present or absent, according to the content of mineral forms of nitrogen**

Вид рыб / Species of fishes	2018 год / Year 2018				2019 год / Year 2019			
	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NH}_4^+$	$\frac{N_{\Sigma\text{мин}}}{N_{\Sigma\text{мин}}}$	$\text{NO}_3^-$	$\text{NO}_2^-$	$\text{NH}_4^+$	$\frac{N_{\Sigma\text{мин}}}{N_{\Sigma\text{мин}}}$
Плотва / Roach	24.0	25.5	25.0	22.0	22.0*	22.0*	42.0	27.0
Окунь речной / European perch	24.0	25.5	25.0	22.0	22.0*	22.0*	42.0	27.0
Карась золотой / Scusian carp	24.0	21.0	31.0	30.0	52.0	55.0	48.0	52.0
Карась серебряный / Prussian carp	15.0	18.5	20.0	15.0	45.0	51.0	50.5	53.0
Верховка / Belica	8.0*	8.5*	12.0*	6.0*	31.0	24.0	18.5	17.0*
Уклейка / Bleak	6.0*	12.0	22.0	6.0*	29.0	11.0**	26.5*	16.0**
Линь / Tench	19.0	10.5*	16.5	13.0	47.5	42.0	30.5	27.0*
Щука / Northern pike	22.0	16.5	25.0	20.0	43.0	46.0	52.5	51.0

Примечание. \* – значения, соответствующие уровню значимости  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ .  
 Note. \* – values corresponding to the significance level  $p < 0.05$ ; \*\* –  $p < 0.01$ .

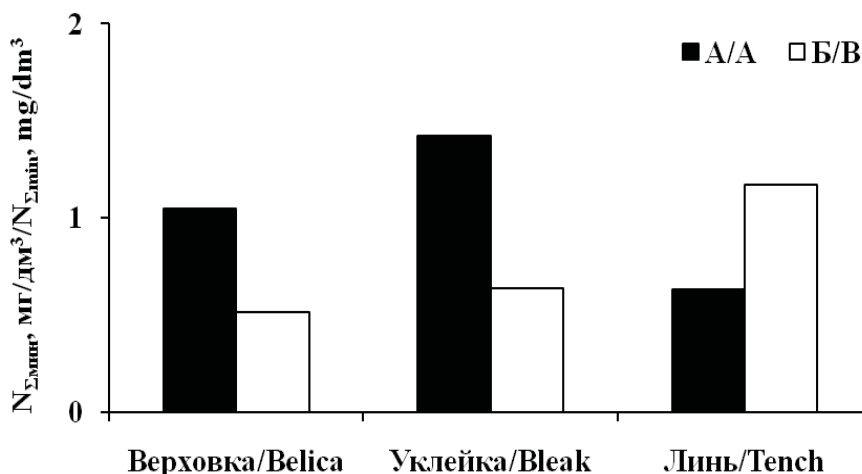


Рис. 2. Средние значения суммарного содержания растворенного минерального азота ( $N_{\Sigma\text{мин}}$ , мг/дм<sup>3</sup>) в водоемах, где в составе сообществ присутствовали (А) или отсутствовали (Б) определенные виды рыб

Fig. 2. Average values of the total content of dissolved mineral nitrogen ( $N_{\Sigma\text{мин}}$ , mg/dm<sup>3</sup>) in reservoirs where certain fish species were present (A) or absent (B) as part of communities



Известно, что особи первых двух видов рыб чаще всего занимают трофическую нишу зоопланктофагов в небольших европейских водоемах и водотоках, имея в своем рационе существенную долю планктонных пищевых объектов и питаясь ими в течение всей жизни. Тогда как третий вид – наиболее специализированный бентофаг малых прудов и озер, употребляющий в пищу преимущественно донные и зарослевые формы водных беспозвоночных животных [17, 18]. Мы предполагаем, что благодаря повышенному весеннему поступлению биологически доступных ионных форм азота в некоторые малые пруды, расположенные на антропогенно трансформированных территориях Удмуртии, могла усилиться роль пастбищных планктонных цепей питания в продукционных процессах их экосистем. Так, по литературным данным, самый быстрый прирост численности в водоемах в начале вегетационного сезона за счет внешней биогенной нагрузки происходит у мелкоклеточных активно делящихся пелагических видов водорослей [1, 19]. В свою очередь, массовые представители одноклеточного фитопланктона наиболее эффективно выедаются планктонными консументами-фильтраторами, в первую очередь, низшими ракообразными из отр. *Daphniiformes* [20, 21], которые часто составляют основу кормовой базы пресноводных рыб-зоопланктофагов в летний период. Вероятно, повышение продуктивности планктона и трофического статуса ряда прудов на фоне их антропогенного загрязнения минеральным азотом способствовало появлению в составе сообществ рыб этих водоемов специализированных планктоядных видов, таких как верховка и уклейка.

Увеличение доли некоторых короткоцикловых видов-планктофагов в сообществах пресноводных рыб в условиях прогрессирующего эвтрофирования отмечалось ранее другими авторами – на примере озер Северо-Запада России [22, 23]. Не исключено, что устойчивое повышение трофического статуса многих пресных водоемов наряду с изменением региональных температурных условий является также фактором, благоприятствующим в последние десятилетия активному расселению верховки и уклейки за пределы их естественного ареала – в водоемы и водотоки, относящиеся к бассейну Северного Ледовитого океана [24–27]. Оба вида рыб в целом достаточно теплолюбивы и занимают сходные трофические ниши. По нашим наблюдениям, уклейка более требовательна к степени проточности водоема и не встречается в самых малых, сильно зарастающих застойных прудах и пойменных озерах, где верховка часто доминирует по численности

вместе с золотым карасем. Однако в крупных и проточных плотинных прудах с доминированием плотвы уклейка может иметь более высокую численность, чем верховка, проявляя повышенную конкурентоспособность при совместном их обитании, возможно, в силу более раннего начала нереста и большей абсолютной плодовитости.

Статистически значимые отличия окунево-плотвичных водоемов от тех, где эти два вида рыб зарегистрированы не были, по содержанию нитратов и нитритов в мае 2019 г. (см. табл. 5), скорее всего, носили косвенный характер. Так, на более значимом уровне рассматриваемые альтернативные группы водоемов отличались по протяженности водосбора ( $U = 15.5$ ;  $p < 0.01$ ), а выше мы уже отмечали наличие достаточно тесной связи значений концентраций  $\text{NO}_3^-$  и  $\text{NO}_2^-$  с протяженностью водосбора исследованных водоемов по результатам анализа этого года (см. табл. 3). По нашему мнению, больший интерес представляет тенденция в изменении количественного соотношения плотвы и речного окуня в окунево-плотвичных прудах с разным уровнем загрязнения минеральным азотом в конце весны. Численная доля плотвы от общей величины уловов рыб ставными экранами и сетями во всех водоемах, в которых она была отмечена, составляла около 50% или более (табл. 6). Речной окунь встречался там же, где и плотва, но его доля в уловах из разных водоемов заметно различалась. В одних случаях число пойманных экземпляров плотвы и окуня было сопоставимо (водоемы № 2, 8, 17, 19), а в других – доля окуня в уловах не превышала 4–6% (водоемы № 4, 6, 11, 18), и он уступал свои позиции кодоминанта плотвы по численности уклейке и/или верховке. Последний вид рыб хотя и отсутствовал в уловах объячеивающими орудиями, но в больших количествах был отловлен подъемником в прудах № 4 и 18. При этом выявлена тесная и статистически значимая связь относительной численности трех массовых видов рыб в уловах с содержанием растворенного минерального азота в пробах воды, взятых из 11 водоемов в первой половине мая 2018 г.: положительная у плотвы и уклейки, отрицательная у речного окуня (табл. 7). По наиболее полным данным химического анализа воды, проведенного во второй половине мая 2019 г. для всех 15 окунево-плотвичных водоемов, аналогичная связь достигала уровня статистической значимости только у уклейки. В то же время у окуня величины относительной численности в уловах отрицательно и статистически значимо коррелировали с интегральным показателем загрязнения воды  $\text{ИЗВ}_N$ , рассчитанным по концентрациям нитратов, нитритов и аммония.



Таблица 6 / Table 6

**Относительная численность разных видов рыб, отловленных обьечивающими орудиями лова в окунево-плотвичных водоемах**

**The relative abundance of different fish species caught by embracing fishing gear in perch-roach reservoirs**

№ водоема / Reservoir no.	Плотва / Roach	Окунь речной / European perch	Уклейка / Bleak	Линь / Tench	Щука / Northern pike	Карась золотой / Crucian carp	Лещ / Freshwater bream	Ерш / Ruffe	Красноперка / Rudd	Карась серебряный / Prussian carp	Всего, экз. / Total, ex.
1	0.555	0.377	0	0.011	0.017	0	0	0	0.040	0	175
2	0.464	0.473	0	0.009	0	0	0.018	0.036	0	0	110
3	0.606	0.394	0	0	0	0	0	0	0	0	94
4	0.646	0.049	0.305	0	0	0	0	0	0	0	82
6	0.783	0.043	0.145	0.029	0	0	0	0	0	0	69
7	0.857	0.114	0.029	0	0	0	0	0	0	0	70
8	0.512	0.448	0	0	0.016	0.008	0.016	0	0	0	125
9	0.716	0.266	0.018	0	0	0	0	0	0	0	109
10	0.616	0.372	0	0	0.012	0	0	0	0	0	86
11	0.697	0.047	0.256	0	0	0	0	0	0	0	86
12	0.631	0.230	0.085	0	0	0.048	0	0	0	0.006	165
17	0.543	0.415	0	0.008	0.017	0	0	0.017	0	0	118
18	0.785	0.062	0.015	0.015	0	0.123	0	0	0	0	65
19	0.519	0.466	0	0.015	0	0	0	0	0	0	133
20	0.523	0.315	0.027	0	0.009	0.099	0.027	0	0	0	111

Таблица 7 / Table 7

**Коэффициенты ранговой корреляции ( $r_s$ ) относительной численности массовых видов рыб в уловах из окунево-плотвичных водоемов с майским содержанием минеральных форм азота и интегральным показателем загрязнения тремя ионами (ИЗВ<sub>N</sub>)**

**Rank correlation coefficients ( $r_s$ ) of the relative abundance of mass fish species in catches from perch-roach reservoirs with the may content of mineral forms of nitrogen and an integral index of three-ion water contamination (IWC<sub>N</sub>)**

Вид рыб / Species of fishes	2018 год / Year 2018					2019 год / Year 2019				
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N <sub>Σмин</sub> / N <sub>Σmin</sub>	ИЗВ <sub>N</sub> / IWC <sub>N</sub>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	N <sub>Σмин</sub> / N <sub>Σmin</sub>	ИЗВ <sub>N</sub> / IWC <sub>N</sub>
Плотва / Roach	0.533	0.370	0.411	0.645*	0.527	-0.057	0.357	0.499	0.307	0.454
Окунь / Perch	-0.702*	-0.507	-0.388	-0.764*	-0.582	-0.198	-0.494	-0.447	-0.468	-0.532*
Уклейка / Bleak	0.800*	0.560	0.249	0.798*	0.565	0.322	0.585*	0.464	0.576*	0.648*

Примечание. \* – значения, соответствующие уровню значимости  $p < 0.05$ .

Note. \* – values corresponding to the significance level  $p < 0.05$ .

Последний факт свидетельствует о том, что механизмы влияния растворенных минеральных соединений азота на изменение видового состава и структуры сообществ рыб в малых водоемах могут быть связаны не только с повышением их биологической продуктивности в условиях дополнительной биогенной нагрузки и, как следствие, с изменением качественных и количественных характеристик их кормовой

базы. Вероятен также вклад в поддержание рассматриваемых структурных перестроек в сообществах рыб различий их отдельных таксонов по чувствительности к токсическому воздействию высоких концентраций восстановленных и недоокисленных ионных форм азота (NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) и пониженному содержанию растворенного кислорода, которое неизбежно сопровождает процессы биологической минерализации азотсодержащих



органических веществ в загрязненных водоемах. В обоих аспектах возможного влияния ионных форм азота постепенная замена пресноводных представителей сем. Percidae на лимнофильных рыб сем. Cyprinidae выглядит вполне закономерной. Для эвтрофируемых озерных экосистем умеренного климата подобные направленные перестройки в сообществах рыб отмечались ранее разными авторами [22, 28]. В нашем случае в качестве подтверждения такой закономерности можно отметить присутствие еще двух видов окуневых помимо речного окуня – ерша и судака – только в водоемах с наименьшим содержанием растворенных минеральных форм азота, особенно нитритов и аммония (см. табл. 2, 3).

### Заключение

Таким образом, во многих малых антропогенных водоемах, расположенных в центрально-восточных районах Удмуртии, вода не соответствует рыбохозяйственным нормативам качества по содержанию ионов аммония и нитритов в конце весны – в период нереста и эмбриогенеза массовых видов рыб. Наибольшую биогенную нагрузку в виде растворенных неорганических форм азота испытывают плотинные пруды, расположенные в г. Ижевске и его пригородной зоне, наименьшую – выработанные и обводненные песчано-гравийные карьеры.

Одно из выявленных последствий загрязнения рассматриваемых водоемов минеральным азотом – появление в составе их рыбного населения видов-зоопланктофагов, таких как уклейка и верховка, с тенденцией увеличения их численности в наиболее загрязненных прудах. Вероятнее всего, это связано с повышением сезонной продуктивности фито- и зоопланктона в условиях весеннего поступления дополнительных концентраций минерального азота с поверхности водосборов, трансформированных хозяйственной деятельностью. Рассматриваемые виды рыб, появляясь в небольших пресных водоемах с повышенной биогенной нагрузкой, выполняют важную функцию биомелиораторов, которые встраиваются в их пелагические пищевые сети и активно используют увеличивающуюся продукцию планктонных сообществ. К тому же уклейка и верховка способствуют выносу избытка биогенов из водных экосистем в наземные, так как являются значимым компонентом питания многих рыбоядных птиц, кормящихся или гнездящихся в акватории таких водоемов. Как следствие, появление этих короткоцикловых верхнепелагических видов рыб в составе лимнических сообществ и дальнейшее увеличение

их численности в небольших стоячих водоемах может служить индикаторным показателем, отражающим изменение их химических условий в части повышения содержания в воде растворенных минеральных форм азота.

В окунево-плотвичных водоемах наряду с увеличением численности уклейки наблюдается также уменьшение численности речного окуня, статистически значимо связанное с повышением содержания в их воде в конце весны ионных форм азота. Вероятно, особи этого вида рыб по сравнению с представителями сем. Cyprinidae более уязвимы по отношению к негативному действию повышенных концентраций аммония, нитритов и нитратов, особенно на ранних стадиях онтогенеза.

### Список литературы

1. Даценко Ю. С. Эвтрофирование водохранилищ : гидролого-гидрохимические аспекты. М. : ГЕОС, 2007. 252 с.
2. Kim B., Park J.-H., Hwang G., Jun M.-S., Choi K. Eutrophication of reservoirs in South Korea // *Limnology*. 2001. Vol. 2, № 3. P. 223–229. <https://doi.org/10.1007/s10201-001-8040-6>
3. Nikanorov A. M., Khoruzhaya T. A. Intra-waterbody processes in large reservoirs of southern Russia (pollution, eutrophication, toxification) // *Geography and Natural Resources*. 2014. Vol. 35, № 2. P. 135–142. <https://doi.org/10.1134/S1875372814020048>
4. Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л. : Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 184 с.
5. Минеева Н. М. Первичная продукция планктона в водохранилищах Волги. Ярославль : Принтхаус, 2009. 279 с.
6. Elser J. J., Bracken M. E. S., Cleland E. E., Gruner D. S., Harpole W. S., Hillebrand H., Ngai J. T., Seabloom E. W., Shurin J. B., Smith J. E. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems // *Ecology Letters*. 2007. Vol. 10, № 12. P. 1135–1142. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x>
7. Tomasso J. R. Comparative toxicity of nitrite to freshwater fishes // *Aquatic Toxicology*. 1986. Vol. 8, № 2. P. 129–137. [doi.org/10.1016/0166-445X\(86\)90059-7](https://doi.org/10.1016/0166-445X(86)90059-7)
8. Tomasso J. R. Toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals // *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*. 1994. Vol. 2, № 4. P. 291–314.
9. Camargo J. A., Alonso A., Salamanca A. Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates // *Chemosphere*. 2005. Vol. 58, № 9. P. 1255–1267. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.044>
10. Aquatic life ambient water quality criteria for ammonia – freshwater / ed. L. Huff. Washington : U.S. Environmental Protection Agency, 2013. 242 p.
11. Howarth R. W., Billen G., Swaney D., Townsend A., Jaworski N., Lajtha K., Downing J.A., Elmgren R., Caraco N.,





- Jordan T., Berendse F., Freney J., Kudeyarov V., Murdoch P., Zhao-Liang Z. Regional nitrogen budget and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: nature and human influences // *Biogeochemistry*. 1996. Vol. 35, № 1. P. 75–139. <https://doi.org/10.1007/BF02179825>
12. Caraco N. F., Cole J. J. Human impact on nitrate export: An analysis using major world rivers // *Ambio*. 1999. Vol. 28, № 2. P. 167–170.
13. Безносков А. И., Баймаков Л. Б., Нелюбин В. Г. Агро-экологическая оценка территории Удмуртии. Ижевск: ИжГСХА, 2005. 120 с.
14. Котегов Б. Г., Аксенова Н. П., Захаров В. Ю., Холмогорова Н. В., Фефилова К. К. Биологические и химические эффекты антропогенного эвтрофирования Ижевского водохранилища. Ижевск: Удмуртский университет, 2013. 178 с.
15. Котегов Б. Г., Аксенова Н. П., Захаров В. Ю., Холмогорова Н. В., Каргапольцева И. А. Экологическое состояние реки Иж и ее основных притоков в водосборе Ижевского водохранилища в аспекте биогенного и органического загрязнения // *Современные проблемы водохранилищ и их водосборов*. Пермь: ПГНИУ, 2017. Т. 2. С. 96–100.
16. Kotegov B. G. Fish communities of small ponds in the Udmurt Republic: Structural features and trends in anthropogenic successions // *Russian Journal of Ecology*. 2005. Vol. 36, № 6. P. 408–413. <https://doi.org/10.1007/s11184-005-0094-y>
17. Атлас пресноводных рыб России: в 2 т. / под ред. Ю. С. Решетникова. М.: Наука, 2003. Т. 1. 379 с.
18. Kottelat M., Freyhof J. Handbook of European freshwater fishes. Cornol, Switzerland, Berlin, Germany: Kottelat & Freyhof, 2007. 646 p.
19. Судницына Д. Н. Экология водорослей Псковской области. Псков: ПГПУ, 2005. 128 с.
20. Крючкова Н. М. Трофические взаимоотношения зоо- и фитопланктона. М.: Наука, 1989. 124 с.
21. Монаков А. В. Питание пресноводных беспозвоночных. М.: ИПЭЭ РАН, 1998. 320 с.
22. Решетников Ю. С., Попова О. А., Стерлигова О. П., Титова В. Ф., Бушман Л. Г., Иешко Е. П., Макарова Н. П., Малахова Р. П., Помазовская И. В., Смирнов Ю. А. Изменение структуры рыбного населения эвтрофируемого водоема. М.: Наука, 1982. 248 с.
23. Жаков Л. А. Формирование и структура рыбного населения озер Северо-Запада СССР. М.: Наука, 1984. 144 с.
24. Зиновьев Е. А., Бакланов М. А. Фауна рыб и ее необычные элементы в водоемах Челябинской и Курганской областей // *Вестник Пермского университета*. 2007. № 5 (10). С. 53–56.
25. Захаров А. Б., Бознак Э. И. Современные изменения рыбного населения крупных рек европейского Севера-Востока России // *Российский журнал биологических инвазий*. 2011. № 1. С. 23–33.
26. Ядренкина Е. Н. Распределение чужеродных видов рыб в озерах умеренного климатического пояса Западной Сибири // *Российский журнал биологических инвазий*. 2012. № 1. С. 98–115.
27. Интересова Е. А. Чужеродные виды рыб в бассейне реки Оби // *Российский журнал биологических инвазий*. 2016. № 1. С. 83–100.
28. Persson L., Diehl S., Johansson L., Andersson G., Hamrin S. F. Shifts in fish communities along the productivity gradient in temperate lakes – patterns and the importance of size-structured interactions // *Journal of Fish Biology*. 1991. Vol. 38, № 2. P. 281–293. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1991.tb03114.x>

## References

1. Datsenko Ju. S. *Evtrofirovaniye vodokhranilishch: gidrologo-gidrokhimicheskiye aspekty* [Eutrophication of reservoirs: Hydrological and Hydrochemical Aspects]. Moscow, GEOS Publ., 2007. 252 p. (in Russian).
2. Kim B., Park J.-H., Hwang G., Jun M.-S., Choi K. Eutrophication of reservoirs in South Korea. *Limnology*, 2001, vol. 2, no. 3, pp. 223–229. <https://doi.org/10.1007/s10201-001-8040-6>
3. Nikanorov A. M., Khoruzhaya T. A. Intra-waterbody processes in large reservoirs of southern Russia (pollution, eutrophication, toxification). *Geography and Natural Resources*, 2014, vol. 35, no. 2, pp. 135–142. <https://doi.org/10.1134/S1875372814020048>
4. Trifonova I. S. *Ekologiya i suksessiya ozernogo fitoplanktona* [Ecology and Succession of Lakes Phytoplankton]. Leningrad, Nauka, Leningr. otd-nie Publ., 1990. 184 p. (in Russian).
5. Minejeva N. M. *Pervichnaya produktsiya planktona v vodokhranilishchakh Volgi* [Primary Production of Plankton in the Reservoirs of the Volga]. Jaroslavl', Printhus Publ., 2009. 279 p. (in Russian).
6. Elser J. J., Bracken M. E. S., Cleland E. E., Gruner D. S., Harpole W. S., Hillebrand H., Ngai J. T., Seabloom E. W., Shurin J. B., Smith J. E. Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 2007, vol. 10, no. 12, pp. 1135–1142. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x>
7. Tomasso J. R. Comparative toxicity of nitrite to freshwater fishes. *Aquatic Toxicology*, 1986, vol. 8, no. 2, pp. 129–137. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(86\)90059-7](https://doi.org/10.1016/0166-445X(86)90059-7)
8. Tomasso J. R. Toxicity of nitrogenous wastes to aquaculture animals. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture*, 1994, vol. 2, no. 4, pp. 291–314.
9. Camargo J. A., Alonso A., Salamanca A. Nitrate toxicity to aquatic animals: a review with new data for freshwater invertebrates. *Chemosphere*, 2005, vol. 58, no. 9, pp. 1255–1267. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2004.10.044>
10. L. Huff, ed. *Aquatic Life Ambient Water Quality Criteria for Ammonia – Freshwater*. Washington, U.S. Environmental Protection Agency Publ., 2013. 242 p.
11. Howarth R. W., Billen G., Swaney D., Townsend A., Jaworski N., Lajtha K., Downing J. A., Elmgren R., Caraco N., Jordan T., Berendse F., Freney J., Kudeyarov V., Murdoch P., Zhao-Liang Z. Regional nitrogen budget and riverine N & P fluxes for the drainages to the North Atlantic Ocean: nature and human influences. *Biogeochemistry*, 1996, vol. 35, no. 1, pp. 75–139. <https://doi.org/10.1007/BF02179825>

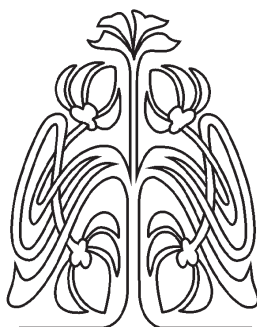


12. Caraco N. F., Cole J. J. Human impact on nitrate export: An analysis using major world rivers. *Ambio*, 1999, vol. 28, no. 2, pp. 167–170.
13. Beznosov A. I., Bashmakov L. B., Neljubin B. G. *Agroekologicheskaya otsenka territorii Udmurtii* [Agroecological assessment of the territory of Udmurtia]. Izhevsk, Izhevsk State Agricultural Academy Publ., 2005. 120 p. (in Russian).
14. Kotegov B. G., Aksjonova N. P., Zakharov V. Ju., Kholmogorova N. V., Fefilova K. K. *Biologicheskiye i khimicheskiye efekty antropogenno ego evtrofirvaniya Izhevskogo vodokhranilishcha* [Biological and Chemical Effects of Anthropogenic Eutrophication of the Izhevsk Reservoir]. Izhevsk, Udmurt State University Publ., 2013. 178 p. (in Russian).
15. Kotegov B. G., Aksjonova N. P., Zakharov V. Ju., Kholmogorova N. V., Kargapol'tseva I. A. Ecological state of the Izh river and its main tributaries in the catchment area of the Izhevsk reservoir in the aspect of biogenic and organic pollution. *Modern problems of reservoirs and their discharges*. Perm', Perm State University Publ., 2017, vol. 2, pp. 96–100 (in Russian).
16. Kotegov B. G. Fish communities of small ponds in the Udmurt Republic: structural features and trends in anthropogenic successions. *Russian Journal of Ecology*, 2005, vol. 36, no. 6, pp. 408–413 (in Russian). <https://doi.org/10.1007/s11184-005-0094-y>
17. *Atlas presnovodnykh ryb Rossii: v 2 t., pod red. Yu. S. Reshetnikova* [Yu. S. Reshetnikov, ed. Atlas of Freshwater Fishes in Russia]. Moscow, Nauka Publ., 2003. Vol. 1. 379 p. (in Russian).
18. Kottelat M., Freyhof J. *Handbook of European Freshwater Fishes*. Cornol, Switzerland, Berlin, Germany, Kottelat & Freyhof Publ., 2007. 646 p.
19. Sudnitsyna D. N. *Ekologiya vodorosley Pskovskoy oblasti* [Ecology of Algae in the Pskov Region]. Pskov, Pskov State Pedagogical University Publ., 2005. 128 p. (in Russian).
20. Krjuchkova N. M. *Troficheskiye vzaimootnosheniya zoo- i fitoplanktona* [Trophic Relationships of Zoo- and Phytoplankton]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 124 p. (in Russian).
21. Monakov A. V. *Pitaniye presnovodnykh bespozvonochnykh* [Nutrition of Freshwater Invertebrates]. Moscow, Institute of Ecology and Evolution Publ., 1998. 320 p. (in Russian).
22. Reshetnikov Ju. S., Popova O. A., Sterligova O. P., Titova V. F., Bushman L. G., Ieshko E. P., Makarova N. P., Malakhova R. P., Pomazovskaja I. V., Smirnov Ju. A. *Izmeneniye struktury rybnogo naseleniya evtrofiruyemogo vodoyema* [Changes in the Structure of the Fish Community of the Eutrophied Reservoir]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 248 p. (in Russian).
23. Zhakov L. A. *Formirovaniye i struktura rybnogo naseleniya ozer Severo-Zapada SSSR* [Formation and Structure of the Fish Communities of Lakes in the North-West of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 144 p. (in Russian).
24. Zinovjev E. A., Baklanov M. A. Fish fauna and its unusual elements in reservoirs of Chelyabinsk and Kurgan regions. *Perm University Herald*, 2007, no. 5 (10), pp. 53–56 (in Russian).
25. Zakharov A. B., Boznak E. I. Current changes in the fish communities of large rivers in the European North-East of Russia. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2011, no. 1, pp. 23–33 (in Russian).
26. Jadrjonkina E. N. Distribution of alien fish species in lakes of the temperate climate zone of Western Siberia. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2012, no. 1, pp. 98–115 (in Russian).
27. Interesova E. A. Alien fish species in the Ob river basin. *Russian Journal of Biological Invasions*, 2016, no. 1, pp. 83–100 (in Russian).
28. Persson L., Diehl S., Johansson L., Andersson G., Hamrin S. F. Shifts in fish communities along the productivity gradient in temperate lakes – patterns and the importance of size-structured interactions. *Journal of Fish Biology*, 1991, vol. 38, no. 2, pp. 281–293. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1991.tb03114.x>

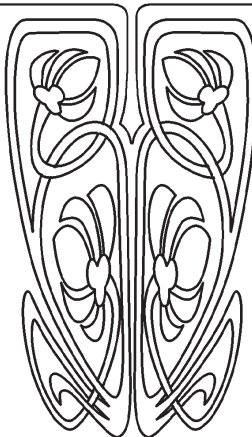
Поступила в редакцию 15.11.20, после рецензирования 15.03.21, принята к публикации 17.03.21  
 Received 15.11.20, revised 15.03.21, accepted 17.03.21



## ЭКОЛОГИЯ



НАУЧНЫЙ  
ОТДЕЛ



Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 478–487

*Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 478–487

<https://ichbe.sgu.ru>

<https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487>

Научная статья  
УДК 574.24:615.322

### Накопление тяжелых металлов и мышьяка лекарственным растительным сырьем лопуха обыкновенного, заготовленным в Воронежской области

Н. А. Дьякова

Воронежский государственный университет, Россия, 394006, г. Воронеж, Университетская пл., д. 1

Дьякова Нина Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии, [Ninotchka\\_V89@mail.ru](mailto:Ninotchka_V89@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0766-3881>

**Аннотация.** Воронежская область традиционно является важнейшим районом растениеводства и земледелия. Целью исследования являлось изучение загрязнения тяжелыми металлами лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере корней лопуха обыкновенного, заготовленных в урбо- и агроэкосистемах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие. Изучалось накопление тяжелых металлов (свинец, ртути, кадмия, никеля, меди, цинка, кобальта, хрома) и мышьяка в 51 образце сырья. Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в верхних слоях почв региона и содержание этих элементов в корнях лопуха обыкновенного, можно предполагать наличие значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению экотоксикантов корнях лопуха обыкновенного, что особенно заметно для таких элементов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий, кобальт и хром. При этом данный вид лекарственного растительного сырья способен избирательно концентрировать некоторые тяжелые металлы, входящие в активные центры ферментных систем (медь и цинк). Таким образом, для лопуха обыкновенного в условиях антропогенной нагрузки происходит формирование эдафотипа, формирующегося в результате действия отбора в условиях техногенного загрязнения внешней среды и проявления адаптации к этим условиям.

**Ключевые слова:** Воронежская область, лопух обыкновенный, свинец, ртуть, кадмий, никель, медь, цинк, кобальт, хром

**Для цитирования:** Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка лекарственным растительным сырьем лопуха обыкновенного, заготовленным в Воронежской области // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2021. Т. 21, вып. 4. С. 478–487. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487>

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

Article

**Accumulation of heavy metals and arsenic with medicinal herbal raw material of common shovel harvested in Voronezh region**

**N. A. Dyakova**

Voronezh State University, 1 University pl., Voronezh 394006, Russia

Nina A. Dyakova, [Ninotchka\\_V89@mail.ru](mailto:Ninotchka_V89@mail.ru), <https://orcid.org/0000-0002-0766-3881>



**Abstract.** The Voronezh region is traditionally the most important area of crop production and agriculture. The purpose of the research was to study the contamination with heavy metals of medicinal plant raw materials of the Voronezh region using the example of the roots of ordinary burdock, prepared in urbo- and agro-ecosystems, which have various anthropogenic effects on themselves. The accumulation of heavy metals (lead, mercury, cadmium, nickel, copper, zinc, cobalt, chromium) and arsenic in 51 samples of raw materials was studied. By comparing the heavy metal content in the upper soil layers of the region and the content of these elements in the roots of the bladder, it can be assumed that there are significant physiological barriers to the accumulation of ecotoxicants in the roots of the bladder, which is especially noticeable for elements such as lead, mercury, arsenic, cadmium, cobalt and chromium. At the same time, this type of medicinal vegetal raw material is able to selectively concentrate some heavy metals included in the active centers of enzyme systems (copper and zinc). Thus, for an ordinary bladder under conditions of anthropogenic load, an edaphotype is formed, which is as a result of selection in conditions of anthropogenic pollution of the external environment and the manifestation of adaptation to these conditions.

**Keywords:** Voronezh region, ordinary bladder, lead, mercury, cadmium, nickel, copper, zinc, cobalt, chrome

**For citation:** Dyakova N. A. Accumulation of heavy metals and arsenic with medicinal herbal raw material of common shovel harvested in Voronezh region. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2021, vol. 21, iss. 4, pp. 478–487. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2021-21-4-478-487>

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

## Введение

На сегодняшний день в медицинской и фармацевтической практике нашей страны применяется более 6 тысяч лекарственных препаратов на основе лекарственного растительного сырья. Значительный интерес к таким лекарственным средствам объясняется тем, что фитопрепараты обладают хорошим терапевтическим эффектом и относительной безвредностью. Большая доля заготовок фитосырья расположена в европейской части Российской Федерации, отличающейся значительной плотностью населения, высокой активностью хозяйственной деятельности, развитием транспортных магистралей. В связи с этим увеличивается угроза сбора растительного сырья в экологически неблагоприятных районах и возрастает актуальность выявления влияния антропогенного загрязнения на химический состав растений [1, 2].

Рудеральным видом, сырье которого заготавливается от дикорастущих особей, является лопух обыкновенный (*Arctium lappa* L.) – двулетнее, травянистое растение высотой 50–150 см, обладающее выраженным потогонным, мочегонным, желчегонным действием. Широкое применение обусловлено богатым химическим составом корней лопуха обыкновенного, основу которого составляют водорастворимые полисахариды (до 44% инулина), горькие гликозиды, дубильные вещества, эфирные масла, каротин, органические кислоты, макро- и микроэлементы [3, 4]. При этом известно, что лопух обыкновенный хорошо накапливает фосфор, хром, медь, цинк [5].

*Цель исследования* – изучение загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком лекарственного растительного сырья Воронежской области на примере корней лопуха обыкновенного,

заготовленного в урбо- и агроэкосистемах, испытывающих на себе различное антропогенное воздействие.

## Материалы и методы

Выбор районов для сбора образцов на территории Воронежской области обусловлен особенностями воздействия человека (табл. 1, рисунок): химические промышленные предприятия (23, 24, 28); теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) (27); атомная электростанция (АЭС) в г. Нововоронеж (8); международный аэропорт им. Петра I (30); улица г. Воронежа (ул. Димитрова) (31); высоковольтные линии электропередач (ВЛЭ) (9); Воронежское водохранилище (29); малые города (г. Борисоглебск (25), г. Калач (26)); зона значительного месторождения никелевых руд (4); районы, находящиеся в зоне радиоактивного загрязнения после аварии на Чернобыльской АЭС (5–7); районы активного ведения сельского хозяйства (10–22); фон (для сравнения) – заповедные территории (1–3)). Также проводили отбор проб вдоль дорог разной степени загруженности: лесная зона (32) – трасса М4 «Дон», лесостепная зона (33) – трасса А144 «Курск-Саратов», степная зона (34) – трасса М4 «Дон», проселочная автомобильная дорога малой загруженности (35) и железная дорога (36).

Сбор лекарственного растительного сырья проводили согласно требованиям по заготовке: корни лопуха обыкновенного выкапывали в сухую погоду в конце апреля – начале мая, подвяливали на солнце, очищали от земли, затем разрезали на куски по 10–15 см и сушили при температуре 40°C.

Анализ образцов корней лопуха обыкновенного проводился на аналитическом комплексе на базе атомно-абсорбционного спектрометра МГА-915МД по фармакопейным методикам [4].



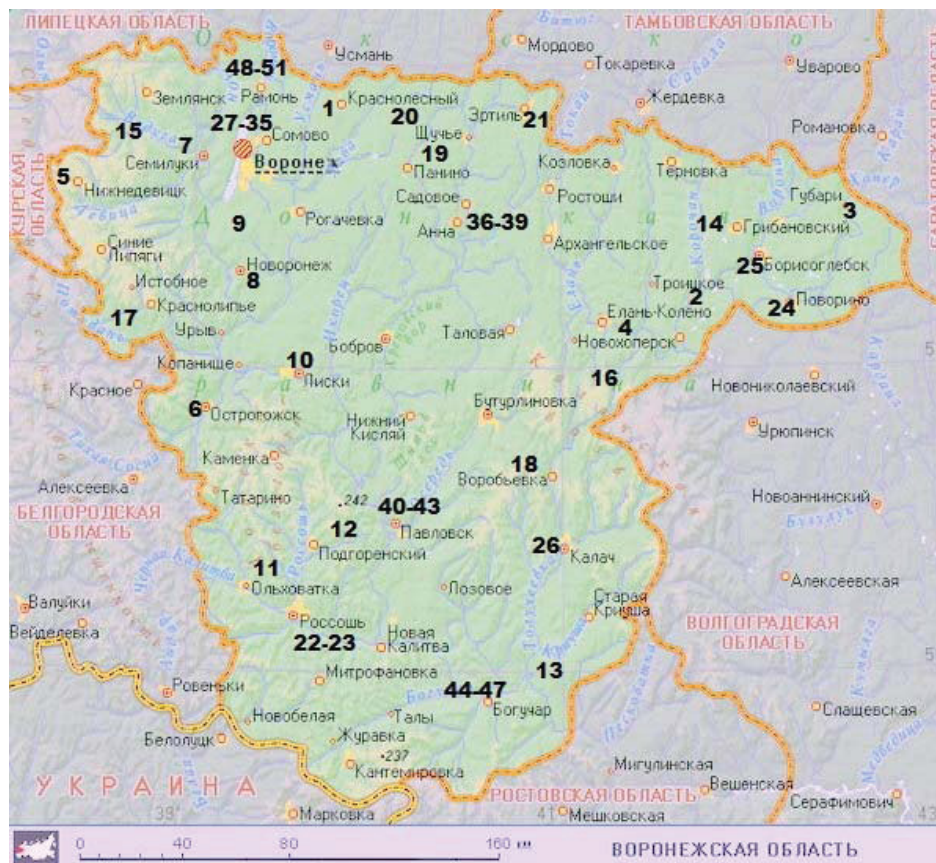
Таблица 1 / Table 1  
 Средние значения концентрации тяжелых металлов и мышьяка в образцах лекарственного сырья лопуха обыкновенного (*Arctium lappa* L.)  
 Average values of concentration of heavy metals and arsenic in samples of medicinal plant raw materials of common burdock (*Arctium lappa* L.)

№	Район сбора / Area of collecting	Содержание элемента, мг/кг / Element content, mg/kg										
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn		
1	Воронежский биосферный заповедник / Voronezh biosphere reserve	0,59	0,004	0,04	0,26	2,16	2,32	3,53	7,84	29,08		
2	Хоперский заповедник / Khopyor reserve	0,88	0,003	0,02	0,20	2,76	3,09	2,17	8,29	33,96		
3	Борисоглебский район / Borisoglebsk district	0,63	0,003	0,03	0,14	2,08	2,67	3,21	9,52	35,74		
4	с. Елань-Колено / village of Elan-Koleno	0,87	0,004	0,07	0,18	2,14	5,72	3,51	10,63	37,95		
5	с. Нижнедевицк/ village of Nizhnedevitsk	1,14	0,004	0,12	0,17	1,05	4,96	4,60	8,84	25,63		
6	г. Острогожск / city of Ostrogozhsk	2,17	0,005	0,11	0,25	2,94	6,76	5,37	11,60	45,74		
7	г. Семилуки / city of Semiluki	1,86	0,004	0,14	0,27	3,15	5,23	6,17	9,34	44,17		
8	г. Нововоронеж / city of Novovoronezh	1,74	0,005	0,02	0,19	1,86	3,90	3,12	6,46	26,83		
9	ВЛЭ (Нововоронежский городской округ) / High-voltage power transmission lines (Novovoronezhsky city district)	2,08	0,004	0,12	0,34	3,78	6,10	3,93	7,75	32,05		
10	Лискинский р-н / Liskinsky district	2,27	0,005	0,15	0,20	1,37	5,32	5,74	8,88	27,47		
11	Ольховатский р-н / Olkhovatsky district	1,54	0,004	0,17	0,30	3,14	6,14	3,84	9,16	34,91		
12	Подгоренский р-н / Podgorensky district	2,17	0,003	0,11	0,30	3,76	3,00	5,82	7,58	30,07		
13	Петропавловский р-н / Peter and Paul district	2,72	0,003	0,10	0,17	1,57	3,24	6,54	8,59	29,58		
14	Грибановский р-н / Gribanovsky district	2,56	0,004	0,15	0,31	4,20	3,52	7,40	10,64	36,90		
15	Хохольский р-н / Hokholsky district	2,21	0,005	0,09	0,21	4,04	5,86	2,48	8,40	41,90		
16	Новохоперский р-н / New Khopyor district	2,17	0,004	0,07	0,20	3,65	2,88	3,69	7,44	29,01		
17	Репьевский р-н / Repyevsky district	2,08	0,005	0,17	0,28	4,15	4,16	4,06	9,35	31,02		
18	Воробьевский р-н / Vorobyevsky district	1,12	0,005	0,10	0,16	3,78	3,09	5,26	8,49	21,04		
19	Панинский р-н / Paninsky district	2,00	0,004	0,16	0,31	2,85	7,13	3,71	10,56	44,18		
20	Верхнехавский р-н / Verkhnekhavsky district	2,16	0,004	0,15	0,36	2,74	5,32	6,20	9,38	39,39		
21	г. Эргиль / city of Ertil	2,02	0,003	0,09	0,20	3,52	3,03	4,88	10,03	48,17		
22	Росошанский р-н / Rossosh district	2,59	0,004	0,17	0,31	4,04	5,22	5,10	7,84	37,22		
23	Вблизи ОАО «Минудобрения» (г. Россошь) / Near OJSC «Minudobriya» (city of Rossosh)	4,11	0,005	0,22	<b>0,60</b>	4,57	13,36	12,52	12,24	76,37		
24	Вблизи ООО «Бормаш» (г. Поворино) / Near LLC «Bormash» (city of Povorino)	4,88	0,005	0,27	<b>0,81</b>	5,94	10,27	9,53	15,00	62,01		
25	г. Борисоглебск / city of Borisoglebsk	2,32	0,005	0,15	0,29	4,14	8,50	8,80	8,96	59,04		
26	г. Калач / city of Kalach	2,73	0,005	0,12	0,25	3,12	9,38	7,05	9,45	55,39		
27	Вблизи ТЭЦ «ВОГРЭС» (г. Воронеж) / Near «VOGRES» Thermal Power Plant (city of Voronezh)	1,15	0,006	0,07	<b>0,67</b>	2,84	7,12	9,06	7,75	60,28		
28	Вблизи ООО «Сибур» (г. Воронеж) / Near LLC «Sibur» (city of Voronezh)	3,81	0,006	0,08	0,42	3,51	9,20	6,29	9,22	70,36		



Окончание таблицы 1 / End of the Table 1

№	Район сбора / Area of collecting	Содержание элемента, мг/кг / Element content, mg/kg									
		Pb	Hg	Cd	As	Ni	Cr	Co	Cu	Zn	
29	Вдоль водохранилища (г. Воронеж) / Along the reservoir (city of Voronezh)	2,76	0,005	0,10	0,32	3,72	3,33	5,25	5,31	39,01	
30	Вблизи аэропорта / Near the airport	4,44	0,004	0,15	0,40	3,91	4,87	4,36	9,63	28,69	
31	Улица г. Воронеж (ул. Ленинградская) / city of Voronezh Street (Leningrad Str.)	3,11	0,005	0,11	0,47	3,12	7,46	13,85	12,25	67,37	
32	Вдоль трассы М4 (Рамонский р-н) / Along the M4 route (Ramon district)	3,66	0,004	0,28	<b>0,53</b>	2,97	6,09	8,63	15,78	57,49	
33	100 м от трассы М4 (Рамонский р-н) / 100 m from M4 Route (Ramon District)	2,05	0,005	0,25	0,46	2,84	4,99	7,69	11,53	42,08	
34	200 м от трассы М4 (Рамонский р-н) / 200 m from M4 Route (Ramon District)	2,01	0,004	0,08	0,41	2,08	3,80	4,51	8,90	36,84	
35	300 м от трассы М4 (Рамонский р-н) / 300 m from M4 Route (Ramon District)	1,15	0,005	0,10	0,34	2,14	3,78	3,86	9,27	35,01	
36	Вдоль трассы А144 (Аннинский р-н) / Along the А144 route (Anna district)	3,18	0,003	0,17	0,29	3,74	9,23	6,63	13,04	63,72	
37	100 м от трассы А144 (Аннинский р-н) / 100 m from the route А144 (Anna district)	2,89	0,004	0,12	0,27	3,12	7,07	7,80	11,55	55,17	
38	200 м от трассы А144 (Аннинский р-н) / 200 m from the route А144 (Anna district)	2,01	0,004	0,12	0,23	2,98	6,31	6,31	9,75	41,05	
39	300 м от трассы А144 (Аннинский р-н) / 300 m from the route А144 (Anna district)	1,52	0,003	0,04	0,18	2,94	5,38	3,85	9,59	32,98	
40	Вдоль трассы М4 (Павловский р-н) / Along the М4 route (Pavlovsk district)	3,01	0,005	0,12	0,27	4,04	6,18	9,65	14,81	61,05	
41	100 м от трассы М4 (Павловский р-н) / 100 m from the М4 route (Pavlovsky district)	2,56	0,005	0,17	0,25	3,87	4,88	7,02	12,98	56,15	
42	200 м от трассы М4 (Павловский р-н) / 200 m from the М4 route (Pavlovsky district)	2,08	0,005	0,12	0,21	2,98	3,94	7,67	10,64	51,59	
43	300 м от трассы М4 (Павловский р-н) / 300 m from the М4 route (Pavlovsky district)	1,97	0,005	0,09	0,15	3,15	3,42	4,26	9,49	42,77	
44	Вдоль нескоростной дороги (Богучарский р-н) / Along the non-high-speed road (Boguchar district)	2,01	0,003	0,07	0,31	2,70	4,79	3,52	9,75	45,84	
45	100 м от нескоростной дороги (Богучарский р-н) / 100 m from non-high-speed road (Boguchar district)	1,72	0,003	0,04	0,27	2,54	4,86	4,09	8,60	41,73	
46	200 м от нескоростной дороги (Богучарский р-н) / 200 m from non-high-speed road (Boguchar district)	1,41	0,003	0,04	0,25	2,42	3,38	3,86	8,25	37,16	
47	300 м от нескоростной дороги (Богучарский р-н) / 300 m from non-high-speed road (Boguchar district)	1,38	0,003	0,04	0,20	2,16	3,60	4,78	8,09	37,39	
48	Вдоль железной дороги / Along the railroad	3,09	0,004	0,22	0,43	3,82	7,35	9,63	16,62	53,04	
49	100 м от железной дороги / 100 m from the railroad	2,14	0,004	0,24	0,41	3,51	5,07	5,72	14,23	49,63	
50	200 м от железной дороги / 200 m from the railroad	1,06	0,003	0,18	0,37	3,26	4,20	4,12	10,56	42,46	
51	300 м от железной дороги / 300 m from the railroad	1,01	0,003	0,17	0,31	3,17	3,75	4,22	8,79	39,95	
	Среднее содержание элемента в сырье / Average element content of raw material	2,17	0,004	0,12	0,31	3,14	5,38	5,78	9,97	43,21	
	Предельно допустимая концентрация / Threshold limit value	6,0	0,1	1,0	0,5	–					



Карта отбора образцов (обозначения см. табл. 1) (цвет online)  
Sampling card (designations see Table 1) (color online)

В образцах определяли концентрацию наиболее токсичных элементов: свинца, мышьяка, ртути, кадмия, никеля, цинка, кобальта, хрома и меди. Каждое определение проводили трехкратно. Результаты исследований проверялись методами математической статистики.

### Результаты и их обсуждение

Средние значения содержания тяжелых металлов и мышьяка в отобранных образцах корней лопуха обыкновенного представлены в табл. 1.

Содержание элементов так называемой «страшной тройцы» – свинца, ртути, кадмия в отобранных образцах лекарственного растительного сырья лопуха обыкновенного не превышает установленных фармакопейной статьей норм [4].

Концентрация свинца в изучаемых корнях лопуха обыкновенного варьировала от 0,59 до 4,88 мг/кг. Все образцы соответствуют требованиям фармакопейной статьи по содержанию данного элемента. Наиболее высокие концентрации свинца отмечены в изучаемых образцах с территорий, расположенных вблизи промышленных предприятий ООО «Сибур», ООО «Бор-маш», ОАО «Минудобрения», вблизи аэропорта,

на улице г. Воронежа, вдоль трассы М4 и вдоль железнодорожного полотна. Сравнивая полученные значения с содержанием свинца в почвах районов, в которых производился сбор образцов (от 1,71 до 34,57 мг/кг) [5, 6], можно сделать вывод о малом накоплении металла корнями лопуха обыкновенного. Данный факт можно связать с низкой растворимостью свинца в почвенном растворе, а также способностью его образовывать устойчивые комплексы с почвенными коллоидами, что делает элемент малодоступным для растения [7–10].

Содержание солей ртути в изучаемых объектах невысоко и колебалось от 0,003 до 0,006 мг/кг, что более, чем в десять раз меньше предельно допустимой концентрации, установленной фармакопейной статьей в 0,1 мг/кг. Концентрация ртути в почвах районов произрастания анализируемых корней лопуха обыкновенного значительно больше – от 0,01 до 0,24 мг/кг [6]. Ртуть способна образовывать прочные ртутьорганические комплексы в почвенном растворе с органическими и неорганическими кислотами, что делает ее малодоступной для растений [7, 8].



Концентрация кадмия в корнях лопуха обыкновенного, заготовленного на территории Воронежской области, варьировала от 0,02 до 0,28 мг/кг и не превышала предельно допустимой концентрации, установленной фармакопейной статьей в 1,0 мг/кг. Концентрация кадмия в почвах изучаемых территорий варьировала от 0,02 до 0,71 мг/кг [6]. Анализ полученных результатов показал наличие обратной пропорциональности между содержанием металла в почве и в изучаемом виде сырья. При низкой концентрации кадмия в верхних слоях почв, элемент накапливался примерно в такой же концентрации в корнях лопуха обыкновенного (например, для образцов контрольных зон), а при повышении содержания металла в почве степень его накопления в анализируемом сырье значительно снижалась (например, в образцах, собранных вдоль автомобильных трасс М4 и А144) [11,12].

Концентрация мышьяка, который в небольших количествах является жизненно необходимым элементом, участвующим в обмене фосфора, варьировала в корнях лопуха обыкновенного от 0,14 до 0,81 мг/кг. Содержание элемента в почвах изучаемых территорий отмечена на уровне от 0,55 до 3,81 мг/кг [6], что говорит о невысоком уровне накопления растительным сырьем данного токсиканта, что, вероятно, связано с наличием физиологического барьера, препятствующего избыточному поступлению мышьяка, который в больших количествах вызывает замедление роста растения и клеточный плазмоз [11].

Концентрация никеля в корнях лопуха обыкновенного отмечена в диапазоне варьирования от 1,37 до 5,94 мг/кг. При этом накопление никеля в корнях лопуха обыкновенного нельзя считать значительным. Так, уровень его содержания в верхних слоях почв изучаемых территорий на порядок выше – от 2,23 до 98,25 мг/кг [6]. По-видимому, в данном случае происходит блокировка растением накопления избытка токсиканта, вызывающего подавление процесса транспирации, остановку роста и развития растения [11, 13].

Уровень накопления хрома в корнях лопуха обыкновенного Воронежской области составил 1,37–5,94 мг/кг и является также невысоким при сопоставлении с содержанием хрома в верхних слоях почв (от 2,53 до 45,16 мг/кг) [6]. При низком содержании хрома в почве заповедных территорий, элемент накапливался в растительном сырье достаточно эффективно. Однако на территориях, испытывающих значительное антропогенное воздействие (на улицах городов, вблизи промышленных предприятий, вблизи

транспортных магистралей), корни лопуха обыкновенного содержали хром в концентрациях, значительно более низких, чем содержание его в верхних слоях почв. Это объясняется тем, что хром является жизненно необходимым для растительного организма элементом, активизирующим ряд биохимических процессов и ферментов, но избыток его может вызывать повреждение корней, поэтому возможно предположить наличие физиологических механизмов блокирования избыточного накопления хрома [8, 14].

Уровень накопления кобальта в корнях лопуха обыкновенного Воронежской области составил 2,17–13,85 мг/кг. Концентрация кобальта в почвах области гораздо значительнее – от 1,84 до 21,78 мг/кг [6]. При избытке кобальта в почвенном растворе происходит торможение поглощения и транспортировки других жизненно важных элементов (железа, марганца). Вероятно, с этим связано развитие механизмов физиологического барьера, препятствующего чрезмерному накоплению данного металла [15, 16].

Для корней лопуха обыкновенного отмечена способность к накоплению меди. Так, при содержании металла в почвах изучаемых территорий на уровне от 3,30 до 65,38 мг/кг [6], концентрация его в лекарственном растительном сырье составляла 5,31–16,62 мг/кг. В ряде (в 22 из 51) образцов сырья лопуха обыкновенного, особенно произраставших на контрольных территориях и в условиях агробиоценозов, концентрация данного элемента в сырье выше, чем в почвах соответствующих районов. Медь – физиологически важный элемент, участвует в процессе фотосинтеза, активизирует углеводный и азотный обмены, повышает сопротивляемость растительного организма к инфекционным заболеваниям, увеличивает засухоустойчивость [12, 17, 18].

Корни лопуха обыкновенного активно накапливают цинк, содержание которого в образцах варьировало от 21,04 до 76,37 мг/кг, при концентрации металла в верхних слоях почв анализируемых территорий от 9,58 до 154,45 мг/кг [6]. Примерно в половине изученных образцов концентрация металла в сырье лопуха обыкновенного оказалось выше, чем в почве мест произрастания. Достаточно высокая степень накопления элемента связана со значительной физиологической потребностью растения в данном элементе. Так, цинк активизирует более 300 ферментов, участвует в образовании хлорофилла, является составной частью более 40 ферментов, активизирует метаболизм углеводов, протеинов, фосфатов, повышает устойчивость к патогенам, жаро- и засухоустойчивость. Для цинка, как и для меди, заметных физиологиче-





ских барьеров накопления элементов из почв лекарственным растительным сырьем лопуха обыкновенного не отмечено: при повышении концентрации металла в почве содержание его в лекарственном растительном сырье также заметно увеличивалось [6, 12, 18].

На основании полученных данных можно предполагать, что для лопуха обыкновенного в условиях антропогенной нагрузки происходит формирование экотипа, формирующегося под влиянием почвенно-грунтовых условий в условиях техногенного загрязнения внешней среды и проявления адаптации к этим условиям. Аналогичное формирование эдафотипов с имеющимся выраженным физиологическим барьером к накоплению из почв токсичных элементов было отмечено и для других высших растений, заготовленных в различных с экологической точки зрения районах Воронежской области, – подорожника большого (на примере исследования листьев данного объекта), а также горца птичьего и полыни горькой (при изучении надземной части растений) [2, 19, 20].

Гипотеза о согласованности значений эксперимента проверялась путем анализа их распределения. Для данного рода исследований, связанных с оценкой выборочной дисперсии, наиболее часто используют *F*-критерий Фишера [21], но при числе более двух он недостаточно эффективен, так как при этом в оценке участвуют только наибольшая и наименьшая дисперсии, в связи с чем для проверки однородности дисперсий применяют *G*-критерий Кохрена [22].

Оценка значимости исследуемых данных в целом осуществляется при помощи параметрического *F*-критерия Фишера (*F*-распределения), который служит для определения достоверности различий между дисперсиями полученных результатов и показывает уровень однородности данных в выборках [23]. Для получения значений указанных критериев произведем расчет арифметического среднего –  $X_{cp}$ ; стандартной ошибки –  $S_x$ ; дисперсии –  $S^2$ ; стандартного отклонения (оно же среднеквадратическое отклонение, коэффициент вариации) –  $S$  (табл. 2).

Таблица 2 / Table 2

**Внутригрупповая обработка значений содержания концентрации тяжелых металлов**  
**Intra-group treatment of heavy metal concentration values**

Наименование исследуемых параметров / Name parameters to be examined	$X_{cp}$	$S$	$S^2$	$S_x$	$F$	$F_{табл}$	$G$	$G_{крит}$
Свинец / Lead	2,17235	0,94212	0,88759	0,13192	2,33	1,37	0,89	0,06
Ртуть / Mercury	0,00417	0,00086	$7,4 \times 10^{-7}$	0,00012				
Кадмий / Cadmium	0,12313	0,06354	0,00403	0,00889				
Мышьяк / Arsenic	0,30745	0,13408	0,01797	0,01877				
Никель / Nickel	3,13784	0,8856	0,78428	0,12400				
Хром / Chrome	5,37686	2,23428	4,99202	0,31286				
Кобальт / Cobalt	5,78156	2,46112	6,05714	0,34462				
Медь / Copper	9,97333	2,34972	5,52120	0,32902				
Цинк / Zinc	43,2084	12,78726	163,514	1,79057				

Представленный в табл. 2 анализ по выборке содержания тяжелых металлов в сравнении между собой показывает их статистическую незначимость  $F > F_{табл}$  и  $G > G_{крит}$  в большей степени зависящую от большого разброса параметров (различия размерности) содержания вещества, следовательно, для проведения более достоверной оценки целесообразно рассматривать сравнение содержания металлов по регионам (табл. 3).

Из анализа данных табл. 3 следует, что исследование параметров концентрации тяжелых металлов среди районов сбора сырья позволили

получить значения  $F = 0,46 < F_{табл} = 1,38$  и  $G = 0,048 < G_{крит} = 0,17$ , что обуславливает гипотезу об однородности данных, и подтверждает, результаты эксперимента статистически надёжны и не имеют случайных событий.

**Заключение**

Был проанализирован 51 образец корней лопуха обыкновенного, заготовленных в различных по уровню антропогенного воздействия районах Воронежской области, на предмет содержания тяжелых металлов и мышьяка. Сравнивая данные по содержанию тяжелых металлов в верхних сло-

**Межгрупповая обработка значений содержания концентрации тяжелых металлов**  
**Intergroup treatment of heavy metal concentration values**

№ п/п	$X_{cp}$	$S$	$S^2$	$S_x$	№ п/п	$X_{cp}$	$S$	$S^2$	$S_x$
1	2,0930	2,6551	7,0495	0,93872	27	3,5833	3,7790	14,2807	1,33607
2	2,1766	2,7649	7,6446	0,97753	28	4,0670	3,8528	14,8439	1,36216
3	2,2854	3,1853	10,1462	1,12618	29	2,5994	2,2156	4,9088	0,78333
4	2,8905	3,7142	13,7956	1,31318	30	3,4705	3,2578	10,6132	1,15180
5	2,6105	3,2035	10,2621	1,13259	31	5,0469	5,5215	30,4869	1,95214
6	3,6506	4,0691	16,5579	1,43866	32	4,7430	5,3876	29,0258	1,90479
7	3,2705	3,3925	11,5090	1,19942	33	3,7269	4,1127	16,9146	1,45407
8	2,1619	2,2618	5,1157	0,79967	34	2,7243	3,0038	9,0227	1,06200
9	3,0130	2,8992	8,4053	1,02502	35	2,5806	3,1138	9,6959	1,10091
10	2,9919	3,2860	10,7980	1,16179	36	4,5354	4,7637	22,6925	1,68421
11	3,0368	3,2717	10,7037	1,15670	37	4,1030	4,2716	18,2463	1,51023
12	2,8429	2,7934	7,8031	0,98762	38	3,4643	3,6189	13,0963	1,27947
13	2,8666	3,1897	10,1742	1,12773	39	2,9379	3,3311	11,0963	1,17773
14	3,5980	3,8005	14,4439	1,34368	40	4,7606	5,2754	27,8302	1,86515
15	2,9119	3,0349	9,2108	1,07301	41	3,9669	4,4289	19,6155	1,56587
16	2,5130	2,5304	6,4027	0,89462	42	3,4556	3,8785	15,0424	1,37124
17	3,0319	3,1471	9,9043	1,11267	43	2,8169	3,1681	10,0371	1,12011
18	2,7506	3,0319	9,1924	1,07194	44	2,8941	3,2693	10,6886	1,15589
19	3,3405	3,7624	14,1553	1,33019	45	2,7654	2,9908	8,9448	1,05740
20	3,2893	3,3911	11,4998	1,19895	46	2,4516	2,7829	7,7445	0,98390
21	2,9716	3,3694	11,3530	1,19127	47	2,5316	2,8434	8,0850	1,00530
22	3,1593	2,8793	8,2903	1,01798	48	5,1455	5,8008	33,6498	2,05091
23	5,9531	5,8521	34,2465	2,06901	49	3,9155	4,7116	22,1989	1,66579
24	5,8381	5,4570	29,7787	1,92934	50	2,9691	3,5360	12,5033	1,25016
25	4,1456	4,0552	16,4444	1,43372	51	2,6779	2,9991	8,9944	1,06033
26	4,0131	4,0605	16,4875	1,43559					

яч почв региона и содержание этих элементов в сырье лопуха обыкновенного, можно утверждать о наличии значительных физиологических барьеров, препятствующих накоплению экотоксикантов в растении, что особенно заметно для таких элементов, как свинец, ртуть, мышьяк, кадмий, кобальт и хром. Оказалось, лопух обыкновенный способен избирательно концентрировать некоторые тяжелые металлы, входящие в активные центры ферментных систем (например, такие как медь и цинк). На основании этого можно предполагать, что для лопуха обыкновенного в условиях антропогенной нагрузки происходит формирование экотипа, формирующегося под влиянием почвенно-грунтовых условий в условиях техногенного загрязнения внешней среды и проявления адаптации к этим условиям. Аналогичное формирование эдафотипов

с имеющимся выраженным физиологическим барьером к накоплению из почв токсичных элементов было отмечено и для других высших растений, заготовленных в различных с экологической точки зрения районах Воронежской области, – подорожника большого (на примере исследования листьев данного объекта), а также горца птичьего и полыни горькой (при изучении надземной части растений) [2, 19, 20].

#### Список литературы

1. Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П. Сравнение особенностей накопления основных токсических элементов цветками липы сердцевидной и пижмы обыкновенной // Вестник ВГУ. Сер. Химия. Биология. Фармация. 2017. № 1. С. 148–154.
2. Дьякова Н. А., Сливкин А. И., Гапонов С. П. Изучение накопления тяжелых металлов и мышьяка и оценка



- влияния поллютантов на содержание флавоноидов у *Polygonum aviculare* (Caryophyllales, Polygonaceae) // Вестник Камчатского технического государственного университета. 2019. № 48. С. 71–77.
3. Государственная фармакопея Российской Федерации. Изд. XIV. Т. 2. М.: ФЭМБ, 2018. 1423 с.
4. Понн Я. И., Бокова Т. И. Содержание меди в лекарственных растениях, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2016. № 3. С. 100–107.
5. Зайцева М. В., Кравченко А. Л., Стекольников Ю. А., Сотников В. А. Тяжелые металлы в системе почва-растение в условиях загрязнения // Ученые записки Орловского государственного университета. Сер. Естественные, технические и медицинские науки. 2013. № 3. С. 190–192.
6. Дьякова Н. А. Оценка загрязнения тяжелыми металлами верхних слоев почв урбо- и агроэкосистем Центрального Черноземья // Вестник ИРГСХА. 2019. № 95. С. 19–30.
7. Семенова И. Н., Сингизова Г. Ш., Зулкарнаев А. Б., Ильбулова Г. Ш. Влияние меди и свинца на рост и развитие растений на примере *Anethum graveolens* L. // Современные проблемы науки и образования. 2015. Вып. 3. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19568> (дата обращения: 10.02.2020).
8. Немерешина О. Н., Гусев Н. Ф., Петрова Г. В., Шайхутдинова А. А. Некоторые аспекты адаптации *Polygonum aviculare* L. к загрязнению почвы тяжёлыми металлами // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012. № 1 (33). С. 230–234.
9. Rai A., Kulshrestha K. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants // Journal of Food, Agriculture & Environment. 2006. Vol. 4. P. 253–259.
10. Шигабаева Г. Н. Тяжелые металлы в почвах некоторых районов г. Тюмени // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2015. № 1. С. 92–102.
11. Понн Я. И., Бокова Т. И. Содержание кадмия в лекарственных растениях, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник КрасГАУ. 2017. № 3. С. 105–113.
12. Понн Я. И., Бокова Т. И. Содержание цинка, меди и кадмия в различных видах лекарственных растений, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2017. № 1. С. 84–92.
13. Austenfeld F. A. Zur Phytotoxizität von Nickel und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei *Phaseolus vulgaris* L. // Z. Pflanzenenern. und Bodenkunde. 1979. № 6. S. 769–777.
14. Sharma D. S., Chatterjee C., Sharma C. P. Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) metabolism // Plant. Sci. 1995. № 2. P. 145–151.
15. Cataldo D. A., Wildung R. E. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants // Environ Health Perspect. 1978. December 27. P. 149–159.
16. Buszewski B., Jastrzebska A., Kowalkowski T. Monitoring of Selected Heavy Metals Uptake by Plants and Soils in the Area of Torun // Poland Polish Journal of Environmental Studies. 2000. Vol. 9, № 6. P. 511–515.
17. Speak A. F., Rothwell J. J., Lindley S. J., Smith C. L. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city // Atmospheric Environment. 2012. Vol. 61. P. 283–293.
18. Gupta G. P., Kumar B., Singh S., Kulshrestha U. C. Deposition and Impact of Urban Atmospheric Dust on Two Medicinal Plants during Different Seasons in NCR Delhi // Aerosol and Air Quality Research. 2016. № 16. P. 2920–2932.
19. Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка листьями подорожника большого // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 2. С. 232–239. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-232-239>
20. Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка травой полыни горькой // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. 2020. Т. 20, вып. 4. С. 445–453. <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-4-445-453>
21. Мойзес Б. Б., Плотникова И. В., Редько Л. А. Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных. Томск: Изд-во ТГПУ, 2016. 119 с.
22. Бондарчук С. С., Бондарчук И. С. Статобработка экспериментальных данных в MS Excel. Томск: Изд-во ТГПУ, 2018. 433 с.
23. Пучков Н. П. Математическая статистика. Применение в профессиональной деятельности: учебное пособие. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2013. 80 с.

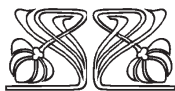
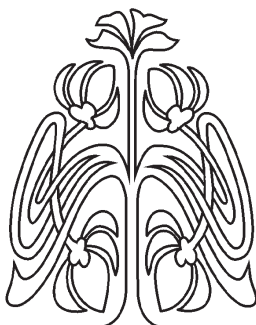
## References

1. Dyakova N. A., Slivkin A. I., Gaponov S. P. Comparison of features of accumulation of the basic toxic elements flowers of a linden heart-shaped and tansies ordinary. *VSU bulletin. Series: Chemistry, Biology, Pharmacy*, 2017, no. 1, pp. 148–154 (in Russian).
2. Dyakova N. A., Slivkin A. I., Gaponov S. P. Study of accumulation of heavy metals and arsenic and assessment of the influence of pollutants on the content of flavonoids in *Polygonum aviculare* (Caryophyllales, Polygonaceae). *Journal of Kamchatka Technical State University*, 2019, no. 48, pp. 71–77 (in Russian).
3. *Gosudarstvennaya farmakopeya Rossijskoj Federacii. Izdanie XIV* [State Pharmacopeia of the Russian Federation. Edition XIV]. Moscow, FEMB Publ., 2018, vol. 2. 1423 p. (in Russian).
4. Popp Y. I., Bokova T. I. Copper content in medicinal plants growing in the catches of the rivers Irtysh and Obi. *Journal of the Oman State Agrarian University*, 2016, no. 3, pp. 100–107 (in Russian).
5. Zaytseva M. V., Kravchenko A. L., Stekol'nikov Y. A., Sotnikov V. A. Heavy metals in a system the soil plant in the conditions of pollution. *Scientists notes of Oryol State University. Series: Natural, Technical and Medical Sciences*, 2013, no. 3, pp. 190–192 (in Russian).
6. Dyakova N. A. Assessment of contamination by heavy metals of upper soil layers of urban and agro-eco-

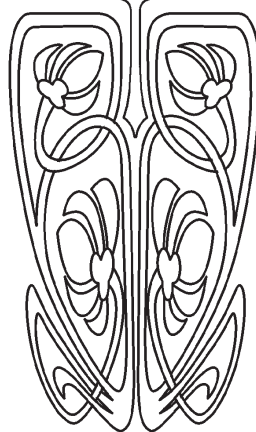


- systems of the Central Black Earth. *Journal of the Irkutsk State Agricultural Academy*, 2019, no. 95, pp. 19–30 (in Russian).
7. Semenova I. N., Singizova G. S., Zulkaranaev A. B., Il'bulova G. S. Effects of copper and lead on plant growth and development as exemplified by *Anethum graveolens* L. *Modern Problems of Science and Education*, 2015, iss. 3. Available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19568> (accessed 10 February 2020) (in Russian).
  8. Nemereshina O. N., Gusev N. F., Petrova G. V., Shajhutdinova A. A. Some aspects of adaptation of *Polygonum aviculare* L. to pollution of the soil heavy metals. *News of the Orenburg State Agrarian University*, 2012, no. 1 (33), pp. 230–234 (in Russian).
  9. Rai A., Kulshreshtha K. Effect of particulates generated from automobile emission on some common plants. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 2006, vol. 4, pp. 253–259.
  10. Shigabayeva G. N. Heavy metals in soils of some districts of Tyumen. *Bulletin of the Tyumen State University. Ecology and environmental management*, 2015, no. 1, pp. 92–102 (in Russian).
  11. Popp Y. I., Bokova T. I. Cadmium content in medicinal plants growing in the catches of the rivers Irtysh and Obi. *Journal of Krasnoyarsk State Agrarian University*, 2017, no. 3, pp. 105–113 (in Russian).
  12. Popp Y. I., Bokova T. I. Content of zinc, copper and cadmium in various types of medicinal plants growing in the catches of the rivers Irtysh and Obi. *Journal of Novosibirsk State Agrarian University*, 2017, no. 1, pp. 84–92 (in Russian).
  13. Austenfeld F. A. Zur Phytotoxizität von Nickel und Kobaltsalzen in Hydrokultur bei *Phaseolus vulgaris* L. *Z. Pflanzenernähr. und Bodenkunde*, 1979, no. 6, S. 769–777 (in German).
  14. Sharma D. S., Chatterjee C., Sharma C. P. Chromium accumulation and its effects on wheat (*Triticum aestivum* L. cv. HD 2204) metabolism. *Plant. Sci.*, 1995, no. 2, pp. 145–151.
  15. Cataldo D. A., Wildung R. E. Soil and plant factors influencing the accumulation of heavy metals by plants. *Environ Health Perspect*, 1978, December 27, pp. 149–159.
  16. Buszewski B., Jastrzebska A., Kowalkowski T. Monitoring of Selected Heavy Metals Uptake by Plants and Soils in the Area of Torun. *Poland Polish Journal of Environmental Studies*, 2000, vol. 9, no. 6, pp. 511–515.
  17. Speak A. F., Rothwell J. J., Lindley S. J., Smith C. L. Urban particulate pollution reduction by four species of green roof vegetation in a UK city. *Atmospheric Environment*, 2012, vol. 61, pp. 283–293.
  18. Gupta G. P., Kumar B., Singh S., Kulshrestha U. C. Deposition and Impact of Urban Atmospheric Dust on Two Medicinal Plants during Different Seasons in NCR Delhi. *Aerosol and Air Quality Research*, 2016, no. 16, pp. 2920–2932.
  19. Dyakova N. A. Accumulation of Heavy Metals and Arsenic in the Leaves of Plantago Major. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 2, pp. 232–239 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-2-232-239>
  20. Dyakova N. A. Accumulation of Heavy Metals and Arsenic by Medicinal Plant Raw Material of Bitter Hollow. *Izvestiya of Saratov University. Chemistry. Biology. Ecology*, 2020, vol. 20, iss. 4, pp. 445–453 (in Russian). <https://doi.org/10.18500/1816-9775-2020-20-4-445-453>
  21. Mojzes B. B., Plotnikova I. V., Red'ko L. A. *Statisticheskie metody kontrolya kachestva i obrabotka eksperimental'nykh dannykh* [Statistical Methods of Quality Control and Processing of Experimental Data]. Tomsk, Izd-vo TGPU, 2016. 119 p. (in Russian).
  22. Bondarchuk S. S., Bondarchuk I. S. *Statobrabotka eksperimental'nykh dannykh v MS Excel* [Statistical Processing of Experimental Data at MS Excel]. Tomsk, Izd-vo TGPU, 2018. 433 p. (in Russian).
  23. Puchkov N. P. *Matematicheskaya statistika. Primenenie v professional'noj deyatel'nosti: uchebnoe posobie* [Mathematical Statistics. Application in Professional Activities: Training Manual]. Tambov, Izd-vo TGTU, 2013. 80 p. (in Russian).

Поступила в редакцию 03.12.2020, после рецензирования 05.03.21, принята к публикации 08.03.21  
Received 03.12.2020, revised 05.03.21, accepted 08.03.21



**ПОДПИСКА**



### **Подписка на печатную версию**

Подписной индекс издания 36013

Оформить подписку на печатную версию можно  
в Интернет-каталогах

«Пресса России» ([www.pressa-rf.ru](http://www.pressa-rf.ru))

«Пресса по подписке» ([www.akc.ru](http://www.akc.ru))

ГК «Урал-Пресс» ([ural-press.ru](http://ural-press.ru))

Журнал выходит 4 раза в год

Цена свободная

Электронная версия журнала находится

в открытом доступе ([ichbe.sgu.ru](http://ichbe.sgu.ru))

### **Адрес Издательства**

**Саратовского университета (редакции):**

410012, Саратов, Астраханская, 83

**Тел.:** +7 (845-2) 51-45-49, 52-26-89

**Факс:** +7 (845-2) 27-85-29

**E-mail:** [izdat@sgu.ru](mailto:izdat@sgu.ru)

### **Адрес редколлегии серии:**

410012, Саратов, Астраханская, 83,

СГУ имени Н. Г. Чернышевского,  
биологический факультет

**Тел./факс:** +7 (845-2) 22-51-38

**E-mail:** [ichbe-sgu@yandex.ru](mailto:ichbe-sgu@yandex.ru)

**Website:** <https://ichbe.sgu.ru>