

Включен в Перечень рецензируемых научных изданий ВАК РФ, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней по специальностям:

1.5.7 Генетика, 1.5.9 Ботаника, 1.5.11 Микробиология, 1.5.12 Зоология, 1.5.15 Экология, 3.2.7 Аллергология и иммунология, 3.3.8 Клиническая лабораторная диагностика

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный национальный исследовательский университет»

Включает как теоретические работы, так и статьи, содержащие результаты конкретных исследований по ботанике и физиологии растений, зоологии, ихтиологии и этологии, энтомологии и гидробиологии, генетике, биохимии, микробиологии, почвоведению, биотехнологии, медико-биологическим проблемам, экологии и охране природы, а также рецензии на некоторые публикации и персоналии. Все статьи прошли рецензирование.

Редакционный совет

В. С. Артамонова, д-р биол. наук, доцент, ведущий н. сотр., Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск

А. В. Балущий, д-р биол. наук, ст. н. сотр., зав. лабораторией, ЗИН РАН, г. С.-Петербург

О. Г. Баранова, д-р биол. наук, профессор, ведущий н. сотр., БИН им. В.Л. Комарова РАН, г. С.-Петербург

В. Д. Богданов, д-р биол. наук, чл.-корр. РАН, зав. лабораторией, ИЭРиЖ УрО РАН, г. Екатеринбург

Э. А. Коркотян, канд. биол. наук, профессор, Лаборатория нейронной пластичности Научно-исследовательского ин-та им. Вейцмана, Реховот, Израиль

Н. Кристофи, профессор, Эдинбургский Эдипир университет, Шотландия, Великобритания

А. И. Литвиненко, д-р биол. наук, профессор, Государственный аграрный ун-т Северного Зауралья, г. Тюмень

В. П. Середина, д-р биол. наук, профессор, НИТГУ, г. Томск

Б. Ульссон, Ph D, ассоциированный профессор, лектор университета г. Сковде, Швеция

В. А. Черешнев, д-р мед. наук, профессор, академик РАН, директор ИИФ УрО РАН, г. Екатеринбург

Редакционная коллегия

С. В. Боронникова, д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой, ПГНИУ, г. Пермь

С. В. Гейн, д-р мед. наук, профессор, директор ИЭГМ УрО РАН, г. Пермь

О. З. Еремченко, д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой, ПГНИУ, г. Пермь

С. Л. Есюнин, д-р биол. наук, доцент, зав. кафедрой, ПГНИУ, г. Пермь

Е. Г. Ефимик (секретарь редколлегии), канд. биол. наук, доцент, ПГНИУ, г. Пермь

В. А. Демаков, д-р мед. наук, профессор, чл.-корр. РАН, директор ИЭГМ УрО РАН, г. Пермь

Н. В. Зайцева, д-р мед. наук, профессор, академик РАН, ФГУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, г. Пермь

И. Б. Ившина, д-р биол. наук, профессор, академик РАН, зав. лабораторией ИЭГМ УрО РАН, г. Пермь

М. С. Куюкина, д-р биол. наук, ст. н. сотр., ИЭГМ УрО РАН, г. Пермь

Н. И. Литвиненко (гл. редактор), канд. биол. наук, профессор кафедры, ПГНИУ, г. Пермь

С. А. Овеснов, д-р биол. наук, профессор, ПГНИУ, г. Пермь

Н. Н. Паньков, канд. биол. наук, доцент, профессор кафедры, ПГНИУ, г. Пермь

О. Ю. Устинова, д-р мед. наук, зам. директора ФГУН «Федеральный научный центр медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора, г. Пермь

Ответственный редактор
выпуска С. А. Овеснов

© Редакционная коллегия, 2021

Адрес учредителя и издателя:
614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
Тел.: 8 (342)2396435; E-mail: info@psu.ru
Подписной индекс в каталоге ОАО «Пресса России. Том 1.
Газеты и журналы»: 41000
Адрес редакции: 614068, г. Пермь, ул. Букирева, 15;
Тел.: 8 (342)2396233
E-mail: vestnik_psu_bio@mail.ru
Сайт: press.psu.ru/index.php/bio

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций. Свид. о регистрации средства масс. информации ПИ № ФС 77-66484 от 14 июля 2016 г.

Includes both theoretical works and articles containing results of species researches on botany and physiology of plants, ichthyology and ethology, entomology and hydrobiology, microbiology, genetics, biochemistry, soil science, biotechnology, medico-biologic problems, ecology and nature conservation, as well as reviews of some publications.

Editorial Board

V. S. Artamonova, Sc. D. in Biological Science, associate professor, leading researcher, Institute of Soil Science and Agrochemistry of the Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk

A. V. Balushkin, Sc. D. in Biological Science, senior researcher, head of laboratory, Zoological Institute of the RAS, St. Petersburg

O. G. Baranova, Sc. D. in Biological Science, professor, leading researcher, Botanical Institute of the RAS, St. Petersburg

V. D. Bogdanov, Sc. D. in Biological Science, corresponding member of the RAS, head of laboratory, IPAE Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg

V. A. Chereshnev, Sc. D. in Medical Science, professor, member of the RAS, head of IIP Ural Branch of the RAS, Ekaterinburg

N. Christofi, professor, Edinburgh Napier University, Scotland, Great Britain

E. A. Korkotyan, Ph D, professor, Laboratory of Neuronal Plasticity of Weizmann Institute of Science, Rehovot, Izrael

A. I. Litvinenko, Sc. D. in Biological Science, professor, State agrarian University of Northern TRANS-Urals, Tyumen

B. Olsson, Ph D, associate professor, senior lector of the University of Scovde, Sweden

V. P. Seredina, Sc. D. in Biological Science, professor, NITGU, Tomsk

Editors

S. V. Boronnikova, Sc. D. in Biological Science, professor, head of department, PSU, Perm

E. G. Efimik (secretary of the editorial board), Ph D in Biological Science, associate professor, PSU, Perm

O. Z. Eremchenko, Sc. D. in Biological Science, professor, head of department, PSU, Perm

S. L. Esyunin, Sc. D. in Biological Science, associate professor, head of department, PSU, Perm

V. A. Demakov, Sc. D. in Medical Science, professor, corresponding member of the RAS, head of IEGM Ural Branch of the RAS, Perm

S. V. Gein, Sc. D. in Medical Science, professor, head of IEGM Ural Branch of the RAS, Perm

I. B. Ivshina, Sc. D. in Biological Science, professor, member of the RAS, head of laboratory of IEGM Ural Branch of the RAS, Perm

M. S. Kuyukina, Sc. D. in Biological Science, senior researcher, IEGM Ural Branch of the RAS, Perm

N. I. Litvinenko (editor in chief), PhD in Biological Science, professor of the department, PSU, Perm

S. A. Ovesnov, Sc. D. in Biological Science, professor, PSU, Perm

N. N. Pankov, Ph D in Biological Science, associate professor, professor of the department, PSU, Perm

O. Yu. Ustinova, Sc. D. in Medical Science, deputy head of FBSI "Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies", Perm

N. V. Zaitseva, Sc. D. in Medical Science, professor, member of the RAS, FBSI "Federal Scientific Center for Medical and Preventive Health Risk Management Technologies", Perm

Contributed editor of the issue S. A. Ovesnov

Содержание

Ботаника

- Кищенко И. Т.* Сезонный рост видов *Abies* Mill., интродуцированных в бореальной зоне (Карелия) 1
- Ланкина Е. З., Савельева Е. Е., Булгакова Н. А.* Антирадикальные свойства селенобогатых проростков зерновых культур 12
- Халиуллин Д. А., Ишмуратова М. М., Ишибирдин А. Р.* Изменчивость морфологических признаков листа *Valeriana officinalis* L. и *V. alternifolia* Ledeb. 18

Микробиология

- Сибирцев В. С., Нечипоренко У. Ю.* Методика оптико-электрохимического микробиологического тестирования в применении к сравнительному анализу пребиотических и антимикробных свойств различных растительных экстрактов 26

Зоология

- Казаринов С. Н., Мерзляков И. Н., Поносов С. В., Комарова Л. В.* Видовой состав и особенности распределения ихтиофауны Камского водохранилища 39

Генетика

- Комарова Л. В., Пелеева А. Р., Костицына Н. В., Мельникова А. Г., Боронникова С. В.* Полиморфизм ДНК, генетическая оригинальность и идентификация популяций и ремонтно-маточных стад стерляди (*Acipenser ruthenus*) 53

Экология

- Артамонова В. С., Булавина М. И.* Об участии гетеротрофных микроорганизмов в первичном почвообразовании на отходах агломерации железных руд 61
- Вокина В. А., Капустина Е. А., Новиков М. А., Андреева Е. С.* Нарушение репродуктивного потенциала самцов белых крыс при воздействии дыма природного пожара 70
- Пастухова Л. А., Родимова Е. В., Крылова И. О.* Курсовое использование настоя чаги для адаптации собак в период смены типа кормления 77

Персоналии

- Ефимик В. Е., Есюнин С. Л.* Памяти Николая Матвеевича Пахорукова (09.05.1948 – 28.02.2021) . . 82
- Правила оформления статей в Вестник Пермского университета. Серия Биология 84

Contents

Botany

- Kishchenko I. T.* Seasonal growth of *Abies* Mill. species introduced in the Boreal Zone (Karelia) 1
- Lapkina E. Z., Saveleva E. E., Bulgakova N. A.* Antiradical properties of selenium-enriched grain seedlings 12
- Khaliullin D. A., Ishmuratova M. M., Ishbirdin A. R.* Variability in leaf morphological characters of *Valeriana officinalis* L. and *V. alternifolia* Ledeb. 18

Microbiology

- Sibirtsev V. S., Nechiporenko U. Yu.* The technique of optical-electrochemical microbiological testing as applied to the comparative analysis of the prebiotic and antimicrobial properties of various plant extracts 26

Zoology

- Kazarinov S. N., Merzlyakov I. N., Ponosov S. V., Komarova L. V.* Species composition and distribution features of the ichthyofauna of the Kama reservoir 39

Genetics

- Komarova L. V., Peleeva A. R., Kostitsyna N. V., Melnikova A. G., Boronnikova S. V.* DNA polymorphism, genetic originality and identification of sterlet populations and replacement broodstock (*Acipenser ruthenus*) 53

Ecology

- Artamonova V. S., Bulavina M. I.* On the participation of heterotrophic microorganisms in initial soil formation on waste from iron ore agglomeration 61
- Vokina V. A., Kapustina E. A., Novikov M. A., Andreeva E. S.* Reproductive potential of male rats in the experimental model of wildfire 70
- Pastukhova L. A., Rodimova E. V., Krylova I. O.* Course use of chaga infusion for adapting of dogs in the period of changing the type of feeding 77

Personalities

- Efimik V. E., Esyunin S. L.* The Memory of Nikolay M. Pachorukov (09.05.1948 – 28.02.2021) 82

БОТАНИКА

УДК 630.1

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-1-11.

И. Т. Кищенко

Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

СЕЗОННЫЙ РОСТ ВИДОВ *ABIES* MILL., ИНТРОДУЦИРОВАННЫХ В БОРЕАЛЬНОЙ ЗОНЕ (КАРЕЛИЯ)

Изучение роста 4 интродуцированных видов *Abies* проведено в Ботаническом саду Петрозаводского государственного университета (южная Карелия, подзона средней тайги). Рост побегов в годы с дружной весной начинается одновременно. В годы с затяжной весной различия в началах роста между видами могут достигать 1 недели. Различия в сроках прекращения роста побегов также не превышают 1 недели. Ранее всего кульминация прироста происходит у *A. holophylla*, а позже всего – у *A. balsamea*. Наибольшая величина максимального прироста характерна для *A. holophylla*, у других видов она на 10–20% меньше. Начало и кульминация прироста зависят от температурного режима воздуха. Начало роста хвои отмечается в конце мая-начале июня, различия не превышают 2–4 сут. Раньше всего кульминация прироста хвои отмечается у *A. holophylla* и *A. concolor*. Его величина у данных видов в 1.5–2 раза больше, чем у других видов. Сроки начала, кульминации и окончания роста хвои из года в год могут варьировать в пределах 2–18 сут. Начало роста хвои зависит от температурного режима воздуха, а динамика роста, кроме того, – от влажности воздуха и атмосферных осадков. Характер и степень влияния экологических факторов на рост хвои заметно отличаются у изучаемых видов рода *Abies*. Наиболее перспективными для озеленения населенных пунктов следует признать *A. sibirica* и *A. balsamea*.

Ключевые слова: интродукция; *Abies*; рост; побеги; хвоя.

I. T. Kishchenko

Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russian Federation

Seasonal growth of *Abies* Mill. species introduced in the Boreal Zone (Karelia)

The study of the growth of the introduced species of *Abies* was carried out in the Botanical Garden of Petrozavodsk State University (middle taiga subzone, southern Karelia). Studies have established that the growth of shoots of species of the genus *Abies* begins at the same time in years with a friendly spring. In years with a protracted spring, differences between species in the timing of the onset of this phenophase can reach 1 week. The differences in the timing of the termination of shoot growth also do not exceed 1 week. Growth culminates first in *A. holophylla*, and most recently in *A. balsamea*. The highest value of the maximum growth is characteristic of *A. holophylla*, in other species it is 10–20% less. It turned out that the beginning and culmination of growth in them mostly depends on the temperature regime of the air. The air humidity and the amount of atmospheric precipitation constantly exceed the optimal value for this process. It was found that the beginning of the growth of the needles of the studied species of the genus *Abies* is noted in late May-early June. The differences do not exceed 2–4 days. First of all, the culmination of the growth of needles is noted in *A. holophylla* and *A. concolor*. Its value in these species is 1.5–2 times higher than in other species. Studies have shown that the timing of the beginning, culmination and end of needle growth under the influence of environmental factors from year to year can vary within 2–18 days. The beginning of the growth of needles depends on the temperature regime of the air, and the growth dynamics, in addition, on the humidity of the air and atmospheric precipitation. The nature and degree of influence of environmental factors on the growth of needles varies very slightly from year to year, but differs markedly in the studied species of the genus *Abies*. It was found that *A. sibirica* and *A. balsamea* should be recognized as the most promising for landscaping settlements in settlements (with a low degree of pollution by pollutants).

Key words: introduction; *Abies*; growth; needles; shoots.

Введение

Изучению сезонного роста и развития растений, в том числе древесных видов, уделяется большое

внимание как в России, так и за рубежом. И это понятно, т. к. познание этих важнейших биологических процессов имеет решающее значение в теории и практике выращивания растений. При этом

объектами исследований служат аборигенные и интродуцированные древесные растения и, в частности, хвойные.

Известно, что большинство аборигенных видов древесных растений таежной зоны России плохо переносят прогрессирующее загрязнение окружающей среды. Между тем многие виды хвойных растений, в т. ч. и представители семейства *Abies* других географических районов, устойчивы к загазованности и задымленности, отличаются долговечностью и весьма декоративны в течение всего года [Встовская, 1983; Плотникова, 1983; Лапин, 1987; Комарова, 2011; Паутова, 2011; Мерзленко, Захарова, 2013; Мухина и др., 2013; Гуков и др., 2017; Фирсов, Хмарик, 2017]. Кроме того, многие из них отличаются значительно большей продуктивностью, чем местные виды, и нередко способны к натурализации [Калуцкий, Болотов, 1983; Мамаев, Махиев, 1996; Ботенков, Попова, 1997]. Повышение биологического разнообразия естественных и искусственных фитоценозов, по мнению многих исследователей [Мамаев, Махиев, 1996; Bradshaw, 1997; Исаев и др., 1997; Буданцев, 1999; Морякина, 1998; Сикура, 1998], возможно только через интродукцию древесных растений. Все это свидетельствует о необходимости интродукции хвойных растений и оценки их перспективности. Последняя может быть установлена лишь на основе всестороннего изучения адаптаций, происходящих у испытываемых растений в новых условиях [Ворошилов, 1960; Базилевская, 1964; Гончарова и др., 2013;

Попова и др., 2016]. Главнейшими процессами, характеризующими состояние интродуцированных растений, являются особенности их роста и развития, которые определяются не только генотипом, но и динамикой экологических факторов [Булыгин, 1979; Встовская, 1983; Плотникова, 1983; Трулевич, 1991; Шкутко, 1991].

Между тем выяснилось, что вопросы сезонного роста хвойных интродуцентов изучены далеко не полно и нуждаются в уточнении и дальнейшем изучении. В Карелии такие детальные исследования до сих пор не проводились.

Поэтому цель данной работы – выяснение особенностей сезонного роста некоторых интродуцированных видов *Abies* Mill. под влиянием основных климатических факторов и оценка перспективности их использования в озеленении.

Материалы и методы исследований

Изучение роста интродуцированных видов рода *Abies* проводили в Ботаническом саду Петрозаводского государственного университета в 2008–2010 гг. Каждый изучаемый вид представлен групповой посадкой из 10–25 деревьев. Условия водного, минерального и светового режимов у всех изучаемых видов одинаковые. Размещение и густота посадок в каждой группе идентичны. Посадки граничат с сосняком черничным. Характеристика объектов исследований приведена в табл. 1

Таблица 1

Характеристика объектов исследований

Вид рода <i>Abies</i>	Место происхождения саженцев (ботсад–город)	Возраст, лет	Средняя высота, м	Наличие семеношения
<i>A. sibirica</i> Ledeb.	С.–Петербург	53	16.0	есть
<i>A. balsamea</i> Mill.	Копенгаген	43	16.7	есть
<i>A. concolor</i> Lindl. et Gord.	С.–Петербург	36	11.3	есть
<i>A. holophylla</i> Maxim.	Москва	31	9.0	есть

Наблюдения за ростом побегов и хвои проводили по методике А. А. Молчанова и В. В. Смирнова [1967]. С помощью линейки измеряли длину осевых стеблей (далее побегов) с юго-западной части кроны на высоте около 2 м с момента набухания почек до заложения зимующих почек через каждые 2–3 сут. У каждого вида выбирали по 10 учетных деревьев, у которых промаркировали по 25 побегов. Таким образом, объем выборки по каждому сроку наблюдения составлял 250 побегов. Рост промаркированной хвои с помощью линейки изучали в верхней части тех же побегов, с тем же временным интервалом. Объем выборки тот же, что и для побегов. Величину суточного прироста побегов и хвои определяли как разницу в их длине (среднеарифметической) между последующим и предшествующим наблюдениями, деленную на

число суток этого периода.

Оценку перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений проводили по методике П.И. Лапина и С.В. Сидневой [1973]. При этом учитывались такие показатели, как степень ежегодного вызревания побегов, зимостойкость, сохранение габитуса, побегообразовательная способность, регулярность прироста осевых побегов, способность к генеративному развитию, возможность размножения в культуре, общая оценка перспективности.

Климатические данные (суммарная солнечная радиация; атмосферные осадки; среднесуточная, минимальная и максимальная относительная влажность воздуха; среднесуточная, минимальная и максимальная температура воздуха) регистрировались на Сулажгорской метеостанции (Карельская гидрометеороло-

гическая обсерватория), расположенной в 3 км к юго-западу от Ботанического сада.

По результатам наблюдений за ростом и развитием растений, а также за климатическими факторами сформировали банк данных, обработанный с помощью рекомендуемых для этих целей корреляционного и регрессионного методов [Зайцев, 1981].

Статистическая обработка материалов наблюдений за интродуцентами показала, что при определении среднеарифметической величины прироста побегов показатель точности опыта составляет 3–6%, а коэффициент вариации – 15–22%; хвои – соответственно 4–5% и 12–18%; фенодат – 5–6% и 20–26%.

Результаты и их обсуждение

Линейный рост побегов. Проведенные исследования показали, что сроки начала роста побегов изучаемых видов пихты могут варьировать по годам в пределах двух недель. Подобную изменчивость наблюдал и Н.В. Шкутко [1991]. Наиболее стабильны сроки начала данной фенофазы у *A. holophylla*. В годы с дружной весной рост побегов у всех изучаемых видов начинается одновременно в середине мая. В годы с затяжной весной проявляются различия по видам: последними (в конце мая) трогаются в рост побеги *A. sibirica*. У *A. holophylla* эта фенофаза начинается на неделю раньше (табл. 2).

Таблица 2

Температурный режим воздуха в период роста побегов у различных видов рода *Abies*

Вид рода <i>Abies</i>	Год наблюдения	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма положит. температур, °С
Начало роста				
<i>A. holophylla</i>	2008	12 V	8.3	240
	2009	15 V	9.9	266
	2010	21 V	9.3	207
<i>A. concolor</i>	2008	12 V	8.3	240
	2009	15 V	9.9	266
	2010	24 V	9.0	234
<i>A. sibirica</i>	2008	12 V	8.3	240
	2009	15 V	9.9	266
	2010	29 V	10.9	284
<i>A. balsamea</i>	2008	12 V	8.3	240
	2009	15 V	9.9	266
	2010	24 V	9.0	234
Кульминация прироста				
<i>A. holophylla</i>	2008	6–8 VI	17.8	570
	2009	4–6 VI	17.2	423
	2010	7–9 VI	11.6	388
<i>A. concolor</i>	2008	6–8 VI	17.8	570
	2009	22–24 VI	14.2	584

Окончание табл. 2

Вид рода <i>Abies</i>	Год наблюдения	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °С	Сумма положит. температур, °С
<i>A. concolor</i>	2010	7–9 VI	11.6	388
<i>A. sibirica</i>	2008	10–12 VI	16.4	630
	2009	29–30 VI	16.3	704
	2010	1–2 VII	18.4	744
<i>A. balsamea</i>	2008	18–20 VI	17.0	738
	2009	29–30 VI	16.3	704
	2010	26–27 VI	18.3	653

Окончание роста

<i>A. holophylla</i>	2008	10 VII	16.0	1160
	2009	13 VII	16.8	935
	2010	19 VII	15.7	1063
<i>A. concolor</i>	2008	8 VII	16.2	1130
	2009	10 VII	18.1	885
	2010	15 VII	17.6	975
<i>A. sibirica</i>	2008	12 VII	15.4	1189
	2009	12 VII	16.0	918
	2010	13 VII	16.3	944
<i>A. balsamea</i>	2008	12 VII	15.4	1189
	2009	15 VII	17.6	963
	2010	20 VII	15.9	1059

Установлено, что время кульминации прироста побегов также довольно существенно меняется по годам. Быстрее всех эта фаза наступает у *A. holophylla* (в среднем 6 VI), а позже всех – у *A. balsamea* (23 VI). У остальных видов максимальный прирост приходится на 12–14 VI. Величина максимального прироста у изучаемых видов различается незначительно. Его наибольшая величина (в среднем 4.0 мм/сут.) обнаружена у *A. holophylla* и *A. concolor*. У других видов пихты этот показатель меньше на 10–20%. Следует подчеркнуть, что погодичная изменчивость величины максимального прироста побегов достигает 20–70%

Оказалось, что сроки прекращения роста побегов довольно заметно варьируют по годам лишь у трех изучаемых видов, различаясь при этом на 7–9 сут. У *A. sibirica* эти различия не превышают 2 сут. Первыми (8–15 VII) заканчивают рост побеги у *A. concolor* и *A. sibirica*. Через неделю (10–20 VII) прекращение этой фенофазы отмечается у *A. holophylla* и *A. balsamea* (табл. 2). Окончание роста побегов у видов рода *Abies* в условиях Карелии во второй половине июля отмечено ранее А. С. Лантратовой [1981]. Значительная погодная вариация в продолжительности роста побегов *A. sibirica* в Западной Сибири установлена

П.М. Ермоленко [1995].

Естественно, что погодичные изменения в сроках начала и окончания роста побегов вызывают и соответствующие изменения в продолжительности их формирования. В зависимости от вида растения она варьирует от 45 до 68 сут. (табл. 3). Наиболее стабилен этот показатель у *A. holophylla* и *A. concolor* – 52–59 сут. Продолжительность роста побегов у *A. sibirica* и *A. balsamea* в отдельные годы может различаться на 30–50 %.

Обнаруженная изменчивость в продолжительности и интенсивности роста побегов приводит к соответствующим различиям в величине их годового прироста. Из данных табл. 3 следует, что

наиболее длинные побеги (в среднем 94 мм) формируются у *A. concolor*. У *A. sibirica* этот показатель в среднем составляет всего 72 мм. Анализ результатов исследований свидетельствует о том, что величина годового прироста побегов обуславливается прежде всего различиями в интенсивности их роста. Так, длина побегов у *A. concolor*, больше, чем у *A. sibirica* в среднем на 20 мм. При этом скорость роста у первого вида на 20 % больше, чем у второго, а продолжительность их роста примерно одинакова. Длина побегов у *A. sibirica* и *A. balsamea* из года в год изменяется не более чем на 20%, а у других видов – не более чем на 5%.

Таблица 3

Основные характеристики линейного прироста побегов у различных видов рода *Abies*

Вид рода <i>Abies</i>	Год наблюдений	Максимальный суточный прирост, мм	Годичный прирост, мм	Продолжительность роста, сутки
<i>A. holophylla</i>	2008	3.5	92	59
	2009	3.6	90	59
	2010	5.0	88	59
<i>A. concolor</i>	2008	3.0	95	57
	2009	3.7	96	56
	2010	5.6	91	52
<i>A. sibirica</i>	2008	4.4	75	61
	2009	3.1	61	68
	2010	2.7	79	45
<i>A. balsamea</i>	2008	3.1	85	61
	2009	3.5	77	61
	2010	3.9	99	47

По данным 3-летних наблюдений, начало роста побегов у изучаемых видов начинается при очень близких значениях среднесуточной температуры воздуха (+8.3...+10.9°C). Небольшие погодичные различия в температуре воздуха в момент трогания побегов в рост указывают на значительную зависимость данной фенофазы от этого фактора (табл. 2). Об этом же свидетельствует и довольно слабая погодичная изменчивость теплообеспеченности среды в момент начала роста побегов. Так, сумма положительных температур в этот период составляет от 207 до 266°C. Аналогичные данные для 8 видов рода *Abies* получены ранее Н.В. Гроздовой и В.Д. Кабановой [1979].

Исследования позволили обнаружить, что кульминация прироста побегов у исследуемых видов *Abies* наступает при температуре воздуха не менее +12° С. При этом выявлена следующая закономерность. Дружная весна без резких температурных изменений приводит к быстрой кульминации прироста даже при довольно прохладной погоде. Наоборот затяжная весна с резкими температурными колебаниями отодвигает кульминацию прироста на более позднее время с повышенной температурой воздуха (до +18.4°C). Именно с этим и связаны значительные погодичные различия в

сумме положительных температур (388–738°C) в данный этап развития. В.В. Протопопов [1965] также нашел, что *A. sibirica* находит оптимальные условия для роста побегов при температуре не менее +12° С.

Выяснилось, что рост побегов у видов рода *Abies* прекращается при весьма благоприятном тепловом режиме среды. Температура воздуха в это время составляет от +14.3 до +18.1°C, а сумма положительных температур – от 918 до 1189° С. Эти данные свидетельствуют о том, что сроки прекращения деятельности апикальной меросистемы у представителей этого рода не связаны с температурным режимом, а скорее всего, обусловлены генотипом вида.

Линейный рост хвои. Проведенные исследования позволили установить, что сроки начала роста хвои изучаемых видов рода *Abies* могут варьировать по годам в пределах 10 сут. (табл. 4). При сравнении отдельных видов пихты выяснилось, что рост хвои начинается почти одновременно (различия составляют всего 2–4 сут.). При этом погодичная изменчивость не превышает 10 сут. (24 V–5 VI).

По данным 3-летних наблюдений, рост хвои у изучаемых видов растений начинается при средне-

суточной температуре воздуха +9.7...+14.7°C, (табл. 4). Относительно большой (2–5°C) разброс значений температуры в начальный период роста хвои свидетельствует об отсутствии строго определенной зависимости этой фенофазы от текущей температуры воздуха. Обнаружено, что сумма положительных температур для начала роста хвои, так же как температура воздуха, не является особенно стабильной. Ее погодичная вариация в этот момент достигает 30–50%. Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что теплообеспеченность среды к началу этой фенофазы у всех видов пихты примерно одинакова и составляет не менее 300°C. К аналогичному выводу ранее пришли Н.В. Гроздова и В.Д. Кабанова [1979].

Таблица 4

Температурный режим воздуха в период роста хвои у различных видов рода *Abies*

Вид рода <i>Abies</i>	Годы наблюдений	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °C	Сумма положит. температур, °C
Начало роста				
<i>A. holophylla</i>	2008	24 V	12.6	365
	2009	3 VI	14.7	405
	2010	29 V	10.9	284
<i>A. concolor</i>	2008	24 V	12.6	365
	2009	3 VI	14.7	405
	2010	29 V	10.9	284
<i>A. sibirica</i>	2008	26 V	12.8	390
	2009	5 VI	13.6	436
	2010	3 VI	9.7	342
<i>A. balsamea</i>	2008	28 V	13.0	422
	2009	5 VI	13.6	436
	2010	31 V	11.4	306
Кульминация прироста				
<i>A. holophylla</i>	2008	20–22 VI	17.0	783
	2009	4–6 VI	17.2	423
	2010	17–18 VI	13.3	515
<i>A. concolor</i>	2008	20–22 VI	17.0	783
	2009	4–6 VI	17.2	423
	2010	17–18 VI	13.3	515
<i>A. sibirica</i>	2008	27–29 VI	17.6	892
	2009	22–24 VI	14.2	584
	2010	24–25 VI	15.5	620
<i>A. balsamea</i>	2008	27–29 VI	17.6	892
	2009	22–24 VI	14.2	584
	2010	19–20 VI	13.8	542
Окончание роста				
<i>A. holophylla</i>	2008	7 VII	16.5	1103
	2009	8 VII	21.0	1400
	2010	10 VII	16.8	898
<i>A. concolor</i>	2008	7 VII	16.5	1103
	2009	8 VII	21.0	1400
	2010	10 VII	16.8	898

Окончание табл. 4

Вид рода <i>Abies</i>	Годы наблюдений	Дата	Среднесуточная температура воздуха, °C	Сумма положит. температур, °C
<i>A. sibirica</i>	2008	3 VII	17.0	1022
	2009	4 VII	15.7	1338
	2010	6 VII	19.1	868
<i>A. balsamea</i>	2008	5 VII	16.9	1070
	2009	6 VII	16.1	1368
	2010	8 VII	17.0	868

Обнаружено, что в период кульминации прироста хвои температура воздуха может варьировать в пределах +13.3...+17.6°C, а сумма положительных температур изменяется в 1.5 раза. Несмотря на подобную изменчивость температурного режима, последний в этот период остается постоянно благоприятным для роста хвои всех изучаемых видов пихты (табл. 5).

Во время прекращения роста хвои среднесуточная температура воздуха и сумма положительных температур варьируют в довольно широких пределах и составляют соответственно +15.7...+21.0°C и 834–1400°C. Эти данные свидетельствуют о том, что прекращение роста хвои у представителей рода *Abies* не связано с температурным режимом, а скорее всего, обусловлено генотипом вида. Результаты исследований Л.А. Фроловой [1979] также показали, что для большинства видов хвойных тепла вполне достаточно для завершения годичного цикла развития вегетативных почек.

В районе исследования аборигенные виды рода *Abies* не произрастают. Поэтому сравнивали динамику роста побегов интродуцентов с соответствующими показателями таких аборигенных видов, как *Picea abies*¹ и *Pinus sylvestris*. Оказалось, что в наибольшей мере ритмика роста побегов изучаемых видов рода *Abies* близка к таковой у *Picea abies*. При этом прослеживается прямая положительная корреляция. Наиболее тесная связь ($r = +0.52 \dots +0.64$) обнаружена между динамикой прироста *P. abies*, с одной стороны, и аналогичным показателем *A. holophylla* и *A. concolor*, с другой. Корреляция между приростами побегов двух последних видов усиливается до +0.8. Динамика прироста побегов *P. abies* и других интродуцентов связаны довольно слабо ($r = -0.2 \dots -0.4$).

Корреляционный анализ результатов исследования позволил установить, что направление и степень влияния факторов среды на рост побегов в

¹ По мнению Л.В. Орловой [Конспект флоры Восточной Европы. СПб.; М., 2012. С. 65], на территории Карелии произрастает *Picea fennica* (Regel) Kom. (прим. отв. ред.).

значительной мере связаны с биологическими особенностями вида. Так, отрицательная зависимость ($r = -0.2 \dots -0.4$) между динамикой прироста побегов у *A. holophylla* и *A. sibirica* и среднесуточной температурой воздуха, по всей вероятности, свидетельствует о том, что температурный оптимум для данных видов находится несколько ниже летних значений температуры района интродукции. Противоположный вывод можно сделать относительно *A. nephrolepis* и *A. balsamea* на основании того, что величина коэффициента корреляции между дина-

микой прироста их побегов и максимальной температурой воздуха всегда положительна и достигает $+0.3 \dots +0.8$. Наиболее существенное влияние температуры воздуха на рост побегов прослеживается лишь до наступления кульминации их прироста. Об этом свидетельствуют и результаты корреляционного анализа ($r = +0.5 \dots +0.9$). Ранее к подобному выводу в отношении интродуцированных видов рода *Abies* пришли А.С. Лантратова [1973] и Н.В. Шкутко [1991].

Таблица 5

Основные характеристики линейного прироста хвои у различных видов рода *Abies*

Вид рода <i>Abies</i>	Год наблюдений	Максимальный суточный прирост, мм	Годичный прирост, мм	Продолжительность роста, сутки
<i>A. holophylla</i>	2008	2.5	26	44
	2009	1.7	23	35
	2010	2.2	26	42
<i>A. concolor</i>	2008	2.7	29	44
	2009	2.0	26	35
	2010	2.6	28	35
<i>A. sibirica</i>	2008	1.5	21	38
	2009	0.9	15	29
	2010	1.3	19	33
<i>A. balsamea</i>	2008	1.8	26	38
	2009	2.2	20	31
	2010	1.7	24	38

При изучении корреляционных связей между динамикой прироста побегов и относительной влажностью воздуха выяснилось, что для всех изучаемых видов они отрицательны по направлению и незначительны по силе ($r = -0.1 \dots -0.5$). Следовательно, режим увлажнения среды для роста побегов рода *Abies* в районе интродукции несколько превышает значения оптимума. Возможно, механизм этого явления связан с уменьшением поступления в побеги органических веществ из-за падения скорости фотосинтеза, вызванного снижением интенсивности солнечной радиации. Последнее в условиях Карелии сопровождается повышением влажности воздуха на фоне усиления облачности и выпадения атмосферных осадков. С этим хорошо согласуются данные корреляционного анализа, показывающие, что для роста побегов интродуцированных видов рода *Abies* количество атмосферных осадков явно превышает норму ($r = -0.2 \dots -0.3$). Можно отметить, что рост побегов испытывает гораздо большее влияние не текущих осадков, а тех, которые выпадают в течение нескольких суток, предшествующих реализации ростовых процессов.

Проведение корреляционного анализа обнаружило максимальную сопряженность динамики роста хвои у *A. holophylla* и *A. concolor* ($r = +0.78 \dots +0.84$). Корреляция роста хвои каждого из этих двух видов с *A. sibirica* и *A. balsamea* гораздо слабее ($r = +0.37 \dots +0.44$). Наименьшая сопряжен-

ность динамики роста хвои отмечена между *A. sibirica* и *A. balsamea* ($r = +0.29 \dots +0.32$). Наиболее тесная связь ($r = +0.48 \dots +0.57$) обнаружена между динамикой прироста хвои *Picea abies*, с одной стороны, и аналогичным показателем *A. holophylla* и *A. concolor*.

Анализ результатов исследований свидетельствует о различиях в ростовых реакциях на динамику температуры воздуха в зависимости от вида растения. Обнаружено, что данный фактор оказывает очень слабое отрицательное влияние на рост хвои *A. holophylla* и *A. concolor* ($r = -0.12 \dots -0.32$). Совершенно противоположным образом и гораздо более сильно влияет максимальная температура воздуха на этот процесс у *A. sibirica* и *A. balsamea* ($r = +0.31 \dots +0.73$). Эти данные являются косвенным свидетельством того, что температурный режим района интродукции для первых двух видов несколько превышает норму, а для двух других он находится ниже ее. Влияние температуры воздуха на рост хвои видов рода *Abies* в условиях интродукции обнаружено и другими исследователями [Шкутко, 1974].

При изучении корреляционных связей между динамикой прироста хвои и относительной влажностью воздуха оказалось, что для всех изучаемых видов рода *Abies* они либо недостоверны, либо очень слабы по силе и отрицательны по направлению ($r = -0.12 \dots -0.31$). Зависимость роста хвои от

атмосферных осадков так же, как и от влажности воздуха, носит отрицательный характер, но при этом она значительно сильнее, особенно для *A. sibirica* и *A. balsamea* ($r = -0.33 \dots -0.55$).

В условиях высоких широт наиболее важным показателем успешности интродукции является зимостойкость, которая у всех изученных видов достигает максимальных 25 баллов (табл. 6). К аналогичному выводу для этих же видов в других

регионах страны пришли многие исследователи [Паутова, 2011; Мерзленко, Захарова, 2013; Попова и др., 2016; Гуков и др., 2017; Фирсов, Хмарик, 2017]. Интегральная оценка перспективности интродуцентов подтвердила выводы исследования роста и развития изученных видов *Abies* (табл. 6). Наиболее перспективными для условий Карелии являются *A. sibirica* и *A. balsamea*.

Таблица 6

Оценка перспективности интродукции видов *Abies*, баллы

Вид рода <i>Abies</i>	Степень ежегодного вызревания побегов	Зимостойкость	Сохранение габитуса	Побегообразовательная способность	Регулярность прироста осевых побегов	Способность к генеративному развитию	Возможность размножения в культуре	Общая оценка перспективности
<i>A. holophylla</i>	17	25	10	5	4	5	0	66
<i>A. sibirica</i>	20	25	10	5	5	10	1	76
<i>A. balsamea</i>	20	25	10	5	5	10	1	76
<i>A. concolor</i>	20	25	10	5	5	3	0	68

Выводы

Анализ полученных данных позволяет сделать следующие выводы:

1. Рост побегов видов рода *Abies* в годы с дружной весной начинается одновременно. В годы с затяжной весной различия между видами в сроках начала этой фенофазы могут достигать 1 недели. Различия в сроках прекращения роста побегов при этом также не превышают 1 недели. Ранее всего кульминация прироста происходит у *A. holophylla*, а позже всего – у *A. balsamea*. Наибольшая величина максимального прироста характерна для *A. holophylla*, у других видов она на 10–20% меньше. Сроки начала, кульминации и окончания роста побегов под влиянием экологических факторов варьируют по годам в пределах 1–2 недель.

2. Наиболее длинные побеги формируются у *A. holophylla* и *A. concolor*. Различия в величине данного показателя обуславливаются, прежде всего, различиями в интенсивности, а не в продолжительности их роста побегов. Динамика прироста побегов у видов рода *Abies* весьма заметно различается. Начало и кульминация прироста у них в наибольшей мере зависит от температурного режима воздуха. Влажность воздуха и количество атмосферных осадков постоянно превышают оптимальную величину для этого процесса.

3. Начало роста хвои изучаемых видов рода *Abies* отмечается в конце мая-начале июня. Различия при этом не превышают 2–4 сут. Раньше других кульминация прироста хвои отмечается у *A. holophylla* и *A. concolor*. Его величина у данных видов в 1.5–2 раза больше, чем у других. Сроки начала, кульминации и окончания роста хвои под

влиянием экологических факторов из года в год могут варьировать в пределах 2–18 сут.

4. Самая короткая хвоя формируется у *A. sibirica*, у других видов она на 25–30% длиннее. Наибольшее сходство в динамике роста хвои отмечается у *A. holophylla* и *A. concolor*. Начало роста хвои зависит от температурного режима воздуха, а динамика роста, кроме того, – от влажности воздуха и атмосферных осадков. Характер и степень влияния экологических факторов на рост хвои весьма незначительно меняется по годам, но заметно различается у изучаемых видов рода *Abies*.

5. Наиболее перспективными для озеленения населенных пунктов (с низкой степенью загрязнения поллютантами) следует признать *A. sibirica* и *A. balsamea*.

Список литературы

- Базилевская Н.А. Теория и методы интродукции растений. М.: Наука, 1964. 130 с.
- Ботенков В.Н., Попова В.Е. Интродукция высокопродуктивных пород в Сибири // Лесное хозяйство. 1997. № 5. С. 44.
- Буданцев Л.Ю. Биологическое разнообразие растительного мира, разные аспекты – одна задача // Биологическое разнообразие. Интродукция растений: материалы 2-й Междунар. науч. конф. СПб., 1999. С. 12–14.
- Булыгин Н.Е. Фенологические наблюдения над древесными растениями. Л.: Наука, 1979. 97 с.
- Ворошилов В.Н. Ритм развития у растений. М.: Наука, 1960. 312 с.
- Встовская Т.Н. Интродукция древесных растений Дальнего Востока и Западной Сибири. Новосибирск, 1983. 196 с.
- Гончарова О.А., Салтыкова С.А., Полоскова Е.Ю. Сезонное развитие интродуцированных видов

- Abies* Mill. в Полярно-Альпийском саду-институте. Деп. в ВИНТИ РАН № 175-V2013 20.06.2013. 8 с.
- Гроздова Н.Е., Кабанова В.Д. Влияние температурного фактора на сезонную ритмику интродуцированных хвойных в Подмоскowie // Термический фактор в развитии растений различных географических зон: материалы Всесоюз. конф. М., 1979. С. 36–37.
- Гуков Г.В., Гриднев А.Н., Гриднева Н.В. Пихта цельнолистная в Приморском крае (современное состояние, проблемы искусственного лесоразведения) // Успехи современного естествознания. 2017. № 10. С. 29–34.
- Гурский А.В. Основные итоги интродукции древесных растений в СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1957. 303 с.
- Зайцев Г.Н. Фенология древесных растений. М., 1981. 119 с.
- Елагин И.Н. Связь между фенологическим состоянием и степенью сформированности годичного слоя у древесных пород Сибири // Возобновление и формирование лесов Сибири. Красноярск, 1969. С. 136–142.
- Елагин И.Н. Методика проведения и обработки фенологических наблюдений за деревьями и кустарниками в лесу // Фенологические методы изучения лесных биогеоценозов. Красноярск, 1975. С. 3–20.
- Елагин И.Н. Роль термического фактора в весенне-летнем развитии растений // Термический фактор в развитии растений различных географических зон: материалы Всесоюз. конф. М., 1979. С. 6–7.
- Елагин И.Н. Характерные особенности развития древесных пород Нечерноземья // Сезонная ритмика феноиндикаторов природы Нечерноземья. М., 1980. 309 с.
- Елагина В.А. Сезонный рост сибирских хвойных пород: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Омск, 1969. 27 с.
- Ермоленко П.М. Сезонный рост пихты сибирской в Западной Сибири // Ботанические исследования в Сибири. 1995. № 3. С. 3–9.
- Исаев А.С., Носова Л.М., Пузаченко Ю.Г. Биологическое разнообразие лесов России – предложения к программе действий // Лесоведение. 1997. № 2. С. 3–13.
- Калуцкий К.К., Болотов Н.А. Биоэкологические особенности лесной интродукции // Лесная интродукция. Воронеж, 1983. С. 4–14.
- Комарова Т.А. Рост и развитие *Abies nephrolepis* (Pinaceae) в Южном Сихоте-Алине // Растительные ресурсы. 2011. Т. 47, № 4. С. 19–33.
- Лантратова А.С. Адаптивная изменчивость листьев в зависимости от характера роста годичных побегов // Ритмы роста и развития интродуцентов. М., 1973. С. 73–75.
- Лапин П.И. Сезонный ритм развития древесных растений и его значение для интродукции // Бюллетень Главного ботанического сада. АН СССР. 1987. Вып. 65. С. 12–18.
- Лапин П.И., Сиднева С.В. Оценка перспективности интродукции древесных растений по данным визуальных наблюдений // Опыт интродукции древесных растений. М., 1973. С. 7–68.
- Мамаев С.А., Махиев А.К. Проблемы биологического разнообразия и его поддержания в лесных экосистемах // Лесоведение. 1996. № 5. С. 3–10.
- Мерзленко М.Д., Захарова А.А. Результаты интродукции пихты сибирской (*Abies sibirica* L.) в лесные культуры Смоленско-Московской возвышенности // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. 31, № 5–6. С. 45–48.
- Молчанов А.А., Смирнов В.В. Методика изучения прироста древесных растений. М.: Наука, 1967. 95 с.
- Морякина В.А. Интродукционные фонды растений и их сохранение // Проблемы интродукции растений и отдаленной гибридизации: тез. докл. Междунар. конф. М., 1998. С. 139–140.
- Мухина Л.Н., Александрова М.С., Каутанова О.А. Комплексная оценка состояния растений рода *Abies* Mill. в Главном ботаническом саду РАН // Бюллетень Главного ботанического сада. 2013. № 2. С. 43–51.
- Паутова Н.В. Интродукция представителей семейства Pinaceae Lindl. в условиях Европейского Северо-Востока // Вестник ИрГСХА. 2011. Т. 6, № 44. С. 102–110.
- Плотникова Л.С. Ареалы интродуцированных древесных растений флоры СССР. М., 1983. 256 с.
- Попова В.Т., Дорофеева В.Д., Попова А.А. Оценка перспективности некоторых видов хвойных растений для интродукции в условиях Центрального Черноземья // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2016. № 4. С. 89–97.
- Протопопов В.В. Биоклимат темнохвойных горных лесов южной Сибири. М.: Наука, 1965. 96 с.
- Сикура И.И. Значение интродукции растений в деле сохранения биологического разнообразия видов различных природных флор // Проблемы интродукции растений и отдаленной гибридизации: тез. докл. Междунар. науч. конф. М., 1998. С. 186–188.
- Трулевич Н.В. Эколого-фитоценологические основы интродукции растений природной флоры СССР: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1983. 44 с.

- Фирсов Г.А., Хмарик А.Г. Род Пихта (*Abies* Mill., *Pinaceae*) в ботаническом саду Петра Великого // Вестник Волгоградского государственного университета. Сер. 11: Естественные науки. 2017. Т. 7, № 1. С. 7–18.
- Фролова Л.А. Термический фактор и фазы сезонного развития представителей рода Ель различных географических зон // Термический фактор в развитии растений разных географических зонах: материалы Всесоюз. конф. М., 1979. С. 32–34.
- Шкутко Н.В. Зимний покой хвойных интродуцентов // Ритм роста и развития интродуцентов: тез. докл. Всесоюз. совещ. М., 1973. С. 184–187.
- Шкутко Н.В. Хвойные Белоруссии. М.: Наука, 1991. 263 с.
- Шкутко Н.В., Александрова М.С., Фролова Л.А. К методике фенологических наблюдений над хвойными растениями в ботанических садах // Бюллетень Главного ботанического сада АН СССР. 1974. Вып. 91. С. 8–14.
- Kozłowski T.T. Growth characteristics of forest trees // J. Forestry. 1963. Vol. 61, № 9. P. 655–662.
- Micola P. On variation in tree growth and there significance to growth studies // Comm. Inst. For. Fenn. 1950. № 38. P. 126–131.
- Odin H. Studies of the increment rhythm of Scots pine and Norway spruce plants // Studia Forestalia Suecica. Skogshögskolan Roval College of Forestry. Stockholm, 1972. № 2. 32 p.
- ### References
- Bazilevskaya N.A. *Teorija i metody introdukcii rastenij* [Theory and methods of plant introduction]. Moscow, Nauka Publ., 1964. 130 p. (In Russ.).
- Botenkov V.N., Popova V.E. [Introduction of highly productive rocks in Siberia]. *Lesnoe hozjajstvo*. N 5 (1997): p. 44. (In Russ.).
- Budantsev L.Yu. [Biological diversity of flora, different aspects – one task]. *Biologicheskoe raznoobrazie. Introdukcija rastenij. Mater. 2-j Meždunar. nauch. konf.* [Biological diversity. Plant introduction. Mater 2nd International scientific conf.]. St. Petersburg, 1999, pp. 12-14. (In Russ.).
- Bulygin N.Ye. *Fenologičeskie nabljudenija nad drevesnymi rastenijami* [Phenological observations of woody plants]. Leningrad, Nauka Publ., 1979. 97 p. (In Russ.).
- Voroshilov V.N. *Ritm razvitija u rastenij* [The rhythm of development in plants]. Leningrad, Nauka Publ., 1960. 312 p. (In Russ.).
- Vstovskaya T.N. *Introdukcija drevesnyh rastenij Dal'nego Vostoka i Zapadnoj Sibiri* [Introduction of woody plants of the Far East and Western Siberia]. Novosibirsk, 1983. 196 p. (In Russ.).
- Goncharova O.A., Saltykova S.A., Poloskova E.Yu. [Seasonal development of introduced *Abies* Mill. in the Polar Alpine Garden-Institute]. *Deponirovannaja rukopis' v VINITI RAN № 175-V2013* 20.06.2013 [Deposited manuscript № 175-B2013 20.06.2013]. (In Russ.).
- Grozдова N.E., Kabanova V.D. [The influence of the temperature factor on the seasonal rhythm of the introduced conifers in the Moscow Region]. *Termičeskij faktor v razvitii rastenij različnyh geografičeskich zon. Material. Vses. konf.* [Thermal Factor in the Development of Plants of Different Geographical Zones. Material. All conf.]. Moscow, 1979, pp. 36–37. (In Russ.).
- Gukov G.V., Gridnev A.N., Gridneva N.V. [Solid fir in Primorsky Krai (current state, problems of artificial spreading)]. *Uspechi sovremennogo estestvoznanija*. N 10 (2017): pp. 29–34. (In Russ.).
- Gursky A.V. *Osnovnye itogi introdukcii drevesnyh rastenij v SSSR* [Main results of the introduction of woody plants in the USSR]. Moscow-Leningrad, AN SSSR Publ., 1957. 140 p. (In Russ.).
- Zaitsev G.N. *Fenologija drevesnyh rastenij* [Phenology of woody plants]. Moscow, 1981. 119 p. (In Russ.).
- Elagin I.N. [The relationship between the phenological state and the degree of formation of the annual layer of Siberian tree species]. *Vozobnovlenie i formirovanie lesov Sibiri* [Renewal and formation of the forests of Siberia]. Krasnoyarsk, 1969, pp. 136-142. (In Russ.).
- Elagin I.N. [Methodology for conducting and processing phenological observations of trees and shrubs in the forest]. *Fenologičeskie metody izučenija lesnyh biogeocenzov* [Phenological methods for studying forest biogeocenoses]. Krasnoyarsk, 1975, pp. 3-20. (In Russ.).
- Elagin I.N. [The role of the thermal factor in the spring-summer development of plants]. *Termičeskij faktor v razvitii rastenij različnyh geografičeskich zon. Mater. Vses. konf.* [Thermal factor in the development of plants of different geographic zones. Mater All conf.]. Moscow, 1979, pp. 67. (In Russ.).
- Elagin I.N. [Characteristic features of the development of tree species of the Non-Black Earth Region]. *Sezonnaja ritmika fenoindikatoroj prirody Nečernozem'ja* [Seasonal rhythm of the phenological indicators of the nature of the Non-Black Earth Region]. Moscow, 1980, 309 p. (In Russ.).
- Elagina V.A. *Sezonnyj rost sibirskich chvojnyh porod. Avtoref. diss. kand. sel'choz. nauk* [Seasonal growth of Siberian conifers. Abstract Cand. Diss.]. Omsk, 1969. 27 p. (In Russ.).
- Ermolenko P.M. [Seasonal Growth of Siberian Fir in Western Siberia]. *Botaničeskie issledovanija v Sibiri*. N 3 (1995): pp. 3-9. (In Russ.).

- Isaev A.S., Nosova L.M., Puzachenko Yu.G. [Biological Diversity of Russia's Forests – Proposals for an Action Program]. *Lesovedenie*. N 2 (1997): pp. 3-13. (In Russ.).
- Kalutsky K.K., Bolotov N.A. [Bioecological features of forest introduction]. *Lesnaja introdukcija* [Forest introduction]. Voronezh, 1983, pp. 4-14. (In Russ.).
- Komarova T.A. [Growth and development of *Abies nephrolepis* (Pinaceae) in South Sikhote-Alin]. *Rastitel'nye resursy*. V. 47, N 4 (2011): pp. 19-33. (In Russ.).
- Lantratova A.S. [Adaptive variability of larch depending on the nature of the growth of annual shoots]. *Ritmy rosta i razvitija introducentov* [Rhythms of growth and development of introduced species]. Moscow, 1973, pp. 73-75. (In Russ.).
- Lapin P.I. [The seasonal rhythm of the development of woody plants and its importance for introduction]. *Bjulleten' Glavnogo botaničeskogo sada*. Iss. . 65 (1987): pp. 12-18. (In Russ.).
- Lapin P.I., Sidneva S.V. [Evaluation of the prospects for the introduction of woody plants from visual observation data]. *Opyt introdukcii drevesnykh rastenij* [Experience of introducing woody plants]. Moscow, 1973, pp. 7-68. (In Russ.).
- Mamaev S.A., Makhiev A.K. [Problems of Biological Diversity and its Maintenance in Forest Ecosystems]. *Lesovedenie*. N 5 (1996): pp. 3-10. (In Russ.).
- Merzlenko M.D., Zakharova A.A. [Results of the introduction of Siberian fir (*Abies sibirica* L.) into forest cultures of the Smolensk-Moscow Upland]. *Hvojnye boreal'noj zony*. V. 31, N 5-6 (2013): pp. 45-48. (In Russ.).
- Molchanov A.A., Smirnov V.V. *Metodika izučeniya prirosta drevesnykh rastenij* [Methods for studying the growth of woody plants]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 95 p. (In Russ.).
- Moryakina V.A. [Plant introduction funds and their conservation]. *Problemy introdukcii rastenij i otdalenoj gibridizacii* [Problems of plant introduction and distant hybridization. Tez. report International conf.]. Moscow, 1998, pp. 139-140. (In Russ.).
- Mukhina L.N., Alexandrova M.S., Kashtanova O.A. [Comprehensive assessment of the status of plants of the genus *Abies* Mill. in the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences]. *Bjulleten' Glavnogo botaničeskogo sada*. N 2 (2013): pp. 43-51. (In Russ.).
- Pautova N.V. [The introduction of representatives of the family Pinaceae Lindl. In the conditions of the European Northeast]. *Vestnik IrGSHA*. V. 6, N 44 (2011): pp. 102-110. (In Russ.).
- Plotnikova L.S. *Arealy introducirovannykh drevesnykh rastenij flory SSSR* [Areal of introduced woody plants of the USSR flora]. Moscow, 1983. 256 p. (In Russ.).
- Popova V.T., Dorofeeva V.D., Popova A.A. [Assessment of the prospects of some species of conifers for introduction in the conditions of the Central Black Soil Region]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo naučno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozjajstva*. N 4 (2016): pp. 89-97. (In Russ.).
- Protopopov V.V. *Bioklimat temnochojnykh gornych lesov južnoj Sibiri* [Bioclimate of dark coniferous mountain forests of southern Siberia]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 96 p. (In Russ.).
- Sikura I.I. [The value of plant introduction in the conservation of biological diversity of species of various natural floras]. *Problemy introdukcii rastenij i otdalenoj gibridizacii* [Problems of plant introduction and distant hybridization. Tez. report International scientific Conf.]. Moscow, 1998, pp. 186–188. (In Russ.).
- Trulevich N.V. *Èkologo-fitocenotičeskie osnovy introdukcii rastenij prirodnoj flory SSSR*. Avtoref. diss. d-ra biol. nauk [Ecological and Phytocenotic Bases for the Introduction of Plants in the Natural Flora of the USSR. Abstract Dis. d-ra biol. sciences]. Moscow, 1983. 44 p. (In Russ.).
- Firsov G.A., Khmarik A.G. [Rod Fir (*Abies* Mill., Pinaceae) in the Peter the Great Botanical Garden]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. 11: Estestvennye nauki*. V. 7, N 1 (2017): pp. 7-18. (In Russ.).
- Frolova L.A. [Thermal factor and phases of seasonal development of representatives of the genus *Yel* from different geographic zones]. *Termičeskij faktor v razvitii rastenij raznykh geograficheskikh zonah* [Thermal factor in the development of plants from different geographic zones. Mater All conf.]. Moscow, 1979, pp. 32-34. (In Russ.).
- Shkutko N.V. [Winter dormancy of coniferous introducents]. *Ritm rosta i razvitiya introducentov* [Rhythm of growth and development of introducents. Tez. report All meeting]. Moscow, 1973, pp. 184-187. (In Russ.).
- Shkutko N.V. *Chvojnye Belorussii* [Coniferous Belarus]. Moscow, Nauka Publ, 1991. 263 p. (In Russ.).
- Shkutko N.V., Alexandrova M.S., Frolova, L.A. [On a Method for Phenological Observations on Conifers in Botanical Gardens]. *Bjulleten' Glavnogo botaničeskogo sada*. Iss. 91 (1974): pp. 8-14. (In Russ.).
- Kozłowski T.T. Growth characteristics of forest trees. *J. Forestry*. V. 61, N 9 (1963): pp. 655-662.
- Micola P. On variation in tree growth and there significance to growth studies. *Comm. Inst. For. Fenn*. N 38 (1950): pp. 126-131.
- Odin H. Studies of the increment rhythm of Scots pine and Norway spruce plants. *Studia Forestalia*

Suonica. Skogshögskolan Royal College of Forestry. Stockholm, N 2 (1972): pp. 32 p.

Поступила в редакцию 06.11.2020

Об авторе

Кищенко Иван Тарасович, доктор биологических наук, профессор кафедры ботаники и физиологии растений, академик РАН ФГБОУВО «Петрозаводский государственный университет»
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1039-1020>
185910, Петрозаводск, пр. Ленина, 33;
ivanki@karelia.ru; +79535275529

About the author

Kishchenko Ivan Tarasovich, doctor of biology, professor, of the Department of Botany and Plant Physiology, academician RAE
Petrozavodsk State University.
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1039-1020>
185910, Petrozavodsk, pr. Lenin, 33;
ivanki@karelia.ru; +79535275529

Информация для цитирования:

Кищенко И.Т. Сезонный рост видов *Abies* Mill., интродуцированных в бореальной зоне (Карелия) // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 1. С. 1–11. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-1-11.

Kishchenko I.T. [Seasonal growth of *Abies* Mill. species introduced in the Boreal Zone (Karelia)]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2021): pp. 1-11. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-1-11.

УДК 58.04

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-12-17.

Е. З. Лапкина, Е. Е. Савельева, Н. А. Булгакова

Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого, Красноярск, Россия

АНТИРАДИКАЛЬНЫЕ СВОЙСТВА СЕЛЕНОБОГАЩЕННЫХ ПРОРОСТКОВ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Представлены результаты исследований антирадикальной активности методом поглощения дифенилпикрилгидразила (ДФПГ) экстрактами проростков ржи, пшеницы, овса, обогащенных селеном из водных растворов селенита натрия концентраций 0.001, 0.005, 0.01, 0.05% в течение 24 ч. Селен ингибирует скорость выхода на «плато» реакции поглощения ДФПГ, но повышает антирадикальную активность проростков зерновых культур. Спектрофотометрически определено суммарное содержание фенольных соединений в экстрактах зерновых культур. Показано влияние селена на ростовые процессы пшеницы, ржи, овса. Концентрации 0.001 и 0.005% оказывают стимулирующее действие на длину корней и coleoptila зерновых культур. При концентрации 0.05% селен откладывается в виде гранул в клетках зародыша зерновки. Овес является наиболее чувствительной культурой к воздействию селеном, а пшеница и рожь – перспективны в качестве культур, способных проявлять антирадикальные свойства и являться источником органических форм селена.

Ключевые слова: селенит натрия; селен; антирадикальная активность; ДФПГ; фенольные соединения; зерновые культуры.

E. Z. Lapkina, E. E. Saveleva, N. A. Bulgakova

Professor V.F. Voyno-Yasenyetsky Krasnoyarsk State Medical University, Krasnoyarsk, Russian Federation

Antiradical properties of selenium-enriched grain seedlings

The results of studies of antiradical activity by the method of DPPG absorption by extracts of rye, wheat, and oat seedlings enriched with selenium from aqueous solutions of sodium Selenite 0.001, 0.005, 0.01, 0.05% concentrations within 24 hours. Selenium inhibits the rate of reaching the "plateau" of the DPPG absorption reaction, but increases the anti-radical activity of grain seedlings. The total content of phenolic compounds in grain extracts was determined spectrophotometrically. The influence of selenium on the growth processes of wheat, rye, and oats is shown. Concentrations of 0.001 and 0.005% have a stimulating effect on the length of the roots and coleoptile of grain crops. At a concentration of 0.05%, selenium is deposited as granules in the cells of the germ of the grain. Oats are the most sensitive crop to selenium, and wheat and rye are promising as crops that can exhibit antiradical properties and source of organic forms of selenium.

Key words: sodium selenite; selenium; anti-radical activity; DPPH; phenolic compounds; cereals.

Введение

Селен является одним из важнейших микроэлементов, необходимых для нормального функционирования организма человека с уникальными биологическими функциями, одной из которых является антиоксидантная защита от действия свободных радикалов. Селен входит в активный центр ферментов системы антиоксидантно-антирадикальной защиты организма, метаболизма нуклеиновых кислот, липидов, гормонов (глутатионпероксидазы, йодотиронин-дейодиназы, тиоредоксинредуктазы и др.). Недостаток селена в организме вызывает развитие ряда заболеваний (некроз печени, болезни Кешана, Кашина-Бека), в основе которых лежит нарушение механизмов нейтрал-

зации свободнорадикальных процессов [Barciela J. et al., 2008; Mangiapane, Pessione, Pessione, 2014]. Неорганические соединения селена, такие как селенит натрия, могут вызывать аллергические реакции и обладать токсичностью, что ограничивает их применение [Amini, Mahabadi, 2018]. В растениях селен преобладает в форме селенметионина, что определяет перспективу использования селенобогатых растительных объектов в качестве доступного источника микроэлемента.

Зерновые культуры вносят большой вклад в суточный рацион человека. Проростки зерновых культур являются функциональным продуктом питания, содержащим высокую концентрацию витаминов, белков, ферментов и антиоксидантов. Состав семян меняется во время прорастания: так,

изменяется количество белковых фракций, доля азотсодержащих фракций смещается в сторону меньших белковых фракций, олигопептидов и свободных аминокислот. Вследствие этих изменений биологическая ценность белка проростков возрастает [Marton et al., 2010].

Последние исследования указывают на значительную роль селенобогатенных проростков в профилактике раковых заболеваний и повышении антиоксидантного статуса населения [Sangronis, Machado, 2007].

Так, установлено, что экстракт селеносодержащих проростков брокколи стимулирует в 3.7–5.0 раз активность клеточных ферментов [Li et al., 2008]. Изучена активность глутатионпероксидазы в печени при употреблении селенобогатенных проростков тыквы и редиса [Yoshida et al., 2007a, 2007b].

Объект и методы исследования

В наших исследованиях использованы зерновки пшеницы, овса и ржи, предназначенные для проращивания в домашних условиях и употребления в пищу человеком в качестве источника биологически активных веществ. Зерновки пшеницы, овса и ржи замачивали на 24 ч. в водных растворах селенита натрия в концентрации 0.001, 0.005, 0.01, 0.05%. Затем зерновки отмывали от раствора селенита натрия и проращивали в дистиллированной воде 7 дней. Контрольные зерновки пшеницы проращивали в дистиллированной воде. На 3-и сут. определяли энергию прорастания, на 7-е сут. – всхожесть, длину корней и проростков пшеницы. Проводили микроскопические срезы зерновок на 3-и сут. с использованием микроскопа Микромед-1 и цифровой камеры LevenhukM500 Base.

Для определения содержания полифенолов и антирадикальной активности из проростков зерновых культур готовили экстракты. Для этого 1 г проростков растирали в ступке пестиком, добавляли 10 мл 70%-ного этилового спирта и настаивали 30 мин. Полученный экстракт центрифугировали 20 мин., супернатант использовали в дальнейшем исследовании.

Одним из методов определения антиоксидантного действия является обнаружение антирадикальной активности (АРА) с участием стабильного свободного радикала N,N-дифенил-N'-пикрилгидразила (ДФПГ) (C₆H₅)₂N-N•-C₆H₂(NO₂)_{3-2,4,6} (рис. 1.).

Антирадикальную активность экстрактов проростков зерновых культур определяли спектрофотометрически по кинетике восстановления стабильного радикала ДФПГ (C=1.7×10⁻⁴ моль/л в 95%-ном этаноле) растительным экстрактом при длине волны 517 нм в течение 30 мин. с помощью программы кинетического анализа Kin5400 (спек-

трофотометр ПЭ-5400 УФ (Россия), длина кюветы 1.0 см).

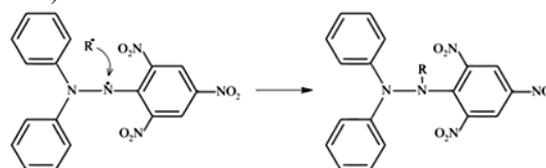


Рис. 1. Схема взаимодействия радикалов R• с ДФПГ [Панкратов, Цивилева, Цымбал, 2019]

В кювету добавляли в равном соотношении экстракт и раствор ДФПГ, в кювете сравнения находился раствор экстракта и 95% этанола, контролем являлся раствор ДФПГ [Тринеева, 2017]. Определение антирадикальной активности экстрактов производили по формуле

$$\% \text{ ингибирования ДФПГ} = (A_0 - A_x) \times 100\% / A_0,$$

где A₀ – оптическая плотность ДФПГ в отсутствие растительного экстракта (контроль); A_x – оптическая плотность исследуемого растительного экстракта с ДФПГ.

Содержание суммы фенольных соединений определяли спектрофотометрически (λ=750 нм) в экстрактах 3-х и 7-ми суточных проростков зерновых культур по взаимодействию с реактивом Фолина-Чокальтеу в щелочной среде в пересчете на галловую кислоту [Mondal, Hossain, Islam, 2017]. Экспериментально установленный удельный показатель галловой кислоты взаимодействия с реактивом Фолина-Чокальтеу в щелочной среде принимали равным 47. Эксперименты проводили в трехкратной повторности и обрабатывали статистически с использованием Microsoft Excel.

Результаты исследований

Установлено, что при замачивании зерновок в течение 24 ч. в растворе селенита натрия концентрации 0.05% проявляется ингибирующий эффект (до 53% в сравнении с контролем) на энергию прорастания пшеницы, ржи и овса.

При визуальной оценке зерновки окрашиваются в характерный кирпично-красный цвет элементарного селена, а при проведении микроскопии в клетках зародыша семени обнаруживаются гранулы элементарного селена, что указывает на аккумуляцию токсично высокой дозы селена зерновками пшеницы (рис. 2).

Подобный эффект наблюдается при обработке селеносодержащим препаратом зерновок кукурузы [Полубояринов, Голубкина, 2015].

Более низкие концентрации селенита натрия (0.001, 0.005%) оказывают нейтральное или слабостимулирующее действие на энергию прорастания зерновых культур.

Результаты линейных измерений 7-суточных проростков зерновых культур подтверждают инги-

бирующее действие селенита натрия в концентрации 0.05% на ростовые процессы (табл. 1).

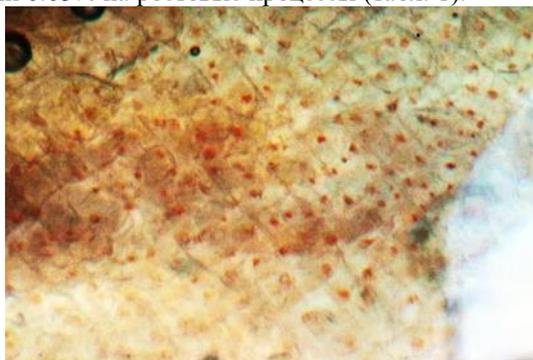


Рис. 2. Гранулы элементарного селена в клетках 3-суточных зерновок пшеницы, обогащенных в течение 24 ч. селеном из 0.05% раствора селенита натрия

На проростки пшеницы оказывает наиболее выраженное стимулирующее действие селенит натрия в концентрации 0.005%, увеличивая длину корней на 25.8% и длину проростков на 7.7% в сравнении с аналогичными показателями у контрольных проростков. Селенит натрия в концентрации 0.05% ингибирует ростовые процессы проростков пшеницы: на 3.5% в корнях и на 10.7% в надземной части.

На проростки ржи наибольший стимулирующий эффект селенита натрия проявляется в концентрациях 0.001 и 0.005% (до 12% в надземной

части, до 35% – в корнях). Ингибирующее действие селенита натрия концентрации 0.05% проявляется только на надземной части проростков на 15.6%.

Концентрация 0.001% селенита натрия стимулирует ростовые процессы проростков овса на 20% в надземной части и на 12.3% – в корнях.

Более высокие концентрации селенита натрия ингибируют рост проростков овса, что указывает на высокую чувствительность культуры к накоплению селена.

При определении антирадикальной активности обнаружено, что 3- и 7-суточные проростки зерновых культур обладают примерно равной антирадикальной активностью в узких пределах 70–80% при существенно различающемся уровне содержания полифенолов, что указывает на вклад других биологически активных веществ в антирадикальную активность проростков. Следует отметить, что используемые в эксперименте концентрации селенита оказывают положительное действие на суммарное содержание полифенолов и антирадикальную активность экстрактов 3-суточных проростков ржи.

Суммарное содержание фенольных соединений в проростках ржи при действии селенита натрия в концентрации 0.005% увеличивается на 15.7% в сравнении с контролем. При этом антирадикальная активность возрастает на 5.1% (табл. 2).

Таблица 1

Линейные измерения 7-суточных проростков пшеницы, ржи, овса, обогащенных селеном из растворов селенита натрия различной концентрации в течение 24 ч. (см±σ)

Варианты опыта	Пшеница		Овес		Рожь	
	Колеоптиль	Корни	Колеоптиль	Корни	Колеоптиль	Корни
Контроль	13.12±0.95	7.39±0.66	7.26±0.91	4.30±0.72	8.83±1.44	2.46±0.46
0.001% Na ₂ SeO ₃	13.54±0.84	8.24±0.84	8.73±0.59	4.83±1.03	9.31±0.90	3.33±0.80
0.005% Na ₂ SeO ₃	14.29±0.81	9.3±0.80	6.96±0.66	4.09±0.69	9.91±1.24	2.48±0.50
0.01% Na ₂ SeO ₃	14.16±0.67	8.32±0.79	6.71±0.68	4.38±0.78	7.17±1.27	2.48±0.62
0.05% Na ₂ SeO ₃	11.72±0.84	7.13±0.74	4.98±1.02	2.74±1.30	7.45±1.36	2.67±0.42

Таблица 2

Содержание суммы фенольных соединений в пересчете на галловую кислоту (%) и антирадикальную активность (%) в проростках зерновых культур 3-суточных, обогащенных селеном из растворов селенита натрия различной концентрации в течение 24 ч.

Варианты опыта	Рожь		Пшеница		Овес	
	Сумма фенольных соединений	АРА	Сумма фенольных соединений	АРА	Сумма фенольных соединений	АРА
Контроль	0.249±0.048	80.2	0.188±0.010	76.8	0.147±0.002	64.9
0.001% Na ₂ SeO ₃	0.233±0.017	81.5	0.190±0.017	79.8	0.139±0.005	68.5
0.005% Na ₂ SeO ₃	0.288±0.022	85.3	0.191±0.003	88.7	0.158±0.006	64.4
0.01% Na ₂ SeO ₃	0.281±0.010	84.9	0.162±0.005	73.9	0.156±0.009	79.3

В проростках пшеницы при обогащении селеном в концентрации 0.005% антирадикальная активность возрастает на 11.9%. Проростки овса характеризуются сравнительно низкими уровнями содержания фенольных соединений и антиради-

кальной активности, однако концентрация 0.01% селенита натрия стимулирует антирадикальную активность на 14.4%.

Кинетику поглощенияДФПГ экстрактами исследовали на 3-суточных селеносодержащих про-

ростках зерновых культур (рис. 3).

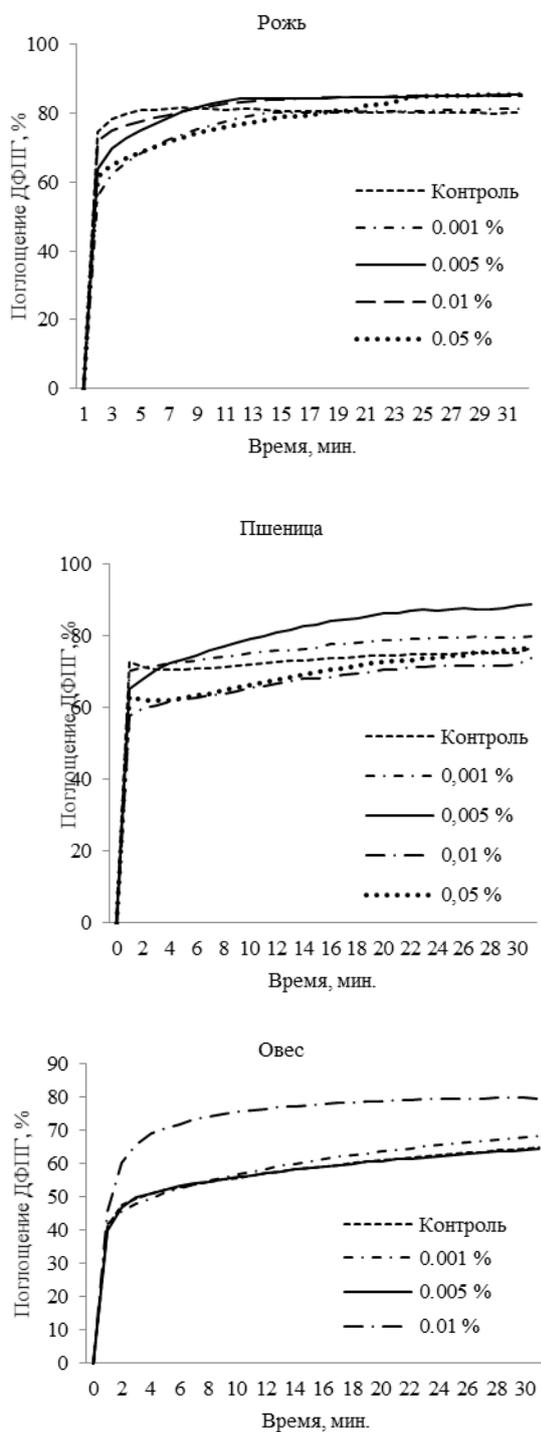


Рис. 3. Кинетика антирадикальной активности 3-суточных проростков зерновых культур, обогащенных селеном из растворов селенита натрия различной концентрации в течение 24 ч.

Установлено, что в реакции поглощения ДФПГ экстрактом проростков ржи выход на «плато» происходит в первую минуту (АРА 80.2%), а с экстрактом проростков овса выход на «плато» происходит в течение 30 мин. наблюдаемой реакции, до-

стигая лишь 64.9%. В реакции с экстрактом проростков пшеницы АРА составляет 76.8%.

Экстракты пшеницы медленнее поглощают ДФПГ в селеносодержащих вариантах опыта, но достигают больших показателей в сравнении с контролем. В кинетике реакции с экстрактами пшеницы имеется «пик» в первую минуту реакции, что, по всей видимости, указывает на формирование временных комплексов поглощения ДФПГ.

Концентрация 0.01% селенита натрия стимулирует выход на «плато» реакции поглощения ДФПГ экстрактом проростков овса и увеличивает антирадикальную активность проростков.

При сравнении кинетики антирадикальной активности селеносодержащих проростков ржи установлено, что селенит натрия замедляет выход на «плато» реакции в сравнении с контролем, но показатель антирадикальной активности становится выше.

Заключение

Таким образом, проростки зерновых культур обладают различной антирадикальной активностью и селен аккумулирующей способностью. Проростки овса наиболее чувствительны к воздействию селена, проявляют сравнительно слабые антирадикальные свойства и содержат меньшее количество фенольных соединений. Обогащение низкими концентрациями селенита натрия проростков пшеницы и ржи позволяет повысить их антирадикальную активность и содержание суммы фенольных соединений, что указывает на их перспективность в разработке функционально активных продуктов с содержанием селена.

Список литературы

- Панкратов А.Н., Цивилева О.М., Цымбал О.А. Выяснение возможности взаимодействия органических селенидов и соли дигидроселенохромилия с дифенилпикрилгидразилом // Известия Саратовского университета. Нов. сер. Сер. Химия. Биология. Экология. 2019. Т. 19, вып. 1. С. 39–49.
- Полубояринов П.А., Голубкина Н.А. Изучение биохимической функции селена и его влияние на содержание белковых фракций и активность пероксидазы в проростках кукурузы // Физиология растений. 2015. Т. 62, № 3. С. 396–403.
- Тринеева О.В. Методы определения антиоксидантной активности объектов растительного и синтетического происхождения в фармации (обзор) // Разработка и регистрация лекарственных средств. 2017. № 4. С. 180–197.
- Amini S., Mahabadi V. Selenium nanoparticles role in organ systems functionality and disorder // Nano-med Res. J. 2018. Vol. 3. P. 117–124.

- Barciela J. et al. A brief study of the role of Selenium as antioxidant // *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*. 2008. Vol. 7. P. 3151–3155.
- Li D. et al. Synergy between broccoli sprout extract and selenium in the upregulation of thioredoxin reductase in human hepatocytes // *Food Chemistry*. 2008. Vol. 110. P. 193–198.
- Mangiapane E., Pessione A., Pessione E. Selenium and selenoproteins: an overview on different biological systems // *Current Protein and Peptide Science*. 2014. Vol. 15, № 6. P. 598–607.
- Marton M. et al. The role of sprouts in human nutrition. A review // *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*. 2010. Vol. 3. P. 81–117.
- Mondal S., Hossain I., Islam Md.N. Determination of antioxidant potential of Cucurbita pepo Linn. (An edible herbs of Bangladesh) // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2017. Vol. 6. P. 1016–1019.
- Sangronis E., Machado C.J. Influence of germination on the nutritional quality of Phaseolus vulgaris and Cajanus cajan // *LWT*. 2007. Vol. 40. P. 116–120.
- Yoshida M. et al. Evaluation of nutritional availability and antitumor activity of selenium contained in selenium-enriched kaiware radish sprouts // *Biosci. Biotechnol. Biochem.* 2007a. Vol. 71. P. 2198–2205.
- Yoshida M. et al. Assessment of nutritional availability of selenium-enriched pumpkin // *Biomed Res Trace Elements*. 2007b. Vol. 18. P. 391–394.
- thioredoxin reductase in human hepatocytes. *Food Chemistry*. V. 110 (2008): pp. 193-198.
- Mangiapane E., Pessione A., Pessione E. Selenium and selenoproteins: an overview on different biological systems. *Current Protein and Peptide Science*. V. 15, N 6 (2014): pp. 598-607.
- Marton M., Mandoki Zs., Csapo-Kiss Zs., Csapo J. The role of sprouts in human nutrition. A review. *Acta Univ. Sapientiae, Alimentaria*. V. 3 (2010): pp. 81-117.
- Mondal S., Hossain I., Islam Md.N. Determination of antioxidant potential of Cucurbita pepo Linn. (An edible herbs of Bangladesh). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. V. 6 (2017): pp. 1016-1019.
- Pankratov A.N., Tsivileva O.M., Tsymbal O.A. [Elucidation of the possibility of interaction of organic selenides and dihydroseleochromyl salt with diphenylpicrylhydrazyl]. *Izvestija Saratovskogo universiteta. Chimija. Biologija. Èkologija*. V. 19 (2019): pp. 39-49. (In Russ.).
- Poluboyarinov P.A., Golubkina N.A. Study of the biochemical function of selenium and its effect on the content of protein fractions and peroxidase activity in corn seedlings. *Fiziologija rastenij*. V. 62, N 3 (2015): pp. 396-403. (In Russ.).
- Sangronis E., Machado C.J. Influence of germination on the nutritional quality of Phaseolus vulgaris and Cajanus cajan. *LWT*. V. 40 (2007): pp. 116-120.
- Trineeva O.V. Methods for determining the antioxidant activity of objects of plant and synthetic origin in pharmacy (review). *Razrabotka I registracija lekarstvennyh sredstv*. V. 4 (2017): pp. 180-197. (In Russ.).
- Yoshida M., Okada T., Namikawa Y., Matsuzaki Y., Nishiyama T., Fukunaga K. Evaluation of nutritional availability and antitumor activity of selenium contained in selenium-enriched kaiware radish sprouts. *Biosci. Biotechnol. Biochem.* V. 71 (2007): pp. 2198-2205.
- Yoshida M., Sano K., Ishiyuki E., Nishiyama T., Fukunaga K. Assessment of nutritional availability of selenium-enriched pumpkin. *Biomed. Res. Trace Elements*. V. 18 (2007): pp. 391-394.

References

Поступила в редакцию 17.12.2020

Об авторах

Лапкина Екатерина Зиядхановна, кандидат биологических наук, доцент кафедры фармацевтической технологии и фармакогнозии с курсом ПО
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России
ORCID: 0000-0002-7226-9565
660022, Красноярский край, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, зд. 1;
e.z.lapkina@mail.ru; +79333268990

Савельева Елена Евгеньевна, кандидат фармацевтических наук, доцент, зав кафедрой фармацевтической технологии и фармакогнозии с курсом ПО
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России
ORCID: 0000-0002-6963-5851
660022, Красноярский край, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, зд. 1;
saveleva_ee@mail.ru; +7(391)2209806

Булгакова Надежда Анатольевна, кандидат химических наук, доцент кафедры фармацевтической технологии и фармакогнозии с курсом ПО
ФГБОУ ВО «Красноярский государственный медицинский университет им. проф. В.Ф. Войно-Ясенецкого» Минздрава России
ORCID: 0000-0002-3512-6573
660022, Красноярский край, г. Красноярск, ул. Партизана Железняка, зд. 1; bulgakovana@bk.ru;
+7(391)2209806

Информация для цитирования:

Лапкина Е.З., Савельева Е.Е., Булгакова Н.А. Антирадикальные свойства селенобогатенных проростков зерновых культур // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 1. С. 12–17. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-12-17.

Lapkina E.Z., Saveleva E.E., Bulgakova N.A. [Antiradical properties of selenium-enriched grain seedlings]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2021): pp. 12-17. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-12-17.

About the authors

Lapkina Ekaterina Ziyadhanovna, candidate of biology, associate Professor of the Department of pharmaceutical technology and pharmacognosy with a course IN
Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University.
ORCID: 0000-0002-7226-9565
660022, Russia, Krasnoyarsk, Partizan Zheleznyak str., 1; e.z.lapkina@mail.ru; +79333268990

Savelyeva Elena Evgen'evna, candidate in pharmaceutical Sciences, associate Professor, head of the Department of pharmaceutical technology and pharmacognosy with a course IN
Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University.
ORCID: 0000-0002-6963-5851
660022, Russia, Krasnoyarsk, Partizan Zheleznyak str., 1; saveleva_ee@mail.ru; +7(391)2209806

Bulgakova Nadezhda Anatol'evna, candidate of chemical Sciences, associate Professor of the Department of pharmaceutical technology and pharmacognosy with a course IN
Professor V.F. Voino-Yasenetsky Krasnoyarsk State Medical University.
ORCID: 0000-0002-3512-6573
660022, Russia, Krasnoyarsk, Partizan Zheleznyak str., 1; bulgakovana@bk.ru; +7(391)2209806

УДК 581+582

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-18-25.

Д. А. Халиуллин, М. М. Ишмуратова, А. Р. Ишбирдин

Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

ИЗМЕНЧИВОСТЬ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ЛИСТА *VALERIANA OFFICINALIS* L. И *V. ALTERNIFOLIA* LEDEB.

Приведены результаты сравнительного морфологического анализа изменчивости 9 количественных и качественных признаков листа близкородственных видов *Valeriana officinalis* L. и *V. alternifolia* (Bunge) Ledeb. Материалом для анализа послужили выборки из 7 ценопопуляций *V. officinalis* (Южный Урал) и 5 ценопопуляций *V. alternifolia* (Центральная Якутия). У обоих видов уровни изменчивости морфологических признаков листа преимущественно повышенные, наименее изменчивым признаком является число пар долей листа. В выборке *V. alternifolia* не выражено преобладающей частоты встречаемости листьев с определенным числом долей листа, большинство значений приходится на широкий диапазон – от 11 до 17 шт. (5–8 пар) долей листа; в выборке *V. officinalis* наблюдается выраженный пик на числе долей листа, равном 16 шт. (8 пар), большая часть листьев попадают в диапазон от 14 до 18 шт. (7–9 пар) долей листа. *Valeriana alternifolia* характеризуется относительно мелкими листьями с 5–8 парами узких долей, преимущественно цельнокрайних. У *Valeriana officinalis* довольно крупные и вытянутые листья с 7–9 парами относительно широких долей, имеющих несколько зубчиков по краю. Для дифференциации этих видов достоверно могут быть использованы следующие количественные признаки листа: длина, ширина и индекс; число долей листа; длина, ширина и индекс доли листа.

Ключевые слова: *Valeriana*; изменчивость; морфологические признаки; лист.

D. A. Khaliullin, M. M. Ishmuratova, A. R. Ishbirdin

Bashkir State University, Ufa, Russian Federation

Variability in leaf morphological characters of *Valeriana officinalis* L. and *V. alternifolia* Ledeb.

Presents the results of a comparative morphological analysis of the variability of 9 quantitative and qualitative characteristics of the leaf (length, width and index of the leaf, the number (or number of pairs) of leaf lobes, length, width and index of the lateral leaf lobe, the number of denticles along the edge of the leaf lobe, leaves in a sample with entire and toothed edges of the leaf blade) of closely related species *Valeriana officinalis* L. and *V. alternifolia* (Bunge) Ledeb. Samples of 7 cenopopulations of *V. officinalis* (South Urals) and 5 cenopopulations of *V. alternifolia* (Central Yakutia) served as the material for the analysis. In both species, the levels of variability of morphological traits of the leaf are not lower than the average, predominantly increased, the least variable trait is the number of pairs of leaf lobes. In the sample of *V. alternifolia*, the prevailing frequency of occurrence of leaves with a certain number of leaf lobes is not expressed; most values fall within a wide range from 11 to 17 pcs. (5-8 pairs) leaf lobes; in the sample of *V. officinalis*, there is a pronounced peak in the number of leaf lobes equal to 16 pcs. (8 pairs), most of the leaves fall in the range from 14 to 18 pcs. (7-9 pairs) leaf lobes. *Valeriana alternifolia* is characterized by relatively small leaves with 5-8 pairs of narrow lobes, mostly whole-edged. *Valeriana officinalis* is characterized by relatively large and elongated leaves with 7-9 pairs of relatively wide lobes with several denticles along the edge. To differentiate closely related species, the following quantitative morphological characteristics of a leaf can be reliably used: length, width and index, number of leaf lobes, length, width and leaf lobe index.

Key words: *Valeriana*; variability; morphological characters; leaf.

Введение

Род *Valeriana* L. – крупный род семейства *Caprifoliaceae* [Chase et al., 2016], он насчитывает более 200 видов, характеризующихся разнообразием жизненных форм, адаптированных к различным условиям обитания [Горбунов, 2002; Bell,

Donoghue, 2005; Bell, Kutscher, Arroyo, 2012]. Все виды рода *Valeriana*, обитающие на территории России и сопредельных государств, относятся к жизненной форме замещающегося двулетника [Ворошилов, 1959]. Представители цикла *V. officinalis* L. s.l. образуют сложный полиплоидный комплекс и характеризуются высокой изменчиво-

стью морфологических признаков, что затрудняет их видовую идентификацию.

Valeriana officinalis L. является источником препаратов седативного действия [Государственная..., 2018]. В качестве дополнительного источника сырья также широко используются многие виды рода *Valeriana* ряда *Officinales*. Однако показано [Горбунов, 2002], что виды цикла *V. officinalis* L. s. l. обладают неодинаковой лекарственной ценностью и достаточно полиморфны. Поэтому при сборе лекарственного сырья важно ориентироваться на четкие видоспецифичные признаки.

В медицинской практике *Valeriana alternifolia* Ledeb. (валериана очереднолистная) в том числе применяется аналогично *V. officinalis* [Государственная..., 2018; Семенова, Егорова, 2013 и др.].

Относительно таксономического статуса *Valeriana alternifolia* (Центральная Якутия) существуют разные мнения. Некоторые авторы рассматривают *V. alternifolia* в качестве самостоятельного вида [Ворошилов, 1959; Черепанов, 1995; Горбунов, 2002; Конспект..., 2012]. В других источниках [Грубов, 1958; Определитель..., 1974; WFO, 2020] *V. alternifolia* рассматривается как синоним *V. officinalis* var. *alternifolia* (Bunge) Ledeb.

Цель исследования – сравнительный анализ изменчивости морфологических признаков листа близкородственных видов *Valeriana officinalis* и *V. alternifolia*.

Материалы и методы

Объектами исследования являлись *Valeriana officinalis* и *V. alternifolia*.

Valeriana officinalis характеризуется средневропейским типом ареала. Растение кистекарневое, без столонов, с тонкими корнями. Стебель 55–115 см в высоту, голый, лишь в узлах опушен длинными волосками; листья непарноперистые, с 6–8 парами ланцетных, зубчатых долей. Соцветие – плейотирс с нижними паракладиями, имеющими 2–3 порядка ветвления до парциальных соцветий, сильно разрастающихся при пл.; прицветнички 3–4 мм дл., рассеянноопушенные; венчики белые или светло-лиловые, 3.5–5 мм в длину. Плод 2.3 (2.1–2.6) мм в длину, с 10–14 лучевым хохолком и узкой (0.1 мм) каймой по краю, с верхней стороны голый, с нижней – опушен редкими, прямыми волосками 0.1–0.2 мм дл., $2n = 14$. Обитает на лугах, болотах, по лесным опушкам [Горбунов, 2002], а также на разнотравно-злаковых, заболоченных, пойменных, влажных и низинных лугах, среди кустарников на опушках пойменных урем, на осушенных торфяниках. Большинство из этих растительных сообществ можно отнести к порядку *Molinietales* Koch 1926 класса луговой растительности *Molinio-Arrhenatheretea* R. Tx. 1937 em. R.

Tx. 1970. характеризуемые присутствием таких видов, как *Filipendula ulmaria*, *Sanguisorba officinalis*, *Thalictrum flavum* и др. *Valeriana officinalis* рассматривается как характерный вид этого порядка, также встречается в сообществах вторичных послелесных лугов, имеющих в своем составе виды сообществ вырубков и гарей класса *Epilobietea angustifolii* R. Tx. Et Prsg. In R. Tx. 1950 (*Chamerion angustifolium*, *Rubus idaeus*, *Fragaria vesca* и др.) и горных лугов союза *Polygonion krascheninnikovii* Kashapov 1985 (*Bistorta major*, *Aconogonon alpinum*, *Trollius europaeus*, *Alchemilla* spp. и др.) класса *Molinio-Arrhenatheretea* [Ишмуратова, Ишбирдин, Хужина, 2008].

Valeriana alternifolia – восточносибирско-дальневосточный вид с широким ценогическим ареалом, тип ареала ангарский. Многолетнее, кистекарневое травянистое растение с монокарпическими полурозеточными побегами, ди- и трициклического типа. Размножается семенами и вегетативно с образованием клонов. Стебель 55–110 см в высоту, в нижних междоузлиях густо опушенный длинными, отстоящими волосками; все листья непарноперистые, с 5–9 парами ланцетных или линейно-ланцетных, цельнокрайних или слабозубчатых боковых долей. Соцветие – плейотирс со слабо разветвленными 1–2 порядка до парциальных соцветий) нижними паракладиями, мало разрастающийся при пл.; прицветнички линейные, 4–6 мм дл., короткореснитчатые по краю; венчики лиловые, 5–6 мм дл. Пл. 3.1 (2.8–3.8) мм дл., с 10–14 лучевым хохолком и развитой (0.2–0.3 мм в ширину) каймой по краю, густоопушенный жесткими прямыми волосками 0.1–0.2 мм дл., $2n = 28$. 56 [Горбунов, 2002], $2n = 42$ [Ворошилов, 1959]. В Якутии обитает на пойменных лугах, в кустарниковых зарослях, лесах, на опушках [Ворошилов, 1959; Конспект..., 2012]. *Valeriana alternifolia* встречается на пойменных лугах порядка *Hordeetalia brevisubulati* Kononov in Kononov et al. 1986 класса *Hordeetalia brevisubulati* Mirkin 1986 (с такими видами, как *Sanguisorba officinalis*, *Thalictrum simplex*, *Bromopsis inermis*, *Veronica longifolia*, *Galium verum* и др.) и на остепненных лугах и опушках, относимых к мезофильным степям порядка *Festucetalia lenensis* Mirkin in Gogoleva et al. 1987 класса *Cleistoginea tea squarrosae* Mirkin et al. 1986 (в сообществах с *Pulsatilla flavescens*, *Carex pediformis*, *Galium verum*, *Agrostis trinii*, *Dianthus versicolor* и др.) [Ишмуратова и др., 2017]. В этих сообществах отмечается присутствие с высоким постоянством *Sanguisorba officinalis*.

Материалом для исследования послужили первые черешковые листья срединной формации вегетативно-репродуктивного побега, собранные с ге-

неративных растений при проведении популяционных исследований в районах Республики Башкортостан (Южный Урал, 7 ценопопуляций) (*V. officinalis*) и в Центральной Якутии (Республика Саха, 5 ценопопуляций) (*V. alternifolia*). Выборка для проведения морфологического анализа составила 80-100 генеративных особей каждого вида. В анализ вовлечены две генеральные совокупности *Valeriana officinalis* (Южный Урал) и *V. alternifolia* (Центральная Якутия). Места сбора растительного материала исследованных видов рода *Valeriana* представлены ниже:

Valeriana officinalis:

1. Южный Урал, Архангельский р-н: пойма р. Аскын, заболоченный луг, 54°23'52.44" С 56°49'46.62" В, высота 131 м над ур. м.
2. Южный Урал, Архангельский р-н: обочина лесной дороги, 55°28'00.44" С 57°05'22.66" В, высота 139 м над ур. м.
3. Южный Урал, Архангельский р-н: опушка пойменной уремы, 54°28'51.30" С 57°04'25.45" В, высота 138 м над ур. м.
4. Южный Урал, Архангельский р-н: пойма р. Инзер, заболоченный луг, 54°29'01.72" С 56°51'46.61" В, высота 118 м над ур. м.
5. Южный Урал, Баймакский р-н: окрестности с. Туркменово, влажный луг, 52°52'42.37" С 58°29'28.21" В, высота 397 м над ур. м.
6. Южный Урал, Баймакский р-н: д. Мукасово-1. влажный луг, 52°46'02.31" С 58°35'56.78" В, высота 417 м над ур. м.
7. Южный Урал, Бурзянский р-н: пойма р. Белая, луг, государственный природный заповедник «Шульган-Таш» 53°02'12.72" С 57°03'45.83" В, высота 291 м над ур. м.

Valeriana alternifolia:

1. Якутия, Чурапчинский р-н: пойма р. Туйма, 62°20'52.64" С 131°11'52.14" В, высота 161 м над ур. м.
2. Якутия, Чурапчинский р-н, местность Бахсы, 62°16'51.83" С 131°47'07.90" В, высота 244 м над ур. м.
3. Якутия, Таттинский улус: пойма р. Амги, 62°09'06.80" С 134°22'49.53" В, высота 117 м над ур. м.
4. Якутия, Таттинский улус: пойма р. Амги, 62°09'06.80" С 134°22'49.53" В, высота 117 м над ур. м.
5. Якутия, окрестности пос. Чычымах: пойма р. Амги, 62°06'26.43" С 134°23'34.51" В, высота 119 м над ур. м.

Исследованы количественные и качественные морфологические признаки листа. Среди количественных признаков: длина и ширина (см), индекс листа, число долей листа (общее число и число пар) (шт.), длина и ширина (см), индекс боковой доли листа, число зубчиков по краю доли листа

(шт.), доля листьев в выборке с цельнокрайними и зубчатыми краями пластинки листа (%). Среднее число зубчиков, приходящееся на край доли листа – признак, призванный количественно охарактеризовать форму края боковых долей листа: если этот показатель равен или превышает 1, то край каждой доли листа несет 1 или более зубчиков, если он имеет значение менее 1, то часть или все доли листа обладают цельным краем. Качественными признаками являются: форма листа (определяется по индексу листа (отношение длины к ширине)), форма боковой доли листа (определяется по индексу доли листа (отношение длины к ширине)), форма края боковой доли листа. Листья сканировали, затем проводили измерения морфометрических признаков при помощи инструмента «линейка» в графическом редакторе Paint.net. Изображения, полученные на сканере, соответствовали размеру А4 с сохранением реальных пропорций 1:1.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием общепринятых методов [Гланц, 1999; Зайцев, 1991] при помощи программ MS Excel и STATISTICA.

Для исследуемых величин определялись минимальное и максимальное значения, среднее арифметическое значение, стандартное отклонение, коэффициент вариации (*CV*). Уровни варьирования признаков в соответствии с рекомендациями С.А. Мамаева [1973]: *CV* > 41% – очень высокий, *CV* = 21–40% – повышенный, *CV* = 13–20% – средний, *CV* = 8–12% – низкий, *CV* < 7% – очень низкий.

Для проверки достоверности различий между видами, а также между популяциями внутри видов по количественным признакам применяли дискриминантный анализ и одномерный дисперсионный анализ. Анализ с использованием указанных методов проводили в программе STATISTICA 10 [STATISTICA].

Результаты

Результаты измерения количественных морфологических признаков листа *Valeriana alternifolia* и *V. officinalis* представлены в таблице.

Лист *V. officinalis* в среднем крупнее, чем лист *V. alternifolia*, длина листа в 1.5 раз больше, ширина – в 1.3 раз. Индекс листа *V. officinalis* в среднем 2.0. *V. alternifolia* < 2.0. Изменчивость этих признаков листа демонстрирует повышенный уровень. Встречаемость различных форм (по показателям длины и ширины) листа в выборках *V. officinalis* и *V. alternifolia* представлена на рис. 1. В значительной степени области значений этих признаков у обоих видов перекрываются, однако линии зависимости не совпадают.

Размеры доли листа, в среднем, у *V. officinalis* также крупнее, чем у *V. alternifolia*: длина доли листа – в 1.45 раз, ширина – в 2.13 раз. Доля листа

V. alternifolia значительно уже доли листа *V. officinalis*. Индекс доли листа *V. alternifolia* 7.42 (пределы 2.92–16.07), *V. officinalis* – 5.0 (пределы 3.29–7.16). Уровни варьирования признака – средний у *V. officinalis* и повышенный у *V. alternifolia*.

В зависимости от ценопопуляций, у *V. alternifolia* доля листа может быть различной – узкой и относительно широкой (рис. 2), встречаются формы листа, морфологически близкие к *V. officinalis*.

Морфологические признаки листа *Valeriana alternifolia* и *V. officinalis*

Вид	Признак листа	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее арифметическое \pm ошибка среднего	Стандартное отклонение	Коэффициент вариации, %
<i>Valeriana alternifolia</i>	Длина, см	3.35	22.14	12.31 \pm 0.42	3.81	31
	Ширина, см	2.76	15.4	7.29 \pm 0.32	2.85	39
	Индекс	0.43	2.81	1.79 \pm 0.05	0.47	26
	Число долей листа, шт.	8	24	14.77 \pm 0.39	3.49	24
	Длина доли листа, см	1.35	7.52	3.09 \pm 0.13	1.2	39
	Ширина доли, см	0.22	1.15	0.43 \pm 0.02	0.14	33
	Индекс доли	2.92	16.07	7.42 \pm 0.28	2.53	34
	Среднее число зубчиков на доле листа, шт.	0	6.71	0.97 \pm 0.13	1.16	119
<i>Valeriana officinalis</i>	Доля цельнокрайних долей листа, %	0	100	58.0 \pm 4.0	33	57
	Длина, см	6.10	29.88	18.76 \pm 0.40	4.67	25
	Ширина, см	3.57	16.49	9.43 \pm 0.23	2.67	28
	Индекс	1.13	3.54	2.05 \pm 0.03	0.41	20
	Число долей листа, шт.	10.00	22.00	16.62 \pm 0.19	2.28	14
	Длина доли листа, см	2.27	7.70	4.49 \pm 0.09	1.08	24
	Ширина доли, см	0.42	1.58	0.92 \pm 0.02	0.27	29
	Индекс доли	3.29	7.16	5.00 \pm 0.07	0.77	16
<i>Valeriana officinalis</i>	Среднее число зубчиков на доле листа, шт.	0	10.07	3.53 \pm 0.18	2.12	60
	Доля цельнокрайних долей листа, %	0	100	22.0 \pm 2.0	26	121

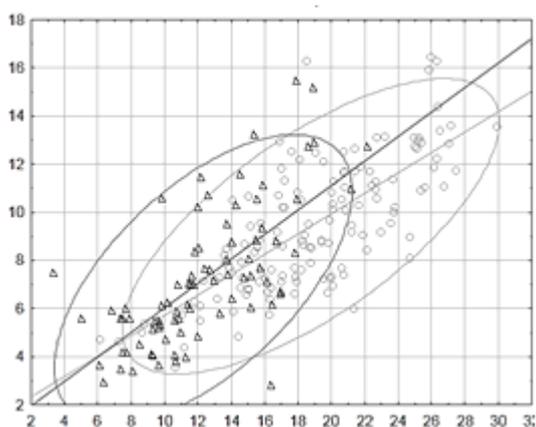


Рис. 1. Распределение отношения длины к ширине пластинки листа у *Valeriana officinalis* и *V. alternifolia* (обозначена кругами). Эллипсы охватывают 95% наблюдаемых значений в пределах выборок исследуемых видов.

По оси абсцисс – длина листа, см, по оси ординат – ширина листа, см

Встречаемость различных форм долей листа (по показателям длины и ширины) в выборках *V. officinalis* и *V. alternifolia* представлена на рис. 3. Области эллипсов значений признаков у исследованных видов перекрываются не в значительной степени, линии зависимости не совпадают и демонстрируют различные формы долей листа у видов.

Число долей листа (число пар долей листа) и характер зубчатости листа у видов рода *Valeriana* являются таксономически значимыми признаками. При описании видов Ю.Н. Горбунов [2002] дает следующие характеристики *V. officinalis*: «листья непарноперистые, с 6–8 парами ланцетных, зубчатых долей», *V. alternifolia*: «все листья непарноперистые, с 5–9 парами ланцетных или линейноланцетных, цельнокрайних или слабозубчатых боковых долей».

Встречаемость форм листа с различным числом долей листа в выборках *V. officinalis* и *V. alternifolia* представлена на рис. 4. Число долей

листа в исследованных выборках в среднем у *V. alternifolia* составляет 14.77 шт., или 7–8 пар, у *V. officinalis* составляет 16.62 шт., или 8–9 пар. Уровни варьирования признака число долей различны – средний у *V. officinalis* и повышенный у *V. alternifolia*.

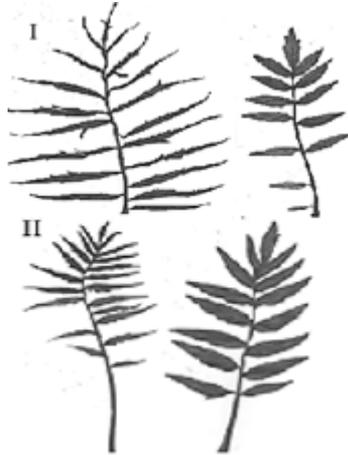


Рис. 2. Листья *Valeriana alternifolia* и *V. officinalis* с различными формами доли листа (изображения без соблюдения масштаба).

Верхний ряд (I) – листья *Valeriana alternifolia*, вытянутые узкие доли листа (слева) и короткие, относительно широкие доли листа (справа); нижний ряд (II) – листья *Valeriana officinalis*, вытянутые узкие доли листа (слева) и короткие, относительно широкие доли листа (справа)

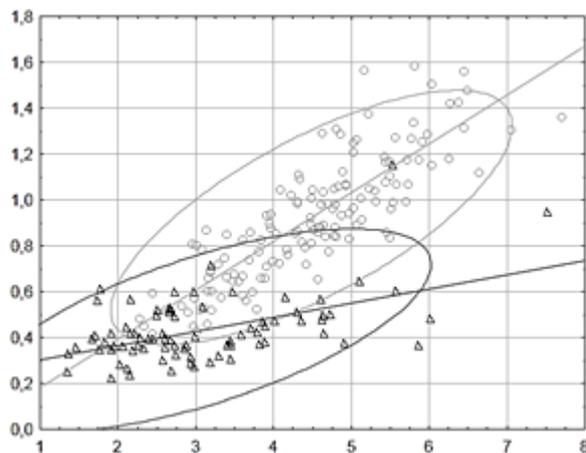


Рис. 3. Распределение отношения длины к ширине доли листа у *Valeriana officinalis* (обозначены треугольниками) и *V. alternifolia* (обозначены кругами). Эллипсы охватывают 95% наблюдаемых значений в пределах выборок исследуемых видов.

По оси абсцисс – длина доли листа, см, по оси ординат – ширина доли листа, см

Встречаемость форм листа с разным числом долей листа в выборках *V. officinalis* и *V. alternifolia* различна. Кривая нормального распределения признака *V. alternifolia* относительно более пологая, чем кривая нормального распределения *V. officinalis*, что отражает частоту встречае-

мости различных форм листа. В выборке *V. alternifolia* не выражено преобладающей частоты встречаемости листьев с определенным числом долей листа (более 5%), большинство значений (96% общего числа) приходится на широкий диапазон – от 4 до 10 пар долей листа. У *V. officinalis* наблюдается выраженный пик на числе долей листа, равном 16 шт. (8 пар) (14% общего числа). В целом, большая часть листьев в выборке *V. officinalis* (96%) попадают в диапазон от 13 до 20 шт. (7–10 пар) долей листа. Число долей листа (не считая центральной доли) может быть и нечетным, т.е. могут быть морфы с непарными (одиночными) боковыми долями листа (рис. 2, 5).

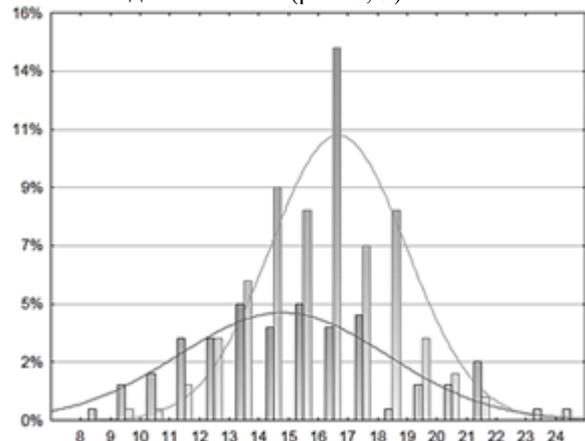


Рис. 4. Встречаемость форм листа с различным числом долей листа в выборках *Valeriana officinalis* (светло-серые) и *V. alternifolia* (темно-серые).

По оси абсцисс – число долей листа, шт., по оси ординат – частота встречаемости числа долей, %



Рис. 5. Листья *Valeriana alternifolia* и *V. officinalis* с различным краем доли листа (изображения без соблюдения масштаба).

Верхний ряд (I) – листья *Valeriana alternifolia*, цельнокрайние доли листа (слева) и расставлено-пильчатые доли листа (справа); нижний ряд (II) – листья *Valeriana officinalis*, цельнокрайние доли листа (слева) и расставлено-пильчатые доли листа (справа)

Характер зубчатости доли листа у исследованных видов – наиболее изменчивый признак с очень высоким уровнем варьирования, пределы которого проиллюстрированы на рис. 5.

В среднем, число зубчиков доли листа у *V. officinalis* составила 3.53 шт., у *V. alternifolia* – 0.97. Доля цельнокрайних долей в выборке *V. officinalis* невелика и составила 22%, а в выборке *V. alternifolia* – относительно высокая, 58%.

Достоверность различий по комплексу количественных морфологических признаков листа в выборках *V. alternifolia* и *V. officinalis*, оцененная на основе однофакторного дисперсионного анализа, демонстрирует различия на уровне $p < 0.0001$. Для дифференциации близкородственных видов *V. alternifolia* и *V. officinalis* достоверно могут быть использованы следующие количественные морфологические признаки: длина листа (лямбда Уилкса 0.308 при $p = 0.00126$), ширина листа (лямбда Уилкса 0.339 при $p < 0.00001$), индекс листа (лямбда Уилкса 0.308 при $p = 0.00129$), число долей листа (лямбда Уилкса 0.328 при $p < 0.00001$), длина доли листа (лямбда Уилкса 0.340 при $p < 0.00001$), индекс доли листа (лямбда Уилкса 0.324 при $p = 0.000005$), доля листьев в выборке с цельнокрайними и зубчатыми краями пластинки листа (лямбда Уилкса 0.303 при $p = 0.0066$).

Несмотря на то, что сравнения выборок *V. alternifolia* и *V. officinalis* по признакам среднее число зубчиков по краю листа и ширина доли листа при помощи *t*-критерия Стьюдента демонстрируют достоверные различия (на уровнях $p = 4.17 \cdot 10^{-36}$ и $p = 1.71 \cdot 10^{-19}$ соответственно), в качестве самостоятельных эти признаки не могут быть использованы для дифференциации видов (лямбда Уилкса 0.2953 при $p = 0.235$ и лямбда Уилкса 0.293596 при $p = 0.675$ соответственно).

Заключение

Близкородственные виды *Valeriana officinalis* и *V. alternifolia* обладают высокой морфологической поливариантностью. Проведенный сравнительный анализ 9 количественных и качественных морфологических признаков листа (длина, ширина и индекс листа, число (или число пар) долей листа, длина, ширина и индекс боковой доли листа, число зубчиков по краю доли листа, доля листьев в выборке с цельнокрайними и зубчатыми краями пластинки листа) *V. officinalis* и *V. alternifolia* демонстрирует уровни их изменчивости не ниже среднего, преимущественно повышенный. У обоих видов наименее изменчивым признаком является число пар долей листа. Встречаемость форм листа с разным числом долей листа у исследованных видов различна: в выборке *V. alternifolia* не выражено преобладающей частоты встречаемости листьев с определенным числом долей листа, большинство значений приходится на широкий диапазон – от 11 до 17 шт. (5–8 пар) долей листа; в выборке *V. officinalis* наблюдается выраженный пик на числе долей листа, равном 16 шт. (8 пар), большая часть

листьев попадают в диапазон от 14 до 18 шт. (7–9 пар) долей листа.

Valeriana alternifolia характеризуется относительно мелкими листьями с 5–8 парами узких долей, преимущественно цельнокрайних. У *Valeriana officinalis* довольно крупные и вытянутые листья с 7–9 парами относительно широких долей, имеющих несколько зубчиков по краю. Для дифференциации близкородственных видов достоверно могут быть использованы следующие количественные морфологические признаки листа: длина, ширина и индекс, число долей листа, длина, ширина и индекс доли листа. Дополнительными таксономическими признаками *V. officinalis* и *V. alternifolia* в комплексе с морфологическими признаками листа могут быть фенологические ритмы видов и эколого-фитоценологические характеристики их мест обитания.

Список литературы

- Ворошилов В.Н. Лекарственная валериана. М.: Наука, 1959. 160 с.
- Гланц С. Медико-биологическая статистика. М.: Практика, 1999. 461 с.
- Горбунов Ю.Н. Валерианы флоры России и сопредельных государств: Морфология, систематика, перспективы использования. М.: Наука, 2002. 207 с.
- Государственная фармакопея РФ XIV изд. Т. 4. ФС.2.5.0009.15 [Электронное издание]. URL: <http://femb.ru/femb/pharmacosorea.php> (дата обращения: 26.11.2020)
- Грубов В.И. Род 1405. Валериана (Маун) – *Valeriana* L. // Флора СССР: в 30 т. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1958. Т. 23. С. 625.
- Зайцев Г.Н. Математический анализ биологических данных. М.: Наука, 1991. 184 с.
- Ишмуратова М.М., Ишбирдин А.Р., Хужина А.А. Фитоценология, фенология и популяционные характеристики видов рода *Valeriana* ряда *Officinales* в заповеднике «Шульган-Таш» // Биологическое разнообразие, спелеологические объекты и историко-культурное наследие охраняемых природных территорий Республики Башкортостан: сб. науч. тр. Уфа: Информреклама, 2008. Вып. 3. С. 67–79.
- Ишмуратова М.М. и др. Эколого-фитоценологические, популяционные, ресурсные характеристики, биология семян и биотехнология *Valeriana alternifolia* Ledeb. // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2017. № 6. С. 18–25.
- Конспект флоры Якутии: сосудистые растения / сост. Л.В. Кузнецова, В.И. Захарова. Новосибирск: Наука, 2012. 272 с.
- Мамаев С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений (на примере семейства

- Pinaceae). М.: Наука, 1973. 284 с.
- Определитель высших растений Якутии / отв. редактор А.И. Толмачев // Новосибирск: Наука, 1974. 543 с.
- Семенова В.В., Егорова П.С. Поливариантность онтогенеза *Valeriana alternifolia* Ledeb. и структура ее природных ценопопуляций в Якутии. Новосибирск: Наука, 2013. 111 с.
- Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. С. 951–952.
- Bell C.D., Donoghue M.J. Phylogeny and biogeography of *Valerianaceae* (Dipsacales) with special reference to the South American valerians // *Organisms, Diversity & Evolution*. 2005. Vol. 5. P. 147–159. Doi: 10.1016/j.ode.2004.10.014.
- Bell C.D., Kutscher A., Arroyo M.T.K. Phylogeny and diversification of *Valerianaceae* (Dipsacales) in the southern Andes // *Mol. Phylogenet. Evol.* 2012 Jun; 63 (3): 724-737. Doi: 10.1016/j.ympev.2012.02.015. Epub 2012 Mar 7.
- Chase M.W. et al. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV // *Botanical Journal of the Linnean Society*. 2016. Vol. 181 (1). P. 1–20. DOI:10.1111/boj.12385.
- WFO, 2020: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000426953#synonyms>
- ### References
- Voroshilov V.N. *Lekarstvennaja valeriana* [Medicinal Valerian]. Moscow, Nauka Publ., 1959. 160 p. (In Russ.).
- Glantz S.A. *Mediko-biologičeskaja statistika* [Medical and biological statistics]. Moscow, Praktika Publ., 1999, 461 p. (In Russ.).
- Gorbunov Iu.N. *Valeriany flory Rossii i sopredel'nyh gosudarstv. Morfologija, sistematika, perspektivy ispol'zovanija* [Valeriana species in floras of Russia and neighboring states: Morphology, systematics, prospects of use]. Moscow, Nauka Publ., 2002. 207 p. (In Russ.).
- Gosudarstvennaja farmakopeja RF* [The State Pharmacopoeia of the Russian Federation]. V. 4. FS. 2.5.0009.15 [Digital edition] Available at <http://femb.ru/femb/pharmacopea.php> (accessed 26.11.2020) (In Russ.).
- Grubov V.I. [Genus 1405. Valerian – *Valeriana* L.]. *Flora SSSR*. [Flora of the USSR]. Moscow, Leningrad, AN SSSR Publ., 1958, V. 23, p. 625. (In Russ.).
- Ishmuratova M.M., Ishbirdin A.R., Khuzhina A.A. [Phytocoenology, phenology and population characteristics in species of section *Officinales* of genus *Valeriana* in «Shul'gan-Tash» wildlife reserve]. *Biologicheskoe raznoobrazie, speleologičeskie ob'ekty i istoriko-kul'turnoe nasledie okhranjaemykh prirodnykh territorii Respubliki Bashkortostan* [Biodiversity, caves and historical and cultural heritage of protected areas of the Republic of Bashkortostan: the proceedings]. Ufa, Informreklama Publ., 2008, iss. 3, pp. 67–79. (In Russ.).
- Ishmuratova M.M., Ishbirdin A.R., Cherosov M.M., Baryshnikova N.I., Suleimanova E.N. [Ecological, phytocoenological, population and resource characteristics, seed biology and biotechnology of *Valeriana alternifolia* Ledeb.] *Vestnik Severo-Vostočnogo federal'nogo universiteta imeni M.K. Ammosova*. N 6 (2017): pp. 18-25. (In Russ.).
- Kuznetsova L.V., Zakharova V.I., compilers. *Konспект flory Iakutii: sosudistye rasteniia* [The list of species in Iakutiia: vascular plants]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2012. 272 p. (In Russ.).
- Tolmachev A.I., ed. *Opredelitel' vysšich rastenij Iakutii* [Keys to land plants of Iakutiia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1974, 543 p. (In Russ.).
- Semenova V.V., Egorova P.S. *Polivariantnost' ontogeneza Valeriana alternifolia Ledeb. i struktura ee prirodnyh cenopopuljacij v Iakutii* [Polyvariance in *Valeriana alternifolia* Ledeb. ontogenesis and structure of its natural coenopopulations in Iakutiia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2013. 111 p. (In Russ.).
- Черепанов С.К. *Sosudistye rastenija Rossii i sopredel'nyh gosudarstv (v predelach byvšego SSSR)* [Vascular plants of Russia and neighboring states (in former USSR)]. St-Petersburg, Mir i sem'ia-95, 1995, pp. 951-952. Available at https://www.rfbr.ru/rffi/ru/books/o_36772#952 (accessed 25.09.2020). (In Russ.).
- Mamaev S.A. *Formy vnutrividovoj izmenčivosti drevesnyh rastenij (na primere semejstva Pinaceae)* [Intraspecies variance forms in woody plants (with the Pinaceae family as an example)]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 284 p. (In Russ.).
- Zaitsev G.N. *Matematičeskij analiz biologičeskich dannyh* [Mathematical analysis of biological data]. Moscow, Nauka Publ., 1991. 184 p. (In Russ.).
- Bell C.D., Donoghue M.J. Phylogeny and biogeography of *Valerianaceae* (Dipsacales) with special reference to the South American valerians. *Organisms, Diversity, Evolution*. V. 2 (5) (2005): pp. 147-159. DOI: 10.1016/j.ode.2004.10.014.
- Bell C.D., Kutscher A., Arroyo M.T.K. Phylogeny and diversification of *Valerianaceae* (Dipsacales) in the southern Andes. *Mol. Phylogenet. Evol.*

V. 63 (3) (2012): pp. 724-737. DOI: 10.1016/j.ympe.2012.02.015.

Chase M.W., Christenhusz M.J.M. et al. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV. *Botanical Journal of the Linnean Society*, V. 181 (1) (2016): pp. 1-20. DOI:10.1111/boj.12385

WFO, 2020: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000426953#synonyms>

WFO, 2020: <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000426953#synonyms>

Поступила в редакцию 08.12.2020

Об авторах

Халиуллин Денис Аликович, аспирант кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУВО «Башкирский государственный университет»

ORCID: 0000-0002-8913-9601

450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32; dakhaliullin@gmail.com

Ишмуратова Майя Мунировна, профессор, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУВО «Башкирский государственный университет»

ORCID: 0000-0001-8379-574X

450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32; ishmuratova@mail.ru

Ишбирдин Айрат Римович, доктор биологических наук, профессор кафедры экологии и безопасности жизнедеятельности ФГБОУВО «Башкирский государственный университет»

ORCID: 0000-0003-4815-145X

450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32; ishbirdin@mail.ru; (347)2726370

About the authors

Khaliullin Denis Alikovich, graduate student of the Department of ecology and civil defense

Bashkir State University.

ORCID: 0000-0002-8913-9601

32, Zaki Validi str., Ufa, Russia, 450076; dakhaliullin@gmail.com

Ishmuratova Maya Munirovna, doctor of biology, professor of the Department of ecology and civil defense

Bashkir State University.

ORCID: 0000-0001-8379-574X

32, Zaki Validi str., Ufa, Russia, 450076; ishmuratova@mail.ru

Ishbirdin Airat Rimovich, doctor of biology, professor of the Department of ecology and civil defense

Bashkir State University.

ORCID: 0000-0003-4815-145X

32, Zaki Validi str., Ufa, Russia, 450076; ishbirdin@mail.ru; (347)2726370

Информация для цитирования:

Халиуллин Д.А., Ишмуратова М.М., Ишбирдин А.Р. Изменчивость морфологических признаков листа *Valeriana officinalis* L. и *V. alternifolia* Ledeb. // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 1. С. 18–25. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-18-25.

Khaliullin D.A., Ishmuratova M.M., Ishbirdin A.R. [Variability in leaf morphological characters of *Valeriana officinalis* L. and *V. alternifolia* Ledeb.]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologiya*. Iss. 1 (2021): pp. 18-25. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-18-25.

МИКРОБИОЛОГИЯ

УДК 57.083.1, 579.6, 543.95, 547.9, 57.044, 615, 614.35, 543.55, 543.4

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-26-38.

В. С. Сибирцев, У. Ю. Нечипоренко

Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет, Санкт-Петербург, Россия

МЕТОДИКА ОПТИКО-ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ТЕСТИРОВАНИЯ В ПРИМЕНЕНИИ К СРАВНИТЕЛЬНОМУ АНАЛИЗУ ПРЕБИОТИЧЕСКИХ И АНТИМИКРОБНЫХ СВОЙСТВ РАЗЛИЧНЫХ РАСТИТЕЛЬНЫХ ЭКСТРАКТОВ

Описана методика биотестирования. Представлены результаты сравнительного анализа антимикробной активности в отношении *Staphylococcus aureus* разных концентраций цельных докритических экстрактов, полученных с помощью сжиженного CO₂ из 10 различных видов растительного сырья. Показано, что наиболее активные пролонгированные антимикробные свойства проявили экстракты из корней *Chelidonium majus* и цветков *Calendula officinalis* при их концентрации в тестовой среде больше 3 об.%. А наиболее активные пролонгированные пребиотические свойства проявили экстракты из побегов *Viscum album* и листьев *Juglans regia* при их концентрации в тестовой среде, равной 0.2 об.%. При этом биологическая активность образцов в отношении тестовых микроорганизмов в большинстве случаев монотонно уменьшалась с увеличением времени взаимодействия микроорганизмов и образцов. Однако точный характер этих зависимостей может быть установлен лишь с помощью тестовых испытаний, которые удобно проводить с помощью представленной в этой работе методике, позволяющей более экспрессно, объективно и информативно, а также существенно менее трудоёмко и материалоёмко, чем при использовании стандартных микробиологических методов, оценивать влияние на динамику жизненной активности микроорганизмов различных тестируемых образцов.

Ключевые слова: биотестирование микробиологическое; антимикробные свойства; экстракты растительные.

V. S. Sibirtsev, U. Yu. Nechiporenko

Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Saint Petersburg, Russian Federation

The technique of optical-electrochemical microbiological testing as applied to the comparative analysis of the prebiotic and antimicrobial properties of various plant extracts

A biotesting technique is described that provides for periodic (every 2 h) recording of changes in the intensity of elastic light scattering, pH and electrical conductivity of a liquid nutrient medium incubated in the presence and absence of viable test microorganisms and test samples. The results of a comparative analysis using this technique of antibiotic activity against *Staphylococcus aureus* of different concentrations of whole subcritical extracts obtained using liquefied CO₂ from 10 different types of plant raw materials are presented. Studies have shown that among the samples studied by us, the most active prolonged antimicrobial properties were exhibited by extracts from the roots of *Chelidonium majus* and flowers of *Calendula officinalis* at their concentration in the test medium (C_{ТЕ}) more than 3 vol.%. And the most active prolonged prebiotic properties were exhibited by extracts from shoots of *Viscum album* and leaves of *Juglans regia* at C_{ТЕ} = 0.2 vol.%. In this case, the biological activity of the tested samples with respect to test microorganisms in most cases monotonically decreased with an increase in the interaction time of the mentioned microorganisms and samples. However, the exact nature of these dependencies in most cases can be established only with the help of a significant number of tests. And the latter can be conveniently carried out using the methodology presented in this work, which allows a much more rapid, objective and informative, as well as much less laborious and material-intensive, than when using standard visual microbiological methods, to assess the effect on the dynamics of the vital activity of microorganisms of various tested samples.

Key words: microbiological biotesting; antimicrobial properties; plant extracts.

В последнее время в фармацевтической, косметической, пищевой, кормовой и других отраслях народного хозяйства всё более актуальной становится проблема разработки достаточно объектив-

ных и в то же время экспрессных и доступных для широкого применения методов количественной оценки исходной микробной обсемененности, а также пребиотических и антимикробных свойств

большого количества образцов как новой, так и уже допущенной к применению продукции. Вышеупомянутые методы являются одной из важных составляющих системы мониторинга качества и безопасности продукции. При их реализации применяются как многоклеточные, так и одноклеточные тестовые живые организмы. Причем последние используются не только как наиболее дешевая, доступная и статистически достоверная модель живых организмов в целом, но и как модель полезной естественной микробиоты человека, а также природной микробиоты, способной вызывать различные инфекционные заболевания, токсикозы, аллергические реакции, способствовать порче пищевой и иной продукции, участвовать в различных биотехнологических процессах и т.д.

Однако принятые в настоящее время в качестве стандартных при микробиологическом тестировании процедуры визуальной оценки общей выживаемости микроорганизмов либо величины зоны задержки роста их колоний требуют для своего проведения значительных затрат времени, материалов и труда квалифицированного персонала, давая, в результате, лишь весьма неполную, субъективную и «статичную» информацию о нарушениях жизнедеятельности тестовых организмов [Sutherland et al., 2009; Das, Anjeza, Mandal, 2012; Al-Zubairi, Al-Mamary, Al-Ghasani, 2017]. Таким образом, перспективным представляется использование в микробиологическом тестировании инструментальных технологий, среди которых наиболее простыми в исполнении, достоверными и универсальными являются сейчас различные оптические и электрохимические методы.

Кроме того, в последнее время в фармацевтической, косметической, пищевой, кормовой и иной продукции, производимой и потребляемой человеческим обществом, ощущается всё больший недостаток биологически активных веществ (БАВ) природного происхождения, способствующих нормальному развитию и функционированию как самого человеческого организма (ослабленного стрессами, наличием различных физико-химических факторов загрязнения окружающей среды, недостатком природного освещения и физической активности, контактами с многочисленной посторонней микробиотой и т.п.), так и симбиотически связанной с ним полезной микробиоты, либо угнетению жизнедеятельности вредной для человека микробиоты.

Производство концентрированных синтетических аналогов БАВ при современном уровне развития технологий часто является затратным с экономической точки зрения, а также малоэффективным вследствие сложности достижения нужной степени чистоты, стереоспецифичности и других параметров, способных обеспечить достаточно вы-

сокую степень биологической активности таких соединений. Кроме того, растительные экстракты по сравнению с синтетическими средствами, как правило, обладают существенно меньшими по широте спектра и интенсивности действия на человеческий и другие живые организмы побочными эффектами.

В результате этого экстракты из различного растительного сырья в настоящее время являются одним из наиболее приемлемых и распространенных источников БАВ, используемых в качестве функциональных добавок к фармацевтической, косметической, пищевой, кормовой и иной продукции. А из различных видов растительных экстрактов наиболее широкое распространение в настоящее время получили так называемые «эфирные масла», промышленно либо лабораторно получаемые из различного растительного сырья разными физико-химическими способами (такими, как холодный или горячий отжим, дистилляция, экстрагирование при нормальном либо повышенном давлении и/или температуре с помощью различных органических растворителей с последующим удалением этих растворителей при дополнительно повышенной температуре либо под вакуумом и т.п.) [Rodino, Butu, 2019]. Получаемые таким образом «эфирные масла» позволяют достичь существенно большей и стабильной во времени биологической активности конечного продукта по сравнению с водными, спиртовыми и иными растительными экстрактами, получаемыми без удаления экстрагентов. Вследствие этого «эфирные масла» в настоящее время наиболее широко среди других видов растительных экстрактов применяются в пищевой, фармацевтической, косметической и других отраслях промышленности в качестве добавок, обладающих избирательным либо малоспецифическим пребиотическим, антимикробным и т.п. действием; либо добавок, обладающих различными видами нормализующего действия (используемого, в том числе, при лечении различных нервных, сердечно-сосудистых, диабетических, пищеварительных и иных заболеваний); либо консервирующих, антиоксидантных, ароматизирующих, вкусовых и иных видов добавок [Burt, 2004; Bakkali et al., 2008; Tripathi et al., 2011; Fatima et al., 2013; Alok et al., 2014; Radice et al., 2016; Merghni et al., 2016; Al-Zubairi, Al-Mamary, Al-Ghasani, 2017; Fani, Kohanteb, 2017; Kokina et al., 2018; Rodino, Butu, 2019]. Кроме того, «эфирные масла» используются в качестве антисептиков, экологически безопасных инсектицидов и пестицидов, добавок к различным зуботерапевтическим, ранозаживляющим и другим медицинским и упаковочным материалам и т.п. [Burt, 2004; Atarés, Chiralt, 2016; Yuan, Chen, Li, 2016; Donsì, Ferrari, 2016; Pavela, Benelli, 2016; Ribeiro-Santos et al., 2017; Ju et al., 2019].

В последнее время, однако, в пищевой, кормовой, фармацевтической и иных отраслях промышленности всё большее применение вместо «эфирных масел» находят экстракты, получаемые из аналогичного растительного сырья, но с использованием, в качестве экстрагента, сжиженного углекислого газа (СО₂РЭ), который затем за счёт изменения давления и температуры конечного продукта полностью удаляется из последнего [Routa, Naika, Raob, 2008; Sahenaal et al., 2009; Ibadullaeva et al., 2015; Valle et al., 2016; Lazarotto et al., 2018; Vieitez et al., 2018; Coelho et al., 2018]. Так, например, ООО «Биоцевтика», (РФ, Московская обл., г. Дедовск, <https://biozevtika.ru>) к настоящему времени уже не только разработала, но и внедрила в производство с последующей достаточно широкой реализацией целую линейку йогуртов, майонезов, растительных и сливочных масел, пряных смесей (сухих, жирно- либо водорастворимых), соков, лимонадов и т.п. с добавками различных СО₂РЭ (производимых этой же компанией).

При этом, как правило, такие СО₂РЭ, по сравнению с «эфирными маслами», характеризуются существенно большим разнообразием входящих в их состав БАВ. Если экстрагирование проводится при давлении и температуре углекислого газа (СО₂) выше 7.6 МПа и ниже 31°C – то такие экстракты называются «докритическими» (поскольку СО₂ в них, находясь в докритическом состоянии, проявляет свойства «обычной» жидкости). В противном случае, экстракты, получаемые по описанной выше технологии, называются «сверхкритическими» (поскольку СО₂ в них, находясь в сверхкритическом состоянии, проявляет свойства как жидкости, так и газа). Кроме того, СО₂РЭ делятся на «селективные» (получаемые при низких давлениях СО₂ и имеющие состав, близкий к «эфирным маслам») и «цельные» (получаемые при высоких давлениях СО₂). Причем наиболее богаты различными БАВ цельные докритические СО₂РЭ, имеющие в своём составе помимо летучих компонентов, обычных для «эфирных масел», также более тяжёлые растительные смолы, парафины, пигменты и т.п. Они, как правило, обладают более вязкой пастообразной консистенцией, нежели «эфирные масла», но легко растворяются как эфирами, так и растительными маслами (хотя в ряде случаев для их растворения требуется небольшое нагревание).

В связи с вышесказанным, цель настоящего исследования – разработка экспрессной и объективной инструментальной методики оценки пребиотических либо антимикробных свойств различных образцов фармацевтической, косметической, пищевой, кормовой и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок к ней; с последующим сравнительным анализом с помощью разработанной методики влияния на динамику

жизнедеятельности типичных представителей микробиоты человека различных растительных экстрактов.

Материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования были взяты цельные докритические экстракты, произведенные ООО «Казанский завод экстрактов» (РФ, г. Казань) с помощью сжиженного СО₂ при давлении 7.3 МПа и температуре 20°C из следующих видов растительного сырья: корни солодки голой (*Glycyrrhiza glabra*) (№ 1), цветы мальвы лесной (*Malva sylvestris*) (№ 2), цветы календулы лекарственной (ноготки лекарственные, *Calendula officinalis*) (№ 3), трава бессмертника песчаного (*Helichrysum arenarium*) (№ 4), корни чистотела большого (*Chelidonium majus*) (№ 5), листья берёзы повислой (*Betula pendula*) (№ 6), листья грецкого ореха (*Juglans regia*) (№ 7), молодые побеги омелы белой (*Viscum album*) (№ 8), плоды облепихи крушиновидной (*Hippophae rhamnoides*) (№ 9), семена перца чёрного (*Piper nigrum*) (№ 10). При этом данный завод был выбран потому, что он является в настоящее время крупнейшим в России производителем СО₂РЭ.

Для анализа влияния различных концентраций тестируемых экстрактов (ТЭ) на динамику жизнедеятельности микроорганизмов, исходя из результатов уже имевшихся авторских наработок по различным способам инструментального биотестирования [Sibirtsev, Garabadzhiu, Ivanov, 1994; Sibirtsev, Garabadzhiu, Ivanov, 1995; Sibirtsev, Glibin, Ivanov, 2000; Sibirtsev, 2007; Sibirtsev, Garabadzhiu, 2007; Sibirtsev, Kulakov, Stroeve, 2016; Sibirtsev, Olekhovich, Samuylova, 2017; Sibirtsev, 2017; Sibirtsev, Maslova, 2019; Sibirtsev et al., 2019; Sibirtsev, Garabadzhiu, Shvets, 2019], была разработана следующая методика.

Все тесты проводились в 4-х повторностях, перед началом каждой из которых готовилась питательная среда, представлявшая собой стерильный водный раствор с рН 7.2±0.2, содержащий 5 г/л глюкозы, 20 г/л белкового гидролизата и 2 г/л NaCl. Затем эта среда засеивалась *Staphylococcus aureus* ATCC 29213 (был выбран в качестве типичного представителя условно патогенной микробиоты человека). После этого упомянутая питательная среда с тестовыми микроорганизмами в количестве 200 мл инкубировалась при 37±0.1 °C в стеклянной колбе без перемешивания в течение примерно 10 ч., пока содержание жизнеспособных микроорганизмов в ней не достигало примерно 5×10⁶ кл/мл (что удостоверялось нефелометрическим способом по бактериальному стандарту мутности [Смирнова, Дудник, Сивченко, 2014]).

Далее, полученная тестовая среда разливалась по 5 мл в каждую из измерительных емкостей

(ИЕ), представляющих собой стандартные стеклянные конические пробирки объемом 10 мл. При этом в «тестовые» ИЕ предварительно добавлялось (по 3 ИЕ в параллель) количество ТЭ, необходимое для достижения заданной его концентрации в тестовой среде. Аналогичным образом необходимое количество ТЭ добавлялось также в три «контрольных-2» ИЕ, содержащих стерильную питательную среду. В то время как три «контрольных-1» ИЕ содержали тестовую среду с жизнеспособными микроорганизмами без ТЭ.

Затем как «тестовые», так и все «контрольные» ИЕ инкубировались без перемешивания при $37 \pm 0.1^\circ\text{C}$ в течение 6 ч.

При этом у тестовых сред, содержащихся в каждой из ИЕ, последовательно, с интервалом 2 ч., регистрировались интенсивность упругого светорассеяния в видимой области спектра (Iod), pH и удельная, линейная, низкочастотная электропроводность (X , мСм/см). Причем Iod регистрировалась с помощью нефелометра «WGZ-2»; pH регистрировалось с помощью иономера «Эксперт-001» с комбинированным электродом «ЭСК-10601/7»; а X – с помощью кондуктометра «Эксперт-002» (РФ) с погружным датчиком «УЭП-П-С», работающим на частоте 1.6 кГц. При этом измерительные кюветы нефелометра, а также электрод и датчик иономера и кондуктометра перед каждым измерением промывались 0.05%-ным водным раствором хлоргексидина биклюконата, а затем ополаскивались свежеполученной дистиллированной водой.

После чего общие степени активирования (+) либо ингибирования (–) жизнедеятельности тестовых микроорганизмов заданными концентрациями ТЭ после k часов их совместного инкубирования в жидкой тестовой среде ($\varepsilon_{V,k}$, %) рассчитывались по формуле

$$\varepsilon_{V,k} = (\varepsilon_{Iod,k} + 0.7\varepsilon_{pH,k} + 0.7\varepsilon_{X,k}) / 2.4. \quad (1)$$

При этом величины $\varepsilon_{Iod,k}$, $\varepsilon_{pH,k}$ и $\varepsilon_{X,k}$ определялись отдельно по результатам измерений Iod , pH и X у тестовых сред в ИЕ в ходе инкубации этих ИЕ по формуле

$$\varepsilon_{i,k} = 100 \times (\Delta Y_{i,k} - \Delta Y_{C_{i,k}}) / \Delta Y_{C_{i,k}}. \quad (2)$$

Индекс i показывал, измерения по какому параметру (Iod , pH или X) учитывались в формуле 2 (например $\varepsilon_{pH,k} = 100 \times (\Delta Y_{pH,k} - \Delta Y_{C_{pH,k}}) / \Delta Y_{C_{pH,k}}$). Величины $\Delta Y_{i,k}$ и $\Delta Y_{C_{i,k}}$ определялись как усредненные по выборке из M образцов с одинаковыми концентрациями экстрактов, приготовленных одинаковым способом из одного вида сырья (в нашем случае $M = 3 \times 4 = 12$) изменения значений i -параметра тестовой среды (Iod , pH или X), произошедшие за k часов от начала инкубирования этой среды в присутствии заданной концентрации ТЭ (ΔY_i , наблюдаемое в тестовых ИЕ), либо в отсутствие ТЭ (ΔY_C , наблюдаемое в контрольных ИЕ, тестовые среды в которых не содержали ТЭ).

Например $\Delta Y_{pH,2} = pH_{T,2} - pH_{T,0}$, а $\Delta Y_{X,4} = X_{C,4} - X_{C,0}$ (где $pH_{T,0}$ – значение pH среды в «тестовой» ИЕ в начале её инкубирования, $pH_{T,2}$ – значение pH среды в «тестовой» ИЕ через 2 ТЭ ч. после начала её инкубирования, $X_{C,0}$ – значение X среды в «контрольной-1» ИЕ в начале её инкубирования, $X_{C,4}$ – значение X среды в «контрольной-1» ИЕ через 4 ч. после начала её инкубирования) и т.д.

При этом коэффициенты при $\varepsilon_{i,k}$, указанные в формуле 1, были рассчитаны методами факторного анализа (аналогично тому, как описано в работах [Korn, Korn, 1968; Johnson, Jeffi, 1983; Sibirtsev, 2006]) по значениям, полученным нами для $\varepsilon_{Iod,k}$, $\varepsilon_{pH,k}$ и $\varepsilon_{X,k}$ в результате применения представленной здесь методики к оценке антибактериальной активности в отношении *S. aureus* разных концентраций таких известных антисептиков и антибиотиков широкого спектра действия, как хлоргексидин биглюконат, фурацилин и левомицетин.

Ошибка определения каждой из усредненных величин $\varepsilon_{Iod,k}$, $\varepsilon_{pH,k}$ и $\varepsilon_{X,k}$ рассчитывалась стандартным образом [Korn, Korn, 1968; Johnson, Jeffi, 1983; Sibirtsev, 2006], как $\Delta \varepsilon_Y = t_{\alpha, N-1} \sigma_Y$, с использованием критерия Стьюдента ($t_{\alpha, N-1}$ для уровня достоверности $\alpha=0.95$ и числа степеней свободы $N-1$), математического ожидания ($\varepsilon_{Y,S} = \sum \varepsilon_{Y,i} / N$) и его дисперсии ($\sigma_Y = [\sum (\varepsilon_{Y,i} - \varepsilon_{Y,S})^2 / (N-1)]^{1/2}$). После чего полученные значения $\Delta \varepsilon_{Iod,k}$, $\Delta \varepsilon_{pH,k}$ и $\Delta \varepsilon_{X,k}$ суммировались для величины $\varepsilon_{V,k}$ по стандартной формуле $\Delta z(x_i) = \sum_i (\Delta x_i \delta z / \delta x_i)$ [Korn, Korn, 1968; Johnson, Jeffi, 1983; Sibirtsev, 2006], исходя из которой $\Delta \varepsilon_{V,k} = (\Delta \varepsilon_{Iod,k} + 0.7\Delta \varepsilon_{pH,k} + 0.7\Delta \varepsilon_{X,k}) / 2.4$.

Параметры Iod , pH и X были выбраны для оценки общей степени активирования или ингибирования жизнедеятельности тестовых микроорганизмов заданными концентрациями ТЭ потому, что, во-первых, они наиболее надежно измеряются инструментально. И во-вторых, эти параметры достаточно чувствительно связаны с изменением количества и размера клеток микроорганизмов в единице объема тестовой среды (в случае Iod , вследствие того, что чем больше клеток микроорганизмов присутствует в среде, тем интенсивней они рассеивают видимый свет), либо с тем, на сколько процентов по отношению к контролю ускоряется или замедляется преобразование жизнеспособными микроорганизмами, присутствующими в тестовой среде, катаболитов, находящихся в той же среде, в анаболиты после k часов их инкубации при заданной температуре в присутствии заданной концентрации заданного экстракта по сравнению с теми же процессами, осуществляемыми теми же микроорганизмами в той же среде в отсутствие ТЭ (в случае pH и X , вследствие того, что преобразование микроорганизмами катаболитов, присутствующих в тестовой среде, в анаболиты существенно изменяет кислотность и электро-

проводность последних).

Правомерность объединения в один параметр ϵ_V трёх таких величин, как ϵ_{Iod} , ϵ_{pH} и ϵ_X , можно объяснить тем, что каждая из этих величин независимо нормировалась на контрольные значения определяющего её показателя и, таким образом, единообразно (в процентах по отношению к контролю) отражала изменение метаболизма тестовых микроорганизмов в присутствии ТЭ, в то же время несколько по-разному характеризуя это изменение (поскольку изменение Iod , pH и X в тестовой среде обуславливали разные метаболические процессы, осуществляемые присутствующими там жизне-способными микроорганизмами). В результате чего суммарная величина ϵ_V более информативно и адекватно характеризовала изменения метаболической активности тестовых микроорганизмов, чем каждая из величин ϵ_{Iod} , ϵ_{pH} и ϵ_X по-отдельности.

При этом микробная обсемененность (C_M) тестируемых образцов могла быть рассчитана по формулам, аналогичным 1 и 2, но где ΔYt определялось не для «тестовых», а для «контрольных-1» ИЕ (содержащих те же микроорганизмы в той же среде, что и «тестовые» ИЕ, но в отсутствие ТЭ), в то время как ΔYc определялось для «контрольных-2» ИЕ (содержащих ТЭ в стерильной питательной

среде). После чего полученное значение C_M^* домножалось на калибровочный коэффициент, определяемый предварительно на основании сравнения результатов, полученных с помощью описанной выше методики, с результатами, полученными для тех же концентраций тех же ТЭ с помощью «стандартной» методики микробиологического тестирования. При этом C_M показывало, сколько жизнеспособных микроорганизмов исходно присутствовало в тестируемых образцах. Причем, если вместо «общенакопительной» питательной среды, использованной в этой работе, тестируемые образцы инкубировать в селективных питательных средах, то указанным выше способом можно определять микробную обсемененность тестируемых образцов не только общую, но и применительно к отдельным видам и штаммам микроорганизмов.

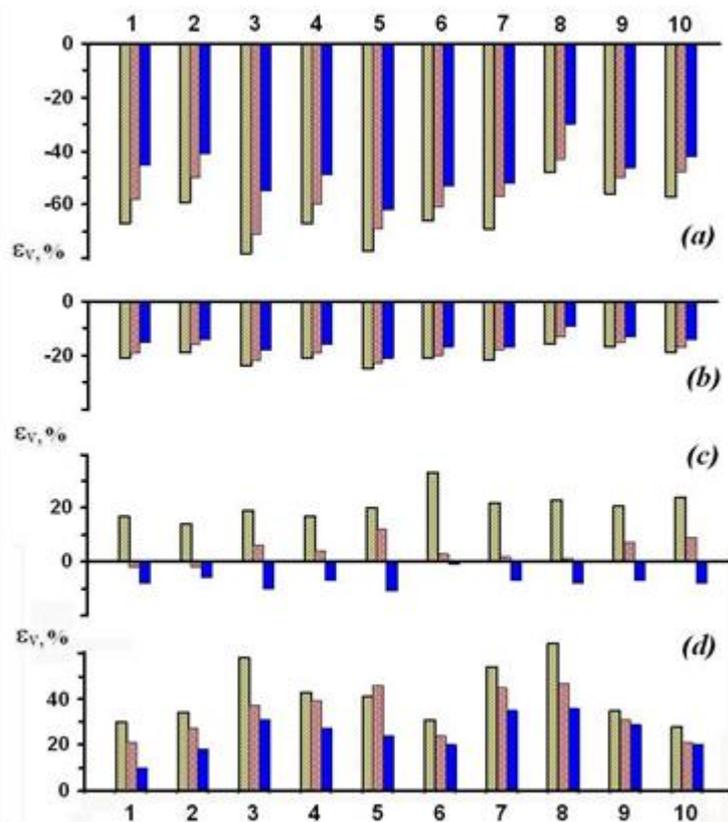
Результаты и их обсуждение

Наиболее интересные данные, полученные описанным выше способом применительно к объектам настоящего исследования, представлены в таблице и на рисунке, исходя из которых можно сделать следующие выводы.

Общие степени активирования (+) либо ингибирования (–) жизнедеятельности *Staphylococcus aureus*, определявшиеся по стандартной визуальной (ϵ_s , %) и вновь разработанной инструментальной (ϵ_V , %) методикам при разной продолжительности инкубирования *S. aureus* в присутствии разных количеств различных растительных экстрактов

N	C_{TE}	k	Номер экстракта									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	3	24	-32±18	-29±16	-36±21	-34±19	-43±24	-33±20	-36±20	-21±12	-29±18	-29±16
	1.5	24	-11±6	-10±5	-10±7	-11±6	-15±8	-10±7	-12±7	-6±3	-9±5	-10±5
	0.5	24	-6±3	-4±2	-5±3	-5±3	-7±4	-1±1	-5±3	-4±2	-5±2	-6±3
	0.2	24	10±6	18±10	28±15	27±16	24±13	17±9	35±19	36±20	26±14	20±11
2	3	2*	-67±9	-59±7	-78±9	-67±8	-77±9	-66±8	-69±9	-48±7	-56±7	-57±7
		4*	-58±7	-50±7	-71±9	-60±8	-69±8	-61±8	-57±7	-43±6	-50±7	-48±6
		6**	-45±7	-41±6	-55±7	-49±6	-62±9	-53±7	-52±7	-30±4	-46±6	-42±6
	1.5	2*	-21±3	-19±2	-24±3	-21±3	-25±3	-21±3	-22±3	-16±2	-17±2	-19±3
		4*	-19±3	-16±2	-22±3	-19±3	-23±3	-20±3	-18±2	-13±2	-15±2	-17±2
		6**	-15±2	-14±2	-18±2	-16±2	-21±3	-17±2	-17±2	-9±1	-13±2	-14±2
	0.5	2*	17±2	14±2	19±3	17±2	20±3	33±4	22±3	23±3	21±3	24±3
		4*	-2±0,3	-2±0,3	6±1	4±0,7	12±2	3±0,5	2±0,3	1±0,2	7±1	9±1
		6**	-8±1	-6±1	-10±1	-7±1	-11±2	-1±0,2	-7±1	-8±1	-7±1	-8±1
	0.2	2*	30±4	34±4	58±6	43±5	41±5	31±4	54±6	64±7	35±4	28±4
		4*	21±3	27±4	37±5	39±5	46±6	24±4	45±6	47±6	31±4	21±3
		6**	10±1	18±2	31±4	27±4	24±3	20±3	35±5	36±5	29±4	20±3

Примечания. Номера цельных докритических тестируемых экстрактов, получаемых с помощью сжиженного углекислого газа ($CO_2TЭ$) соответствуют следующему растительному сырью, из которого их получали: 1 – *Glycyrrhiza glabra*, 2 – *Malva sylvestris*, 3 – *Calendula officinalis*, 4 – *Helichrysum arenarium*, 5 – *Chelidonium majus*, 6 – *Betula pendula*, 7 – *Juglans regia*, 8 – *Viscum album*, 9 – *Hippophae rhamnoides*, 10 – *Piper nigrum*. Значения N соответствуют «стандартной» визуальной (1) и вновь разработанной инструментальной (2) методикам расчёта ϵ . C_{TE} (об. %) – концентрация $CO_2TЭ$ в тестовой среде; k (ч.) – продолжительность инкубирования тестовой среды. Индексы «*» и «**» обозначают строки значений ϵ_V , с 90 и 95%-ной достоверностью парно, линейно коррелирующих [Korn, Korn, 1968; Johnson, Jeffi, 1983; Sibirtsev, 2006] со значениями ϵ_s , определявшимися для тех же экстрактов при той же C_{TE} .



Сравнительная биологическая активность тестированных экстрактов (ТЭ; см. таблицу) в отношении *S. aureus* при разных концентрациях ТЭ в тестовой среде (а – 3, б – 1.5, с – 0.5%, д – 0.2 об.%).

По оси ординат отложены значения ϵ_v (%), определявшиеся по формуле 1 через 2, 4 и 6 ч. инкубирования *S. aureus* в присутствии и в отсутствие ТЭ. По оси абсцисс отложены номера сырья, из которого получали ТЭ (см. примечания к таблице). Относительные ошибки определения величин ϵ_v для всех приведенных на рисунке их значений находятся в диапазоне от 10 до 20%

С изменением концентраций ТЭ в тестовой среде (C_{TE}) может меняться в некоторой степени и характер их как пребиотической, так и антимикробной активности относительно других тестируемых образцов (см. рисунок). Причем особенно отчетливо это было видно на примере $C_{TE} < 1.5$ об.%.

Также разную как пребиотическую, так и антимикробную активность имели ТЭ, полученные из разных частей разных растений. В частности, это отчетливо видно на примере сравнения антимикробной активности экстрактов, полученных из корней чистотела большого, побегов омелы белой и семян перца чёрного, для которых при $C_{TE} = 3$ об.% $\epsilon_{v,6}$ составили -62 ± 9 , -30 ± 4 и $-42 \pm 5\%$ (см. таблицу для экстрактов № 5, 8 и 10), либо на примере сравнения пребиотической активности тех же экстрактов и экстракта, полученного из корней солодки голой (см. таблицу для экстракта № 1), для которых при $C_{TE} = 0.2$ об.% $\epsilon_{v,6}$ составили 24 ± 3 , 36 ± 5 , 20 ± 3 и $10 \pm 1\%$.

В целом же, среди исследованных нами экстрактов наиболее активные пролонгированные (долгострочные) антимикробные свойства (количественно характеризуемые в таблице величиной $\epsilon_{v,6}$,

определяемой через 6 ч. инкубации тестовых микроорганизмов в присутствии ТЭ) проявили экстракты из корней чистотела большого (№ 5) и цветов календулы лекарственной (№ 3) при $C_{TE} \geq 3$ об.%. В то время как наиболее активные пролонгированные пребиотические свойства проявили экстракты из побегов омелы белой (№ 8) и листьев грецкого ореха (№ 7) при $C_{TE} = 0.2$ об.%.

Начальная (краткосрочная) биологическая активность ТЭ (количественно характеризуемая в таблице величиной $\epsilon_{v,2}$, определяемой через 2 ч. инкубации тестовых микроорганизмов в присутствии ТЭ) в большинстве случаев была достоверно больше их пролонгированной активности (см. рисунок и таблицу). Это объяснялось, вероятно, как адаптацией тестовых микроорганизмов к присутствию ТЭ, так и уменьшением с течением времени активности и общего количества БАВ, содержащихся в ТЭ, приходящегося на один тестовый микроорганизм. Причем последнее имело место потому, что общее количество микроорганизмов во время инкубации содержащей их тестовой среды, увеличивалось. Тогда как активность и общее количество БАВ, содержащихся в ТЭ, в ходе инкубации содержащей их тестовой среды уменьшались,

вследствие биохимической и физико-химической денатурации и деструкции упомянутых БАВ.

Среднесрочная (по времени взаимодействия ТЭ с тестовыми микроорганизмами) биологическая активность ТЭ (количественно характеризуемая в таблице величиной $\varepsilon_{V,4}$, определяемой через 4 ч. инкубации тестовых микроорганизмов в присутствии ТЭ) в большинстве случаев была промежуточной по величине между величинами $\varepsilon_{V,2}$ и $\varepsilon_{V,6}$ тех же ТЭ (см. таблицу и рисунок).

С уменьшением концентраций ТЭ в тестовой среде их антимикробная активность в отношении тестовых микроорганизмов монотонно уменьшалась, а пребиотическая активность, наоборот, увеличивалась. Так например, при $C_{TE} = 3, 1.5$ и 0.2 об.% величины $\varepsilon_{V,6}$ у экстракта из травы бессмертника песчаного были равны $-49 \pm 6, -16 \pm 2$ и $27 \pm 4\%$; аналогичные величины у экстракта из корней чистотела большого были равны $-62 \pm 9, -21 \pm 3$ и $24 \pm 3\%$ соответственно (см. таблицу для экстрактов № 4 и 5).

При этом исследовавшиеся действующие концентрации ТЭ в диапазоне от 0.2 до 3 об.% оказались существенно большими, чем, например, у такого широко используемого синтетического антисептика широкого спектра действия, как хлоргексидин биглюконат, который уже при $C_{TE} = 0.0001$ и 0.001 об.% демонстрировал в отношении *S. aureus* величины $\varepsilon_{V,6} = -45 \pm 5$ и $-91 \pm 3\%$. Однако хлоргексидин биглюконат не предназначен для внутреннего применения, а преимущества растительных экстрактов перед антибиотиками уже были рассмотрены нами во введении к этой статье. Кроме того, исходя из этих данных, мы видим, что методика микробиологического тестирования, представленная в этой статье, может быть успешно использована для оценки пребиотических и антимикробных свойств не только растительных экстрактов, но и многих других препаратов и материалов (в том числе искусственно синтезированных).

Кроме того, в таблице представлены значения ε , полученные с помощью «стандартной» методики микробиологического тестирования [Sutherland et al., 2009; Das, Anjeza, Mandal, 2012; Al-Zubairi, Al-Mamary, Al-Ghasani, 2017; Luzhnova et al., 2018; Zhuravlev, Voronchikhina, 2018]. Последняя предусматривала визуальный подсчет колоний тестовых микроорганизмов, выросших после 24 ч. инкубации их при $37 \pm 0.1^\circ\text{C}$ на плотной питательной среде (имеющей тот же состав, что и использовавшаяся нами жидкая питательная среда, но с добавлением 20 г/л микробиологического агар-агара) в присутствии и в отсутствие заданных количеств ТЭ с последующим расчетом величины ε_S по формуле 2. При этом высевание проводилось для нескольких последовательных разведений тестовой среды – каждое в несколько параллельных

чашек Петри, после чего отбирались те разведения, при использовании которых на одной чашке Петри выросло не менее 10 и не более 50 колоний тестовых микроорганизмов. И данные по этим разведениям соответствующим образом статистически обрабатывались [Korn, Korn, 1968; Johnson, Jeffi, 1983; Sibirtsev, 2006].

Из сопоставления значений величин ε_S и ε_V , полученных для одинаковых концентраций одних и тех же ТЭ, видно, что предлагаемый нами инструментальный метод микробиологического тестирования по сравнению с аналогичным «стандартным» визуальным методом имеет существенно меньшую длительность (требуя для своего проведения от 3 до 7 ч. вместо 26 ч. по «стандартному» методу), материалоёмкость и трудоёмкость (т.к. для проведения «стандартного» метода необходимо большое количество разведений тестовых сред, использование для каждого разведения значительных объемов плотных питательных сред, визуальный подсчет колоний микроорганизмов, выросших на этих средах и т.д.). Кроме того, для величины ε_S , определяемой «стандартным» визуальным методом микробиологического тестирования, характерна существенно большая ошибка измерения, чем для величины ε_V , определяемой предлагаемым нами инструментальным биотестовым методом. Помимо этого, для каждой концентрации каждого из ТЭ предлагаемым нами инструментальным методом можно было получить, как минимум, три (а при необходимости, и больше) значений ε_V (отражающих временную динамику изменения ε) вместо всего лишь одного значения ε_S , получаемого «стандартным» визуальным методом. И наконец, представленная здесь инструментальная методика микробиологического тестирования даёт гораздо больше возможностей для автоматизации всего процесса анализа по сравнению с аналогичными «стандартными» визуальными методами его проведения.

Заключение

Таким образом, мы убедились, что с помощью представленной в настоящей работе методики можно существенно более экспрессно (в течение нескольких часов, а не суток), объективно (за счёт уменьшения роли субъективного человеческого фактора при замене в процессе измерений визуальных методов на инструментальные) и информативно, чем при использовании стандартных методов, оценивать влияние на динамику жизненной активности тестовых микроорганизмов различных образцов фармацевтической, косметической, пищевой, кормовой и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок к оной (включая разные растительные экстракты). При этом большая информативность предлагаемой методики до-

стигается за счёт того, что, во-первых, инструментальные способы измерения чувствительней визуальных (применяемых в стандартных методах); во-вторых, предлагаемая методика даёт возможность оценивать динамику изменения жизненной активности микроорганизмов на множестве произвольно выбираемых временных отрезков (в отличие от стандартных процедур, где измерения производятся лишь один раз, в конце периода инкубации тестируемых образцов); и в-третьих, предлагаемая методика предполагает оценку изменения жизненной активности микроорганизмов сразу по нескольким независимым показателям (таким, как интенсивность упругого светорассеяния, рН и электропроводность тестовой среды), а не только по одному (мутности тестовой среды, числу колоний микроорганизмов или величине зоны задержки их роста), как в случае применения стандартных методик. Кроме того, представленная здесь методика существенно менее материалоемка и трудоёмка по сравнению с аналогичными стандартными методами, а также даёт гораздо больше возможностей для автоматизации всего процесса анализа.

Всё это делает представленную методику более приемлемой для массового применения, чем ранее используемые стандартные методы микробиологического тестирования образцов различной продукции. Последнее же является весьма актуальным в свете того, что одним из важных условий обеспечения должного уровня безопасности и качества жизни людей является не только своевременное и качественное тестирование пребиотических и антимикробных свойств новой фармацевтической, косметической, пищевой, кормовой и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок к оной (ассортимент которых всё увеличивается, а сроки появления сокращаются); но и постоянный широкий мониторинг пребиотических и антимикробных свойств уже допущенной к массовому употреблению продукции с целью выявления недоброкачественных, либо успевших до окончательной реализации испортиться или претерпеть химическое или биологическое заражение её образцов.

В отношении же исследованных нами растительных экстрактов следует отметить следующее. Как мы убедились, экстракты, полученные из разных частей разных растений, имеют разную биологическую активность. С изменением концентраций растительных экстрактов может меняться в некоторой степени и характер их биологической активности относительно других тестируемых образцов. Среди исследованных экстрактов наиболее активные пролонгированные (долгострочные) антимикробные свойства проявили экстракты из корней чистотела большого (*Chelidonium majus*) и

цветов календулы лекарственной (*Calendula officinalis*) при $C_{TE} > 3$ об.%. А наиболее активные пролонгированные пребиотические свойства проявили экстракты из побегов омелы белой (*Viscum album*) и листьев грецкого ореха (*Juglans regia*) при $C_{TE} = 0.2$ об.%.

Начальная биологическая активность ТЭ в большинстве случаев была достоверно больше их пролонгированной активности. В то время как среднесрочная (по времени взаимодействия ТЭ с тестовыми микроорганизмами) биологическая активность ТЭ, как правило, была промежуточной по величине и лишь иногда превышала не только пролонгированную, но и начальную биологическую активность тех же экстрактов. При этом с уменьшением концентраций ТЭ в тестовой среде их антимикробная активность монотонно уменьшалась, а пребиотическая активность увеличивалась.

Таким образом, очевидно, что характер биологической активности фармакологической, пищевой и иной продукции, а также отдельных ингредиентов и добавок к оной (таких, например, как растительные экстракты) в значительной степени определяется не только составом присутствующих в тестируемых образцах биологически активных веществ, но и их концентрацией, а также временем взаимодействия с живыми организмами (такими, как сам человек, его микробиота и т.п.). Причем, точный характер этих зависимостей в большинстве случаев может быть установлен лишь эмпирически, с помощью значительного числа тестовых испытаний. А последние удобно проводить, используя представленную в этой работе методику, которая позволяет существенно более экспрессно, объективно и информативно, а также менее трудоёмко и материалоемко, чем при использовании стандартных визуальных микробиологических методов, оценивать влияние на динамику жизненной активности микроорганизмов различных тестируемых образцов.

Список литературы

- Смирнова И.Р., Дудник Т.Л., Сивченко С.В. Контроль качества сырья и готовой продукции на предприятиях индустрии питания. М.: Логос, 2014. 151 с.
- Alok S. et al. Herbal antioxidant in clinical practice: a review // Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. 2014. Vol. 4, № 1. P. 78–84.
- Al-Zubairi A., Al-Mamary M.A., Al-Ghasani E. The antibacterial, antifungal and antioxidant activities of essential oil from different aromatic plants // Global Advanced Research Journal of Medicine and Medical Sciences. 2017. Vol. 6, № 9. P. 224–233. <http://garj.org/garjmms>
- Atarés L., Chiralt A. Essential oils as additives in

- biodegradable films and coatings for active food packaging // *Trends in Food Science & Technology*. 2016. Vol. 48. P. 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>
- Bakkali F.* et al. Biological effects of essential oils – a review // *Food and chemical toxicology*. 2008. Vol. 46, № 2. P. 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Burt S.* Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review // *International journal of food microbiology*. 2004. Vol. 94, № 3. P. 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Coelho J.* et al. Supercritical CO₂ extracts and volatile oil of basil (*Ocimum basilicum L.*) comparison with conventional methods // *Separations*. 2018. Vol. 5, № 2. P. 21–33. <https://doi.org/10.3390/separations5020021>
- Das S., Anjeza C., Mandal S.* Synergistic or additive antimicrobial activities of Indian spice and herbal extracts against pathogenic, probiotic and food-spoiler microorganisms // *International Food Research Journal*. 2012. Vol. 19, № 3. P. 1185–1191.
- Donsì F., Ferrari G.* Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food // *Journal of Biotechnology*. 2016. Vol. 233. P. 106–120. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.07.005>
- Fani M., Kohanteb J.* In vitro antimicrobial activity of thymus vulgaris essential oil against major oral pathogens // *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*. 2017. Vol. 22, № 4. P. 660–666. <https://doi.org/10.1177/2156587217700772>
- Fatima A.* et al. Benefits of herbal extracts in cosmetics: a review // *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. 2013. Vol. 4, № 10. P. 3746–3760. [https://doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.4\(10\).3746-60](https://doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.4(10).3746-60)
- Ibadullaeva G.S.* et al. Chemical composition of the CO₂-extract of *Acorus Calamus* obtained under subcritical conditions // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2015. Vol. 49, № 6. P. 388–392.
- Johnson K., Jeffi V.* Numerical Methods in Chemistry. New York: Cambridge University Press, 1983.
- Ju J.* et al. Application of edible coating with essential oil in food preservation // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019. Vol. 59, № 15. P. 2467–2480. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1456402>
- Lazarotto M.* et al. Chemical composition and antibacterial activity of bergamot peel oil from supercritical CO₂ and compressed propane extraction // *Open Food Science Journal*. 2018. Vol. 10, № 1. P. 16–23. <https://doi.org/10.2174/1874256401810010016>
- Luzhnova S.A.* et al. Synthesis and antimicrobial activity of 5-(arylmethylidene)-2,4,6-pyrimidine-2,4,6(1*H*,3*H*,5*H*)-triones // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2018. Vol. 52, № 6. P. 506–509.
- Kokina M.S.* et al. Influence of pleurotus ostreatus beta-glucans on the growth and activity of certain lactic acid bacteria // *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. 2018. Vol. 19, № 4. P. 465–471.
- Korn G., Korn T.* Mathematical Handbook for Scientists and Engineers: Definitions, Theorems and Formulas for Reference and Review. McGraw Hill Book Company, 1968.
- Merghni A.* et al. Antibacterial and antibiofilm activities of *Laurus nobilis L.* essential oil against *Staphylococcus aureus* strains associated with oral infections // *Current Research in Translational Medicine*. 2016. Vol. 64, № 1. P. 29–34. <https://doi.org/10.1016/j.patbio.2015.10.003>
- Pavela R., Benelli G.* Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints // *Trends in Plant Science*. 2016. Vol. 21, № 12. P. 1000–1007. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>
- Radice M.* et al. Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters. A systematic review // *Fitoterapia*. 2016. Vol. 114. P. 144–162. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2016.09.003>
- Ribeiro-Santos R.* et al. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends // *Trends in Food Science & Technology*. 2017. Vol. 61. P. 132–140. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.021>
- Rodino S., Butu M.* Functional and Medicinal Beverages. Academic Press. 2019. Vol. 11: The Science of Beverages. P. 73–108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816397-9.00003-0>
- Routa P.K., Naika S.N., Raob Y.R.* Subcritical CO₂ extraction of floral fragrance from *Quisqualis indica* // *Journal of Supercritical Fluids*. 2008. Vol. 45, № 2. P. 200–205. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2008.02.011>
- Sahenaal F.* et al. Application of supercritical CO₂ in lipid extraction – a review // *Journal of Food Engineering*. 2009. Vol. 95, № 2. P. 240–253. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.026>
- Sibirtsev V.S., Garabagiu A.V., Ivanov S.D.* Mechanisms of interactions of some phenylbenzoimidazole and phenylindole dyes with DNA // *Bioorganicheskaia Khimiia*. 1994. Vol. 20, № 6. P. 650–668.
- Sibirtsev V.S., Garabadzhiu A.V., Ivanov S.D.* Mechanisms of variation in fluorescent properties of bis-benzimidazole dyes // *Bioorganicheskaya Khimiya*. 1995. Vol. 21, № 9. C. 731–736.

- Sibirtsev V.S., Glibin E.N., Ivanov S.D. Variation of spectral properties of actinocin derivatives due to equilibrium transformations // *Russian Journal of Organic Chemistry*. 2000. Vol. 36, №.12. P. 1812–1818.
- Sibirtsev V.S. Analysis of benzo[a]pyrene deactivation mechanisms in rats // *Biochemistry (Moscow)*. 2006. Vol. 71, №. 1. P. 90–98. <https://doi.org/10.1134/S0006297906010147>
- Sibirtsev V.S. Fluorescent DNA probes: study of mechanisms of changes in spectral properties and features of practical application // *Biochemistry (Moscow)*. 2007. Vol. 72, № 8. P. 887–900. <https://doi.org/10.1134/S0006297907080111>
- Sibirtsev V.S., Garabadzhiu A.V. Spectral study of the interaction of DNA with benzothiazolyl-benz-a-chromene // *Biochemistry (Moscow)*. 2007. Vol. 72, № 8. P. 901–909. <https://doi.org/10.1134/S0006297907080123>
- Sibirtsev V.S., Kulakov A.Ju., Stroev S.A. Conductometry biotesting as applied to valuation of the pro- and antibacterial properties of catolites and anolites // *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. 2016. Vol. 16, № 3. P. 573–576. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2016-16-3-573-576>
- Sibirtsev V.S., Olekhovich R.O., Samuylova E.O. Assessment of integral toxicity of water resources by instrumental methods of analysis // *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM) Conference Proceedings*. 2017, Vol. 17, № 61. P. 507–514. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/61/S25.066>
- Sibirtsev V.S. Biological test methods based on fluorometric genome analysis // *Journal of Optical Technology*. 2017. Vol. 84, № 11. P. 787–791. <https://doi.org/10.1364/JOT.84.000787>
- Sibirtsev V.S., Maslova A.Yu. Complex research of E.coli vital activity dynamics in presence of transition metal ions // *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, 2019. Vol. 19, № 2. P. 236–241. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-2-236-241>
- Sibirtsev V.S. et al. An integrated method of instrumental microbiotesting of environmental safety of various products, wastes, and territories // *Doklady Biological Sciences*. 2019. Vol. 485, № 1. P. 59–61. <https://doi.org/10.1134/S001249661902011X>
- Sibirtsev V.S., Garabadgiu A.V., Shvets V.I. Fluorescent DNA probes: study of properties and methods of application // *Doklady Biochemistry and Biophysics*. 2019. Vol. 489, № 5. P. 403–406. <https://doi.org/10.1134/S1607672919060127>
- Sutherland J. et al. Invitroeffects of food extracts on selected probiotic and pathogenic bacteria // *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. 2009. Vol. 60, № 8. P. 717–727. <https://doi.org/10.3109/09637480802165650>
- Tripathi A.K. et al. Herbal antidiabetics: a review // *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. 2011. Vol. 2, № 1. P. 30–37.
- Valle Jr.D.L. et al. Antimicrobial activities of methanol, ethanol and supercritical CO₂ extracts of *Philippine Piper betle L.* on clinical isolates of Gram positive and Gram negative bacteria with transferable multiple drug resistance // *PLOS ONE*. 2016. Vol. 11, № 1. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146349>
- Vieitez I. et al. Antioxidant and antibacterial activity of different extracts from herbs obtained by maceration or supercritical technology // *Journal of Supercritical Fluids*. 2018. Vol. 133. P. 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.025>
- Yuan G., Chen X., Li D. Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems // *Food Research International*. 2016. Vol. 89. P. 117–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004>
- Zhuravlev O.E., Voronchikhina L.I. Synthesis and antimicrobial activity of n-decylpyridinium salts with inorganic anions // *Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2018. Vol. 52, № 4. P. 312–315.

References

- Alok S., Jain S.K., Verma A., Kumar M., Mahor A., Sabharwal M. Herbal antioxidant in clinical practice: a review. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*. V. 4, N 1 (2014): pp. 78–84.
- Al-Zubairi A., Al-Mamary M. A., Al-Ghasani E. The antibacterial, antifungal and antioxidant activities of essential oil from different aromatic plants. *Global Advanced Research Journal of Medicine and Medical Sciences*. V. 6, N 9 (2017): pp. 224–233. Available at: <http://garj.org/garjmms>
- Atarés L., Chiralt A. Essential oils as additives in biodegradable films and coatings for active food packaging. *Trends in Food Science & Technology*. V. 48 (2016): pp. 51–62. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2015.12.001>
- Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D., Idaomar M. Biological effects of essential oils – a review. *Food and chemical toxicology*. V. 46, N 2 (2008): pp. 446–475. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
- Burt S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review. *International journal of food microbiology*. V. 94, N 3 (2004): pp. 223–253. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2004.03.022>
- Coelho J., Veiga J., Karmali A., Nicolai M., Pinto Reis C., Nobre B., Palavra A. Supercritical CO₂ extracts and volatile oil of basil (*Ocimum basilicum L.*) comparison with conventional methods.

- Separations*. V. 5, N 2 (2018): pp. 21-33. <https://doi.org/10.3390/separations5020021>
- Das S., Anjeza C., Mandal S. Synergistic or additive antimicrobial activities of Indian spice and herbal extracts against pathogenic, probiotic and food-spoiler microorganisms. *International Food Research Journal*. V. 19, N 3 (2012): pp. 1185-1191.
- Donsi F., Ferrari G. Essential oil nanoemulsions as antimicrobial agents in food. *Journal of Biotechnology*. V. 233 (2016): pp. 106-120. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2016.07.005>
- Fani M., Kohanteb J. In vitro antimicrobial activity of thymus vulgaris essential oil against major oral pathogens. *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*. V. 22, N 4 (2017): pp. 660-666. <https://doi.org/10.1177/2156587217700772>
- Fatima A., Alok S., Agarwal P., Singh P.P., Verma A. Benefits of herbal extracts in cosmetics: a review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*. V. 4, N 10 (2013): pp. 3746-3760. [https://doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.4\(10\).3746-60](https://doi.org/10.13040/ijpsr.0975-8232.4(10).3746-60)
- Ibadullaeva G.S., Pichkhadze G.M., Ustenova G.O., Dil'barkhanov R., Tikhonova S.A., Grud'ko V.A., Bezv N.Yu., Yudina Yu.V. Chemical composition of the CO₂-extract of *Acorus Calamus* obtained under subcritical conditions. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. V. 49, N 6 (2015): pp. 388-392.
- Johnson K., Jeffi V. Numerical Methods in Chemistry. New York, Cambridge University Press, 1983.
- Ju J., Xie Y., Guo Y., Cheng Y., Qian H., Yao W. Application of edible coating with essential oil in food preservation. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. V. 59, N 15 (2019): 2467-2480. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1456402>
- Kokina M.S., Frioui M., Shamtsyan M., Sibirtsev V.S., Krasnikova L.V., Konusova V.G., Simbirtsev A.S. Influence of pleurotus ostreatus beta-glucans on the growth and activity of certain lactic acid bacteria. *Scientific Study and Research: Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. V. 19, N 4 (2018): pp. 465-471.
- Korn G., Korn T. Mathematical Handbook for Scientists and Engineers. Definitions, Theorems and Formulas for Reference and Review. McGraw Hill Book Company, 1968.
- Lazarotto M., Valério A., Boligon A., Tres M.V., Scapinello J., Dal Magro J., Oliveira J.V. Chemical composition and antibacterial activity of bergamot peel oil from supercritical CO₂ and compressed propane extraction. *Open Food Science Journal*. V. 10, N 1 (2018): pp. 16-23. <https://doi.org/10.2174/1874256401810010016>
- Luzhnova S.A., Tyrkov A.G., Gabitova N.M., Yurtaeva E.A. Synthesis and antimicrobial activity of 5-(arylmethylidene)-2,4,6-pyrimidine-2,4,6(1H,3H,5H)-triones. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. V. 52, N 6 (2018): pp. 506-509.
- Merghni A., Marzouki H., Hentati H., Aouni M., Mastouri M. Antibacterial and antibiofilm activities of *Laurus nobilis* L. essential oil against *Staphylococcus aureus* strains associated with oral infections. *Current Research in Translational Medicine*. V. 64, N 1 (2016): pp. 29-34. <https://doi.org/10.1016/j.patbio.2015.10.003>
- Pavela R., Benelli G. Essential Oils as Ecofriendly Biopesticides? Challenges and Constraints. *Trends in Plant Science*. V. 21, N 12 (2016): pp. 1000-1007. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.005>
- Radice M., Manfredini S., Ziosi P., Dissette V., Buso P., Fallacara A., Vertuani S. Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters. A systematic review. *Fitoterapia*. V. 114 (2016): pp. 144-162. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2016.09.003>
- Ribeiro-Santos R., Andrade M., Melo N.R., Sanches-Silva A. Use of essential oils in active food packaging: Recent advances and future trends. *Trends in Food Science & Technology*. V. 61 (2017): pp. 132-140. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.11.021>
- Rodino S., Butu M. Functional and Medicinal Beverages. V. 11: The Science of Beverages. Academic Press, 2019, pp. 73-108. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816397-9.00003-0>
- Routa P.K., Naika S.N., Raob Y.R. Subcritical CO₂ extraction of floral fragrance from *Quisqualis indica*. *Journal of Supercritical Fluids*. V. 45, N 2 (2008): pp. 200-205. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2008.02.011>
- Sahenaal F., Zaidula S.M., Jinapa S., Karimb A.A., Abbasa K.A., Norulainic N.A.N., Omarb A.K.M. Application of supercritical CO₂ in lipid extraction – a review. *Journal of Food Engineering*. V. 95, N 2 (2009): pp. 240-253. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.06.026>
- Sibirtsev V.S., Garabadzhiu A.V., Ivanov S.D. Mechanisms of variation in fluorescent properties of bis-benzimidazole dyes. *Bioorganicheskaya Khimiya*. V. 21, N 9 (1995): pp. 731-736.
- Sibirtsev V.S., Garabadzhiu A.V., Ivanov S.D. Spectral properties of bisbenzimidazole dyes upon interaction with DNA. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. V. 23, N 12 (1997): pp. 857-866.
- Sibirtsev V.S., Glibin E.N., Ivanov S.D. Variation of spectral properties of actinocin derivatives due to equilibrium transformations. *Russian Journal of Organic Chemistry*. V. 36, N 12 (2000): pp. 1812-1818.
- Sibirtsev V.S. Analysis of benzo[a]pyrene deactivation mechanisms in rats. *Biochemistry (Moscow)*. V. 71, N 1. (2006): pp. 90-98. <https://doi.org/10.1134/S0006297906010147>
- Sibirtsev V.S. Fluorescent DNA probes: study of

- mechanisms of changes in spectral properties and features of practical application. *Biochemistry* (Moscow). V. 72, N 8 (2007): pp. 887-900. <https://doi.org/10.1134/S0006297907080111>
- Sibirtsev V.S., Garabadzhiu A.V. Spectral study of the interaction of DNA with benzothiazolyl-benz-a-chromene. *Biochemistry* (Moscow). V. 72, N 8 (2007): pp. 901-909. <https://doi.org/10.1134/S0006297907080123>
- Sibirtsev V.S., Krasnikova L.V., Schleikin A.G., Stroev S.A., Naumov I.A., Olekhovich R.O., Tereschenko V.F., Shabanova E.M., Mussa Al-Khatib. New biotesting method with the application of modern impedance technologies. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. V. 15, N 2 (2015): pp. 275-284. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2015-15-2-275-284>
- Sibirtsev V.S., Kulakov A.Ju., Stroev S.A. Conductometry biotesting as applied to valuation of the pro- and antibacterial properties of catolites and anolites. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*. V. 16, N 3 (2016): pp. 573-576. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2016-16-3-573-576>
- Sibirtsev V.S., Olekhovich R.O., Samuylova E.O. Assessment of integral toxicity of water resources by instrumental methods of analysis. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management (SGEM) Conference Proceedings*. V. 17, N 61 (2017): pp. 507-514. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/61/S25.066>
- Sibirtsev V.S. Investigation of mechanisms of change in spectral properties during interaction of benzazole, indole, and phenanthridium compounds with DNA. *Journal of Optical Technology*. V. 84, N 5 (2017): pp. 294-301. <https://doi.org/10.1364/JOT.84.000294>
- Sibirtsev V.S. Biological test methods based on fluorometric genome analysis. *Journal of Optical Technology*. V. 84, N 11 (2017): pp. 787-791. <https://doi.org/10.1364/JOT.84.000787>
- Sibirtsev V.S., Maslova A.Yu. Complex research of E.coli vital activity dynamics in presence of transition metal ions. *Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics*, V. 19, N 2 (2019): pp. 236-241. <https://doi.org/10.17586/2226-1494-2019-19-2-236-241>
- Sibirtsev V.S., Uspenskaya M.V., Garabadzhiu A.V., Shvets V.I. An integrated method of instrumental microbiotesting of environmental safety of various products, wastes, and territories. *Doklady Biological Sciences*. V. 485, N 1 (2019): pp. 59-61. <https://doi.org/10.1134/S001249661902011X>
- Sibirtsev V.S., Garabadzhiu A.V., Shvets V.I. Fluorescent DNA probes: study of properties and methods of application. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, V. 489, N 5 (2019): pp. 403-406. <https://doi.org/10.1134/S1607672919060127>
- Smirnova I.R., Dudnik T.L., Sivchenko S.V. *Kontrol' kačestva syr'ja i gotovoj produkcii na predpriyatiyach industrii pitaniya* [Quality control of raw materials and finished products at food industry enterprises]. Moscow, Logos Publ., 2014. 151 p. (In Russ.).
- Sutherland J., Miles M., Hedderley D., Li J., Devoy S., Sutton K., Lauren D. Invitroeffects of food extracts on selected probiotic and pathogenic bacteria. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*. V. 60, N 8 (2009): pp. 717-727. <https://doi.org/10.3109/09637480802165650>
- Tripathi A.K., Bhoyar P.K., Baheti J. R., Biyani D.M., Khaliq M., Kothmire M.S., Bhanarkar A.B. Herbal antidiabetics: a review. *International Journal of Research in Pharmaceutical Sciences*. V. 2, N 1 (2011): pp. 30-37.
- Valle Jr.D.L., Cabrera E.C., Puzon J.J.M., Rivera W.L. Antimicrobial activities of methanol, ethanol and supercritical CO₂ extracts of *Philippine Piper betle L.* on clinical isolates of Gram positive and Gram negative bacteria with transferable multiple drug resistance. *PLOS ONE*. V. 11, N 1 (2016). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0146349>
- Vieitez I., Maceiras L., Jachmanián I., Alborés S. Antioxidant and antibacterial activity of different extracts from herbs obtained by maceration or supercritical technology. *Journal of Supercritical Fluids*. V. 133 (2018): pp. 58-64. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2017.09.025>
- Yuan G., Chen X., Li D. Chitosan films and coatings containing essential oils: The antioxidant and antimicrobial activity, and application in food systems. *Food Research International*. V. 89 (2016): pp. 117-128. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.10.004>
- Zhuravlev O.E., Voronchikhina L.I. Synthesis and antimicrobial activity of n-decylpyridinium salts with inorganic anions. *Pharmaceutical Chemistry Journal*. V. 52, N 4 (2018): pp. 312-315.

Поступила в редакцию 21.10.2020

Об авторах

Сибирцев Владимир Станиславович, кандидат химических наук, доцент
Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0829-5213>
197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 14;
vs1969r@mail.ru; 8-9046015978

Нечипоренко Ульяна Юрьевна, младший научный сотрудник
Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический университет
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4102-1129>
197376, Россия, Санкт-Петербург, ул. Профессора Попова, 14; unechiporenko@yandex.ru

About the authors

Sibirtsev Vladimir Stanislavovich, candidate of chemistry, associate professor
Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0829-5213>
197376, Russia, Saint Petersburg, Professor Popov st., 14; vs1969r@mail.ru; 8-9046015978

Nechiporenko Ulyana Yuryevna, junior researcher
Saint Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4102-1129>
197376, Russia, Saint Petersburg, Professor Popov st., 14; unechiporenko@yandex.ru

Информация для цитирования:

Сибирцев В.С., Нечипоренко У.Ю. Методика опико-электрохимического микробиологического тестирования в применении к сравнительному анализу пребиотических и антимикробных свойств различных растительных экстрактов // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 1. С. 26–38. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-26-38.

Sibirtsev V.S., Nechiporenko U.Yu. [The technique of optical-electrochemical microbiological testing as applied to the comparative analysis of the prebiotic and antimicrobial properties of various plant extracts]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2021): pp. 26-38. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-26-38.

ЗООЛОГИЯ

УДК 597.2/.5

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-39-52.

С. Н. Казаринов, И. Н. Мерзляков, С. В. Поносов, Л. В. Комарова

Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПермНИРО»), Пермь, Россия

ВИДОВОЙ СОСТАВ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИХТИОФАУНЫ КАМСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Представлены сведения о современном составе ихтиофауны Камского водохранилища, основанные на многолетних исследованиях Пермского отделения ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии» (ФГБНУ «ВНИРО») (до 2019 г. – Пермское отделение ФГБНУ «ГосНИОРХ») за период 2000–2020 гг. Подтверждена закономерность увеличения видового разнообразия ихтиофауны в направлениях север-юг на примере ряда водохранилищ Волжско-Камского каскада. Приведены данные об относительной численности видов в разрезе принятой гидрологической схемы районирования Камского водохранилища, установлен видовой состав ихтиофауны, включающий 31 вид рыб из 11 семейств, относящихся к 7 отрядам. Рассмотрены особенности распределения видового состава ихтиофауны и относительной численности рыб по районам Камского и Чусовского плесов водохранилища, как на современном этапе существования водоема, так и в сравнении с ретроспективными данными.

Ключевые слова: Камское водохранилище; ихтиофауна водохранилищ.

S. N. Kazarinov, I. N. Merzlyakov, S. V. Ponosov, L. V. Komarova

Perm Branch «VNIRO», Perm, Russian Federation

Species composition and distribution features of the ichthyofauna of the Kama reservoir

Presents information about the current composition of the ichthyofauna of the Kama reservoir, based on long-term research of the Perm branch of the Federal state budgetary scientific institution "all-Russian research Institute of fisheries and Oceanography" (FSBSE «VNIRO») (until 2019 Perm branch of FSBSE "GosNIORKh") for the period 2000–2020. The regularity of increasing the species diversity of ichthyofauna in the North-South directions is confirmed by the example of a number of reservoirs of the Volga-Kama cascade. Data on the relative abundance of species in the context of the accepted hydrological scheme of zoning of the Kama reservoir are presented. The species composition of the ichthyofauna of the Kama reservoir, including 31 species of fish from 11 families belonging to 7 orders, is established. The features of the distribution of the species composition of the ichthyofauna and the relative number of fish in the areas of the Kama and Chusovsky ples of the reservoir are considered, both at the present stage of the reservoir's existence and in comparison with retrospective data.

Key words: The Kama reservoir; the ichthyofaunal of reservoirs.

Введение

За более чем 60-летний период существования Камского водохранилища опубликовано большое количество работ, посвященных описанию видового состава, особенностям распределения рыб и их соотношению в водоеме, либо на отдельных его участках. Большая часть трудов посвящена, прежде всего, промысловой составляющей; как следствие этого, объектами исследования являлись 10–12 видов рыб, доминирующих в промысловых уловах. Основным источником информации выступали данные рыбопромысловой статистики, а

характеристика ихтиофауны приводилась в отношении промысловых видов рыб [Пушкин, Зиновьев, 1978; Ельченкова, Светлакова, 2001; Коняев, Костицын, 2001; Колегова, 2001 и др.].

Немаловажно, что между данными опытных уловов, в отношении которых был произведен поштучный пересчет рыб, и уловов субъектов промысла, отраженных в рыбопромысловой статистике, существуют расхождения, на что неоднократно обращалось внимание ранее [Соловьева, Зиновьев, 1971; Пушкин, 1980; Костицын, 2001]. Данное несоответствие наблюдается и в настоящее время, при этом наиболее значительные расхожде-

ния отмечены в отношении ценных видов рыб. Таким образом, наибольший интерес для сравнения представляют публикации, содержащие сведения о видовом составе и распределению рыб по участкам, основанные на штучном учете рыб сетных уловов. К таким работам можно отнести труды Н.С. Соловьевой и Е.А. Зиновьева [1971], Ю.А. Пушкина и Е.А. Зиновьева [1986], посвященные первым десятилетиям существования водохранилища. В последующие годы публикации, характеризующие состав ихтиофауны, численность и особенности распределения отдельных видов рыб Камского водохранилища, отсутствуют.

Материал и методы

Исследования Пермского отделения ФГБНУ «ВНИРО», результаты которых представлены в работе, охватывают период с 2000 по 2020 гг. Ввиду отсутствия траловых судов на Камском водохранилище отлов рыбы осуществлялся ставными сетями с набором ячеи от 10 до 75 мм, для сбора молоди рыб применялся мальковый неводок с ячеей в кутце 4 мм. В нижнем районе водохранилища также использовались невода ячеей в кутце 20 и 35 мм. Сбор материала в период с 2014 по 2020 гг. осуществляли ежесезонно, основу уловов составляли данные штучного учета рыб ставных сетей

субъектов промысловства. Районы исследования представлены согласно гидрологической схеме районирования водохранилища [Матарзин, Мацкевич, 1970].

Результаты исследования и их анализ

По результатам исследований установлено, что в настоящее время в Камском водохранилище обитает 30 видов рыб. Ещё 1 вид – канальный сомик, являющийся объектом аквакультуры, образовал самовоспроизводящуюся популяцию в тепловодном сбросном канале Пермской ГРЭС [Мандрица, 2008]. Сведения о поимке представителей этого вида на других участках водохранилища отсутствуют. Таким образом, из 39 видов и 14 семейств рыб, обитающих в бассейне Камского водохранилища, непосредственно в водоеме встречается 31 вид рыб из 11 семейств, относящихся к 5 фаунистическим комплексам (табл. 1), согласно Г.В. Никольскому [1980].

Эпизодически в уловах встречаются другие представители ихтиофауны, в частности, пестрый толстолобик и радужная форель, являющиеся объектами аквакультуры. Учитывая то, что в условиях Камского водохранилища эти виды не способны создать самовоспроизводящиеся популяции, в список видов ихтиофауны они не включены.

Таблица 1

Видовой состав рыб бассейна Камского водохранилища (приведен в соответствии с публикацией Богущкой, Насеки, 2004)

Отряды, семейства и виды рыб	Статус вида		Фаунистический комплекс
	Камское водохранилище	Бассейн Камского водохранилища	
отр. Acipenseriformes – осетрообразные сем. <i>Acipenseridae</i> – осетровые			
1. <i>Acipenser ruthenus</i> (Linnaeus, 1758) – стерлядь	занесен в Красные Книги ПК и РФ (численность восстанавливается)		Древний верхнетретичный равнинный
отр. Clupeiformes – сельдеобразные сем. <i>Clupeidae</i> – сельдевые			
2. <i>Clupeonella cultriventris</i> (Nordmann, 1840) – черноморско-азовская тюлька	обычен		Понто-каспийский морской
отр. Salmoniformes – лососеобразные п/отр. <i>Salmonoidei</i> – лососевидные сем. <i>Salmonidae</i> – лососевые			
3. <i>Hucho taimen</i> (Pallas, 1773) – таймень	Редок, населяет притоки, занесен в Красные Книги ПК и РФ		Бореальный предгорный
сем. <i>Thymallidae</i> – хариусовые			
4. <i>Thymallus thymallus</i> (Linnaeus, 1758) – европейский хариус	Редок	населяет притоки, обычен	Бореальный предгорный
отр. Esociformes – щукообразные сем. <i>Esocidae</i> – щуковые			
5. <i>Esox lucius</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенная щука	обычен		Бореальный равнинный
отр. Cypriniformes – карпообразные сем. <i>Cyprinidae</i> – карповые п/сем. <i>Leuciscinae</i> – ельцовые			
6. <i>Abramis brama</i> (Linnaeus, 1758) – лещ	обычен		Понто-каспийский пресноводный
7. <i>Ballerus ballerus</i> (Linnaeus, 1758) – синец	обычен		Понто-каспийский пресноводный

Продолжение табл. 1

Отряды, семейства и виды рыб	Статус вида		Фаунистический комплекс
	Камское водохранилище	Бассейн Камского водохранилища	
8. <i>Ballerus sapa</i> (Pallas, 1814) – белоглазка	обычен		Понто-каспийский пресноводный
9. <i>Blicca bjorkna</i> (Linnaeus, 1758) – густера	обычен		Понто-каспийский пресноводный
10. <i>Alburnoides bipunctatus</i> (Bloch, 1972) – обыкновенная быстрянка	отсутствует	населяет притоки, редок	Понто-каспийский пресноводный
11. <i>Alburnus alburnus</i> (Linnaeus, 1758) – уклейка	обычен		Понто-каспийский пресноводный
12. <i>Leucaspis delineates</i> (Heckel, 1843) – обыкновенная верховка	отсутствует	редок	Понто-каспийский пресноводный
13. <i>Aspius aspius</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный жерех	обычен		Понто-каспийский пресноводный
14. <i>Chondrostoma nasus</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный подуст	редок	населяет притоки, редок	Понто-каспийский пресноводный
15. <i>Leuciscus idus</i> (Linnaeus, 1758) – язь	обычен		Бореальный равнинный
16. <i>Leuciscus leuciscus</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный елец	обычен		Бореальный равнинный
17. <i>Rutilus rutilus</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенная плотва	обычен		Бореальный равнинный
18. <i>Scardinius erythrophthalmus</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенная красноперка	редок		Понто-каспийский пресноводный
19. <i>Squalius cephalus</i> (Linnaeus, 1758) – голавль	редок	обычен	Понто-каспийский пресноводный
20. <i>Phoxinus phoxinus</i> (Linnaeus, 1758) – речной голяк	отсутствует	населяет притоки, обычен	Бореальный предгорный
21. <i>Phoxinus phoxinus</i> (Pallas, 1814) – озерный голяк	отсутствует	редок	Бореальный равнинный
22. <i>Pelecus cultratus</i> (Linnaeus, 1758) – чехонь	обычен		Понто-каспийский пресноводный
п/сем. <i>Cyprininae</i> – карповые			
23. <i>Carassius carassius</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный карась	отсутствует	редок	Бореальный равнинный
24. <i>Carassius gibelio</i> (Bloch, 1782) – серебряный карась	редок		Бореальный равнинный
25. <i>Cyprinus carpio</i> (Linnaeus, 1758) – сазан	редок		Древний верхнетретичный равнинный
п/сем. <i>Gobioninae</i> – пескаревые			
26. <i>Gobio gobio</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный пескарь	обычен		Бореальный равнинный
27. <i>Romanogobio albipinnatus</i> (Lukasch, 1933) – белоперый пескарь	обычен		Бореальный равнинный
п/сем. <i>Tincinae</i> – линевые			
28. <i>Tinca tinca</i> (Linnaeus, 1758) – линь	редок		Бореальный равнинный
сем. <i>Cobitidae</i> – вьюновые			
29. <i>Cobitis taenia</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенная щиповка	обычен		Бореальный равнинный
30. <i>Misgurnus fossilis</i> (Linnaeus, 1758) – вьюн	редок		Древний верхнетретичный равнинный
сем. <i>Balitoridae</i> – балиторы			
31. <i>Barbatula barbatula</i> (Linnaeus, 1758) – усатый голец	отсутствует	обычен	Бореальный предгорный
отр. Siluriformes – сомообразные			
сем. <i>Siluridae</i> – сомовые			
32. <i>Silurus glanis</i> (Linnaeus, 1758) – европейский обыкновенный сом	обычен	редок	Древний верхнетретичный равнинный
сем. <i>Ictaluridae</i> – икталуровые			
33. <i>Ictalurus punctatus</i> (Rafinesque, 1818) – канальный сомик	объект аквакультуры, сформировал самовоспроизводящую популяцию в зоне теплового сброса отводного канала Пермской ГРЭС		

Окончание табл. 1

Отряды, семейства и виды рыб	Статус вида		Фаунистический комплекс
	Камское водохранилище	Бассейн Камского водохранилища	
отр. Gadiformes – трескообразные сем. <i>Lotidae</i> – налимовые			
34. <i>Lota lota</i> (Linnaeus, 1758) – налим	обычен		Арктический пресноводный
отр. Perciformes – окунеобразные п/отр. <i>Percoidae</i> – окуневидные сем. <i>Percidae</i> – окуневые			
35. <i>Gymnocephalus cernuus</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный ерш	обычен		Бореальный равнинный
36. <i>Perca fluviatilis</i> (Linnaeus, 1758) – речной окунь	обычен		Бореальный равнинный
37. <i>Sander lucioperca</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный судак	обычен		Древний верхнетретичный равнинный
п/отр. <i>Gobioidei</i> – бычковидные сем. <i>Odontobutidae</i> – головешковые			
38. <i>Percottus glenii</i> (Dybowski, 1877) – ротан-головешка	отсутствует	обычен	Китайский равнинный
отр. Scorpaeniformes – скорпенообразные п/отр. <i>Cottoidei</i> – рогатковидные сем. <i>Cottidae</i> – рогатковые			
39. <i>Cottus gobio</i> (Linnaeus, 1758) – обыкновенный подкаменщик	отсутствует	населяет притоки, обычен	Бореальный предгорный

Следует отметить, что среди водохранилищ, расположенных в каскаде на р. Каме и Волге, ихтиофауна Камского водохранилища имеет самое низкое видовое разнообразие (табл. 2). Оно обусловлено географическими особенностями водоема – наиболее северным расположением среди водохранилищ на каскаде р. Камы и близостью системы Уральских гор, в том числе обуславливающей его климатический режим. В нижерасположенном Воткинском водохранилище Ю.А. Пушкиным [1988] выделялся 30–31 вид рыб, постоянно встречающихся в водохранилище. По результатам ис-

следований Пермского отделения ФГБНУ «ВНИРО», современная ихтиофауна Воткинского водохранилища насчитывает 33 вида рыб, относящихся к 12 семействам. В расположенном ниже по течению Нижнекамском водохранилище присутствует уже 42 вида рыб из 14 семейств [Шакирова и др., 2013]. Увеличение видового и таксономического разнообразия фауны рыб и рыбообразных в водоеме, по мере продвижения от верховий к устью и с севера на юг, является общей тенденцией, характерной как для каскада Волго-Камских водохранилищ, так и для рек в целом.

Таблица 2

Видовое и таксономическое разнообразие рыбообразных и рыб на ряде водохранилищ р. Волги и Камы

Количественные показатели	р. Кама			р. Волга			
	Камское (наши данные)	Воткинское (наши данные)	Нижнекамское [Шакирова и др., 2013]	Рыбинское [Рыбы Рыбинского водохр., 2015]*	Чебоксарское [Оценка ..., 2012]	Куйбышевское [Шакирова и др., 2013]**	Волгоградское [Шашуловский, Ермолин, 2005]
Число видов	31	33	42	41	50	55	59
Количество семейств	11	12	14	14	16	21	19
Количество видов-вселенцев***	4 (1)	5 (1)	7 (2)	13 (7)	–	18 (4)	17 (11)

Примечания. * Исключены виды, обитающие в притоках водохранилища, старицах и прудах, к нему примыкающих. ** Исключены виды, информация о которых в настоящее время отсутствует. *** В скобках указано число видов рыб, являющихся объектами акклиматизации либо аквакультуры. Исключены виды, обитающие в притоках водохранилища, старицах и прудах, к нему примыкающих.

Более благоприятные климатические условия, характерные для нижележащих водохранилищ, способствуют скорейшей акклиматизации рыб, как естественных вселенцев Понто-Каспийского бассейна, так и рыб, являющихся объектами целенаправленной и случайной интродукции. Еще одним путем обогащения фауны водохранилищ р. Волги является проникновение новых видов по системе каналов Волго-Балтийского водного пути.

Основной объем работ по исследованию ихтиофауны Камского водохранилища был осуществлен на всем протяжении Камского плеса.

Здесь в научно-исследовательских уловах было отмечено 28 видов рыб из 29, зарегистрированных в целом по водохранилищу; из них 23 вида встречается во всех районах Камского плеса. Согласно нашим исследованиям, наиболее массовыми и широко распространенными видами рыб в уловах ставных сетей на Камском плесе являются лещ, плотва, синец, судак, окунь, чехонь, щука, густера, язь, уклея, налим и ерш. Доля численности этих 12 видов рыб, в зависимости от района плеса, составляет от 96.94 до 99.17% численности всех рыб (табл. 3).

Таблица 3

Видовой состав и относительная численность (%) рыб в р-нах Камского плеса по данным уловов различными орудиями лова (МН – мальковый неводок, Н – невод, СС – ставные сети) в 2000–2020 гг.

Вид рыбы	Верхний		Средний		Нижний		
	МН	СС	МН	СС	МН	Н	СС
Белоглазка	–	1.06	–	0.18	–	–	0.22
Белоперый пескарь	3.34	–	1.31	–	–	–	–
Вьюн	–	<0.01	–	–	–	–	–
Голавль	1.20	0.07	0.23	0.07	4.11	–	0.11
Густера	–	3.87	0.11	2.41	–	–	1.25
Елец	10.55	0.01	27.51	0.03	7.26	–	0.04
Ёрш	–	0.34	3.35	2.35	–	–	0.63
Жерех	0.80	0.48	0.34	0.20	–	–	0.11
Карась серебряный	–	0.02	–	0.05	–	–	0.04
Красноперка	–	0.05	–	0.01	–	–	0.13
Лещ	0.94	17.77	3.81	15.64	3.79	79.68	29.72
Линь	–	0.15	–	0.07	–	–	0.10
Налим	–	1.25	–	0.99	–	–	1.71
Обыкновенный пескарь	1.20	–	1.48	<0.01	3.48	–	–
Обыкновенная щиповка	0.13	–	0.05	–	–	–	–
Окунь	42.32	2.67	6.77	10.79	71.72	1.33	16.10
Плотва	8.14	12.68	32.75	46.74	3.16	16.21	31.61
Синец	–	42.96	–	2.60	–	–	5.96
Сом	–	0.28	–	0.02	–	–	0.05
Стерлядь	–	0.92	–	0.11	–	–	0.40
Судак	–	4.69	0.63	5.20	–	1.10	5.70
Таймень	–	–	–	<0.01	–	–	–
Тюлька	–	0.01	–	0.08	–	–	0.11
Уклея	17.09	0.38	20.64	5.90	4.11	–	0.18
Хариус	–	–	–	<0.01	–	–	–
Чехонь	–	3.71	–	2.67	–	–	2.60
Щука	3.21	5.51	–	1.40	–	1.45	2.75
Язь	11.08	1.11	1.02	2.48	2.37	0.23	0.45
гибриды карповых	–	0.01	–	0.01	–	–	0.02
Количество рыб	749	50 331	1 759	39 822	633	1 727	25 441
Количество видов	12	23	14	25	10	6	22
Количество видов по всем орудиям лова	26		23		27		

Распределение массовых видов рыб по Камскому плесу неравномерно. Рассматривая приуроченность рыб к определенным районам по данным уловов ставных сетей, можно выделить следующие особенности. Для нижнего района характерно существенное преобладание в уловах леща (29.72%) и окуня (16.1% численности рыб). Относительная

численность голавля (0.11%), ельца (0.04%), красноперки (0.13%), налима (1.71%), судака (5.7%) и тюльки (0.11%) здесь выше, чем в верхнем и среднем районах. Также в этом районе несколько выше численность гибридов карповых (0.02%). В центральной части доминирует плотва, относительная численность которой в уловах достигает 46.74%

общего вылова, выше относительная численность уклейки (5.9%), язя (2.48%), ерша (2.35%) и серебряного карася (0.05%). Только в этом районе в научно-исследовательских уловах встречался таймень. В верхнем районе в уловах ставных сетей ведущее место занимает синец (42.96% численности). В сетных уловах здесь выше относительная численность щуки (5.51%), густеры (3.87%), чехони (3.71%), белоглазки (1.06%), стерляди (0.92%), жереха (0.48%), сома (0.28%) и линя (0.15%). В уловах малькового неводка количество видов на разных участках плеса варьирует от 8 до 14. В

нижней части по численности значительно преобладает окунь, доля молодежи которого в уловах составляет 71.72%. В среднем районе – плотва (32.75%), елец (27.51%) и уклейка (20.64%). В верхнем районе наиболее высока относительная численность окуня (42.32%), уклейки (17.09%) язя (11.08%) и ельца (10.55%). Прослеживается увеличение относительной численности обыкновенного пескаря от верхнего района к нижнему.

В Чусовском плесе Камского водохранилища, по данным уловов различными орудиями лова, отмечен 21 вид рыб (табл. 4).

Таблица 4

Видовой состав и относительная численность (%) рыб в заливах Камского водохранилища по данным уловов разными орудиями лова (МН – мальковый неводок, СС – ставные сети) в 2000–2020 гг.

Вид рыбы	Камский плес		Чусовской плес	
	Обвинский		Сылвенский	Чусовской
	МН	СС	СС	СС
Белоглазка	–	0.02	–	–
Белоперый пескарь	–	0.01	–	–
Голавль	0.03	0.05	0.40	0.11
Густера	0.01	1.15	25.97	4.30
Елец	0.20	0.28	0.08	0.08
Ерш	0.29	0.94	1.72	0.19
Жерех	–	0.05	0.08	0.13
Карась серебряный	–	0.03	0.06	0.08
Красноперка	–	0.11	0.55	0.36
Лещ	0.20	20.25	23.98	29.73
Линь	–	<0.01	–	0.25
Налим	–	0.02	0.02	0.13
Обыкновенный пескарь	0.10	–	–	–
Обыкновенная щиповка	0.02	–	–	–
Окунь	0.12	13.58	17.33	24.71
Плотва	1.13	54.75	16.32	22.69
Подуст	–	–	–	0.04
Сазан	–	<0.01	–	–
Синец	–	3.14	0.02	–
Стерлядь	–	–	1.25	2.66
Судак	0.01	2.54	3.45	8.85
Тюлька	–	<0.01	0.06	0.04
Уклейка	97.60	0.67	5.98	1.58
Чехонь	0.28	0.31	1.66	0.40
Щука	–	0.24	0.85	3.31
Язь	0.01	1.84	0.22	0.36
Количество рыб	19 203	17 603	4 950	4 743
Количество видов	13	22	19	20
Количество видов по всем орудиям лова	24		21	

Наиболее многочисленны из них 10 видов: густера, лещ, плотва, окунь, судак, стерлядь, уклейка, щука, ерш и чехонь. На них приходится более 98.0% относительной численности рыб в заливах Чусовского плеса. Основным отличием ихтиофауны заливов Чусовского плеса от Обвинского залива Камского плеса является высокая относительная численность густеры в Сылвенском заливе (25.97%), окуня (24.71% в Чусовском и 17.33% в Сылвенском заливах), судака в Чусовском заливе

(8.85%) и стерляди (1.25% в Сылвенском заливе и 2.66% в Чусовском заливе), при этом относительная численность синца и язя в уловах минимальна. В ихтиофауне Обвинского залива, являющегося одним из участков среднего района, но рассматриваемого нами отдельно, в разрезе заливов водохранилища, встречается 24 вида рыб, численно доминируют плотва (54.75%), лещ (20.25%) и окунь (13.58%), в совокупности на эти три вида приходится 88.6% всей численности рыб в уловах.

В уловах малькового неводка преобладает уклейка, относительная численность которой составляет 97.6%. Численность остальных видов рыб, представленных большей частью видами, для которых водохранилище не является типичным местом обитания, незначительна. К ним относятся белоглазка, голавль, жерех, елец, серебряный карась, красноперка, линь, сом, вьюн и стерлядь, а такие виды, как подуст, таймень и сазан представлены единичными экземплярами.

Так, типичными местообитаниями линя, красноперки и вьюна, являются пойменные и притоковые водоемы, откуда они могут проникать в водохранилище. Голавль, жерех, белоглазка, стерлядь и елец являются реофилами, и их наибольшая численность приурочена к районам водохранилища с максимальной проточностью (верхнему и нижнему). Высокая численность этих видов, за исключением голавля, наблюдается на участках переменного подпора – верхний район Камского плеса и Чусовской плес (табл. 4). Относительная численность голавля в уловах ставных сетей и малькового неводка максимальна в нижнем районе, что, по-видимому, связано с русловым характером этого участка.

Реофилами являются также подуст и таймень, поимки которых в Камском водохранилище единичны. Подуст до образования Камского водохранилища обитал в р. Каме и её крупных притоках – Вишере, Чусовой, Сылве и Обве [Букирев и др., 1959]. После зарегулирования стока в научно-исследовательских уловах подуст был отмечен в заливах Чусовского плеса [Костарев, 1975; Смирнов и др., 1988]. Являясь реофилом, подуст проникает в водохранилище из его притоков, в частности, имеются устные данные о штучных поимках этого вида промысловиками в заливе р. Яйвы и верховьях Сылвенского залива. В настоящее время подуст был пойман в период наблюдений за ходом нереста в 2018 г. в Чусовском заливе у н.п. Ветляны. В то же время в р. Кондас – правом притоке верхнего района Камского водохранилища, по опросным данным, подуст является обычным видом.

Таймень в научно-исследовательских уловах в акватории Камского водохранилища представлен также одним экземпляром, пойманным в период наблюдений за ходом нереста в 2005 г. в Иньвенском заливе. Имеются устные данные о его штучных поимках на участках водохранилища, прилегающих к Косьвинскому заливу, а также в нижнем районе водохранилища [Расчет ущерба..., 2005]. Возможный выход тайменя из зоны выклинивания подпора в водохранилище может быть приурочен и к другим крупным притокам водохранилища – р. Каме, Вишере, Яйве, Чусовой, Сылве и др. Так, в составе ихтиофауны нижнего участка р. Яйвы,

таймень был отмечен М.А. Баклановым [2005]. В.Г. Костицыным отмечены случаи поимки тайменя в верхнем районе Камского водохранилища (неопубликованная рукопись). По опросным данным таймень изредка встречается в уловах субъектов промысловства. Поимки вида приурочены к верхнему и центральному районам Камского плеса.

Таймень, наряду с широко распространенной в настоящее время в водохранилище стерлядью, включен в Красные книги РФ и Пермского края.

Стерлядь, после зарегулирования стока, выпала из состава ихтиофауны Камского водохранилища, образовав жилые формы в реках его бассейна. Е.А. Зиновьев [2007] указывал на наличие в бассейне Камского водохранилища четырех популяций стерляди: верхнекамской, вишерской, колвинской и мошевской. В то же время, в научно-исследовательских уловах 2001–2002 гг., осуществленных Пермским отделением ФГНУ «ГосНИОРХ» в рамках работы по теме «Оценка состояний популяции камской стерляди на территории Пермского края», на р. Каме, Колве и Вишере, стерлядь отсутствовала. При этом имелись достоверные сведения о её штучном наличии в уловах промысловых бригад. В 2001 г. работы проводились на р. Колве (участок от устья р. Березовой до устья р. Вишеры) и на р. Каме (на участке выше р. Уролки). В 2002 г. обследовались р. Колва (протяженность участка исследования 160 км), Вишера (50 км) и Кама (150 км). Результаты исследований 2001–2002 гг. показали, что популяция стерляди в бассейне Камского водохранилища была крайне малочисленна, и вид находился на грани исчезновения.

Первое зарыбление Камского водохранилища мальками стерляди в количестве 3.5 тыс. экземпляров навеской 60 г произведено в 2001 г. Икра была получена от стада Камской стерляди рыбного хозяйства Пермской ГРЭС [Современное состояние..., 2003]. За период 2013–2017 гг. в Камское водохранилище и его притоки в рамках восстановительных мероприятий по компенсации наносимого вреда водным биоресурсам субъектами водопользования было выпущено более 1.5 млн шт. малька стерляди. Несмотря на объемы выпусков, относительная численность вида в уловах ставных сетей на водохранилище остается низкой – от 0.11 экз./сеть в среднем районе Камского плеса (табл. 3) до 2.66 экз./сеть – в Чусовском заливе (табл. 4). Низкая численность стерляди в уловах ставных сетей, по-видимому, обусловлена тем, что стерлядь, являясь реофилом, а также литофилом по типу нереста, по мере созревания расселяется по рекам бассейна Камского водохранилища.

Обитание устойчивой, но малочисленной популяции ещё одного редкого для Камского водохра-

нилища вида – сазана – было приурочено к верхней части Сылвенского залива у д. Шатово [Зиновьев, 2009]. В научно-исследовательских уловах единственный экземпляр сазана отмечен в Обвинском заливе (табл. 4). Имеются сведения о наличии локальной группы этого вида (чешуйчатого карпа) в заливах, прилегающих к сбросному каналу Пермской ГРЭС. Особенностью данного участка водохранилища является на 6–12°C повышенный, относительно фонового участка, температурный режим (в зависимости от количества работающих энергоблоков) [Мандрица, 2008]. По-видимому, данная популяция сазана была образована «сбежавшими» из рыбоводных хозяйств карпами.

Количественные данные по учету рыб, основанные на исследовательских материалах, собран-

ных в разные периоды существования водохранилища, позволяют отразить основные этапы развития ихтиофауны, связанные с динамикой численности и видовым соотношением рыб в водоеме (табл. 5). Доля плотвы, доминирующей в уловах в 1963–1983 гг. (35.6–48.0% численности), снизилась в 2014–2020 гг., хотя и по-прежнему, остается высокой (25.2–36.7%). В уловах на водоеме, наряду с плотвой, доминирует лещ. Его относительная численность, по полному набору ячей (30–75 мм), составляет 25.1%. Максимальный улов окуня (28.0% относительной численности рыб), как и плотвы, приходится на период депрессии численности основных промысловых видов рыб (лещ, судак и щука), наблюдавшийся в водохранилище в 1979–1980 гг. [Костицын, 2013; Зиновьев, 2014].

Таблица 5

Видовой состав и относительная численность (%) рыб в сетных уловах на Камском плесе и Сылвенском заливе водохранилища

Вид рыбы	1963–1969 [Соловьева, Зиновьев, 1971]	1979–1983 [Пушкин, Зиновьев, 1986]	2014 – 2020 гг. (наши данные)		
	ячей 30-60 мм	ячей 36 и 65-70 мм	ячей 30-60 мм	ячей 36 и 65-70 мм	полный набор ячей 30-75 мм*
Плотва	35.6	48.0	27.8	36.7	25.2
Окунь	7.6	28.0	6.3	2.7	5.6
Лещ	19.9	11.8	19.4	37.5	25.1
Чехонь	2.9	6.5	5.7	2.9	5.1
Щука	3.0	1.8	3.2	2.4	3.2
Судак	6.7	1.2	6.5	5.9	6.9
Язь	9.0	1.2	0.8	0.4	0.7
Синец	2.7	1.6	22.1	5.9	20.1
Жерех	1.9	0.1	0.3	0.2	0.3
Густера	8.5	0.1	4.4	1.2	4.0
Белоглазка	0.5	0.1	0.6	0.2	0.6
Налим		0.5	1.8	1.5	1.8
Голавль			0.1	>0.1	0.1
Ерш			>0.1	–	>0.1
Карась серебряный			>0.1	>0.1	>0.1
Красноперка			>0.1	>0.1	>0.1
Линь	–	–	0.2	>0.1	0.2
Сом			>0.1	0.6	0.2
Стерлядь			0.5	1.6	0.8
Тюлька			>0.1	–	>0.1
Уклейка			>0.1	–	>0.1
Прочие	1.7	0.1	>0.1	>0.2	>0.1
Всего рыб	36 470	135 453	72 485	17 028	80 896

Примечание. * Отлов рыбы производился набором сетей с ячейми 30, 32, 34, 35, 36, 38, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 и 75 мм.

В настоящее время (2014–2020 гг.) относительная численность окуня в водоеме близка к уровню 1963–1969 гг. и составляет, по набору ячей 30–60 мм, – 6.3%. В водоеме выросла относительная численность синца, леща, щуки, и в настоящее время является максимальной за рассматриваемый период. Из них наибольший прирост показал синец, его доля в уловах (по наборам ячей 30–60 и 30–75 мм) выросла более чем в 10 раз до 22.1–

20.1% соответственно. По полному набору ячей, в настоящее время, синец занимает одно из ведущих мест в уловах. Доля щуки в водоеме выросла незначительно и находится вблизи уровня периода 1963–1969 гг. (3.0%), составляя 3.2% для ячей 30–60 мм и 30–75 мм. Относительная численность судака в настоящее время близка к уровню периода 1963–1969 гг. (6.7%), на который приходились его максимальные промысловые уловы в водоеме, и

составляет 6.5% для ячей 30–60 мм и 6.9% по набору ячей 30–75 мм.

В начале 1980-х гг. отмечено существенное снижение доли язя, жереха и густеры в уловах. При этом, если для густеры в настоящее время отмечается значительный рост относительной численности в уловах в сравнении с периодом 1979–1983 гг. с 0.1 до 1.2%, то для жереха изменения не так значительны, что позволяет говорить о стабилизации численности этого вида в водохранилище в последние четыре десятилетия. Доля язя в уловах минимальна за рассматриваемый период и составляет по полному набору ячей 0.7%. Существенное

снижение численности этого вида, скорее всего, связано с сокращением площадей обитания, в связи с эрозией ложа мелководий водохранилища и как следствием гибели водной растительности.

Относительная численность белоглазки в водоеме незначительна, в период 1979–1983 гг. её доля в уловах также существенно снизилась (с 0.5 до 0.1%), в настоящее время относительная численность этого вида в уловах составляет 0.6% (ячей 30–60 мм и 30–75 мм).

Наибольшие изменения за рассматриваемый период произошли в ихтиофауне верхнего участка водохранилища (Мошево-Кама) (табл. 6).

Таблица 6

Видовой состав и относительная численность (%) рыб в сетных уловах в верхнем участке Камского водохранилища

Вид рыбы	1963–1969 гг. [Соловьева, Зиновьев, 1971]	1979–1983 гг. [Пушкин, Зиновьев, 1986]	2014 – 2020 гг. (наши данные)		
	ячей 30–60 мм	ячей 36 и 65–70 мм	ячей 30–60 мм	ячей 36, 65–70 мм	ячей 30–70 мм*
Плотва	22.5	14.3	12.2	28.6	11.2
Окунь	7.8	3.8	1.8	2.6	1.6
Лещ	22.3	44.3	15.4	30.6	19.0
Чехонь	3.3	4.5	5.9	3.3	5.5
Щука	5.6	4.8	3.2	2.6	3.2
Судак	2.3	5.6	4.5	10.8	5.7
Язь	16.7	12.2	0.8	0.6	0.7
Синец	6.3	1.3	47.8	10.9	44.1
Жерех	3.7	0.6	0.3	0.4	0.4
Густера	9.3	0.1	4.8	1.1	4.4
Белоглазка		–	1.0	0.4	0.9
Налим		7.9	1.1	1.5	1.2
Голавль			0.1	–	>0.1
Ерш			>0.1	–	–
Карась серебряный			>0.1	>0.1	>0.1
Красноперка	–		>0.1	>0.1	>0.1
Линь		–	0.1	>0.1	0.1
Сом			0.1	19	0.4
Стерлядь			0.8	4.6	1.4
Тюлька			>0.1	–	–
Уклейка			>0.1	–	>0.1
Прочие	0.2	0.1	>0.1	–	>0.1
Всего рыб	12 599	6 333	29 145	5 225	31 918

Примечание. * Отлов рыбы производился набором сетей с ячейками 30, 32, 34, 35, 36, 38, 40, 45, 50, 55, 60, 65 и 70 мм.

Из 11 видов рыб снижение относительной численности произошло у 7 видов, для 3 видов рыб наблюдается рост доли в уловах. Наиболее значительно снизились в уловах доли язя (с 16.7 до 0.7%), жереха (с 3.7 до 0.4%), окуня (с 7.8 до 1.6%), плотвы (с 22.5 до 11.2%) и налима (с 7.9 до 1.2%), уменьшились доли щуки (с 5.6 до 3.2%), и леща (с 22.3 до 15.4% по набору ячей 30–60 мм и с 44.3 до 30.6% по набору ячей 36, 65–70 мм). Значительный рост относительной численности в верхнем участке наблюдается у синца – с 6.3 до 44.1%. Судак и чехонь также увеличили свою численность с 2.3 до 5.7% и с 3.3 до 5.5%, соответственно. Густера, доля которой в уловах снизилась с 9.3 до 0.1% в период 1979–1983 гг., увеличила

относительную численность, которая по полному набору ячей (30–70 мм) составляет 4.4%.

Средний участок Камского водохранилища (Пожва-Слудка) подвергся меньшим изменениям в ихтиофауне, по сравнению с верхним участком. Так, увеличение доли в уловах отмечается только для налима с 0.2 до 3.3% и белоглазки с 0.1 до 0.7% (ячей 30–70 мм) (табл. 7). Относительная численность плотвы за рассматриваемый период изменилась незначительно. Относительная численность щуки выросла относительно периода 1963–1969 гг. с 1.4 до 4.3% (ячей 30–60 мм) и находится на уровне периода 1979–1983 гг. – 1.7% (ячей 36, 65–70 мм).

Таблица 7

Видовой состав и относительная численность (%) рыб в сетных уловах в среднем участке Камского водохранилища

Вид рыбы	1963–1969 гг. [Соловьева, Зиновьев, 1971]	1979–1983 гг. [Пушкин, Зиновьев, 1986]	2014–2020 гг. (наши данные)		
	ячей 30–60 мм	ячей 36 и 65–70 мм	30–60 мм	36, 65–70 мм	30–70 мм*
Плотва	43.6	57.1	49.1	63.0	45.6
Окунь	5.3	20.7	4.7	3.7	4.4
Лещ	19.5	9.2	16.6	19.1	21.2
Чехонь	4.0	9.4	5.2	3.5	4.8
Щука	1.4	1.5	4.3	1.7	4.2
Судак	6.5	0.9	9.3	3.8	9.4
Язь	6.1	0.4	0.9	0.6	0.9
Синец	1.2	0.3	2.4	0.8	2.2
Жерех	1.0	0.1	0.3	0.1	0.3
Густера	9.3	0.1	2.1	1.7	1.9
Белоглазка		0.1	0.7	0.1	0.7
Налим		0.2	3.4	1.6	3.3
Голавль			0.1	–	0.1
Ерш			>0.1	>0.1	>0.1
Карась серебряный			0.1	>0.1	0.1
Красноперка			0.1	>0.1	0.1
Линь		–	0.3	0.1,	0.3
Сом			0.1	0.1	0.1
Стерлядь			0.1	0.1	0.3
Тюлька			0.2	>0.1	0.2
Уклейка			>0.1	–	>0.1
Прочие	2.3	0.1	>0.1	>0.1	>0.1
Всего рыб	13 510	88 123	16 245	5 586	17 549

Примечание. * Отлов рыбы производился набором сетей с ячейками 30, 32, 34, 35, 36, 38, 40, 45, 50, 55, 60, 65 и 70 мм.

Для остальных видов рыб наблюдается либо рост доли в уловах в период 1979–1983 гг., с последующим снижением (окунь, жерех, чехонь), либо снижение относительной численности в период 1979–1983 гг., с последующим ростом (лещ, щука, синец, густера, язь, судак). В нижнем участке водохранилища (от залива р. Гаревая до плотины,

включая Чусовской и Сылвенский плесы) существенное снижение относительной численности за рассматриваемый период произошло по язю (с 3.4 до 0.3%), жереху (с 0.8 до 0.1%) и плотве (с 41.3 до 30.5%). Снизилась доля в уловах судака (с 12.3 до 6.1%) (табл. 8).

Таблица 8

Видовой состав и относительная численность (%) рыб в сетных уловах в нижнем участке Камского водохранилища

Вид рыбы	1963–1969 ¹ гг. [Соловьева, Зиновьев, 1971]	1979–1983 ² гг. [Пушкин, Зиновьев, 1986]	2014–2020 гг. (наши данные)		
	ячей 30–60 мм	ячей 36 и 65–70 мм	30–60 мм	36, 65–70 мм	30–70 мм*
Плотва	41.3	32.9	35.4	27.6	30.5
Окунь	10.3	35.3	13.1	3.3	11.1
Лещ	17.6	20.0	27.8	52.7	36.3
Чехонь	1.1	0.8	2.0	1.4	1.7
Щука	1.8	6.5	2.6	2.2	2.6
Судак	12.3	0.6	6.0	5.9	6.1
Язь	3.4	2.5	0.4	0.2	0.3
Синец	0.3	0.2	5.9	4.5	5.0
Жерех	0.8	0.3	0.1	0.1	0.1
Густера	6.6	0.1	4.2	0.2	3.5
Белоглазка	–	–	0.1	>0.1	0.2
Налим	0.2	0.8	1.3	1.0	1.3
Голавль			0.1	–	0.1
Ерш			0.1	–	0.1

Окончание табл. 8

Вид рыбы	1963–1969 ¹ гг. [Соловьева, Зиновьев, 1971]	1979–1983 ² гг. [Пушкин, Зиновьев, 1986]	2014–2020 гг. (наши данные)		
	ячей 30–60 мм	ячей 36 и 65–70 мм	30–60 мм	36, 65–70 мм	30–70 мм*
Карась серебряный			>0.1	>0.1	0.1
Красноперка			>0.1	–	–
Линь			0.1	–	0.1
Сом	-	-	>0.1	0.1	>0.1
Стерлядь			0.7	0.8	0.7
Тюлька			0.1	–	0.1
Уклейка			>0.1	–	>0.1
Прочие	4.3	–	0.1	–	0.1
Всего рыб	10 361	7 817	26 045	7 756	31 013

Примечание: * Отлов рыбы производился набором сетей с ячейками 30, 32, 34, 35, 36, 38, 40, 45, 50, 55, 60, 65 и 70 мм.

Относительная численность в уловах чехони и щуки и густеры почти не изменилась. Увеличение доли в уловах наблюдается по налиму (с 0.2 до 1.3%). Относительная численность окуня в уловах выросла в период 1963–1983 гг., с 10.3 до 35.3%, в настоящее время доля окуня в уловах снизилась до 3.3% (ячей 36, 65–70 мм).

Заключение

Ихтиофауна Камского водохранилища в силу своего географического положения не отличается высоким видовым разнообразием и, в основном, характеризуется составом, типичным для данной местности. В настоящее время видовой состав ихтиофауны Камского водохранилища включает 31 вид рыб из 11 семейств, относящихся к 7 отрядам. Камское водохранилище продолжает оставаться лещево-плотвичным водоемом, на долю этих двух видов на современном этапе развития водоема приходится от 47.2 до 74.2% численности в зависимости от используемого набора ячеек при исследованиях. Изменения в количественном соотношении ихтиофауны водохранилища, связанные, в том числе, с сукцессионными процессами, протекающими на водоеме, привели к значительному снижению относительной численности окуня и язя и к её росту у густеры, синца и налима. Относительная численность прочих видов – плотвы, леща, щуки, жереха, судака, чехони и белоглазки изменилась незначительно.

Рассматривая изменения ихтиофауны по районам Камского плеса, можно отметить, что в верхнем районе значительно выросла относительная численность синца и густеры, также увеличилась доля плотвы. Относительная численность язя, налима, щуки и окуня снизилась. В среднем районе существенное снижение относительной численности наблюдается по окуню и чехони, рост – по густере, налиму и лещу. В нижней части водохранилища уменьшение относительной численности отмечено по окуню, язю, щуке и жереху, при этом относительная численность синца, судака,

леща, чехони и густеры выросли.

Список литературы

- Бакланов М.А. Состав ихтиофауны реки Яйвы в зоне месторождения калийных солей // Эколого-экономические проблемы освоения минерально-сырьевых ресурсов: тез. докл. Междунар. науч. конф. Пермь, 2005. С. 151–152.
- Богущая Н.Г., Насека А.М. Каталог бесчелюстных и рыб пресных и солоноватых вод России с номенклатурными и таксономическими комментариями. М., 2004. 392 с.
- Букирев А.И., Козьмин Ю.А., Соловьева Н.С. Рыбы и рыбный промысел Средней Камы // Изв. ЕНИ при Перм. гос. ун-те. 1959. Т. 14, вып. 3. С. 17–53.
- Ельченкова О.Н., Светлакова Э.И. Состояние рыбного промысла на водоемах Пермской области в 2000 г. // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование: материалы науч.-практ. конф. Пермь, 2001. С. 36–39.
- Зиновьев Е.А., Гилева Т.А. Морфологическая характеристика некоторых рыб бассейна реки Камы // Известия Самарского научного центра РАН. 2014. Т. 16, № 5. С. 536–542.
- Зиновьев Е.А. Рыбные ресурсы Пермского края // Состояние и охрана окружающей среды Пермского края в 2007 г.: ежегод. экол. докл. URL: <http://www.permecology.ru> (дата обращения: 18.10.2020)
- Зиновьев Е.А. Рыбные ресурсы Пермского края // Состояние и охрана окружающей среды Пермского края в 2009 г.: ежегод. экол. докл. URL: <http://www.permecology.ru> (дата обращения: 22.10.2020)
- Колегова Е.Л. К оценке рыбных ресурсов и оптимизации их использования в Сылвенском заливе Камского водохранилища // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование: материалы науч.-практ. конф. Пермь, 2001. С. 63–67.

- Коняев В.П., Костицын В.Г. К биологии хищных рыб Камского водохранилища // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование: материалы науч.-практ. конф. Пермь, 2001. С. 67–71.
- Костарев Г.Ф. Морфобиологические особенности подуста и уклейи бассейна Чусовой // Биологические ресурсы Камских водохранилищ. Пермь, 1975. Вып. 1. С. 35–45.
- Костицын В.Г. Концепция регулирования рыболовства на водоемах Камско-Уральского региона // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование: материалы науч.-практ. конф. Пермь, 2001. С. 77–80.
- Костицын В.Г. Рыбные ресурсы Западного Урала и использование их на современном этапе // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование: материалы науч.-практ. конф. Пермь, 2013. С. 20–29.
- Красная книга Пермского края / под общ. ред. М.А. Бакланова. Пермь: Алдари, 2018. 232 с.
- Красная книга Российской Федерации. Животные / под ред. А.С. Замотайлова. М., 2001. 863 с.
- Мандрица С.А. К специфике ихтиофауны некоторых участков Камского водохранилища // Рыбные ресурсы Камско-Уральского региона и их рациональное использование: материалы науч.-практ. конф. Пермь, 2008. С. 81–83.
- Матарзин Ю.М., Мацкевич И.К. Вопросы морфометрии и районирования водохранилищ // Вопросы формирования водохранилищ и их влияния на природу и хозяйство. Пермь, 1970. С. 27–46.
- Никольский Г.В. Структура вида и закономерности изменчивости рыб. М.: Пищ. пром-сть. 1980. 184 с.
- Оценка состояния запасов водных биологических ресурсов, разработка рекомендаций по их рациональному использованию, прогнозы ОДУ и возможный вылов на 2013 г. в пресноводных водных объектах зоны ответственности ФГБНУ «ГосНИОРХ»: отчет о науч.-исслед. работе. Н. Новгород, 2012. 113 с.
- Пушкин Ю.А., Зиновьев Е.А. Оценка состояния промысловой ихтиофауны камских водохранилищ // Основы рационального использования рыбных ресурсов камских водохранилищ: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1978. С. 3–13.
- Пушкин Ю.А., Зиновьева С.Н. Современное состояние сырьевых ресурсов и промысла на Камском водохранилище // Биологические ресурсы водоемов Западного Урала: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1986. С. 3–11.
- Пушкин Ю.А. Ихтиофауна и рыбное хозяйство // Биология Воткинского водохранилища. Иркутск, 1988. С. 118–143.
- Пушкин Ю.А. Характеристика современного состояния ихтиофауны и промысла в водоемах Пермской области и перспективы развития рыбного хозяйства // Биологические ресурсы водоемов Западного Урала: межвуз. сб. науч. тр. Пермь, 1980. С. 91–103.
- Расчет ущерба, наносимого рыбным запасам Камского водохранилища при строительстве берегозащитных сооружений в г. Добрянке (район причала): отчет о науч.-исслед. работе ФГБНУ «ГосНИОРХ», Перм. отд-ние. Пермь, 2005. С. 7.
- Рыбы Рыбинского водохранилища: популяционная динамика и экология / ред. Ю.В. Герасимов. Ярославль: Филигрань, 2015. 418 с.
- Смирнов А.И., Зиновьев Е.А., Пушкин Ю.А. Уточнение таксономического статуса Камской популяции подуста *Chondrostoma agassiz*, 1835 (Pisces, Cyprinidae) // Проблемы и перспективы рыбоводства и рыболовства в Пермской области: сб. науч. тр. Л., 1988. Вып. 281. С. 121–126.
- Современное состояние рыбного хозяйства на пресноводных водоемах Европейской части России: отчет о науч.-исслед. работе. Пермь, 2003. С. 11.
- Соловьева Н.С., Зиновьев Е.А. Изменение ихтиофауны Средней Камы после зарегулирования стока // Биология рыб бассейна средней Камы. Пермь, 1971. Вып. 2. С. 3–30.
- Шакирова Ф.М., Говоркова Л.К., Анохина О.К. Современное состояние Нижнекамского водохранилища и возможности рационального освоения его рыбных ресурсов // Известия Самарского научного центра РАН. 2013. Т. 15, № 3 (1). С. 518–527.
- Шашуловский В.А., Ермолин В.П. Состав ихтиофауны Волгоградского водохранилища // Вопросы ихтиологии. 2005. Т. 45, № 3. С. 324–330.

References

- Baklanov M.A. [Composition of the ichthyofauna of the Yauva river in the zone of the potash salt Deposit]. *Ėkologo-Ėkonomičeskie problemy osvoenija mineral'no-syr'evykh resursov* [Ecological and economic problems of mineral resources development. Abstracts of the international scientific conference]. Perm, 2005, pp. 151–152. (In Russ.).
- Baklanov M.A., ed. *Krasnaja kniga Permskogo kraj* [Red Book of the Perm]. Perm, Aldari, 2018. 232 p. (In Russ.).
- Bogutskaya N.G., Naseka A.M. *Katalog besčeljustnykh i ryb presnykh i solonovatykh vod Rossii s nomenklaturnymi i taksonomičeskimi kommentarijami* [Catalog of jawless and fish of fresh and brackish waters of Russia with nomenclature and taxonomic comments]. Moscow, 2004. (In Russ.). 392 p.
- Bukirev A.I., Kozmin Y.A., Solovyova N.S. [Fish and fisheries of the Middle Kama]. *Izvestija ENI pri*

- Permskom gosudarstvennom universitete*. V. 14, Iss. 3 (1959): pp. 17-53. (In Russ.).
- Gerasimov Y.V., ed. *Ryby Rybinskogo vodochranilišča* [Fish of the Rybinsk reservoir: population dynamics and ecology]. Yaroslavl: Filigran' Publ., 2015. 418p. (In Russ.).
- Kolegova E.L. [Assessment of fish resources and optimization of their use in the Sylvenskii Bay of the Kama reservoir]. *Rybnye resursy Kamsko-Ural'skogo regiona i ich racional'noe ispol'zovanie* [Fish resources of the Kama-Ural region and their rational use. Materials of the scientific and practical conference]. Perm, 2001, pp. 63-67. (In Russ.).
- Konyaev V.P., Kostitsyn V.G. [On the biology of predatory fish of the Kama reservoir]. *Rybnye resursy Kamsko-Ural'skogo regiona i ich racional'noe ispol'zovanie* [Fish resources of the Kama-Ural region and their rational use. Materials of the scientific and practical conference]. Perm, 2001, pp. 67-71. (In Russ.).
- Kostarev G.F. [Morphobiological features of Podust and bleak of the Chusovaya basin]. *Biologičeskie resursy Kamских водохранилищ* [Biological resources of the Kama reservoirs]. Perm, 1975, iss. 1, pp. 35-45. (In Russ.).
- Kostitsyn V.G. [Concept of regulation of fishing in reservoirs of the Kama-Ural region]. *Rybnye resursy Kamsko-Ural'skogo regiona i ich racional'noe ispol'zovanie* [Fish resources of the Kama-Ural region and their rational use. Materials of the scientific and practical conference]. Perm, 2001, pp. 77-80. (In Russ.).
- Kostitsyn V.G. [Fish resources of the Western Urals and their use at the present stage]. *Rybnye resursy Kamsko-Ural'skogo regiona i ich racional'noe ispol'zovanie* [Fish resources of the Kama-Ural region and their rational use. Materials of the scientific and practical conference]. Perm, 2013, pp. 20-29. (In Russ.).
- Mandritsa S.A. [On the specifics of the ichthyofauna of some sections of the Kama reservoir]. *Rybnye resursy Kamsko-Ural'skogo regiona i ich racional'noe ispol'zovanie* [Fish resources of the Kama-Ural region and their rational use. Materials of the scientific and practical conference]. Perm, 2008, pp. 81-83. (In Russ.).
- Matarzin Y.M., Matskevich I.K. [Questions of morphometry and zoning of reservoirs]. *Voprosy formirovaniya vodochranilišč i ich vlijaniya na prirodu i chozjajstvo* [Issues of reservoir formation and their impact on nature and economy]. Perm, 1970, pp. 27-46. (In Russ.).
- Nikolsky G.V. *Struktura vida i zonomernosti izmenčivosti ryb* [Structure of the species and regularities of fish variability]. Moscow, Piščevaja promyšlennost' Publ., 1980. 184 p. (In Russ.).
- Ocenka sostojaniya zapasov vodnyhbiologičeskich resursov* [Report on the research work: To assess the state of stocks of aquatic biological resources, to develop recommendations for their rational use, forecasts of the ODE and possible catch for 2013 in freshwater water bodies of the area of responsibility of the Federal State Budgetary Institution "GosNIORH"]. Nizhny Novgorod, 2012. 113 p. (In Russ.).
- Pushkin Y.A. [Characteristics of the current state of ichthyofauna and fishing in reservoirs of the Perm region and prospects for the development of fisheries]. *Biologičeskie resursy vodoemov Zapadnogo Urala* [Biological resources of reservoirs of the Western Urals. Interuniversity collection of scientific papers]. Perm, 1980, pp. 91-103. (In Russ.).
- Pushkin Y.A. [The fish Fauna and fisheries]. *Biologija Votkinskogo vodochranilišča* [Biology of the Votkinsk reservoir]. Irkutsk, 1988, pp. 118-143. (In Russ.).
- Pushkin Y.A., Zinovyev E.A. [Assessment of the state of commercial ichthyofauna of the Kama reservoirs] *Osnovy racional'nogo ispol'zovaniya rybných resursov kamских водохранилищ* [Fundamentals of rational use of fish resources in Kama reservoirs. Interuniversity collection of scientific papers]. Perm, 1978, pp. 3-13. (In Russ.).
- Pushkin Y.A., Zinovyeva S.N. [Current state of raw materials and fishing in the Kama reservoir]. *Biologičeskie resursy vodoemov Zapadnogo Urala* [Biological resources of reservoirs of the Western Urals. Interuniversity collection of scientific papers]. Perm, 1986, pp. 3-11. (In Russ.).
- Rasčet uščerba, nanosimogo rybnym zapasam Kamского водохранилища pri stroitel'stve beregozaščitnyh sooruzhenij* [Calculation of damage to fish stocks of the Kama reservoir during the construction of coastal protection structures in Dobryanka (berth area)]. FGBNU "GosNIORKh" the Perm branch. Perm, 2005. 7 p. (In Russ.).
- Shakirova F.M., Govorkova L.K., Anokhina O.K. [Current state of the Nizhnekamsk reservoir and opportunities for rational development of its fish resources]. *Izvestija Samarskogo naučnogo centra RAN*. V. 15, N 3(1) (2013): pp. 518-527. (In Russ.).
- Smirnov A.I., Zinovyev E.A., Pushkin Y.A. [Clarification of the taxonomic status of the Kama population of podustes *Chondrostoma agassiz*, 1835 (Pisces, Cyprinidae)]. *Problemy i perspektivy rybovodstva v Permskoj oblasti* [Problems and prospects of fish farming and fishing in the Perm region. Collection of proceedings]. Leningrad, 1988, iss. 281, pp. 121-126. (In Russ.).
- Solovyeva N.S., Zinovyev E.A. [Changes in the ichthyofauna of the Middle Kama after flow regulation]. *Biologija ryb bassejna srednej Kamy* [Biology of fish in the middle Kama basin]. Perm,

- 1971, iss. 2, pp. 3-16. (In Russ.).
- Sovremennoe sostojanie rybnogo hozjajstva na presnovodnykh vodoemach Evropejskoj časti Rossii* [Current state of fisheries in freshwater reservoirs of the European part of Russia. Report on research work]. Perm, 2003. 11 p. (In Russ.).
- Yelchenkova O. N., Svetlakova E. I. [State of fishing in the Perm region reservoirs in 2000]. *Rybnye resursy Kamsko-Ural'skogo regiona i ich racional'noe ispol'zovanie* [Fish resources of the Kama-Ural region and their rational use: materials of the scientific and practical conference]. Perm, 2001, pp. 36-39. (In Russ.).
- Zamotajlov A.S., ed. *Krasnaja kniga Rossijskoj Federacii* [Red Book of the Russian Federation], 2001. 863 p. (In Russ.).
- Zinovyev E.A., Gileva T.A. [Morphological characteristics of some fish of the Kama river basin]. *Izvestija Samarskogo naučnogo centra RAN*. V. 16, N 5(1) (2014): pp. 536-542. (In Russ.).
- Zinovyev E.A. [Fish resources of the Perm region]. *Sostojanie i ochrana okružajuščej sredy Permskogo kraja* [State and environmental protection of the Perm region in 2007]. Available at: <http://www.permecology.ru> (accessed 18.10.2020). (In Russ.).
- Zinovyev E.A. [Fish resources of the Perm region]. // *Sostojanie i ochrana okružajuščej sredy Permskogo kraja* [State and environmental protection of the Perm region in 2009]. Available at: <http://www.permecology.ru> (accessed 22.10.2020). (In Russ.).

Поступила в редакцию 16.11.2020

Об авторах

Казаринов Семен Николаевич, старший специалист
Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
ORCID: 0000-0003-1732-7459
614002, Пермь, ул. Чернышевского, 3;
kazarinov@permniro.ru; (342)2160065

Мерзляков Игорь Николаевич, лаборант
Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
ORCID: 0000-0002-6372-2444
614002, Пермь, ул. Чернышевского, 3;
merzlyakov@permniro.ru; (342)2160065

Поносов Станислав Викторович, младший специалист
Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
ORCID: 0000-0001-8703-8594
614002, Пермь, ул. Чернышевского, 3;
stanis@permniro.ru; (342)2160065

Комарова Лидия Васильевна, младший специалист
Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО»
ORCID: 0000-0002-7021-0017
614002, Пермь, ул. Чернышевского, 3;
komarova@permniro.ru; (342)2160065

About the authors

Kazarinov Semen Nikolaevich, senior specialist
Perm Branch FSBSE «VNIRO».
ORCID: 0000-0003-1732-7459
3, Chernyshevskogo str., Perm, Russia, 614002;
kazarinov@permniro.ru; (342)2160065

Merzlyakov Igor Nikolaevich, laboratory assistant
Perm Branch FSBSE «VNIRO».
ORCID: 0000-0002-6372-2444
3, Chernyshevskogo str., Perm, Russia, 614002;
merzlyakov@permniro.ru; (342)2160065

Ponosov Stanislav Viktorovich, junior specialist
Perm Branch FSBSE «VNIRO».
ORCID: 0000-0001-8703-8594
3, Chernyshevskogo str., Perm, Russia, 614002;
stanis@permniro.ru; (342)2160065

Komarova Lidia Vasilyevna, junior specialist
Perm Branch FSBSE «VNIRO».
ORCID: 0000-0002-7021-0017
3, Chernyshevskogo str., Perm, Russia, 614002;
komarova@permniro.ru; (342)2160065

Информация для цитирования:

Видовой состав и особенности распределения ихтиофауны Камского водохранилища / С.Н. Казаринов, И.Н. Мерзляков, С.В. Поносов, Л.В. Комарова // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 1. С. 39–52. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-39-52.

Kazarinov S.N., Merzlyakov I.N., Ponosov S.V., Komarova L.V. [Species composition and distribution features of the ichthyofauna of the Kama reservoir]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2021): pp. 39-52. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-39-52.

ГЕНЕТИКА

УДК 539.2/.3:502.743:575.174.015.3

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-53-60.

Л. В. Комарова^a, А. Р. Пелеева^c, Н. В. Костицына^a, А. Г. Мельникова^b,
С. В. Боронникова^a

^a Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

^b Пермский филиал ФГБНУ «ВНИРО», Пермь, Россия

^c Исследовательский Центр «ФитоИнженерия», с. Рогачево Московской обл., Россия

ПОЛИМОРФИЗМ ДНК, ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ОРИГИНАЛЬНОСТЬ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОПУЛЯЦИЙ И РЕМОНТНО-МАТОЧНЫХ СТАД СТЕРЛЯДИ (*ACIPENSER RUTHENUS*)

Изучен полиморфизм ДНК, определены показатели генетического разнообразия и генетической оригинальности трех естественных популяций и трех ремонтно-маточных стад стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, *Acipenseridae*) из Приволжского федерального округа. В группе ремонтно-маточных стад *A. ruthenus* выявлено 106 ISSR-PCR маркеров, а в группе естественных популяций – 103 ISSR-PCR маркера. Показатели генетического разнообразия и коэффициент генетической оригинальности (КГО) оказались незначительно выше в группе естественных популяций. Анализ генетической структуры группы естественных популяций и группы ремонтно-маточных стад *A. ruthenus* показал, что коэффициент генетической подразделенности также незначительно выше в группе естественных популяций, и равен 0,377. В результате молекулярно-генетической идентификации выявлены родовые и видовые идентификационные фрагменты ДНК стерляди, а также сочетания полиморфных фрагментов для идентификации изученных естественных популяций и стад. Полученные данные могут быть использованы для сохранения генофонда популяций стерляди, который характерен для того или иного региона.

Ключевые слова: полиморфизм ДНК; оригинальность; идентификация; популяции; ремонтно-маточные стада; *Acipenser ruthenus*.

L. V. Komarova^a, A. R. Peleeva^c, N. V. Kostitsyna^a, A. G. Melnikova^b,
S. V. Boronnikova^a

^a Perm State University, Perm, Russian Federation

^b Perm branch of FGBNU «VNIRO», Perm, Russian Federation

^c PhytoEngineering Research Center LLC, s. Rogachevo Moscow region, Russian Federation

DNA polymorphism, genetic originality and identification of sterlet populations and replacement broodstock (*Acipenser ruthenus*)

DNA polymorphism has been studied, indicators of genetic diversity and genetic originality have been determined for three natural populations and three replacement broodstocks of sterlet (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, *Acipenseridae*) from the Volga Federal District. In the group of *A. ruthenus* replacement broodstock, 106 ISSR-PCR markers were identified, and in the group of natural populations, 103 ISSR-PCR markers. The indicators of genetic diversity and the coefficient of genetic originality (CGO) were slightly higher in the group of natural populations. Analysis of genetic structure of natural populations and groups of broodstock herds *A. ruthenus* showed that the coefficient of genetic differentiation are also slightly higher in the group of natural populations and equal 0,377. As a result of molecular genetic identification, generic and species identification fragments of sterlet DNA were revealed, as well as combinations of polymorphic fragments for identification of the studied natural populations and stocks. The data obtained can be used to preserve the gene pool of populations, which is characteristic for a particular region.

Key words: DNA polymorphism; originality; identification; populations; replacement broodstock; *Acipenser ruthenus*.

Введение

Сохранение генетических ресурсов ценных промысловых видов рыб является в настоящее

время актуальной задачей. Резкое сокращение численности осетровых рыб вызвано нерациональным браконьерским промыслом, причинением ущерба местам их обитания, а также нарушением условий

их размножения и нагула [Сытова, 2016]. Весь отряд осетрообразных рыб внесен в списки Конвенции о международной торговле видами дикой фауны и флоры (CITES – Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora), находящимися под угрозой исчезновения [Raymakers, 2006], а также семейство *Acipenseridae* внесено в различные категории Международной Красной книги [Birstein et al., 1997, Raymakers, 2002]. Стерлядь (*Acipenser ruthenus* Linnaeus) является редким видом современной фауны, охрана которого осуществляется как на законодательном уровне в Российской Федерации [Об утверждении ..., 2020], так и за рубежом [Raymakers, 2006].

Генетические исследования осетровых рыб являются одним из эффективных инструментов мониторинга воспроизводства и сохранения естественных популяций и стад в условиях аквакультуры [Dudu, 2011; Козлова и др., 2013, Forp-Bayat, 2015]. Именно в искусственных условиях часто разводятся виды или даже их гибриды из других регионов, что усложняет их корректную видовую идентификацию [Мюге, 2008]. Молекулярно-генетическая идентификация важна как для определения генотипов рыб, выпускаемых в водотоки и водоемы с целью восполнения численности рыб в популяциях, уменьшенной при антропогенной деятельности, а также при разведении стерляди в аквакультуре. Генетическое разнообразие естественных популяций и ремонтно-маточных стад *A. ruthenus* изучено недостаточно.

Цель данной работы – сравнительный анализ генетического разнообразия и генетической оригинальности групп естественных популяций и ремонтно-маточных стад стерляди из Приволжского федерального округа, а также молекулярно-генетическая идентификация стерляди на основании полиморфизма межмикросателлитных маркеров.

Материал и методы

Объектами для исследования полиморфизма фрагментов ДНК и генетической оригинальности явились три естественные популяции стерляди (*Acipenser ruthenus* Linnaeus, *Acipenseridae*) из Приволжского федерального округа: *Ar_Km* – из среднего течения р. Камы Волжского речного бассейна (Пермский край); *Ar_Su* – из нижнего течения р. Сухоны Северо-Двинского речного бассейна (Вологодская обл.); *Ar_Sh* – из среднего течения р. Вятки Волжского речного бассейна (Кировская обл.); а также три ремонтно-маточных стада стерляди, расположенных в разных регионах Приволжского федерального округа: *Ar_Ks* – из рыбноводного хозяйства Костромской обл., *Ar_Sr* – из Саратовского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («Сара-

товНИРО»); *Ar_Ah* – из рыбноводного хозяйства «ООО Тополь» Пермского края.

Выборка стерляди из р. Камы (*Ar_Km*) была отловлена на участке, расположенном в 2 км ниже Воткинской ГЭС. В Пермском крае популяции верхнекамской стерляди присвоена III категория редкости [Красная книга Пермского края, 2018]. Данная популяция не относится к верхнекамской стерляди и, соответственно, не занесена в Красную книгу региона, в связи с чем отлов стерляди для сбора плавников был официально разрешен. Естественная популяция стерляди (*Ar_Su*) была отловлена на участке р. Сухоны, расположенном между населенными пунктами Тотьма и Полдарса. В Вологодской обл. *A. ruthenus* присвоена II категория редкости [Красная книга Вологодской области, 2010]. Выборка стерляди (*Ar_Sh*) была отловлена в нижнем течении р. Вятки около населенного пункта Шурма. В Кировской обл. стерляди присвоена II категория редкости, однако вятская популяция не занесена в Красную книгу данного региона [Красная книга Кировской области, 2014].

Ремонтно-маточное стадо *Ar_Ks* из рыбноводного хозяйства Костромской обл. было частично отловлено из р. Волги. Выборка из Саратовского филиала ФГБНУ «ВНИРО» *Ar_Sr* была также частично отловлена из р. Волги. Ремонтно-маточное стадо стерляди из «ООО Тополь» *Ar_Ah* было закуплено на ЦВР Пермской ГРЭС. Целью создания ремонтно-маточных стад вышеуказанных рыбноводных хозяйств является восполнение численности естественных популяций, а также товарное выращивание.

В каждой из изученных естественных популяций и в каждом ремонтно-маточном стаде было исследовано по 30 особей *A. ruthenus*. Для генетического анализа отбирались фрагменты грудных плавников с последующим выпуском рыбы в водоем, так как стерлядь относится к числу редких видов рыб [Об утверждении Перечня объектов животного мира..., 2020]. Фиксация материала была проведена сразу же после взятия проб в 96%-ном спирте. Хранение материала до выделения ДНК проводилось при температуре +4°C.

Анализ полиморфизма ДНК проведен в группе естественных популяций и в группе ремонтно-маточных стад стерляди, при этом каждая группа включала по 3 выборки и насчитывала по 90 рыб. ДНК выделялась по методике С. Роджерса и А. Бендиха [Rogers, Bendich, 1985], которая была модифицирована с использованием в качестве сорбента PVPP (polyvinylpyrrolidone). ДНК была выделена из тканей плавников 180 особей стерляди. Навеска составляла 100 мг. Качественные характеристики и концентрацию ДНК определяли на спектрофотометре «NanoDrop 2000» (Thermo Fisher Scientific, США). Для ПЦР концентрацию вы-

равнивали до 10 нг/мкл. Генетический полиморфизм изучен у 180 проб ДНК посредством полимеразной цепной реакции (ПЦР) с пятью эффективными ISSR-праймерами, установленными ранее [Комарова и др., 2015]. В данном исследовании применен метод межмикросателлитного анализа (ISSR – Inter Simple Sequence Repeats) полиморфизма ДНК [Zietkiewicz et al., 1994]. Реакционная смесь для ПЦР включала в себя 2 единицы Таг-полимеразы, 2.5 мкл стандартного 10x буфера для ПЦР, 25 пМ праймера, 2.5 мМ Mg²⁺, 0.25 мМ dNTP, а также 5 мкл матричной ДНК. ПЦР проведена в термоциклере «Му Cycler» (Bio-Rad, USA). При этом использован типичный для ISSR-метода протокол: предварительная денатурация 94°C, 2 мин.; первые пять циклов 94°C, 20 сек.; t° отжига, 10 сек.; 72°C, 10 сек.; в последующих тридцати пяти циклах 94°C, 5 сек.; t отжига, 5 сек.; 72°C, 5 сек. Последний цикл элонгации длился 2 мин. при 72°C. В зависимости от G/C-состава праймеров температура отжига изменялась от 56 до 64°C. При отрицательном (К-) контроле вместо матрицы в реакционную смесь добавляли 5 мкл деионизированной воды. ПЦР повторяли не менее двух раз. В шести выборках стерляди проанализирован полиморфизм 115 ISSR-PCR маркеров.

Электрофорез ампликонов проведен в 2%-ном агарозном геле в 1x TBE буфере. Фрагменты ДНК в гелях окрашивали бромистым этидием, а после этого фотографировали в системе Gel-Doc XR («Bio-Rad», USA) в проходящем ультрафиолетовом свете. Длину фрагментов ДНК определяли с помощью маркера молекулярной массы (100 bp +1.5 + 3 Kb DNA Ladder; «ООО-СибЭнзим-М», Москва), а также при помощи программы Quantity One в системе гель-документации Gel-Doc XR («Bio-Rad», USA).

Фрагменты ДНК были представлены в виде матрицы бинарных данных. Полиморфизм по интенсивности не брали в расчет. Для компьютерного анализа использованы программа POPGENE1.31 и специализированный макрос GenAlEx6 для MS-Excel, с помощью которых определены общепризнанные показатели генетического разнообразия. Типичные и специфичные маркеры были установлены в соответствии с методикой определения коэффициента генетической

оригинальности – КГО [Потокина, Александрова, 2008].

Генетическая структура популяций и стад была установлена и представлена в виде следующих параметров [Nei, 1975]: во всей популяции ожидаемая доля гетерозиготных генотипов (H_T) как мера общего генного разнообразия; в отдельной популяции ожидаемая доля гетерозиготных генотипов (H_S) как мера ее внутривидового разнообразия. Кроме того, установлен показатель подразделенности популяций, или G_{ST} , который показывает долю межпопуляционного генетического разнообразия в общем генетическом разнообразии.

Молекулярно-генетическая идентификация выполнена по методике С.В. Боронниковой [2008]. Для проверки идентификационных маркеров опыт повторяли дважды. Для выявления идентификационных маркеров, общих для видов одного рода, так называемых «родовых» использовали пробы ДНК осетра сибирского (*Acipenser baerii* Brandt). Статистическая обработка полученных данных проведена с использованием стандартных для популяционно-генетических исследований методов в программе STATISTICA 6.0.

Результаты и их обсуждение

При определении генетического полиморфизма у всех особей из группы естественных популяций *A. ruthenus* было выявлено 103 ISSR-PCR маркера (табл. 1), из них 96 оказались полиморфными ($P_{95} = 0.932$). В группе же ремонтно-маточных стад *A. ruthenus* было установлено 106 ISSR-PCR маркеров, из них полиморфными оказались 90 ($P_{95} = 0.849$). Итак, доля полиморфных локусов незначительно выше в группе естественных популяций стерляди. Число выявленных ISSR-PCR маркеров *A. ruthenus* в группе естественных популяций изменялось в зависимости от праймера от 18 (CR-212 [(CT)₈TG]) до 24 (X11 [(AGC)₆G]). Число установленных ISSR-PCR маркеров *A. ruthenus* в группе ремонтно-маточных стад изменялось больше, а именно – от 16 (CR-212 [(CT)₈TG]) до 26 (X11 [(AGC)₆G]). Размеры выявленных ISSR-PCR маркеров (табл. 1) в обеих исследованных группах варьировали в диапазоне от 200 (ISSR-9) [(ACG)₇G] до 1500 п.н. (X9) [(ACC)₆G].

Таблица 1

Характеристика ISSR-PCR маркеров группы естественных популяций и группы ремонтно-маточных стад *A. ruthenus*

ISSR-праймеры	Нуклеотидная последовательность (5'→3')	Длина маркеров, п.н	Общее число полиморфных ISSR-PCR маркеров (их частота)			
			Группа естественных популяций (<i>Ar_Km</i> , <i>Ar_Su</i> , <i>Ar_Sh</i>)		Группа ремонтно-маточных стад (<i>Ar_Ks</i> , <i>Ar_Sr</i> , <i>Ar_Ah</i>)	
			всего	полиморфных	всего	полиморфных
CR-212	(CT) ₈ TG	230-960	18	16 (0.889)	16	16 (1.000)
X11	(AGC) ₆ G	280-1000	24	22 (0.917)	24	21 (0.875)
CR-215	(CA) ₆ GT	210-1000	19	17 (0.895)	19	17 (0.895)

Окончание табл. 1

ISSR-праймеры	Нуклеотидная последовательность (5'→3')	Длина маркеров, п.н	Общее число полиморфных ISSR-PCR маркеров (их частота)			
			Группа естественных популяций (<i>Ar_Km</i> , <i>Ar_Su</i> , <i>Ar_Sh</i>)		Группа ремонтно-маточных стад (<i>Ar_Ks</i> , <i>Ar_Sr</i> , <i>Ar_Ah</i>)	
			всего	полиморфных	всего	полиморфных
ISSR-9	(ACG) ₇ G	200-800	20	20 (1.000)	21	14 (0.667)
X9	(ACC) ₆ G	200-1500	22	21 (0.955)	26	22 (0.846)
Всего ISSR-PCR маркеров			103	96 (0.932)	106	90 (0.849)

Примечание. Группа естественных популяций включает *Ar_Km* – из р. Камы; *Ar_Su* – из р. Сухоны; *Ar_Sh* – из р. Вятки; группа ремонтно-маточных стад включает *Ar_Ks* – из рыбоводного хозяйства Костромской обл.; *Ar_Sr* – из Саратовского филиала ФГБНУ «ВНИРО» («СаратовНИРО»), *Ar_Ah* – из «ООО Тополь»; CR-212, X11, CR-215, ISSR-9, X9 – обозначения праймеров.

Ожидаемая гетерозиготность (H_E) в группе естественных популяций *A. ruthenus* ($H_E = 0.294$) также незначительно выше (табл. 2), чем в другой группе ($H_E = 0.269$). Эффективное число установленных аллелей на локус (n_e) оказалось выше в первой группе, то есть у естественных популяций, и составило 1.477. В обеих группах обнаружено по три редких аллеля (табл. 2). При сравнении уста-

новленных показателей генетического разнообразия, группы естественных популяций ($P_{95} = 0.932$; $H_E = 0.294$; $n_e = 1.477$) и группы ремонтно-маточных стад ($P_{95} = 0.849$; $H_E = 0.269$; $n_e = 1.434$), с использованием традиционных критериев Фишера и Стьюдента, установлено, что их разница незначима (табл. 2).

Таблица 2

Генетическое разнообразие группы естественных популяций и группы ремонтно-маточных стад *A. ruthenus*

Группа	Показатели генетического разнообразия			
	P_{95}	H_E	h	n_e
Группа естественных популяций	0.932	0.294 (0.015)	0.293 (0.148)	1.479 (0.312)
Группа ремонтно-маточных стад	0.849	0.269 (0.015)	0.269 (0.156)	1.433 (0.311)
Критерий	Фишера (F)			Стьюдента (t)
Значение критерия	F = 1.815	F = 0.373	F = 0.207	t = 0.100
Сравнение с F_{st} или t_{st}	1.815 < 1.96	0.373 < 1.96	0.207 < 1.96	0.100 < 1.98

Примечание. P_{95} – доля полиморфных локусов; H_E – ожидаемая гетерозиготность; n_e – эффективное число аллелей на локус; h – доля редких морф; в скобках даны стандартные отклонения; состав групп естественных популяций и ремонтно-маточных стад указаны в табл. 1.

Доля редких морф h (в нашем случае редких фрагментов ДНК) указывает, что сбалансированность структуры генетического разнообразия в группе естественных популяций по сравнению с группой ремонтно-маточных стад различается незначительно.

Коэффициент генетической оригинальности из 6 изученных выборок выше у ремонтно-маточного стада Костромской обл. (КГО = 1.439). Это означает, что генофонд данной выборки стерляди имеет тенденцию к специфичности, а генофонд выборки из естественной популяции р. Сухоны (КГО = 0.615) менее гетерогенен и несет больше типичных аллелей. Одной из причин низкой генетической гетерогенности может быть тот факт, что исследуемые особи родственны между собой, как было показано в другом исследовании стерляди на основании анализа изменчивости нуклеотидных последовательностей фрагмента локуса *cut b* мтДНК [Слынько и др., 2017]. Вместе с тем КГО выше в группе естественных популяций и равен 2.040, чем в группе ремонтно-маточных стад

A. ruthenus (КГО=1.928). Это означает, что генофонды естественных популяций в своем составе содержат больше специфичных аллелей, а генофонды ремонтно-маточных стад – больше типичных аллелей. Таким образом, установленные показатели генетического разнообразия и новой характеристики генетической оригинальности (КГО) оказались незначительно выше в первой группе естественных популяций, по сравнению с этим показателем во второй группе ремонтно-маточных стад стерляди.

Анализ выявленной генетической структуры у группы естественных популяций и у группы ремонтно-маточных стад *A. ruthenus* показал, что в так называемой общей популяции ожидаемая доля гетерозиготных генотипов (H_T), а также в отдельной группе ожидаемая доля гетерозиготных генотипов по всем локусам (H_S) незначительно выше в первой группе естественных популяций, чем во второй группе ремонтно-маточных стад. Коэффициент генетической подразделенности (G_{ST}), так же незначительно выше в группе естественных попу-

ляций и равен 0,377 (табл. 3).

Наибольшая дифференциация в группе естественных популяций *A. ruthenus* установлена с использованием праймера X11 [(AGC)₆G]. В группе ремонтно-маточных стад праймер CR-212 [(СТ)₈TG] выявил наибольшую степень дифференциации среди исследованных выборок (табл. 3). Коэффициент подразделенности популяций, как итоговый показатель (G_{ST}), показывает, что на

межпопуляционную компоненту в первой группе естественных популяций приходится 37.7% всего генетического разнообразия. Почти идентичный показатель в группе ремонтно-маточных стад – 37.0%. Итак, в двух изученных группах стерляди степень дифференциации выборок оказалась выше среднего значения и почти одинаковой у этих двух групп.

Таблица 3

Генетическая структура группы естественных популяций и группы ремонтно-маточных стад *A. ruthenus*

Выборка	Показатель	ISSR-PCR праймер					На группу
		CR-212	X11	CR-215	ISSR-9	X9	
Группа естественных популяций	H_T	0.309 (0.019)	0.307 (0.025)	0.338 (0.023)	0.265 (0.023)	0.330 (0.026)	0.310 (0.023)
	H_S	0.201 (0.009)	0.162 (0.015)	0.190 (0.008)	0.196 (0.012)	0.220 (0.015)	0.193 (0.012)
	G_{ST}	0.348	0.474	0.438	0.259	0.331	0.377
Группа ремонтно-маточных стад	H_T	0.312 (0.019)	0.293 (0.025)	0.334 (0.021)	0.244 (0.043)	0.270 (0.025)	0.288 (0.027)
	H_S	0.169 (0.011)	0.173 (0.012)	0.229 (0.014)	0.148 (0.019)	0.188 (0.017)	0.181 (0.015)
	G_{ST}	0.456	0.407	0.313	0.392	0.305	0.370

Примечание. H_T – доля гетерозиготных генотипов; H_S – доля гетерозиготных генотипов внутри выборки; G_{ST} – показатель подразделенности популяций; в скобках даны стандартные отклонения; состав групп естественных популяций и ремонтно-маточных стад указаны в табл. 1; CR-212, X11, CR-215, ISSR-9, X9 – обозначения праймеров.

Молекулярно-генетическая идентификация проведена с использованием молекулярных маркеров и их характеристик, определенных на основании частот аллелей, полученных при молекулярно-генетическом анализе шести выборок стерляди. На основе ISSR-спектров *A. ruthenus*, полученных при электрофорезе продуктов ПЦР с пятью эффективными праймерами, удалось установить идентификационные маркеры или их сочетания для трёх изученных популяций и трёх ремонтно-маточных стад этого вида.

При сравнении спектров амплификаций стерляди (*A. ruthenus*) и близкородственного вида осетра сибирского (*A. baerii*) были выявлены мономорфные родовые ISSR-PCR маркеры, характерные для обоих видов: ACIP_T230_{ISSR9}; ACIP_T380_{CR212}; ACIP_T250_{CR212}; ACIP_T430_{CR215}; ACIP_T210_{CR215}; ACIP_T170_{X11}.

Для изученных выборок *A. ruthenus* установлены пять видовых ISSR-PCR маркеров, выявленных у всех изученных рыб: Ar_V1030_{CR215}; Ar_V730_{CR215}; Ar_V250_{CR215}; Ar_V660_{X11}; Ar_V450_{X11}. Также, при молекулярно-генетической идентификации, были установлены полиморфные фрагменты или их сочетания для каждой выборки, встречающиеся с частотой от 0.05 до 0.95.

Для апробации подходов идентификации изученных выборок *A. ruthenus* была проведена анонимная идентификация проб ДНК неизвестной выборки на основании анализа идентификационных маркеров. Процедура анонимной идентификации составила несколько этапов:

1) проведение ISSR-анализа полиморфизма ДНК: с 30 пробами ДНК неизвестной выборки была поставлена ПЦР с 5 эффективными ISSR-праймерами для *A. ruthenus* (CR-212, X11, CR-215, ISSR-9, X9);

2) компьютерный анализ: полученные ISSR-спектры неизвестного образца сравнивались с ISSR-профилями изученных ранее выборок *A. ruthenus*. При сравнении полученных ISSR-профилей четко были выявлены мономорфные фрагменты, соответствующие видовым фрагментам *A. ruthenus* – Ar_V320_{ISSR9}; Ar_V1030_{CR215}; Ar_V730_{CR215}; Ar_V250_{CR215}; Ar_V660_{X11}; Ar_V450_{X11}; следовательно, можно сделать вывод, что данная ДНК неизвестного образца принадлежит стерляди;

3) для идентификации выборки, к которой принадлежит неизвестный образец ДНК, было проведено сравнение полиморфных ISSR-PCR маркеров. На электрофореграмме неизвестного образца стерляди с праймерами X11 и X9 присутствуют фрагменты 760_{X11}, 870_{X9} с частотой более 0.500, которые встречаются только у естественной популяции *Ar_Sh* из р. Вятки. При дальнейшей процедуре сравнения ISSR-паттернов исследованной ранее популяции *Ar_Sh* и неизвестного образца, четко прослеживалось совпадение всех маркеров, амплифицированных в ПЦР с пятью ISSR-праймерами, а следовательно, данный неизвестный тестируемый образец принадлежит естественной популяции *Ar_Sh* из р. Вятки *A. ruthenus*.

Таким образом, для *A. ruthenus* были установлены шесть общих для двух видов рода *Acipenser*,

то есть идентификационных родовых фрагментов; а также пять видовых фрагментов.

По результатам проведенного исследования были разработаны следующие рекомендации для рыбоводных хозяйств:

1. Для сохранения и восстановления генетических ресурсов *A. ruthenus* рекомендуется использовать естественную популяцию из р. Вятки (*Ar_Sh*), так как у нее выявлены самые высокие среди установленных показатели генетического разнообразия ($P_{95} = 0.776$; $H_E = 0.181$; $n_e = 1.313$).

2. С целью сохранения типичных для региона исследований аллелей рекомендуется использовать естественную популяцию стерляди из р. Сухоны (КГО = 0.615).

3. Для обоснования выпуска молоди в р. Каму, Вятку или Сухону также рекомендуется проведение молекулярно-генетической идентификации с обобщением в виде генетических паспортов и с указанием генетического сходства на основании полиморфизма установленных молекулярных маркеров.

Заключение

В ходе молекулярно-генетического анализа в группе естественных популяций *A. ruthenus* было выявлено 103 ISSR-PCR маркера, из которых 96 оказались полиморфными ($P_{95} = 0.932$), а в группе ремонтно-маточных стад – 106 ISSR-PCR маркеров, из которых 90 оказались полиморфными ($P_{95} = 0.849$). Итак, доля полиморфных локусов незначительно выше в группе естественных популяций стерляди.

Установленные показатели генетического разнообразия оказались незначительно выше в первой группе естественных популяций по сравнению с показателями второй группы ремонтно-маточных стад стерляди. Коэффициент генетической оригинальности (КГО) также выше в группе естественных популяций *A. ruthenus*. Это означает, что генофонд естественных популяций стерляди имеет тенденцию к специфичности, а генофонд ремонтно-маточных содержит больше типичных аллелей.

Проведенный анализ генетической структуры двух групп (естественных популяций и ремонтно-маточных стад) *A. ruthenus* показал, что коэффициент подразделенности так же незначительно выше ($G_{ST} = 0.377$) в группе естественных популяций. Как и в других исследованиях [Побединцева, 2016], полученные данные свидетельствуют о сложной популяционной структуре изученных выборок стерляди.

Для *A. ruthenus* были установлены шесть идентификационных родовых ISSR-PCR маркеров; пять видовых ISSR-PCR маркеров, а также перечень и сочетаемость полиморфных маркеров для молекулярно-генетической идентификации изученных

выборок. Проведена анонимная идентификация проб ДНК неизвестной выборки стерляди, которая подтвердила эффективность выполненной молекулярно-генетической идентификации. Полученные данные о генетическом разнообразии групп естественных популяций и ремонтно-маточных стад могут быть использованы для сохранения генофондов стерляди, характерных для того или иного региона.

Работа выполнена в рамках государственного задания по науке ФГАОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет» № FSNF-2020-0008 (регист. номер АААА-А20-120081990069-3).

Список литературы

- Боронникова С.В. Молекулярно-генетическая идентификация и паспортизация редких и находящихся под угрозой уничтожения видов растений. Пермь, 2008. 120 с.
- Козлова Н.В. и др. Применение молекулярно-генетических исследований в аквакультуре осетровых рыб // Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство. 2013. № 3. С. 113–117.
- Комарова Л.В. Анализ полиморфизма ДНК стерляди (*Acipenser ruthenus* L.) из двух естественных популяций и искусственного стада // Фундаментальные и прикладные исследования в биологии и экологии. Пермь, 2015. С. 7–9.
- Красная книга Вологодской области. Т. 3. Животные / под ред. Н.Л. Болотовой и др. Вологда: Полиграф-Книга, 2010. 216 с.
- Красная книга Кировской области: Животные. Растения. Грибы / под ред. О.Г. Барановой и др. Киров, 2014. 336 с.
- Красная книга Пермского края / под ред. М.А. Бакланова. Пермь: Алдари, 2018. 230 с.
- Красная книга Российской Федерации. Животные / под ред. А.С. Замотайлова. М., 2001. 863 с.
- Об утверждении Перечня объектов животного мира, занесенных в Красную книгу Российской Федерации: Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ, № 162 от 24 марта 2020 г. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564578614>
- Побединцева М.А. Генетическая структура популяции и филогеография стерляди *Acipenser ruthenus* и сибирского осетра *Acipenser baerii* в бассейне реки Обь // Материалы 54 Междунар. науч. студ. конф. МНСК-2016. Новосибирск, 2016. С. 100.
- Потокина Е.К., Александрова Т.Г. Методы классификации внутривидового разнообразия по результатам молекулярного маркирования // Фундаментальные и прикладные проблемы ботаники в начале XXI века: материалы Всерос. конф. Петрозаводск, 2008. Ч. 3. С. 62–65.
- Слынько Е.Е. и др. Биологические параметры ре-

- интродуцированной стерляди в реках Северо-Двинского бассейна // Повышение уровня и качества биогенного потенциала в животноводстве: сб. III Междунар. науч.-практ. конф. Ярославль, 2017. С. 179–183.
- Сытова М.В. Разработка научных подходов развития осетрового хозяйства на основе прослеживаемости продукции из осетровых рыб // Труды ВНИРО. 2016. Т. 159. Р. 143–150.
- Birstein V.J. et al. Phylogeny of the *Acipenseriformes*: cytogenetic and molecular approaches // *Environmental Biology of Fishes*. 1997. Vol. 48. P. 127–155.
- Dudu A. et al. Nuklear markers of Danube sturgeons hybridization // *Molecular Sciences*. 2011. Vol. 12. P. 6796–6809.
- Fopp-Bayat D. et al. Genetic analysis of six sterlet (*Acipenser ruthenus*) populations - recommendations for the plan of restitution in the Dniester River // *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. 2015. Vol 14(3). P. 634–645.
- Nei M. et al. Molecular population genetics and evolution. North-Holland Publishing Company, 1975. 288 p.
- Raymakers C. International trade in sturgeon and paddlefish species—the effect of CITES listing // *International Review of Hydrobiology: A Journal Covering all Aspects of Limnology and Marine Biology*. 2002. Vol. 87, № 5–6. P. 525–537.
- Raymakers C. CITES, the Convention on International trade in Endangered Species of wild fauna and flora: its role in the conservation of *Acipenseriformes* // *Journal of Applied Ichthyology*. 2006. Vol. 22. P. 53–65.
- Rogers S.O., Bendich A.J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues // *Plant Molecular Biology*. 1985. Vol. 5, № 19. P. 69–76.
- Zietkiewicz E. et al. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification // *Genomics*. 1994. Vol. 20. P. 176–180.
- [Red Data Book of the Vologda Region. V. 3. Animals]. Vologda, Poligraf-Kniga Publ., 2010. 216 p. (In Russ.).
- Baranova O.G., Lachokhi E.P., Ryabov V.M. *Krasnaja kniga Kirovskoj oblasti. Životnye, Rasteniya, Griby* [Red Book of the Kirov region. Animals, Plants, Fungi]. Kirov, 2014. 363 p. (In Russ.).
- Baklanov M.A. *Krasnaja kniga Permskogo kraja* [The Red Book of Perm region]. Perm, Aldari Publ., 2018. 230 p. (In Russ.).
- Zamotajlov A.S. *Krasnaja kniga Rossijskoj Federacii. Životnye* [The Red Book of the Russian Federation. Animals] Moscow, 2001. 863 p. (In Russ.).
- Ob utverždenii Perečnja ob"ektov životnogo mira, zanesennyh v Krasnuju knigu Rossijskoj Federacii [About the approval of the List of Objects of the Animal world listed in the Red Book of the Russian Federation: Order of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation, No. 162 of March 24, 2020.] Available at: <https://docs.cntd.ru/document/564578614> (In Russ.).
- Pobedinceva M.A. [Genetic structure of populations and phylogeography of the sterlet *Acipenser ruthenus* and Siberian sturgeon *Acipenser baerii* in the Ob River basin]. *Materialy 54 meždunarodnoj naučnoj studenčeskoj konferencii* [Proceedings of the 54th International Scientific Student Conference MNSC-2016] Novosibirsk, 2016, p. 100. (In Russ.).
- Potokina E.K., Aleksandrova T.G. [Methods for classifying intraspecific diversity based on the results of molecular labeling]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy botaniki v načale XXI veka* [Fundamental and applied problems of botany at the beginning of the XXI century. Materials of the All-Russian Conference.]. Petrozavodsk, 2008, pp. 62-65. (In Russ.).
- Slyn'ko E.E. et al. [Biological parameters of reintroduced sterlet in the rivers of the North Dvina basin]. *Povyšenie urovnja i kačestva biogennogo potenciala v životnovodstve* [Improving the level and quality of biogenic potential in animal husbandry: collection of the III International Scientific and Practical Conference]. Yaroslavl, 2017, pp. 179-183. (In Russ.).
- Sytova M.V. [Development of scientific approaches to the development of sturgeon farming based on the traceability of products from sturgeon fish]. *Trudy VNIRO*. V. 159 (2016): pp. 143-150. (In Russ.).
- Birstein V.J. et al. Phylogeny of the *Acipenseriformes*: cytogenetic and molecular approaches. *Environmental Biology of Fishes*. V. 48 (1997): pp. 127-155.
- Dudu A. et al. Nuklear markers of Danube sturgeons hybridization. *Molecular Sciences*. V. 12 (2011): pp. 6796-6809.
- Fopp-Bayat D. et al. Genetic analysis of six sterlet (*Acipenser ruthenus*) populations - recommendations for the plan of restitution in the Dniester River. *Iranian Journal of Fisheries Sciences*. V. 14(3) (2015): pp. 634-645.
- Nei M. et al. Molecular population genetics and evolution. North-Holland Publishing Company, 1975. 288 p.

References

- Boronnikova S.V. *Molekuljarno-genetičeskaja identifikacija i pasportizacija redkich i nachodjaščsja pod ugrozoi uničtoženija vidov rastenij* [Molecular genetic identification and certification of rare and endangered plant species]. Perm, 2008. 120 p. (In Russ.).
- Kozlova N.V. et al. [Application of molecular genetic studies in sturgeon aquaculture]. *Vestnik AGTU. Ser. Rybnoe chozjajstvo*, N 3 (2013): pp. 113-117. (In Russ.).
- Komarova L.V. [Analysis of DNA polymorphism in sterlet (*Acipenser ruthenus* L.) from two natural populations and an artificial herd]. *Fundamental'nye i prikladnye issledovanija v biologii i èkologii* [Basic and applied research in biology and ecology]. Perm, 2015, pp. 7-9. (In Russ.).
- Bolotova N.L., Ivanter H.V., Krivokhatskii V.A., eds. *Krasnaja kniga Vologodskoj oblasti. T. 3. Životnye*

- lution. North-Holland Publishing Company, 1975. 288 p.
- Raymakers C. CITES, the Convention on International trade in Endangered Species of wild fauna and flora: its role in the conservation of Acipenseriformes. *Journal of Applied Ichthyology*. V. 22 (2006): pp. 53-65.
- Raymakers C. International trade in sturgeon and paddlefish species—the effect of CITES listing. *International Review of Hydrobiology: A Journal Covering all Aspects of Limnology and Marine Biology*. V. 87, N 5 (2002): pp. 525-537.
- Rogers S.O., Bendich A.J. Extraction of DNA from milligram amounts of fresh, herbarium and mummified plant tissues. *Plant Molecular Biology*. V. 5, N 19 (1985): pp. 69-76.
- Zietkiewicz E. et al. Genome fingerprinting by simple sequence repeat (SSR)-anchored polymerase chain reaction amplification. *Genomics*. V. 20 (1994): pp. 176-180.

Поступила в редакцию 18.03.2021

Об авторах

Комарова Лидия Васильевна, ассистент кафедры ботаники и генетики растений ФГАОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
ORCID: orcid.org/0000-0002-7021-0017
 614068, Пермь, ул. Букирева, 15;
 arealfreedom@mail.ru; (342)2396229

Пелеева Альбина Рафиковна, научный сотрудник ООО «Исследовательский Центр «ФитоИнженерия»
ORCID: 0000-0002-6122-0934
 141880, Московская область, Дмитровский район, с. Рогачево, ул. Московская, стр. 58;
 al.peleeva@yandex.ru; 8-9963250084

Костицына Наталья Вячеславовна, кандидат биологических наук, доцент каф. зоологии позвоночных и экологии ФГАОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
ORCID: orcid.org/0000-0002-8681-2135
 614068, Пермь, ул. Букирева, 15;
 biology.psu@yandex.ru, (342)2396353

Мельникова Алла Геннадьевна, кандидат биологических наук, руководитель Пермский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»
ORCID: orcid.org/0000-0003-2717-5188
 614002, г. Пермь, ул. Чернышевского, д. 3;
 permniro@vniro.ru; +7 (342) 258-46-36

Боронникова Светлана Витальевна, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники и генетики растений ФГАОУВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
ORCID: 0000-0002-5498-8160
 614068, Пермь, ул. Букирева, 15;
 SVBoronnikova@yandex.ru; (342)2396229

About the authors

Komarova Lidiya Vasilievna, assistant of Department of botany and plant genetics Perm State University.
ORCID: orcid.org/0000-0002-7021-0017
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614068;
 arealfreedom@mail.ru; (342)2396229

Peleeva Albina Rafikovna, Researcher PhytoEngineering Research Center LLC.
ORCID: 0000-0002-6122-0934
 141880, Moscow region, Dmitrovsky district, s. Rogachevo, st. Moscow, p. 58;
 al.peleeva@yandex.ru; 8-9963250084

Kostitsyna Natalia Vyacheslavovna, candidate of biology, associate professor of the Department vertebrate zoology and ecology Perm State University.
ORCID: orcid.org/0000-0002-8681-2135
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614068;
 biology.psu@yandex.ru, (342)2396353

Melnikova Alla Gennadiyevna, candidate of biology, Head Perm branch of the FSBSI “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Perm branch of “VNI-RO” (“PermNIRO”).
ORCID: orcid.org/0000-0003-2717-5188
 123, Leninskije gory str., Moscow, Russia, 119991;
 permniro@vniro.ru; +7 (342) 258-46-36

Boronnikova Svetlana Vitalievna, doctor of biology, professor, head of the Department of botany and plant genetics Perm State University.
ORCID: 0000-0002-5498-8160
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614068;
 SVBoronnikova@yandex.ru; (342)2396229

Информация для цитирования:

Полиморфизм ДНК, генетическая оригинальность и идентификация популяций и ремонтно-маточных стад стерляди (*Acipenser ruthenus*) / Л.В. Комарова, А.Р. Пелеева, Н.В. Костицына, А.Г. Мельникова, С.В. Боронникова // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 1. С. 53–60. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-53-60.

Komarova L.V., Peleeva A.R., Kostitsyna N.V., Melnikova A.G., Boronnikova S.V. [DNA polymorphism, genetic originality and identification of sterlet populations and replacement broodstock (*Acipenser ruthenus*)]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2021): pp. 53-60. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-53-60.

ЭКОЛОГИЯ

УДК 504.75+631.4

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-61-69.

В. С. Артамонова, М. И. Булавина

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

ОБ УЧАСТИИ ГЕТЕРОТРОФНЫХ МИКРООРГАНИЗМОВ В НАЧАЛЬНОМ ПОЧВООБРАЗОВАНИИ НА ОТХОДАХ АГЛОМЕРАЦИИ ЖЕЛЕЗНЫХ РУД

Представлены результаты исследований развития гетеротрофных микроорганизмов в эмбриозёмах, формирующихся на песчаных отходах агломерации железных руд в Западной Сибири. На начальном этапе почвообразования – в инициальных эмбриозёмах обнаружены низкие значения фактической кислотности и очень низкие показатели гумуса. Установлено, что такие среды обитания фитотоксичны, что подтверждают данные о всхожести семян и роста проростков: овса посевного, редьки масличной и горчицы белой. Доказано, что гетеротрофные микроорганизмы адаптированы к жизни в эмбриозёмах. Азотобактерии сохраняют жизнедеятельность, благодаря токсино- и слизиобразованию, и активно размножаются. Микромицеты проявляют диморфизм – дрожжевой и мицелиальный типы роста, что расширяет возможности их вегетативного размножения и сохранения популяции. Выявлено, что органо-аккумулятивные эмбриозёмы наиболее жизнеспособны для растений и микроорганизмов. Впервые зарегистрировано свечение плесневых грибов и азотобактера под злаковыми растениями и сосновыми насаждениями. Высказано предположение, что выброс световой энергии, присутствие оксидаз микроорганизмов и лигнина растений способствует гумификации в олиготрофной среде.

Ключевые слова: бактерии; плесневые грибы; адаптация; почвообразование; техногенные отходы.

V. S. Artamonova, M. I. Bulavina

Institute of soil Science and Agrochemistry, SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation

On the participation of heterotrophic microorganisms in initial soil formation on waste from iron ore agglomeration

The results of studies of the development of heterotrophic microorganisms in embryosemes formed on the sand waste of iron ore agglomeration in Western Siberia are presented. At the initial stage of soil formation, low values of actual acidity and very low humus values were found in the initial embryosemes. It is established that such habitats are phytotoxic, which is confirmed by data on the germination of seeds and the growth of seedlings: oats, oilseed radish and white mustard. It is proved that heterotrophic microorganisms are adapted to life in embryos. Azotobacteria retain vital activity, thanks to toxin and mucus formation, and actively multiply. Micromycetes exhibit dimorphism-yeast and mycelial growth types, which expands the possibilities of their vegetative reproduction and population preservation. It was revealed that organo-accumulative embryos are the most viable for plants and microorganisms. For the first time, the glow of mold fungi and Azotobacter under cereal plants and pine plantations was recorded. It is suggested that the emission of light energy, the presence of oxidases of microorganisms and plant lignin contribute to humification in an oligotrophic environment.

Key words: bacteria; mold fungi; adaptation; soil formation; technogenic waste.

Решение проблемы фиторемедиации и ускорения почвообразования в корнеобитаемом слое на отходах обогащения железорудных отходов, как и других полиметаллических руд, чрезвычайно актуально за рубежом и в нашей стране, особенно в горнодобывающих регионах традиционного недропользования – на Урале, в Сибири, Карелии и др. Объёмы техногенных отходов растут, обусловли-

вая повышение экологической нагрузки на окружающую среду. Для её снижения предлагается вовлечение отходов в озеленение, которое невозможно без активизации почвообразования в корнеобитаемом слое и детоксикации тяжёлых металлов в ней. Для этих целей предлагается привнос традиционных и альтернативных почвоулучшителей, применение биоаугментации – добавки микроор-

ганизмов, преимущественно местного происхождения, способных к детоксикации [Водолеев, Андроханов, Клековкин, 2007; Liste, 2009; Evaluation..., 2011]. Такие приёмы могут ускорить минерализационную и гумификационную активность в корнеобитаемом слое, улучшить минеральное питание растений, но доказательств о выживании и участии гетеротрофных микроорганизмов в этих процессах на песчаных токсичных железорудных отходах, недостаточно.

Любая почва возникает, функционирует и эволюционирует при участии и под частичным контролем биоты и в большой мере адаптирована к её нуждам [Макаров, 2007]. В зрелых почвах свыше 90% растительных остатков подвергается биодеградации с участием гетеротрофных микромикетов и бактерий [Кузнецов, Градова, 2006]. Они же участвуют в детоксикации металлов и гетеротрофном «гумусовом» цикле углерода. Показано, что микроорганизмы прижизненно стабилизируют органические остатки до низкомолекулярных соединений, а по мере гибели клеток внутри цитоплазмы происходят изменения, которые сопровождаются привлечением разрушающихся соединений в сборку первичных частиц гумусовых веществ (размером несколько нанометров) и затем – фрактальных кластеров или основных элементов организации гумусовой матрицы [Федотов, Лысак, Шалаев, 2013]. Источником гумусоподобных веществ могут быть меланины (прогуминовые или парагуминовые соединения) темноокрашенных микромикетов и азотобактерий, например род *Azotobacter* [Завгородняя, 2000; Попов, Зеленков, Теплякова, 2016]. Установлено, что азотобактер осуществляет продуцирование меланина лишь в присутствии бензойной кислоты [Gospodaryov, Lushchak, 2011] – продукта распада лигнина, который участвует в гумификации. Меланины грибного происхождения после деградации наиболее близки по элементному составу, молекулярным массам и оптическим свойствам с таковыми гуминовых веществ. Сообщается [Гесслер, Егорова, Белозерская, 2014], что в экстремальных условиях роста содержание меланинов у микромикетов может увеличиваться, обеспечивая им выживание в неблагоприятных условиях. Меланины выполняют адаптивную функцию, защищают микроорганизмы от повышенной радиации, УФ- и γ -излучения, тяжёлых металлов и активных форм кислорода, литического действия энзимов биоконкурентов за источники питания и энергии [Gospodaryov, Lushchak, 2011]. Меланизированные штаммы азотобактера выявлены ранее в антропогенно преобразованных почвах сибирского мегаполиса [Артамонова, 2002]. Информация о развитии неспорообразующих бактерий и несовершенных микромикетов в техногенных отходах железной руды на

этапе инициирования в них почвообразования скудна. Имеются единичные сведения об адаптации гетеротрофных бактерий к условиям обитания на песчаных железорудных отходах [Артамонова и др., 2011].

Цель данной работы – изучить жизнедеятельность несовершенных микромикетов и неспорообразующих бактерий углеродной гетеротрофии в эмбриозёмах на песчаных отходах агломерации железной руды в условиях их самозарастания и лесной рекультивации.

Материалы и методы исследования

Объекты исследований представлены эмбриозёмами инициальными и органо-аккумулятивными, формирующимися на отходах агломерации обогащения (обогащения) железосодержащей руды и её концентратов. Это хвосты магнитной сепарации рудных пород, которые представляют собой смесь измельчённой железосодержащей руды и технологических реагентов после обогатительного передела минерального сырья. Отходы гидротранспортом доставляются на полигоны – хвостохранилища, пребывают десятилетиями на открытом воздухе, представляя собой угрозу окружающей среде. В Кузбассе источником загрязнения окружающей среды являются отходы агломерации преимущественно магнетитовых руд (Fe_3O_4), запасы которых составляют в регионе более 1.5 млрд т. Кроме железа они содержат сульфиды цинка, меди, а также кобальт, бор, золото. Они присутствуют в отвалах рудников и в отстойниках аглофабрик, одна из которых (Абагурская) находится в черте г. Новокузнецка. Её хвостохранилища являются причиной многолетнего загрязнения атмосферы города.

Хвостохранилище Абагурской обогатительной фабрики, с которого были отобраны пробы для почвенно-микробиологического анализа, действует с 1954 г., занимает к настоящему времени площадь около 35 га, где скопилось более 50 млн м³ отходов [Панова и др., 2017]. Хвосты – это мелкозернистые или пылеватые пески, зачастую очень токсичные и радиоактивные [Панова и др., 2017]. В их составе преобладают кислотные оксиды железа и остаточное магнитное железо, которое сосредоточено преимущественно в мелких фракциях. В процентном отношении лидируют SiO_2 , Fe_2O_3 , CaO , Al_2O_3 , FeO [Горбачёва, 2020]. Оксиды железа вместе с оксидами кремния и алюминия формируют кислые дренажи, загрязняющие почвы и водотоки прилегающих территорий. Из минералов присутствуют: $Fe_3O_4 \cdot Fe_2O_3 \cdot FeO$, каолинит, хлорид, вермикулит, полевые шпаты, биотит, кальцит, магнетит и карбонатные включения [Панова и др., 2017].

По истечении 30–40 лет на поверхности мине-

ральных отходов регистрируются локальные педо-подобные образования – эмбриозёмы. В них определялись: содержание углерода по Тюрину; актуальная кислотность традиционным в почвоведении методом; фитотоксичность – по угнетению растений, рекомендованных нормативными документами для тестирования токсичности. При проращивании семян овса, редьки и горчицы использовали 5-кратную повторность вместо 3-кратной, обеспечивающей снижение погрешности, обусловленной разбросом результатов. Микробиологические анализы – традиционные. Рост азотобактера и микромицетов учитывали на «голодном» агаре, для уточнения таксономической принадлежности микромицетов использовали кислую среду Чапека. Антагонизм микроорганизмов выявлялся по регистрации литического действия, люминесценцию фиксировали с помощью инновационного продукта – ручки Invisible Ink en fnd Black Light. Данные статистически обрабатывали в программе Statistica.

Результаты и их обсуждение

Анализ содержания углерода в эмбриозёмах свидетельствует о дефиците органогена (таблица). Пересчёт углерода на гумус показал, что значения последнего соответствуют по общепринятой в почвоведении шкале Д.С. Орлова и Л.А. Гришиной очень низкому уровню (менее 2%).

Пул С (%) и кислотность в эмбриозёмах

Проба	Показатель	M	σ	v, %	Доверительный интервал	
					-95%	+95%
1	pH	3.8	0.01	0	3.7	3.8
	C, %	0.3	0.01	4	0.3	0.3
2	pH	3.8	0.02	1	3.7	3.8
	C, %	0.3	0.02	6	0.2	0.3
3	pH	6.3	0.02	0	6.2	6.3
	C, %	1.0	0.02	2	1.0	1.0
4	pH	5.7	0.02	0	5.7	5.8
	C, %	0.7	0.04	5	0.7	0.8
5	pH	8.1	0.02	0	8.0	8.1
	C, %	1.2	0.11	9	0.9	1.5
6	pH	8.0	0.03	0	8.0	8.1
	C, %	1.1	0.11	10	0.8	1.3

Примечание. 1, 2 – Э. инициальный; 3, 4 – Э. органо-акк. под злаками; 5, 6 – Э. органо-акк. под сосновыми насаждениями.

Минимальные значения гумуса обнаружены в инициальных эмбриозёмах без растений, чуть выше они оказались в органо-аккумулятивных молодых почвах, под злаками, донником и под сосновыми насаждениями. Актуальная кислотность эмбриозёмов инициальных (pH < 4.5) соответствовала сильной кислотности, в органо-аккумулятивных – значения pH водного раствора (5.5–6.0) приблизились к нейтральной степени. Сильная кислот-

ность способствовала подвижности тяжёлых металлов и высокой фитотоксичности (рис. 1).

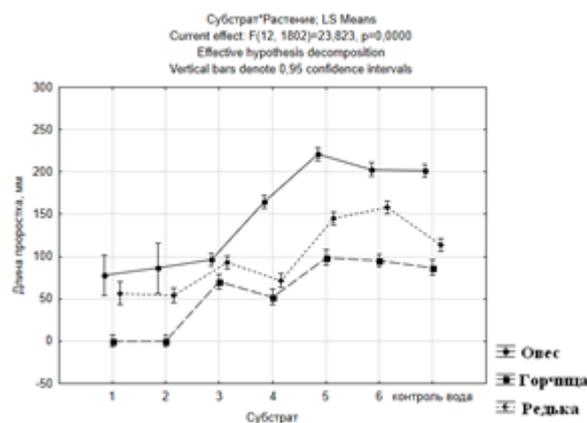


Рис. 1. Длина проростков фитотестов:

1, 2 – Э. инициальный; 3, 4 – Э. органо-акк. под злаками; 5, 6 – Э. органо-акк. под сосновыми насаждениями

Наиболее устойчивым к таким условиям обитания оказался овёс. Для горчицы среда оказалась губительной. Следовательно, эмбриозёмы представляют собой олиготрофные среды обитания. Негативное влияние на накопление углерода мог оказывать песок в эмбриозёмах, поскольку в зрелых песчаных почвах гумус быстро минерализуется. Анализ гетеротрофных микробных ассоциаций показал, что в метаболически активном состоянии пребывают плесневые грибы р. *Fusarium*, *Trichoderma*, *Penicillium* и неспорообразующие грамотрицательные бактерии р. *Azotobacter*. Встречаемость азотобактерий (по степени обрастания мелкозёма) в инициальном эмбриозёме составляла 62–85%, в органо-аккумулятивном – 100%, но меньшинство встречаемых бактерий в инициальном эмбриозёме оказались наиболее активными в процессе размножения. Их скорость роста в пересчёте на сутки на 30% была выше. В этом же типе эмбриозёма азотобактер продуцировал литические экзометаболиты против микромицетов (рис. 2). В органо-аккумулятивном эмбриозёме они не наблюдались.

Мы полагаем, что углеродная гетеротрофия у азотобактера и плесневых грибов могла дополняться в условиях дефицита органической пищи древнейшим автотрофным путём усвоения углекислоты [Виноградский, 1952]. Хемосинтез органического вещества может проходить с участием углекислого газа, окиси углерода, муравьиной и уксусной кислот, метанола, карбонатов (в присутствии воды). Он обеспечивается за счёт энергии окисления неорганических соединений водорода, марганца, железа, серы, аммиака, а не энергии света. Среди хемосинтетиков присутствуют и азотобактерии, которые синтезируют энергию в виде молекулы АТФ. Такой метаболизм в эмбриозёмах

исключать нельзя, но в нашем исследовании рост азотобактера обеспечивался на «голодной» питательной среде (Эшби), в рецептуре приготовления которой есть глюкоза (в небольших количествах); в её присутствии хемосинтез не происходит, поэтому корректнее говорить в нашем случае о гетеротрофии.

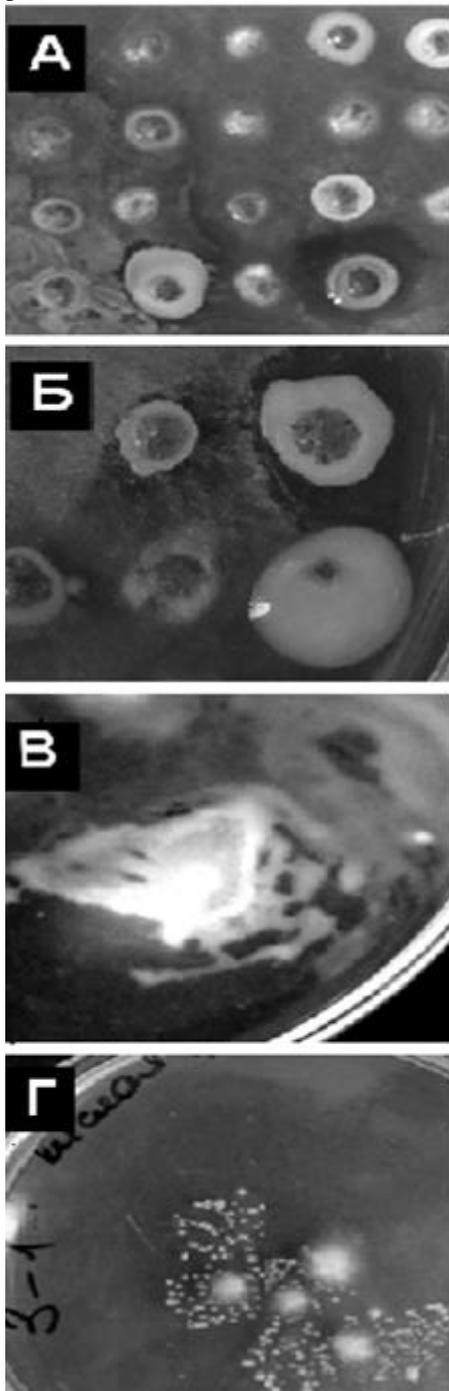


Рис. 2. Физиологические особенности микроорганизмов:

А – литические зоны азотобактера, Б – слизиобразование азотобактера, В – люминесценция азотобактера, Г - деморфизм микромицетов

Что касается проявления литической (антибиотической) активности *Azotobacter chroococcum*, то

антифунгальный эффект был обнаружен ранее, в 60-е гг. прошлого века [Мишустин, Наумова, Хохлова, 1969]. Угнетать развитие микромицетов могли анисомин группы азалидов [Придатчина и др., 1982], а также антибиотик фенольной группы – 5-алкил резорцин [Придатчина, 1984], способный подавлять рост *Penicillium chrysogenum*, *Fusarium culmorum* и простейших [Stasiuk, Kozubek, 2010]. Нужно отметить, что микромицеты в такой обстановке проявляли диморфизм – наличие двух морфологических типов роста: дрожжевого и плесневого (гифального, мицелиального). Дрожжевой рост сопровождался почкованием, что наряду с фрагментами гиф, отдельных клеток, а также спор и конидий расширило возможности вегетативного размножения несовершенных грибов. Через плеоморфизм – фазовые изменения роста повышалась их численность бесполом путём. В органо-аккумулятивном эмбриозёме такой адаптивной стратегии роста не наблюдалось.

Активной жизнедеятельности азотобактера способствовал не только синтез токсинов, но и слизиобразование. Слизью называют вещество, окружающее клетку, имеющее аморфный, беструктурный вид и легко отделяющееся от поверхности клетки, по толщине зачастую превосходящее её диаметр. Поэтому основная масса находящаяся в почвах органических полимеров микробного происхождения представлена внеклеточными полисахаридами и полиуронидами бактерий, или, иначе говоря, слизями и их остатками. Слизии азотобактера по химической природе являются полисахаридами, в составе которых доминирует ангидрид уроновой кислоты (до 75%).

Имеющиеся в составе полисахаридов карбоксильные и фенольные группы ответственны за распад кристаллических решеток минералов. Реагируя с определенными химическими элементами, они образуют комплексные связи, способствующие переходу элементов в раствор. Поэтому в эмбриозёмах, где преобладают минеральные частицы, слизи – это важное биогенное средство извлечения элементов зольного питания. Одновременно слизи защищают клетки азотобактера от механических повреждений, иссушения, выедания простейшими, биодеградации другими микроорганизмами.

Слизии выступают также в роли резерва питательных веществ в ситуациях их дефицита, обезвреживания от экотоксикантов, в том числе путём хелатирования. В процессе жизнедеятельности азотобактер осуществляет сцепление песчаных частиц слизью, способствующих образованию педоагрегатов. Следовательно, слизи – это мультифункциональный адаптер сохранения жизнедеятельного состояния азотобактера в эмбриозёмах, биогенный фактор формирования водоудержива-

ющей способности молодых почв на техногенных песчаных отходах. Проявлением другой адаптивной способности у азотобактера и плесневых грибов оказалась люминесценция их живых клеток голубым светом.

Люминесцентный путь превращения химической энергии в световую в условиях аэробнозависимого метаболизма бактерий обязан окислительному метаболизму. Выброс энергии – это результат неупотребленной энергии и нейтрализации ферментами активных форм кислорода, токсичных (но необходимых) для процесса окисления глюкозы. Интересно, что голубое свечение микроорганизмов обусловлено возбуждением флавина, в результате окисления альдегида и восстановления молекулы рибофлавинфосфата. Провоцируют свечение активные формы кислорода, прежде всего, его реактивные соединения: синглетный (высоко-реактивный) кислород – радикал супероксид-аниона, водородный пероксид, гидроксильный анион. В настоящее время считается, что образование свободных радикалов является одним из патогенетических механизмов повреждения митохондрий, липидов, ДНК клетки [Коровина, Захарова, Обычная, 2003]. Процесс перекисного окисления липидов в мембранах осуществляется по свободно радикальному механизму, подобно тому, как по цепному механизму происходит деление ядер урана [Коровина, Захарова, Обычная, 2003]. Разрушаются жирорастворимые соединения, такие как убихинон – коэнзим CoQ8 у грамотрицательных бактерий, CoQ6 – дрожжей, поскольку они более уязвимы для процессов перекисного окисления. Кроме убихинона у *Azotobacter chroococcum*, могут поражаться, и другие липиды – их у бактерии не менее 16 [Алексеева, 2005]. Окислительным атакам могут подвергаться ферредоксины – белковые железосерные кластеры и флаводоксины – белковые структуры, идентичные ферредоксинам. Они участвуют в азотфиксации и их поражение может негативно отразиться на фиксации молекулярного азота азотобактером [Готтшалк, 1982]. Тем не менее, у представителей рода *Azotobacter* выработался особый механизм защиты от негативного действия кислорода — так называемая дыхательная защита. Она осуществляется путём значительной интенсификации дыхания, снижающего концентрацию кислорода в клетках [Берцова, Демин, Богачев, 2005]. Также имеется особый белок Shethna, защищающий нитрогеназу от кислорода [Maier, Moshiri, 2000]. Вероятно, такая защита способствовала выживанию и размножению азотобактера в эмбриоземах.

Свободные радикалы, ведущие цепь окисления (обычно это перекисные радикалы), могут вступать в реакцию взаимодействия (рекомбинация или диспропорционирование) и в реакцию с молекула-

ми клеточной мембраны, превращая их в свободные радикалы (самоподдерживающаяся лавинообразная реакция). Инициаторами таких взаимодействий являются химические реакции, связанные с изменением валентности иона металла (Cu^{2+} , Fe^{2+}). Особенно опасно для клетки одновременное присутствие O_2^- и H_2O_2 , причиной которого является нарушение эволюционно сформированных механизмов защиты микроорганизмов против токсичных форм кислорода – ферментов, способны предохранять клетки от «самозагрязнения» потоками активного кислорода и перекиси водорода путём каталитического расщепления [Хочачка, Сомеро, 1988]. Они имеют определенную специализацию как по отношению к конкретным видам радикалов и перекисей, так и по локализации возникновения активных форм кислорода. Активное ферментативное звено включает супероксиддисмутазу, пероксидазу и каталазу. В этих ферментах важную роль имеет геминный компонент – протейды с геминовой группой. Не исключено, что в эмбриоземах возникают ситуации, когда в микробных клетках возрастает не только пул свободных радикалов, но и повреждаются железосодержащие белки, их белковые комплексы с железом и серой под воздействием реакционных соединений азота – окиси азота и пероксинитрата. Известно, что окись азота производится практически всеми типами живых организмов, в том числе бактериями и микромицетами [Röszer, 2012]. Окись азота является высокореактивным свободным радикалом со временем жизни порядка нескольких секунд, но при этом обладает высокой способностью к проникновению сквозь биологические мембраны. Эндогенный оксид азота проявляет своё действие на клетки путём S-нитрозилирования тиоловых соединений (включая тиоловые группы серосодержащих аминокислот, таких, как цистеин) и нитрозилирования ионов переходных металлов, которых в эмбриоземах достаточно. Установлено [Park, 2003; Imlay, Korshunov, Imlay, 2015], что цистеин вследствие его высокой реакционной способности может восстанавливать внутриклеточное железо, способствуя протеканию реакции окисления пероксида водорода – H_2O_2 с ионами железа (реакция Фентона), которая сопровождается образованием токсичных гидроксильных радикалов и индукцией хемолуминесценции. Интенсивность свечения, возникающего при рекомбинации свободных радикалов, пропорциональна квадрату их концентрации в системе. В экспериментах с биологическими субстратами и органическими веществами показатель светосуммы люминесценции, индуцированной реакцией Фентона, стабилен при концентрации компонентов $[\text{Fe}^{2+}] = 10^{-3}$ моль/л, $[\text{H}_2\text{O}_2] = 10^{-3}$ моль/л, $\text{pH} = 2$ [Иванова, Трофимова, Пискарев, 2014]. Такие условия реальны в инициальных эм-

бриозёмах. Не исключено также связывание окиси азота не только с Fe, но и с Cu, Zn, Cr, Co, Mn, ионами переходных металлов в составе простетических групп и активных каталитических центров металлоферментов, дефицита которых в эмбриозёмах тоже нет, они наследуются от отходов железной руды. Интересно другое – выявленное нами свечение регистрировалось у микроорганизмов, обитающих преимущественно под злаками и сосновыми посадками. Эти растения являются основными продуцентами лигнина в растительном мире. Продукт его разложения – бензойная кислота – является важнейшим компонентом гумификации растительного опада хвойных и лиственных растительных сообществ [Анохина и др., 2018]. Окисление остатков лигнина и его связь с белками микроорганизмов в слабощелочной среде обычно сопровождаются образованием гуминовых кислот. В окислении лигнина участвуют лигнолитические микромицеты, благодаря присутствию ферментов – оксидаз, таких как марганецпероксидаза и лигнинпероксидаза. В качестве кофакторов окисления органических остатков у них выступают гемы Fe, Cu, Mn, обеспечивающие разрушение перекиси водорода до молекулярного кислорода и воды [Дармов, Горшунова, Тарасова, 2017]. Присутствие металлов в таких местообитаниях не оспаривается, поскольку стратегия растений поглощать тяжёлые металлы связана с выделением корнями производных мугеиновых кислот, действующих как внешние фитосидерофоры, мобилизующие нерастворимые ионы металлов [Murakami et al., 1989; Takagi, 1993]. Следовательно, молекулярный кислород – продукт каталитического расщепления геминными ферментами быстро вовлекается в окисление железа, и процесс образования свободных радикалов в микробных клетках продолжается. Свечение способствует освобождению невосребованной энергии микробной клеткой и частичной нейтрализации радикалов, тем самым предохраняет микроорганизмы от развития митохондриальной дисфункции, пероксидации липидов, нарушения ДНК и нитрогеназы. Жизнедеятельные клетки являются источником микробной биомассы и участником гумификации, поскольку выброс энергии, синтез оксидаз в присутствии лигнина способствует образованию гуминовых кислот.

Заключение

Эмбриозёмы, формирующиеся на отходах обогащения железной руды, жизнеспособны для гетеротрофных неспорообразующих бактерий и несовершенных микромицетов. На инициальном этапе педогенеза среда обитания микроорганизмов характеризуется сильной кислотностью, олиготрофностью, токсичностью, присутствием оксидного и магнитного железа. Жизнедеятельные микроорга-

низмы обнаружили к ним различные способы адаптации: азотобактерии выживают, благодаря токсино- и слизиобразованию, микромицеты – благодаря диморфизму – дрожжевому и мицелиальному росту, что расширяет возможности их вегетативного размножения и сохранения популяции. В нейтральной среде обитания – эмбриозёмах органико-аккумулятивных разнообразие типов роста у микромицетов отсутствовало. Специфическим способом адаптации микромицетов и азотобактера к нарушению окислительных реакций, обусловленных присутствием железа и других металлов, оказалась люминисценция. Освобождение клетками неиспользованной энергии в форме света, предохраняло их от гиперкоагуляции белков, перекисного окисления липидов, гипергликемии, которые вызываются перекисными радикалами и активными формами кислорода. Обычно освобождение химической энергии, не вовлекаемой в процессы метаболизма, наблюдается у микромицетов и бактерий при термодинамически полном окислении, но за пределы клетки энергия освобождается в форме тепла, но не в форме света. В таком случае бактерии теряют около половины продуцируемой энергии, плесневые грибы – значительно больше, поскольку используют для синтетических целей лишь около 10% энергии. В патологическом состоянии – при интенсивном окислении кислорода в присутствии избытка свободных радикалов, энергия выбрасывается фотонами с максимумом излучения бактериями 470–500 нм, что достаточно для возбуждения свечения в видимой части спектра. Испускаемая энергия – 70 ккал/1 эйнштейн значительно превышает энергию большинства биохимических реакций, например, при распаде высокоэнергетической молекулы АТФ (7 ккал) [Биолюминисценция, 2020]. Такой энергетический приток в олиготрофную среду способствует, на наш взгляд, протеканию химических и автокаталитических процессов окислительного характера вокруг клетки для её же блага. Освобождённая энергия, оксидазы погибших микроорганизмов и присутствие лигнина, очевидно, способствуют гумификации в олиготрофной песчаной молодой почве, что при необходимости микроорганизмы могут использовать в качестве углеродного ресурса. Полученная информация о жизнедеятельных гетеротрофных микроорганизмах в эмбриозёмах, формирующихся на песчаных полигонах железорудных отходов, расширяет знания об экологии микроорганизмов и их участии в современном педогенезе.

Работа выполнена в рамках государственного задания ИПА СО РАН по бюджетному финансированию Министерства науки и образования Российской Федерации.

Список литературы

- Алексеева А.Е. Физиолого-биохимическая активность и разнообразие штаммов *Azotobacter chroococcum*, выделенных из почв Нижегородской области: дис. ... канд. биол. наук. Н. Новгород, 2005. 141 с.
- Анохина Н.А. и др. Динамика содержания ароматических кислот в биогеоценозах стационарных почвенных лизиметров // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2018. № 4. С. 3–10.
- Артамонова В.С. Микробиологические особенности антропогенно преобразованных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 225 с.
- Артамонова В.С. и др. Эколого-микробиологическое разнообразие микробных сообществ в техногенно-нарушенных ландшафтах Сибири // Сибирский экологический журнал. 2011. Вып. 5. С. 735–746.
- Берцова Ю.В., Демин О.В., Богачев А.В. Дыхательная защита нитрогеназного комплекса у *Azotobacter vinelandii* // Успехи биологической химии. 2005. Т. 45. С. 205–234.
- Биоломинесценция. 2020. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=56452> (дата обращения: 19.12.2020)
- Виноградский С.Н. Микробиология почвы. Проблемы и методы. М.: Изд-во АН СССР, 1952. 792 с.
- Водолеев А.С., Андроханов В.А., Клековкин С.Ю. Почвоулучшители: рекультивационный аспект. Новосибирск: Наука, 2007. 148 с.
- Гесслер Н.Н., Егорова А.С., Белозерская Т.А. Экстремальных условиях существования (обзор) // Прикладная биохимия и микробиология. 2014. Т. 50, № 2. С. 125–134.
- Горбачёва К. Стратегия переработки отходов обогащения железных руд Мундыбашской обогатительной и Абагурской агломерационно-обогащительных фабрик. [Электронный ресурс]. URL: <https://pandia.ru/text/77/194/28780/php> (дата обращения: 26.10.2020).
- Готтшалк Г. Метаболизм бактерий. М.: Мир, 1982. 310 с.
- Дармов И.В., Горшунова Е.И., Тарасова Т.С. Исследование природных изолятов микромицетов *Fusarium* spp. – продуцентов лигнолитических ферментов // Учёные записки Казанского университета. Сер. Естественные науки. 2017. Т. 159, кн. 1. С. 72–84.
- Завгородняя Ю.А. Сравнительная характеристика гуминовых кислот и грибных меланинов: дис. ... канд. биол. наук. М., 2000. 109 с.
- Иванова Л.П., Трофимова С.В., Пискарев И.М. Хемилюминесценция, индуцированная реакцией Фентона, – математическое моделирование процесса; особенности, параметры и условия применения для биомедицинских исследований // Современные технологии в медицине. 2014. Т. 6, № 4. С. 14–25.
- Коровина Н.А., Захарова И.Н., Обычная Е.Г. Применение антиоксидантов в педиатрической практике // Consilium-medicum. 2003. Т. 5, № 9. С. 47–52.
- Кузнецов А.Е., Градова Н.Б. Научные основы экобиотехнологии. М.: Мир, 2006. 504 с.
- Макаров И.Б. Плодородие и продуктивность почв: соотношение понятий // Плодородие. 2007. № 3. С. 33–35.
- Мишустин Е.Н., Наумова А.Н., Хохлова Ю.М. Антифунгальный антибиотик из культуры *Azotobacter chroococcum* // Микробиология. 1969. Т. 39, вып. 1. С. 87–90.
- Панова В.Ф. и др. Переработка отходов обогащения железной руды // Вестник Сибирского государственного индустриального университета. 2017. № 3 (21). С. 56–62.
- Попов А.И., Зеленков В.Н., Теплякова Т.В. Биологическая активность и биохимия гуминовых веществ. Ч. 1. Биохимический аспект (обзор литературы) // Вестник Российской Академии естественных наук. 2016. № 1. С. 11–18.
- Придатчина Н.Н. Биологически активные вещества из клеточных липидов азотфиксирующей бактерии *Azotobacter chroococcum*: дис. ... канд. биол. наук. М., 1984. 144 с.
- Придатчина Н.Н. и др. *Azotobacter chroococcum* – продуцент нового противогрибкового антибиотика // Антибиотики. 1982. № 1. С. 3–5.
- Федотов Г.Н., Лысак Л.В., Шалаев В.С. Микроорганизмы и образование гумусовых веществ в почвах // Лесной вестник. 2013. № 7. С. 111–115.
- Хочачка П., Сомеро Дж. Биохимическая адаптация. М.: Мир. 1988. 568 с.
- Benabdellah K. et al. GintPDX1 encodes a protein involved in vitamin B6 biosynthesis that is up-regulated by oxidative stress in the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* // New Phytol. 2009. Vol. 184. P. 682–693.
- Evaluation of Urban Soils: Suitability for green infrastructure or urban infrastructure. 2011. EPA Publication. 20 p. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/evaluation-of-urban-soils.pdf> (дата обращения: 18.12.2020).
- Gospodaryov D., Lushchak V. Some properties of melanin produced by *Azotobacter chroococcum* and its possible application in biotechnology // Биотехнология. 2011. Т. 4, № 2. С. 61–69.
- Imlay K.R.C., Korshunov S., Imlay J.A. Physiological roles and adverse effects of the two cystine importers of *Escherichia coli* // J. Bacteriol. 2015. Vol. 197 (23). P. 3629–3644.
- Liste H.-H. Auswahl und Konditionierung alternativer Pflanzsubstrate zur Rekultivierung von Deponien und Altablagerungen // Обеспечение безопасности закрытых полигонов твёрдых быто-

- вых отходов экологическими методами: материалы междунар. семинара (7–13 сент. 2009 г. Пермь, ПГУ). Пермь; Берлин; М., 2009. С.69–78.
- Maier R.J., Moshiri F. Role of the *Azotobacter vinelandii* Nitrogenase-Protective Shethna Protein in Preventing Oxygen-Mediated Cell Death // *J. Bacteriol.* 2000. Vol. 182, № 13. P. 3854–3857.
- Murakami T. et al. Stabilities of metal complexes of mugenic acids and their specific affinities for iron (III) // *Chem. Lett.* 1989. P. 2137–2140.
- Park S. High levels of intracellular cysteine promote oxidative DNA damage by driving the Fenton reaction // *J. Bacteriol.* 2003. Vol. 185(6). P. 1942–1950.
- Röszer T. Nitric Oxide is a Bioproduct in Prokaryotes // *The Biology of Subcellular Nitric Oxide.* Springer Science+Business Media. 2012. Vol 10, № 2. P. 19–46.
- Stasiuk M., Kozubek A. Biological activity of phenolic lipids // *Cell. Mol. Life Sci.* 2010. Vol. 67. P. 841–860.
- Tagaki S. Production of phytosiderophores // *Iron Chelation in Plants and Soil Microorganisms.* New York: Academic Press, 1993. P. 111–131.
- References**
- Alekseeva A.E. *Fiziologo-biohimičeskaja aktivnost' i raznoobražie štammov Azotobacter chroococcum, vydelennyh iz počv Nižegorodskoj oblasti.* Diss. kand. biol. nauk [Physiological and biochemical activity and diversity of *Azotobacter chroococcum* strains isolated from soils of the Nizhny Novgorod region. Cand. Diss.]. N Novgorod, 2005. 141 p. (In Russ.).
- Anokhina N.A., Zavgorodnyaya Yu.A., Bogatyrev L.G., Benediktova A.I., Zemskov F.I., Demin V.V. [Dynamics of aromatic acid content in biogeocenoses of stationary soil lysimeters]. *Vestnik Mosk. universiteta. Ser.17 Počvovedenie.* N 4 (2018): pp. 3–10. (In Russ.).
- Artaamovna V.S. *Mikrobiologičeskie osobennosti antropogenno preobrazovannyh počv Zapadnoj Sibiri* [Microbiological features of anthropogenically transformed soils of Western Siberia]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2002. 225 p. (In Russ.).
- Artaamovna V.S., Androkhanov V.A., Sokolov D.A., Lyutykh I.V., Bulgakova V.V., Bortnikova S.B., Vodoleev A.S. [Ecological and microbiological diversity of microbial communities in technogenic-disturbed landscapes of Siberia]. *Sibirskij ekologičeskij žurnal.* N 5 (2011): pp. 735–746. (In Russ.).
- Benabdellah K., Azcon-Aguilar G., Valderas A., Speziga D., Fitzpatrick T.B., Ferrol N. GintPDX1 encodes a protein involved in vitamin B6 biosynthesis that is up-regulated by oxidative stress in the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*. *New Phytol.* V. 184 (2009): pp. 682–693.
- Bertsova Yu.V., Demin O.V., Bogachev A.V. [Respiratory protection of the nitrogenase complex in *Azotobacter vinelandii*]. *Uspechi biologičeskoj chimii.* V. 45 (2005): pp. 205–234. (In Russ.).
- Bioluminescence. Available at: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=56452>. (accessed: 19.12.2020). (In Russ.).
- Darmov I.V., Gorshunova E.I., Tarasova T.S. [Investigation of natural isolates of micromycetes *Fusarium* spp. - producers of lignolytic enzymes]. *Učenyje zapiski Kazanskogo universiteta. Ser. Estestvennye nauki.* V. 159, N 1 (2017): pp. 72–84. (In Russ.).
- Evaluation of Urban Soils: Suitability for green infrastructure or urban infrastructure (EPA). USA, EPA Publ., 2011: 20 p. Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-10/documents/evaluation-of-urban-soils.pdf> (accessed: 18.12.2020).
- Fedotov G.N., Lysak L.V., Shalaev V.S. [Microorganisms and formation of humic substances in soils]. *Lesnoj vestnik.* N 7 (2013): pp. 111–115. (In Russ.).
- Gessler N.N., Egorova A.S., Belozerskaya T.A. [Melanin pigments of fungi in extreme conditions of existence (review)]. *Prikladnaja biochimija i mikrobiologija.* V. 50, N 2 (2014): pp. 125–134. (In Russ.).
- Gorbacheva K. [Strategy for processing iron ore processing waste from Mundybash processing plant and Abagur sintering and processing plant]. Available at: <https://pandia.ru/text/77/194/28780/php> (accessed: 26.10.2020). (In Russ.).
- Gospodaryov D., Lushchak V. Some properties of melanin produced by *Azotobacter chroococcum* and its possible application in biotechnology. *Biotechnologija.* V. 4, N 2 (2011): pp. 61–69.
- Gottschalk G. *Metabolizm bakterij* [The metabolism of bacteria]. Moscow, Mir Publ., 1982. 310 p. (In Russ.).
- Hochachka P., Somero J. *Biohimičeskaja adaptacija* [Biochemical adaptation]. Moscow, Mir Publ., 1988. 568 p. (In Russ.).
- Imlay K.R.C., Korshunov S., Imlay J.A. Physiological roles and adverse effects of the two cystine importers of *Escherichia coli*. *J. Bacteriol.* V. 197 (23) (2015): pp. 3629–3644.
- Ivanova L.P., Trofimova S.V., Piskarev I.M. [Chemiluminescence induced by the Fenton reaction-mathematical modeling of the process; features, parameters and conditions of application for biomedical research]. *Sovremennye tehnologii v medicine.* V. 6, N 4 (2014): pp. 14–25. (In Russ.).
- Korovina N.A., Zakharova I.N., Obynochnaya E.G. [The use of antioxidants in pediatric practice]. *Consilium-medicum.* V. 05, N 9 (2003): 9 p. Available at: http://old.consiliummedicum.com/media/consilium/03_09c/47.shtml (accessed: 16.12.2020). (In Russ.).
- Kuznetsov A.E., Gradova N.B. *Naučnye osnovy ekobiotechnologii* [Scientific basis of environmental biotechnology]. Moscow, Mir Publ., 2006. 504 p. (In Russ.).

- Liste H.-H. Auswahl und Konditionierung alternativer Pflanzsubstrate zur Rekultivierung von Depo- nien und Altablagerungen. *Obespečenie bezopasnosti zakrytych poligonov tverdykh bytovykh otchodov ekologičeskimi metodami* [Ensuring the safety of closed landfills of solid household waste by environmental methods. Abstracts] Perm, Berlin, Moscow, 2009, pp. 69-78.
- Maier R.J., Moshiri F. Role of the *Azotobacter vinelandii* Nitrogenase-Protective Shethna Protein in Preventing Oxygen-Mediated Cell Death. *Journal of Bacteriology*. V. 182. N 13 (2000): pp. 3854-3857.
- Makarov I. B. [The fertility and productivity of soils: the relationship between the concepts]. *Plodородie*. N 3 (2007): pp. 33-35. (In Russ.).
- Mishustin E.N., Naumova A.N., Khokhlova Yu.M. [Antifungal antibiotic from *Azotobacter chroococcum* culture]. *Mikrobiologija*. V. 39. Iss. 1 (1969): pp. 87-90. (In Russ.).
- Murakami T., Ise K., Haykawa M., Kamei S., Takagi S. Stabilities of metal complexes of mugeinic acids and their specific affinities for iron (III). *Chem. Lett.* (1989): pp. 2137–2140.
- Panova V.F., Panov S.A., Karpacheva A.A., Prokhorenko O.D. [Processing of iron ore processing waste]. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo universiteta*. N 3 (21) (2017): pp. 56-62. (In Russ.).
- Park S. High levels of intracellular cysteine promote oxidative DNA damage by driving the Fenton reaction. *J. Bacteriol.* V. 185(6) (2003): pp. 1942–1950.
- Popov A.I., Zelenkov V.N., Teplyakova T.V. [Biological activity and biochemistry of humic substances. Part 1. Biochemical aspect (literature review)]. *Vestnik Rossijskoj Akademii estestvennykh nauk*. N 1 (2016): pp. 11-18. (In Russ.).
- Pridatchina N.N. *Biologičeski aktivnye veščestva iz kletočnykh lipidov azotfiksirujuščej bakterii Azotobacter chroococcum*. *Diss. kand. boil. nauk* [Biologically active substances from the cell lipids of the nitrogen-fixing bacterium *Azotobacter chroococcum*. Cand. Diss.]. Moscow, 1984. 144 p. (In Russ.).
- Pridatchina N.N., Novogrudskaya E.D., Kruglyak E.V., Chekasina E.V., Korchak T.V., Batrakov S.G. [*Azotobacter chroococcum* - producer of a new antifungal antibiotic]. *Antibiotiki*. N 1 (1982): pp. 3-5. (In Russ.).
- Röszer T. Nitric Oxide is a Bioproduct in Prokaryotes. *The Biology of Subcellular Nitric Oxide*. *Springer Science+Business Media*. V. 10, N 2 (2012): pp.19-46.
- Stasiuk M., Kozubek A. Biological activity of phenolic lipids. *Cell. Mol. Life Sci.* V. 67 (2010): pp. 841-860.
- Takagi S. Production of phytosiderophores. *Iron Chelation in Plants and Soil Microorganisms*. New York, Academic Press Publ., 1993, pp.111–131.
- Vinogradsky S.N. *Mikrobiologija počvy. Problemy i metody* [Microbiology of the soil. Problems and methods]. Moscow, AN SSSR Publ., 1952. 792 p. (In Russ.).
- Vodoleev A.S., Andrianov V.A., Klekovkin S.Yu. *Počvoulučšiteli: rekultivacionnyj aspekt* [Soil improvers: recultivation aspect]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2007. 148 p. (In Russ.).
- Zavgorodnaya Yu.A. *Sravnitel'naja charakteristika guminovykh kislot i gribnykh melaninov*. *Diss. kand. biol. nauk* [Comparative characteristics of humic acids and fungal melanins: Cand. Diss.]. Moscow, 2000. 109 p. (In Russ.).

Поступила в редакцию 10.02.2021

Об авторах

Артамонова Валентина Сергеевна, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории рекультивации почв Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
ORCID: 0000-0001-8606-7975
630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 8/2;
artamonova@issa.nsc.ru; (383)3639016

Булавина Мария Ивановна, аспирант лаборатории рекультивации почв Институт почвоведения и агрохимии СО РАН
ORCID: 0000-0002-7223-520X
630090, Новосибирск, пр. Лаврентьева, 8/2;
bulavina.mi@yandex.ru; (383)3639016

Информация для цитирования:

Артамонова В.С., Булавина М.И. Об участии гетеротрофных микроорганизмов в первичном почвообразовании на отходах агломерации железных руд // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 1. С. 61–69. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-61-69.

Artamonova V.S., Bulavina M.I. [On the participation of heterotrophic microorganisms in initial soil formation on waste from iron ore agglomeration]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2021): pp. 61-69. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-61-69.

About the authors

Artamonova Valentina Sergeevna, doctor of biology, associate professor, senior researcher laboratory of recultivation soils Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS.
ORCID: 0000-0001-8606-7975
8/2, Lavrentjev pr., Novosibirsk, Russia, 630090;
artamonova@issa.nsc.ru; (383)3639016

Bulavina Mariya Ivanovna, aspirant of laboratory of recultivation soils Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS.
ORCID: 0000-0002-7223-520X
8/2, Lavrentjev pr., Novosibirsk, Russia, 630090;
bulavina.mi@yandex.ru; (383)3639016

УДК 615.9:57.044:502.08

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-70-76.

В. А. Вокина, Е. А. Капустина, М. А. Новиков, Е. С. Андреева

Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований, Ангарск, Россия

НАРУШЕНИЕ РЕПРОДУКТИВНОГО ПОТЕНЦИАЛА САМЦОВ БЕЛЫХ КРЫС ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ДЫМА ПРИРОДНОГО ПОЖАРА

Проведена оценка показателей репродуктивного потенциала самцов белых крыс, подвергавшихся воздействию дыма в течение 1 месяца. Обследование экспонированных животных включало в себя определение индекса сперматогенеза и уровня фрагментации и метилирования ДНК в семенниках и крови. Выявлено статистически значимое повышение уровня полногеномного метилирования ДНК в крови крыс, подвергавшихся воздействию дыма. При морфометрическом исследовании ткани семенников выявлено нарушение показателей сперматогенеза у экспонированных крыс.

Ключевые слова: сперматогенез; метилирование ДНК; фрагментация ДНК; дым природного пожара; крысы.

V. A. Vokina, E. A. Kapustina, M. A. Novikov, E. S. Andreeva

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, Russian Federation

Reproductive potential of male rats in the experimental model of wildfire

The assessment of the indicators of the reproductive potential of male white rats exposed to smoke for 1 month was carried out. Examination of exposed animals included determination of the spermatogenesis index and the level of DNA fragmentation and methylation in the testes and blood. A statistically significant increase in the level of genome-wide methylation in the blood of rats exposed to smoke was revealed. A morphometric study of the testis tissue revealed a violation of spermatogenesis indices in exposed rats.

Key words: spermatogenesis; DNA methylation; DNA fragmentation; experimental model of wildfire; rats.

Введение

На современном этапе особую актуальность приобретает проблема неуклонного снижения показателей мужской фертильности [Rolland et al., 2013], обусловленная влиянием множества факторов, особое место среди которых занимают негативное воздействие окружающей среды и различные факторы образа жизни [Kulikauskas, Blaustein, Ablin, 1985; Kiziler et al., 2007].

Продолжительные и масштабные природные пожары являются мощными источниками выброса в атмосферный воздух многокомпонентной смеси твердых частиц и газов, значительная часть из которых являются канцерогенными, генотоксичными или мутагенными, что обосновывает необходимость изучения токсического воздействия дыма природных пожаров на мужскую репродуктивную функцию. Несмотря на то, что последствия лесных и торфяных пожаров в последнее время приобрели мировой масштаб, данный аспект токсического воздействия дыма природных пожаров в современной литературе освещен недостаточно. Много-

численные клинические и экспериментальные исследования посвящены изучению взаимосвязи уровня загрязнения атмосферного воздуха твердыми частицами (PM_{2,5}) и показателями функционального состояния мужской репродуктивной системы [Hansen et al., 2010; Deng et al., 2016; Radwan et al., 2016; Chen et al., 2019; Huang et al., 2019], которые свидетельствуют об усилении митохондриальной дисфункции и повышении уровня фрагментации ДНК сперматозоидов.

Особый интерес представляют исследования, направленные на оценку воздействия табачного дыма на мужской репродуктивный потенциал. Так, эпидемиологические исследования убедительно доказывают, что курение изменяет уровень метилирования ДНК и экспрессию генов в клетках периферической крови, клетках буккального эпителия и легочной ткани у лиц, подвергавшихся воздействию табачного дыма [Kohli et al., 2012; Bosse et al., 2012; Ambatipudi et al., 2016]. В исследованиях T.G. Jenkins с соавторами показано, что у курящих мужчин выявлено изменение метилирования ДНК сперматозоидов [Jenkins et al., 2017].

Использование экспериментальных моделей дает широкие возможности для исследования механизмов развития патологии репродуктивной системы при экспозиции дымом природных пожаров, условия которой могут варьировать в широких пределах. Ранее нами была разработана экспериментальная модель низового ландшафтного пожара, в процессе которого длительное время горят лесная подстилка, валежник и гнилые пни с выделением сильного дыма, при этом основным является беспламенное горение [Вокина и др., 2019]. Основным критерием достижения необходимого уровня загрязнения воздушной среды являлось содержание в воздухе экспозиционной камеры оксида углерода (СО). Согласно данным инструментальных замеров в некоторых городах РФ во время задымления от природных пожаров уровень СО составлял 3.6–30 мг/м³ [Air quality ..., 2010; Звягинцев и др., 2011; Панов и др., 2018]. Цель исследования – оценка показателей репродуктивного потенциала самцов белых крыс, подвергавшихся воздействию дыма.

Материал и методы исследования

Опыты поставлены на 20 беспородных белых крысах-самцах, массой 180–240 г. Все экспериментальные животные получены путем собственного воспроизводства в виварии ФГБНУ Восточно-Сибирского института медико-экологических исследований и содержались на стандартном рационе. Работа выполнена с соблюдением правил гуманного отношения к животным в соответствии с требованиями «Международных рекомендаций по проведению медико-биологических исследований с использованием животных» (ВОЗ, Женева, 1985) и «Правилами лабораторной практики» (Приказ Минздравсоцразвития России от 23 августа 2010 г., № 708н).

Животных опытных групп (n = 10) подвергали динамическому ингаляционному воздействию дыма в затравочных камерах объемом 200 л, 4 ч. в день, 5 дней в неделю, в течение 4 недель [Вокина и др., 2019]. Крысам контрольной группы (n = 10) в камеру подавался чистый воздух. Средние концентрации оксида углерода и PM_{2,5} в экспозиционной камере составили 28.7±5.3 мг/м³ и 1.9±0.5 мг/м³, соответственно. Температуру воздуха в экспозиционных камерах поддерживали на уровне +24...+25°C, относительную влажность 40–50%.

Сразу после окончания воздействия половину животных контрольной и опытной групп умерщвляли путем декапитации под легким эфирным наркозом для проведения исследования морфофункционального состояния репродуктивной системы и анализа уровня фрагментации и метилирования ДНК в ткани семенников и крови. По общепринятой методике производился забор гисто-

логического материала (ткань семенников), их фиксация в 15%-ном растворе нейтрального формалина. После гистологической проводки материал заливали в парафин. Срезы толщиной 6–7 мкм окрашивали гематоксилином и эозином. При обзорной микроскопии изучали следующие морфометрические параметры: общее количество сперматогоний, количества клеток Лейдига, число канальцев со слущенным эпителием. На основе количественных данных, полученных при цитологическом исследовании семенников, рассчитывали индекс сперматогенеза как отношение суммы всех подсчитанных слоев клеток в одном канальце к количеству всех просчитанных канальцев [Ухов, Астраханцев, 1983]. Исследование фрагментации ДНК проводили методом ДНК-комет [Дурнев и др., 2010]. Уровень полногеномного метилирования, являющегося одним из главных эпигенетических факторов, также оценивали методом ДНК-комет в модификации с использованием рестриктаз MspI и с HpaII («СибЭнзим»), Россия [Wentzel et al., 2010]. Суспензии клеток (55 мкл) добавляли к 1%-ному раствору легкоплавкой агарозы (500 мкл) в фосфатно-солевой буфер (ФСБ) и наносили на предварительно покрытые 1%-ной универсальной агарозой стекла, инкубировали с покровным стеклом на льду 10 мин. После затвердевания агарозы стекла помещали в лизирующий буфер (10 mM трисHCl pH 10, 2.5 M NaCl, 100 mM ЭДТАNa₂, 1% Тритон X100, 10% DMSO) и инкубировали не менее 1 ч. при 4°C. После инкубации стекла 3 раза отмывали раствором 10 mM ЭДТА с 5%-ным DMSO в ФСБ в течение 10 мин., после чего на стекло наносили 100 мкл раствора, содержавшего 1 Ед. HpaII или 1.5 Ед. MspI с реакционным буфером («СибЭнзим», Россия), и инкубировали во влажной камере 1 ч. при 37°C. Затем проводили щелочной электрофорез в растворе (0.3M NaOH и 1mM ЭДТА-Na, pH13) в течение 20 мин. при напряженности поля 1 В/см, затем стекла фиксировали в 70%-ном этаноле (20 мин.), высушивали и хранили при комнатной температуре. Для одного и того же исследуемого образца ДНК в опыт брали три варианта: с MspI, с HpaII и без добавления ферментов. Последний вариант служил контролем сохранности ДНК в реакционном буфере. Окраска препаратов осуществлялась SYBR GreenI, регистрацию проводили на микроскопе «OLYMPUS BX-52», совмещенном с цифровой камерой «OLYMPUSRX-420» при увеличении «×100». Изображения ДНК-комет (по 100 клеток от каждого животного) анализировали с помощью программы «CASP 1.2.2». В качестве показателя поврежденности ДНК использовали процентное содержание фрагментов ДНК в хвосте комет («%ДНК в хвосте»). Для каждого стекла анализировали около 100 ядер. Уровень полногеномного

метилования рассчитывали по формуле

$$100 - (\text{HpaII}/\text{MspI} * 100),$$

где HpaII и MspI – средний процент ДНК в хвосте кометы в 100 ядрах на препаратах, обработанных HpaII и MspI соответственно. В качестве показателя фрагментации ДНК использовали процентное содержание фрагментов ДНК в хвосте комет («% ДНК в хвосте») без дополнительного этапа рестрикции ферментами HpaII и MspI.

Статистический анализ результатов исследования проводился с использованием пакета прикладных программ Statistica 6.1. (StatSoft) (лиц № АХХR004E642326FA). Для принятия решения о виде распределения признаков использовали W-критерий Шапиро-Уилка. Для сравнения групп применяли U-критерий Манна-Уитни. Нулевые гипотезы об отсутствии различий между группами отвергали при достигнутом уровне значимости $p \leq 0.05$. Результаты представлены в виде медианы и интерквартильного размаха (Me (LQ;UQ)).

Результаты и их обсуждение

По результатам морфометрического исследования основных функциональных показателей деятельности семенников белых крыс, подвергавшихся воздействию дыма, выявлено снижение индекса сперматогенеза более чем на 20% при сравнении с группой контроля ($U = 21$, $Z = -2.57$, $p = 0.010$; рис. 1). Кроме того, у самцов опытной группы наблюдалось статистически значимое снижение количества сперматогоний и клеток Лейдига ($U = 13.5$, $Z = -2.53$, $p = 0.011$ и $U = 7.5$, $Z = -3.17$, $p = 0.001$, соответственно). При оценке состояния семяродного эпителия на препаратах гонад у крыс-самцов опытной группы не зафиксировано существенных изменений по количеству канальцев со слущенным эпителием.

Результаты проведенного исследования показали, что исследованные образцы крови и семенников имеют разный уровень фрагментации и метилирования ДНК как в норме, так и после воздействия продуктов горения. Уровень ДНК-фрагментации в половых клетках и крови животных опытной группы не имел статистически значимых отличий по сравнению с соответствующими показателями группы контроля и составлял 0.03(0.02; 0.21)% и 3.25(2.08; 5.47)% против 0.05(0.03; 0.32)% и 3.05(1.93; 7.72)% в контроле, соответственно. Статистически значимых отличий по уровню полногеномного метилирования ДНК в ткани семенников экспонированных животных при сравнении с контрольной группой не выявлено (рис. 2). Вместе с тем выявлено статистически значимое повышение уровня полногеномного метилирования ДНК в крови самцов белых крыс, подвергавшихся воздействию дыма ($U = 9$, $Z = 2.36$, $p = 0.018$; рис. 2).

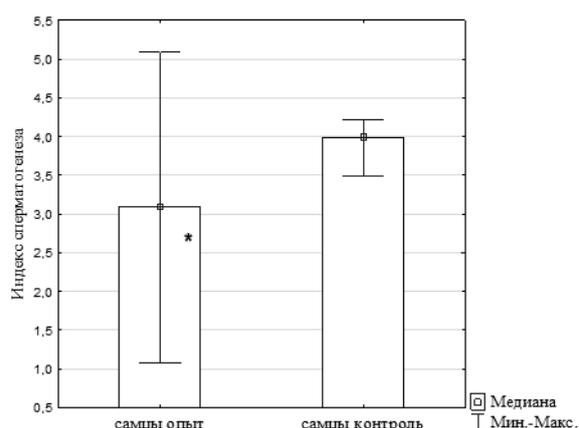


Рис. 1. Индекс сперматогенеза белых крыс при воздействии дыма лесного пожара.

* - различия статистически значимы по сравнению с контролем при $p < 0.05$

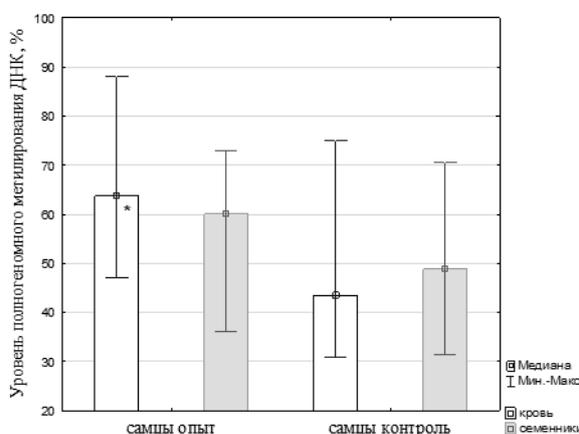


Рис. 2. Уровень полногеномного метилирования ДНК в крови и половых клетках белых крыс при воздействии дыма лесного пожара.

* - различия статистически значимы по сравнению с контролем при $p < 0.05$

В результате проведенных экспериментальных исследований выявлено нарушение процесса сперматогенеза и изменение уровня метилирования ДНК в крови экспонированных дымом животных. Несмотря на то, что дым лесных пожаров является многокомпонентной смесью из газов и частиц с доказанными мутагенными или генотоксическими свойствами [Ewa, Danuta, 2017; Kopp, Zalko, Audebert, 2018; Liu et al., 2018; Muthusamy, Peng, Ng, 2018], уровень повреждения ДНК в клетках крови и семенниках не имел статистически значимых отличий при сравнении с контролем. Отсутствие изменений по уровню повреждения и полногеномного метилирования ДНК в семенниках у экспериментальных животных, вероятно, связано с тем, что поступающие в организм генотоксические соединения не достигли половых желез в достаточной концентрации, в то время как их концентрация в крови оказалась достаточной для появле-

ния эпигенетических модификаций. В данном случае можно говорить о сохранении активности гематотестикулярного барьера, играющего главную роль в снижении проникновения токсичных веществ в гонады [Miller, Cherrington, 2018].

В исследованиях S. Ambatipudi et al. [2016] показано, что воздействие табачного дыма обратимо изменяет уровень метилирования ДНК и экспрессию генов в ДНК в периферической крови. Эти данные согласуются с результатами экспериментальных исследований Tsaprouni и Zeilinger, свидетельствующих о том, что воздействие табачного дыма значительно влияет на уровень метилирования ДНК в цельной крови, причем данные изменения в значительной степени корректируются после прекращения курения [Zeilinger et al., 2013; Tsaprouni et al., 2014]. Результаты исследования Murphy с соавторами [Murphy et al., 2019] показали, что оксидативный стресс является основным фактором, влияющим на изменение уровня метилирования ДНК сперматозоидов и последующие эффекты у потомства.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что длительное воздействие дыма природных пожаров на крыс-самцов приводит к нарушению процесса сперматогенеза и повышению уровня метилирования ДНК в клетках крови. Высокий окислительный потенциал твердых частиц в дыме природных пожаров [Verma et al., 2009] и присутствие в нем потенциальных газообразных генотоксикантов могут, по нашему мнению, вызывать патологические состояния, ведущие к повреждению и фрагментации ДНК, а также к апоптозу сперматозоидов. Вследствие этого возрастает вероятность риска развития нарушений здоровья у потомства отцов, подвергшихся воздействию дыма, что ставит задачу по более углубленному исследованию выявленных фактов.

Финансирование осуществлялось за счёт средств, выделяемых для выполнения государственного задания

Список литературы

- Вокина В.А. и др. Исследование воздействия эмиссии от лесных пожаров на морфофункциональное состояние центральной нервной системы белых крыс // Гигиена и санитария. 2019. № 98(11). С. 1245–1250.
- Дурнев А.Д. и др. Оценка генотоксических свойств методом ДНК-комет *in vitro* МР 4.2.0014-10: метод. рекомендации. М., 2010. 15 с.
- Звягинцев А.М. и др. Загрязнение воздуха на европейской части России и Украине в условиях жаркого лета 2010 г. // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2011. № 47(6). С. 757–766.
- Панов А.В. и др. Комплексный подход в оценке эмиссии углеродсодержащих газов от лесных пожаров в Сибири // Метеорология и гидрология. 2018. № 5. С. 30–39.
- Ухов Ю. И., Астраханцев А. Ф. Морфометрические методы в оценке функционального состояния семенников // Архив анатомии, гистологии и эмбриологии. 1983. № 84(3). С. 66–72.
- Air quality monitoring in Moscow, 2010. Newsletter WHO collaborating centre for quality management and air pollution control at the Federal Environment Agency. Germany, 2010. № 46. P. 9–14.
- Ambatipudi S. et al. Tobacco smoking-associated genome-wide DNA methylation changes in the EPIC study // Epigenomics. 2016. Vol. 8, № 5. P. 599–618.
- Bosse Y. et al. Molecular signature of smoking in human lung tissues // Cancer research. 2012. Vol. 72. P. 3753–3763.
- Chen Y. et al. The impact of the fine ambient particle on infertile male's sperm quality // Urological Science. 2019. Vol. 30, № 4. P. 177–183.
- Deng Z. et al. Association between air pollution and sperm quality: A systematic review and meta-analysis // Environ. Pollut. 2016. Vol. 208 (Pt B). P. 663–669.
- Ewa B., Danuta M.S. Polycyclic aromatic hydrocarbons and PAH-related DNA adducts // Journal of applied genetics. 2017. Vol. 58, № 3. P. 321–330.
- Hansen C. et al. The effect of ambient air pollution on sperm quality // Environ Health Perspect. 2010. Vol 118, № 2. P. 203–209.
- Huang X. et al. Association of exposure to ambient fine particulate matter constituents with semen quality among men attending a fertility center in China // Environ Sci. Technol. 2019. Vol. 53, № 10. P. 5957–5965.
- Jenkins T.G. et al. Cigarette smoking significantly alters sperm DNA methylation patterns // Andrology. 2017. Vol. 5, № 6. P. 1089–1099.
- Kiziler A.R. et al. High levels of cadmium and lead in seminal fluid and blood of smoking men are associated with high oxidative stress and damage in infertile subjects // Biological trace element research. 2007. Vol. 120. P. 82–91.
- Kohli A. et al. Secondhand smoke in combination with ambient air pollution exposure is associated with increased CpG methylation and decreased expression of IFN-gamma in T effector cells and Foxp3 in T regulatory cells in children // Clinical epigenetics. 2012. Vol. 4. P. 17.
- Kopp B., Zalko D., Audebert M. Genotoxicity of 11 heavy metals detected as food contaminants in two human cell lines // Environmental and molecular

- mutagenesis. 2018. Vol. 59, № 3. P. 202–210.
- Kulikauskas V., Blaustein D., Ablin R. J. Cigarette smoking and its possible effects on sperm // *Fertility and sterility*. 1985. Vol. 44. P. 526–534.
- Liu X. et al. Lead induces genotoxicity via oxidative stress and promoter methylation of DNA repair genes in human lymphoblastoid TK6 cells // *Medical science monitor*. 2018. Vol. 22, № 24. P. 4295–4304.
- Miller S.R., Cherrington N.J. Transepithelial transport across the blood-testis barrier // *Reproduction*. 2018. Vol. 56, № 6. P. 187–194.
- Murphy P.J. et al. Paternal cigarette smoke alters DNA methylation in sperm and gene expression in offspring brain // *BioRxiv*. 2019. 750638. doi: <https://doi.org/10.1101/750638>
- Muthusamy S., Peng C., Ng J.C. Genotoxicity evaluation of multi-component mixtures of polyaromatic hydrocarbons (PAHs), arsenic, cadmium, and lead using flow cytometry based micronucleus test in HepG2 cells // *Mutation research. Genetic toxicology and environmental mutagenesis*. 2018. Vol. 827. P. 9–18.
- Radwan M. et al. Exposure to ambient air pollution—does it affect semen quality and the level of reproductive hormones? // *Ann. Hum. Biol.* 2016. Vol. 43. P. 50–56.
- Rolland M. et al. Decline in semen concentration and morphology in a sample of 26 609 men close to general population between 1989 and 2005 in France // *Hum. Reprod.* 2013. Vol. 28, № 2. P. 462–470.
- Tsaprouni L.G. et al. Cigarette smoking reduces DNA methylation levels at multiple genomic loci but the effect is partially reversible upon cessation // *Epigenetics*. 2014. Vol. 9. P. 1382–1396.
- Verma V. et al. Physicochemical and toxicological profiles of particulate matter in Los Angeles during the October 2007 southern California wildfires // *Environ Sci. Technol.* 2009. Vol. 43. P. 954–960.
- Wentzel J.F. et al. Assessing the DNA methylation status of single cells with the comet assay // *Analytical Biochemistry*. 2010. Vol. 400, № 2. P. 190–194.
- Zeilinger S. et al. Tobacco smoking leads to extensive genome-wide changes in DNA methylation // *PLoS One*. 2013. Vol. 8, e63812.
- EPIC study. *Epigenomics*. V. 8, N 5 (2016): pp. 599–618.
- Bosse Y. et al. Molecular signature of smoking in human lung tissues. *Cancer research*. V. 72 (2012): pp. 3753–3763.
- Chen Y. et al. The impact of the fine ambient particle on infertile male's sperm quality. *Urological Science*. V. 30, N 4 (2019): pp. 177–183.
- Dai J. et al. Paternal nicotine exposure defines different behavior in subsequent generation via hypermethylation of mmu-miR-15b. *Sci. Rep.* V. 7 (2017): pp. 7286.
- Deng Z. et al. Association between air pollution and sperm quality: A systematic review and meta-analysis. *Environ Pollut.* V. 208 (Pt B) (2016): pp. 663–669.
- Durnev A.D. et al. *Oценка генотоксических свойств методом DNK-комет in vitro MR 4.2.0014-10* [Evaluation of genotoxic properties by the in vitro DNA comet method MR 4.2.0014-10: guidelines]. Moscow, 2010. 15 p. (In Russ.).
- Ewa B., Danuta M.S. Polycyclic aromatic hydrocarbons and PAH-related DNA adducts. *Journal of applied genetics*. V. 58, N 3 (2017): pp. 321–330.
- Hansen C. et al. The effect of ambient air pollution on sperm quality. *Environ Health Perspect.* V. 118, N 2 (2010): pp. 203–209.
- Huang X. et al. Association of exposure to ambient fine particulate matter constituents with semen quality among men attending a fertility center in China. *Environ Sci. Technol.* V. 53, N 10 (2019): pp. 5957–5965.
- Jenkins T.G. et al. Cigarette smoking significantly alters sperm DNA methylation patterns. *Andrology*. V. 5, N 6 (2017): pp. 1089–1099.
- Kiziler A. R. et al. High levels of cadmium and lead in seminal fluid and blood of smoking men are associated with high oxidative stress and damage in infertile subjects. *Biological trace element research*. V. 120 (2007): pp. 82–91.
- Kohli A. et al. Secondhand smoke in combination with ambient air pollution exposure is associated with increased CpG methylation and decreased expression of IFN-gamma in T effector cells and Foxp3 in T regulatory cells in children. *Clinical epigenetics*. V. 4 (2012): p. 17.
- Kopp B., Zalko D., Audebert M. Genotoxicity of 11 heavy metals detected as food contaminants in two human cell lines. *Environmental and molecular mutagenesis*. V. 59, N 3 (2018): pp. 202–210.
- Kulikauskas V., Blaustein D., Ablin R.J. Cigarette smoking and its possible effects on sperm. *Fertility and sterility*. V. 44 (1985): pp. 526–534.
- Liu X. et al. Lead induces genotoxicity via oxidative stress and promoter methylation of DNA repair genes in human lymphoblastoid TK6 cells. *Medical science monitor*. V. 22, N 24 (2018): pp.

References

- Air quality monitoring in Moscow, 2010. Newsletter WHO collaborating centre for quality management and air pollution control at the Federal Environment Agency. Germany. N 46 (2010): pp. 9–14.
- Ambatipudi S. et al. Tobacco smoking-associated genome-wide DNA methylation changes in the

- 4295-4304.
- Miller S.R., Cherrington N.J. Transepithelial transport across the blood-testis barrier. *Reproduction*. V. 56, N 6 (2018): pp. 187-194.
- Murphy P.J. et al. Paternal cigarette smoke alters DNA methylation in sperm and gene expression in offspring brain. *BioRxiv*. (2019): 750638. doi: <https://doi.org/10.1101/750638>
- Muthusamy S., Peng C., Ng J.C. Genotoxicity evaluation of multi-component mixtures of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), arsenic, cadmium, and lead using flow cytometry based micronucleus test in HepG2 cells. *Mutation research. Genetic toxicology and environmental mutagenesis*. V. 827 (2018): pp. 9-18.
- Панов А.В. et al. [A comprehensive approach to assessing carbon-containing gas emissions from forest fires in Siberia]. *Метеорология и гидрология*. N 5 (2018): pp. 30-39. (In Russ.).
- Radwan M. et al. Exposure to ambient air pollution - does it affect semen quality and the level of reproductive hormones? *Ann. Hum. Biol.* V. 43 (2016): pp. 50-56.
- Rolland M. et al. Decline in semen concentration and morphology in a sample of 26 609 men close to general population between 1989 and 2005 in France. *Hum. Reprod.* V. 28, N 2 (2013): pp. 462-470.
- Tsaprouni L.G. et al. Cigarette smoking reduces DNA methylation levels at multiple genomic loci but the effect is partially reversible upon cessation. *Epigenetics*. V. 9 (2014): pp. 1382-1396.
- Ukhov Yu.I., Astrakhantsev A.F. [Morphometric methods in the assessment of the functional state of the testes]. *Archiv anatomii, gistologii i embriologii*. N 84(3) (1983): pp. 66-72. (In Russ.).
- Verma V. et al. Physicochemical and toxicological profiles of particulate matter in Los Angeles during the October 2007 southern California wildfires. *Environ Sci. Technol.* V. 43 (2009): p. 954-960.
- Vokina V.A. et al. [Investigation of the effect of forest fire emissions on the morphofunctional state of the central nervous system of white rats]. *Gigiena i sanitarija*. N (98)11 (2019): pp. 1245-1250. (In Russ.).
- Wentzel J.F. et al. Assessing the DNA methylation status of single cells with the comet assay. *Analytical Biochemistry*. V. 400, N 2 (2010): pp. 190-194.
- Zeilinger S. et al. Tobacco smoking leads to extensive genome-wide changes in DNA methylation. *PLoS One*. V. 8 (2013): e63812.
- Zvyagintsev A.M. et al. [Air pollution in the European part of Russia and Ukraine in the hot summer of 2010]. *Izvestija RAN. Fizika atmosfery i okeana*. N 47(6) (2011): pp. 757-766. (In Russ.).

Поступила в редакцию 08.12.2020

Об авторах

Вокина Вера Александровна, кандидат биологических наук, научный сотрудник лаборатории биомоделирования и трансляционной медицины ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8265-8052>
665827, Иркутская область, г. Ангарск, 12А микрорайон, д. 3; vokina.vera@gmail.com; (3955) 58-61-10

Капустина Екатерина Александровна, кандидат медицинских наук, научный сотрудник лаборатории биомоделирования и трансляционной медицины ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2803-4048>
665827, Иркутская область, г. Ангарск, 12А микрорайон, д. 3; kapustinkae@yandex.ru

About the authors

Vokina Vera Alexandrovna, candidate of biology, Research Scientist of the laboratory for biomodelling and translational medicine FSBSI East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8265-8052>
12A microdistrict, 3, Angarsk, Russia, 664003; vokina.vera@gmail.com; (3955) 58-61-10

Kapustina Ekaterina Aleksandrovna, candidate of Medicine, Research Scientist of the laboratory for biomodelling and translational medicine FSBSI East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2803-4048>
12A microdistrict, 3, Angarsk, Russia, 664003; kapustinkae@yandex.ru

Новиков Михаил Александрович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биомоделирования и трансляционной медицины
ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6100-6292>
665827, Иркутская область, г. Ангарск, 12А микрорайон, д. 3; novik-imt@mail.ru

Андреева Елизавета Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории биомоделирования и трансляционной медицины
ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3709-8676>
665827, Иркутская область, г. Ангарск, 12А микрорайон, д. 3; liza.2995@mail.ru

Novikov Mikhail Alexandrovich, candidate of biology, Senior Researcher of the laboratory for biomodelling and translational medicine
FSBSI East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6100-6292>
12A microdistrict, 3, Angarsk, Russia, 664003; novik-imt@mail.ru

Andreeva Elizaveta Sergeevna, Junior Research Scientist of the laboratory for biomodelling and translational medicine
FSBSI East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3709-8676>
12A microdistrict, 3, Angarsk, Russia, 664003; liza.2995@mail.ru

Информация для цитирования:

Нарушение репродуктивного потенциала самцов белых крыс при воздействии дыма природного пожара / В.А. Вокина, Е.А. Капустина, М.А. Новиков, Е.С. Андреева // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 1. С. 70–76. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-70-76.

Vokina V.A., Kapustina E.A., Novikov M.A., Andreeva E.S. [Reproductive potential of male rats in the experimental model of wildfire]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2021): pp. 70-76. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-70-76.

УДК 636.7:612

DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-77-81.

Л. А. Пастухова, Е. В. Родимова, И. О. Крылова

Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации, Пермь, Россия

КУРСОВОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАСТОЯ ЧАГИ ДЛЯ АДАПТАЦИИ СОБАК В ПЕРИОД СМЕНЫ ТИПА КОРМЛЕНИЯ

Изучено влияние курсового (перорально в течение одного месяца) применения биологически активной добавки природного происхождения (настой чаги *Inonotus obliquus* Pil.) на некоторые показатели функционального состояния служебных собак в период смены типа кормления. Опытная и контрольная группы собак породы немецкая овчарка включали по пять особей. Установлено положительное влияние чаги на кальций-фосфорное соотношение в крови и тенденция к улучшению биохимических показателей крови, отражающих качество усвоения азотистых компонентов сухого корма и состояние мочевыделительной системы животных. Препарат смягчает переход с натурального на сухой тип кормления, стабилизирует показатели гомеостаза; оказывает пролонгированный положительный эффект на интенсивность набора массы тела, в используемых дозах не обладает токсичностью и рекомендуется к применению в служебном собаководстве.

Ключевые слова: служебные собаки; кормовой рацион; сухой корм; настой чаги; биохимические показатели крови; изменение типа кормления.

L. A. Pastukhova, E. V. Rodimova, I. O. Krylova

Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation, Perm, Russian Federation

Course use of chaga infusion for adapting of dogs in the period of changing the type of feeding

The effect of the course (orally for one month) use of a biologically active additive of natural origin (infusion of pharmacy drug *Inonotus obliquus* Pil.) on some indicators of the functional state of working dogs in the period of changing the type of feeding was studied. Experimental and control groups of working dogs of the German shepherd breed included five individuals each. The positive effect of Chaga on the calcium-phosphorus ratio in the blood and a tendency to improve the biochemical parameters of the blood, reflecting the quality of assimilation of nitrogenous components of dry feed and the state of the urinary system of animals. The drug softens the transition from natural to dry feeding, stabilizes homeostasis indicators; has a prolonged positive effect on the intensity of weight gain, in the doses used it is not toxic and can be recommended for use in service dog breeding.

Key words: working dogs; feed ration; dry dog food; Chaga infusion; blood biochemical parameters; changing the type of feeding.

В качестве одного из путей повышения устойчивости служебных животных к изменяющимся факторам внешней среды рассматривается пероральное введение адаптогенных препаратов, среди которых наиболее перспективны средства природного происхождения в связи с их несомненными преимуществами перед синтетическими [Парфенов, 2004; Барнаулов, Осипова, 2012; Арушанян, Бейер, 2017]. Указанные авторы рекомендуют использовать биологически активные кормовые добавки в рационах животных для нормализации обмена веществ, коррекции иммунного статуса, улучшения переваримости и усвоения питательных веществ.

Так, применение препаратов чаги (*Inonotus*

obliquus) в качестве активных биогенных стимуляторов и общеукрепляющих средств обусловлено тем, что они улучшают обмен веществ через восстановление активности ферментных систем, регулируют деятельность сердечно-сосудистой и дыхательной систем, повышают сопротивляемость организма к инфекционным заболеваниям, проявляют противовоспалительные свойства при внутреннем и местном применении [Kim et al., 2005; Вялых, Челнакова, Позняковский, 2017], обладают ростостимулирующим и обезболивающим действием [Парфенов, 2004; Фармакогнозия, 2009]. Также изучена антибиотическая активность метаболитов чаги в отношении ряда патогенных микроорганизмов [Шарииков, 2010]. Однако в россий-

ской и зарубежной литературе до настоящего времени отсутствовали экспериментальные работы по влиянию препаратов чаги на организм собак служебных пород.

В силовых структурах собак годовалого возраста начинают готовить к выполнению служебно-боевых задач с помощью активных тренировок, когда применение препаратов адаптогенного, общеукрепляющего действия показано не только в целях стабилизации жизненно важных внутренних параметров, но и повышения работоспособности животных [Sadykova et al., 2020].

В связи с вышесказанным, целью нашей работы было изучение влияния настоя чаги *Inonotus obliquus* на некоторые биохимические показатели крови и динамику массы тела собак породы немецкая овчарка в период перехода на новый для них рацион.

Объект и методы исследования

Объектом исследования стали служебные собаки породы немецкая овчарка специализированного войскового питомника ремонтного (учебного) назначения, вольерного содержания, с удовлетворительным анамнезом, плановыми вакцинациями и дегельминтизацией. По принципу групп аналогов были сформированы две группы собак (возраст от 12 до 14 месяцев): опытная и контрольная – по 5 животных в каждой. Ректальная температура соответствовала норме (37.8–39.0°C). Рабочая нагрузка животных состояла из тренировок и дрессировок.

Эксперимент проводился в период с 16 ноября по 15 декабря в климатогеографических условиях Западного Приуралья и представлял собой 30-дневное пероральное введение опытным животным настоя чаги (в течение первых пяти дней – по 50 мл, далее – 100 мл) во время каждого кормления, 2 раза в день. Настой готовили по инструкции к аптечному препарату «Чага – «Лекра-СЭТ», производство Алтайский край, г. Барнаул, ул. Интернациональная, 312а, РФ (Свидетельство о государственной регистрации: RU.77.99.88.003.E.000076.01.19, 15.01.2019 г.), не противоречащей фитоветеринарным литературным источникам: 1 фильтр-пакет (массой 1.5 г) заливали в стеклянном стакане 200 мл кипятка, настаивали 15 мин., отжимали, остужали при комнатной температуре, хранили в прохладном месте.

Остальные условия кормления и содержания были одинаковыми для обеих групп. До середины эксперимента собаки находились на «котловом» кормлении (получали приготовляемые корма в форме супа-кашицы из продуктов, определенных ведомственными приказами). Далее все животные были переведены на сухой корм «Big Dog», относящийся к классу «Корма для непродуктивных животных» ГОСТ Р 55453-201. Рацион контрольной

группы кормовых добавок не включал.

У контрольных и опытных собак до начала эксперимента и после него измеряли температуру – ректально электронным термометром, массу тела – на электронных напольных весах Massa-K (Россия), кровь для оценки биохимических показателей получали из подкожной вены предплечья натошак (перед утренним кормлением). Исследование крови проведено в ветеринарной лаборатории на автоматическом биохимическом анализаторе Mindray BS-200 (Китай). У собак изучены некоторые показатели сыворотки крови: содержание общего белка, альбуминов, глобулинов, мочевины, креатинина, кальция и фосфора. На протяжении эксперимента оценивалось общее состояние собак: аппетит, деятельность желудочно-кишечного тракта и мочевыделительной системы, активность.

Также отслеживали необычные признаки в самочувствии и поведении собак, регистрировали все обращения с опытными и контрольными животными к ветеринарному специалисту и их причины; для определения пролонгированного эффекта от возможного действия кормовой добавки через один месяц после окончания эксперимента произведено измерение массы тела.

Полученный экспериментальный материал обрабатывали статистически методами биометрического анализа с использованием программы Microsoft Excel; для каждого параметра вычисляли среднее (M), ошибку среднего (m), коэффициент вариации (CV), достоверность отличий результатов с применением критерия Стьюдента (таблица).

Результаты и их обсуждение

В эксперименте по использованию настоя чаги на некоторые функциональные показатели служебных собак физикальными методами установлено, что состояние слизистых оболочек, деятельности желудочно-кишечного тракта и мочевыделительной системы животных не менялось. Отмечено повышение общей активности собак опытной группы относительно контрольной, в том числе во время занятий, тренировок и самостоятельной подготовки. За месяц применения добавки масса тела увеличилась на 5.27%, тогда как у контроля – на 1.19%. Пролонгированный эффект действия добавки на прирост массы также максимален в опыте – 11.53% по сравнению с 3.47% контроля.

Результаты биохимического анализа сыворотки крови собак (таблица) показали, что большинство исследованных параметров в обеих группах соответствуют норме. Содержание общего белка, кальция, фосфора, альбуминов, глобулинов и соотношение последних двух показателей в эксперименте достоверно не изменилось.

Известно, что сухие корма некоторых производителей ухудшают состояние мочевыделительной

системы служебных собак [Гарипов, Садыкова, 2008; Пастухова, 2017], что сопровождается по-

вышением содержания мочевины в крови.

Некоторые биохимические показатели сыворотки крови собак на фоне применения настоя чаги

Показатель/до, после эксперимента	Опытная группа		Контрольная группа		Норма	
	M±m	CV	M±m	CV		
Мочевина, ммоль/л	до	5.50±0.547	22.2	5.88±0.331	12.6	3–8.9
	после	8.47±0.661**	17.5	9.17±0.781**	19.0	
Креатинин, ммоль/л	до	125.8±6.38	11.3	126.0±4.30	7.6	55–133
	после	118.2±5.46	10.3	116.2±2.35*	4.5	
Общий белок, г/л	до	66.44±2.420	8.1	65.48±0.695	2.4	55–77
	после	62.56±1.403	5.0	63.50±1.150	4.0	
Альбумин, г/л	до	30.10±1.104	8.2	29.36±0.330	2.5	25–39
	после	28.92±0.483	3.7	29.28±0.838	6.4	
Глобулины, г/л	до	36.34±1.396	8.6	36.12±0.673	4.2	20.6–37.0
	после	33.64±0.935	6.2	34.22±1.069	7.0	
Альбумин/глобулин	до	0.83±0.015	4.1	0.81±0.019	5.2	0.7–1.9
	после	0.86±0.011	2.8	0.86±0.043	11.3	
Кальций, ммоль/л	до	2.70±0.064	5.3	2.63±0.05	3,8	2.3–3.2
	после	2.59±0.042	3.6	2.42±0.12	11,2	
Фосфор, ммоль/л	до	2.00±0.119	13.8	1.88±0.12	13,8	0.85–1.45
	после	1.68±0.124	16.5	1.62±0.10	14,1	
Кальций/фосфор	до	1.37±0.056	9.1	1.42±0.077	12,2	1.2–1.8
	после	1.57±0.089*	12.6	1.50±0.044	6,6	

Примечание. * Достоверность различий отдельно для опытной и контрольной групп (до и после эксперимента) при $p < 0.1$; ** то же при $p < 0.01$.

Средняя концентрация этого параметра после проведения эксперимента достоверно увеличилась в обеих изученных нами группах (с наибольшим уровнем вероятности – $p < 0.01$), что может быть связано также с повышенным содержанием белка в сухом корме по сравнению с приготавливаемым; однако превышение физиологического максимума наблюдалось только у контроля. Таким образом, при использовании чаги прослеживается тенденция к более качественному усвоению азотистых компонентов сухого корма, с одновременным уменьшением вариабельности полученных биохимических показателей сыворотки крови, по сравнению с контрольной группой. Более точные выводы о пролонгированном влиянии данного сухого корма на мочевыделительную систему собак можно сделать только при его использовании в течение более длительного времени, чем в нашем исследовании.

Интересные данные получены для содержания в сыворотке крови кальция, фосфора и особенно их соотношения (коэффициента Ca/P). Большинство собак с переходом на сухой корм показали снижение концентрации кальция, что может быть связано также с наступлением зимнего сезона, и как следствие – с недостатком витамина D. При этом среднее значение для контроля уменьшилось на 8% и стало гораздо ближе к нижней границе нормы, чем в опытной группе, где снижение составило 4% (при отсутствии статистической достоверности), то есть на фоне кормовых добавок отмечена

тенденция к сохранению концентрации кальция в сыворотке крови.

Концентрация фосфора в сыворотке крови до начала опыта превышала нормальные значения у всех исследованных собак. После применения добавки у опытных собак не только выявлена тенденция к снижению фосфора, но и определено достоверное повышение коэффициента Ca/P (на 14.6%). Таким образом, наши результаты подтверждают литературные данные [Баландайкин, 2013; Белова, 2014; Вялых, Челнакова, Позняковский, 2017] о благоприятном воздействии компонентов чаги на минеральный обмен в организме животных.

Также на фоне препарата чаги более отчетливо выражена тенденция к снижению глобулинов в сторону приближения к средним значениям нормы; отмечена стабилизация средних значений и коэффициента вариации для кальция, альбуминов и альбумин-глобулинового соотношения.

За время проведения эксперимента хозяева опытных собак ни разу не обращались к ветеринарному врачу, в отличие от контрольной группы (2 случая с разными собаками). Первое обращение с собакой, получавшей настой чаги, зафиксировано только 23 марта – дерматит в области живота.

Заключение

Установлено положительное влияние чаги на кальций-фосфорное соотношение в сыворотке крови собак; выявлена тенденция к улучшению био-

химических показателей крови, отражающих качество усвоения азотистых компонентов сухого корма и состояние мочевыделительной системы животных. Курсовое пероральное использование настоя чаги в корме смягчает переход с натурального на сухой тип кормления, стабилизируя показатели гомеостаза; оказывает пролонгированный положительный эффект на динамику массы тела при одновременном повышении общей активности собак. В используемых дозах препарат не обладает токсичностью и, следовательно, может быть рекомендован для применения в служебном собаководстве.

Авторы выражают благодарность ветеринарным специалистам Пермского военного института за помощь в организации исследования.

Список литературы

- Арушанян Э.Б., Бейер Э.В. Адаптогены растительного происхождения: учеб. пособие для студентов. Ставрополь: Изд-во СтГМУ, 2017. 149 с.
- Баландайкин М.Э. К вопросу о химическом составе и медицинских свойствах *Inonotus obliquus* (Pers.) Pil. // Химия растительного сырья. 2013. № 2. С. 15–22.
- Барнаулов О.Д., Осипова Т.В. Стресс-лимитирующие свойства классических фитoadаптогенов // Обзоры по клинической фармакологии и лекарственной терапии. 2012. Т. 10, № 3. С. 40–49.
- Белова Н.В. О необходимости изучения биологии и биохимической активности *Inonotus obliquus* // Микология и фитопатология. 2014. Т. 48, № 6. С. 401–403.
- Вялых Е.В., Челнакова Н.Г., Позняковский В.М. Характеристика гриба чага и его использование в производстве экстрактов для лечебного и профилактического питания // АПК России. 2017. Т. 24, № 3. С. 699–704.
- Гарипов Т.В., Садыкова Ю.Р. Морфофункциональное состояние крови и мочевыделительной системы у собак, получающих разные типы кормов // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н.Э. Баумана. 2008. Т. 192. С. 372–377.
- Пастухова Л.А. Анализ использования сухого корма для собак породы немецкая овчарка // Вестник кинологической службы войск национальной гвардии Российской Федерации: сб. науч. тр. Пермь, 2017. С. 137–140.
- Парфенов В. Энциклопедия фитоветеринарии: Сельскохозяйственные животные. М.: АСТ; Центральный кн. двор, 2004. 319 с.
- Фармакогнозия: учеб. пособие / Г.А. Ноздрин, В.Д. Соколов, Н.Л. Андреева, А.Г. Ноздрин. Новосибирск, 2009. 140 с.
- Шариков А.М. Гриб-чага *Inonotus obliquus* Pilat.: антибиотическая активность метаболитов аборигенных среднесибирских штаммов гриба-чаги *Inonotus obliquus* Pilat. // Современные наукоемкие технологии. 2010. № 8. С. 167–168.
- Kim Y.O. et al. Immunostimulating effect of the endopolysaccharide produced by submerged culture of *Inonotus obliquus* // Life Sci. 2005. Vol. 23, № 77. P. 2438–2456.
- Sadykova Y.R. et al. Homeostasis-preserving paths in dogs of service breeds at the critical periods of postnatal ontogenesis // III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk, 2020. P. 22045.

References

- Arushanyan E.B., Beyer E.V. *Adaptogeny rastitel'nogo proischozheniya* [Plant-Based Adaptogens: textbook for students]. Stavropol, StGMU Publ., 2017. 149 p. (In Russ.).
- Balandaikin M.E. [On the question of the chemical composition and medical properties of *Inonotus obliquus* (Pers.) Pil.] *Chimija rastitel'nogo syr'ja*. N 2 (2013): pp. 15-22. (In Russ.).
- Barnaulov O.D., Osipova T.V. [Stress-limiting properties of classical phytoadaptogens] *Obzory po kliničeskoj farmakologii i lekarstvennoj terapii*. V. 10, Iss. 3 (2012): pp. 40-49. (In Russ.).
- Belova N.V. [On the need to study the biology and biochemical activity of *Inonotus obliquus*] *Mikologija i fitopatologija*. V. 48, Iss. 6 (2014): pp. 401-403. (In Russ.).
- Vyalykh E.V., Chelnakova N.G., Poznyakovskiy V.M. [Characteristics of the chaga mushroom and its use in the production of extracts for therapeutic and preventive nutrition]. *APK Rossii*. V. 24, Iss. 3 (2017): pp. 699-704. (In Russ.).
- Garipov T.V., Sadykova Y.R. [Morphofunctional state of the blood and urinary system in dogs receiving different types of food]. *Učenyje zapiski Kazanskoj gosudarstvennoj akademii veterinarnoj mediciny imeni N.Ė. Baumana*. V. 192 (2008): pp. 372-377. (In Russ.).
- Pastukhova L.A. [Analysis of the use of dry food for dogs of the German shepherd breed]. *Vestnik kinologičeskoj služby vojsk nacional'noj gvardii Rossijskoj Federacii* [Bulletin of the canine service of the troops of the National Guard of the Russian Federation. Collection of scientific papers]. Perm, 2017, pp. 137-140. (In Russ.).
- Parfenov V. *Ènciklopedija fitoveterinarii: Sel'skochozjajstvennye životnye* [Phytoveterinary Encyclopedia: Farm Animals]. Moscow, AST Publishing House, Central Knizhny Dvor Publ., 2004. 319 p. (In Russ.).

- Nozdryn G.A., Sokolov V.D., Andreeva N.L., Nozdryn A.G. *Farmakognosiya* [Pharmacognosy: textbook manual]. Novosibirsk, 2009. 140 p. (In Russ.).
- Sharikov A.M. [Chaga mushroom *Inonotus obliquus* Pilat.: antibiotic activity of metabolites of indigenous Central Siberian strains of the chaga mushroom *Inonotus obliquus* Pilat.] *Sovremennye naukoemkieologii*. N 8 (2010): pp. 167-168. (In Russ.).
- Kim Y.O., Han S.B., Lee H.W., Ahn H.J., Yoon Y.D., Jung J.K., Kim H.M., Shin C.S. Immunostimulating effect of the endo-polysaccharide

produced by submerged culture of *Inonotus obliquus*. *Life Sci.* V. 23, N 77, (2005): pp. 2438-2456.

- Sadykova Y.R., Rodimova E.V., Kornilova E.A., Pastukhova L.A. Homeostasis-preserving paths in dogs of service breeds at the critical periods of postnatal ontogenesis. III International Scientific Conference: AGRITECH-III-2020: Agribusiness, Environmental Engineering and Biotechnologies. Krasnoyarsk, Russia, 2020, p. 22045.

Поступила в редакцию 01.12.2020

Об авторах

Пастухова Лариса Анатольевна, доцент кафедры биологии
ФГКВБОУ ВО «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации»
ORCID: 0000-0003-2432-5224
614112, г. Пермь, ул. Гремячий Лог, 1;
lap4260@mail.ru; 8-9638707811

Родимова Екатерина Владимировна, кандидат биологических наук, доцент кафедры биологии
ФГКВБОУ ВО «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации»
ORCID: 0000-0001-7565-7937
614112, г. Пермь, ул. Гремячий Лог, 1;
k_rodimova@mail.ru; 89125996585

Крылова Ирина Олеговна, кандидат биологических наук, доцент, профессор кафедры биологии
ФГКВБОУ ВО «Пермский военный институт войск национальной гвардии Российской Федерации»
ORCID: 0000-0002-7731-5225
614112, г. Пермь, ул. Гремячий Лог, 1;
Irinabelevich@mail.ru; 89028009778

Информация для цитирования:

Пастухова Л.А., Родимова Е.В., Крылова И.О. Курсовое использование настоя чаги для адаптации собак в период смены типа кормления // Вестник Пермского университета. Сер. Биология. 2021. Вып. 1. С. 77–81. DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-77-81.

Pastukhova L.A., Rodimova E.V., Krylova I.O. [Course use of chaga infusion for adapting of dogs in the period of changing the type of feeding]. *Vestnik Permskogo universiteta. Biologija*. Iss. 1 (2021): pp. 77-81. (In Russ.). DOI: 10.17072/1994-9952-2021-1-77-81.

About the authors

Pastukhova Larisa Anatolievna, Associate Professor of the Department of biology
Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation.
ORCID: 0000-0003-2432-5224
1, Gremyachy log str., Perm, Russia, 614112;
lap4260@mail.ru; 8-9638707811

Rodimova Ekaterina Vladimirovna, candidate of biology, associate professor of the Department of biology
Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation.
ORCID: 0000-0001-7565-7937
1, Gremyachy log str., Perm, Russia, 614112;
k_rodimova@mail.ru; 89125996585

Krylova Irina Olegovna, candidate of biology, professor of the Department of biology
Perm Military Institute of the National Guard Troops of the Russian Federation.
ORCID: 0000-0002-7731-5225
1, Gremyachy log str., Perm, Russia, 614112;
Irinabelevich@mail.ru; 89028009778

ПЕРСОНАЛИИ

ПАМЯТИ НИКОЛАЯ МАТВЕЕВИЧА ПАХОРУКОВА
(09.05.1948 – 28.02.2021)

THE MEMORY OF NIKOLAY M. PACHORUKOV
(09.05.1948 – 28.02.2021)



На 73-м году жизни 28 февраля 2021 года скончался Николай Матвеевич Пахоруков – известный ученый-арахнолог, внесший весомый вклад в изучение фауны и экологии пауков Урала и России.

Николай Матвеевич родился в семье рабочего в пос. Соколово Бийского района Алтайского края. В 1966 г. после окончания 11 классов Соколовской средней школы переехал к брату в Ижевск, и там начал работать токарем на электромеханическом заводе. В следующем году был мобилизован в ряды Советской Армии, где дослужился до старшего сержанта.

В 1969 г., сразу после демобилизации, поступил на биологический факультет Пермского государственного университета. В период обучения проявил интерес к изучению пауков, был замечен на кафедре. Поэтому сразу после окончания учебы с 1 августа 1974 г. он начинает работать ассистентом на кафедре зоологии беспозвоночных. Через год Н.М. Пахоруков поступает в целевую аспирантуру

в институте “Экологии растений и животных” в г. Свердловске, где его научным руководителем становится профессор, доктор биологических наук Николай Николаевич Данилов, заведующий лабораторией энергетики биогеоценотических процессов.

Свою научную деятельность Николай Матвеевич начал с многолетних экспедиций в Печоро-Илычский государственный заповедник, где он изучал не только видовой состав, но и экологию пауков. Он стал первым из отечественных арахнологов, кто впервые применил количественные методы для описания структуры населения пауков.

В 1979 г. успешно защитил кандидатскую диссертацию на тему «Пауки Северного Урала (Эколого-фаунистический обзор)».

Вернувшись в декабре 1978 г. на родную кафедру, Николай Матвеевич продолжил здесь свою научную и педагогическую деятельность. В июне 1982 г. Николай Матвеевич становится старшим преподавателем, в 1987 г. – доцентом. В 1989 г. ему присвоено ученое звание «доцент».

С первых лет работы в университете Николай Матвеевич гармонично сочетал организационную работу, научные исследования и педагогическую деятельность.

Прошел путь от ассистента до заведующего кафедрой, заместителя декана по учебной работе и декана биологического факультета.

Н.М. Пахоруков являлся членом Российского арахнологического общества, принимал активное участие в сотрудничестве с Международным центром арахнологической документации (г. Париж). С 1980 г. работал секретарем межвузовского сборника научных трудов Пермского государственного университета. В 1987 г. был главным координатором и организатором II Всесоюзного арахнологического совещания в г.Пермь.

Свои профессиональные знания и научный опыт Н.М. Пахоруков непрестанно передавал молодому поколению, являясь доцентом кафедры зоологии беспозвоночных и водной экологии, основателем лаборатории энтомологии ПГНИУ, науч-

ным руководителем арахно-энтомологического направления на кафедре зоологии беспозвоночных и водной экологии. Н.М. Пахоруков читал лекционные курсы «Экология насекомых», «Арахнология» и «Общая энтомология», вел «Большой практикум по энтомологии», являлся научным руководителем и консультантом выпускных квалификационных работ студентов. Николая Матвеевича всегда отличали увлеченность и преданность научной деятельности, благородные человеческие качества, требовательность к себе, чуткость и искреннее внимание к коллегам и ученикам.

Николай Матвеевич активно участвовал в общественной работе как факультета, так и университета. Еще в студенческие годы он исполнял обязанности профорга, старосты группы и старосты курса. Долгие годы являлся членом профкома ПГУ, занимаясь организацией соцсоревнований.

В июне 2006 г. Н.М. Пахоруков вышел на пенсию.

Сотрудники кафедры и всего биологического факультета выражают искренние и глубокие соболезнования родным и близким Николая Матвеевича, замечательного ученого и человека.

*В. Е. Ефимик,
врио заведующего кафедрой зоологии
беспозвоночных и водной экологии ПГНИУ;
С. Л. Есюнин,
профессор кафедры зоологии
беспозвоночных и водной экологии ПГНИУ*

СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ Н.М. ПАХОРУКОВА

1975. Связь распределения пауков с растительным покровом в средней тайге Приуралья // Доклады АН СССР. Т. 224, № 2 (соавтор).
1977. Четыре новых для фауны СССР вида пауков (Aranei) с Северного Урала // Вестник зоологии. № 4 (соавтор).
1977. Малоизвестные и новые для фауны СССР виды пауков сем. Linyphiidae (Aranei) с Северного Урала // Энтомологическое обозрение. Т. 56, вып. 4. (соавтор).
1980. Пауки якшинского профиля // Взаимосвязи компонентов лесных и болотных экосистем средней тайги Приуралья. Л.: Наука.
1981. К изучению пауков сем. Linyphiidae фауны лесной зоны СССР // Фауна и экология насекомых. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та.
1984. Пауки нижних ярусов таежных биоценозов Северного Зауралья // Фауна и экология паукообразных. Пермь: Изд-во Перм. гос. ун-та.
1985. Характеристика комплексов пауков лесостепных биоценозов Южного Зауралья // Фауна и экология паукообразных СССР. Тр. Зоол. ин-та АН СССР. Т. 139. Л.: Наука.
1987. Материалы к фауне пауков Ильменского заповедника // Фауна, экология беспозвоночных животных Челябинской области. Свердловск (соавтор).
1988. К фауне пауков Башкирского государственного заповедника // Фауна и экология паукообразных. Пермь: Изд-во ПГУ (соавтор).
1992. Фауна пауков (Aranei) Троицкого заказника // Членистоногие охраняемых территорий Челябинской области. Свердловск. (соавтор).
1994. Фауна пауков (Arachnida: Aranei) лесного хозяйства "Предуралье", Пермская область // Фауна и экология пауков. Пермь: Изд-во ПГУ (соавтор).
2001. Животные Прикамья: монография. Пермь (соавтор).
2007. Биоразнообразие и экология беспозвоночных животных. Водная фауна: учеб. пособие по полевой практике. Пермь (соавтор).
2009. Биоразнообразие и экология беспозвоночных животных. Наземная фауна: учеб. пособие по полевой практике. Пермь (соавтор).

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ ДЛЯ ОПУБЛИКОВАНИЯ ИХ В ЖУРНАЛЕ «ВЕСТНИК ПЕРМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА. СЕРИЯ БИОЛОГИЯ»

Редакционная коллегия научного журнала «Вестник Пермского университета. Серия Биология» просит авторов руководствоваться следующими правилами при подготовке рукописи к печати.

1. Оформление рукописи

1.1. Статья должна быть представлена в электронном виде (на диске или по электронной почте) и обязательно в виде распечатанной на принтере копии формата А4. Электронная версия записывается в формате Microsoft Word (версии **6.0, 7.0, 97, 2003**) или RTF. Размеры верхнего и нижнего полей – 2.6 см, правого и левого – 2.5 см. Расстояние до верхнего и нижнего колонтитулов – 1.25 см. Шрифт Times New Roman. Межстрочный интервал – одинарный. Абзацный отступ – 0.5 см. При оформлении статьи необходимо различать дефис (-) и тире (–). В качестве знака «минус» надо использовать тире, а в качестве разделителя в десятичных дробях – точку (а не запятую). В тексте статьи использовать кавычки «ёлочка». Переносы в словах делать только в тексте статьи, не допускаются переносы в названии статьи, заголовках всех уровней и названиях таблиц. Страницы должны иметь сквозную нумерацию.

1.2. Статьи без списка процитированной литературы не рассматриваются. Список цитированной литературы должен включать, как правило, не менее 10–15 публикаций. Коэффициент самоцитирования не должен превышать 30%.

1.3. Рукописи должны быть тщательно выверены и отредактированы автором (авторами). При этом материал должен быть структурирован, изложен ясно и последовательно.

1.4. Рукопись статьи должна быть подписана авторами.

1.5. Объём рукописи статьи (включая таблицы, рисунки, подписи к рисункам, библиографический список) не должен быть более 15 с., для информационных публикаций и рецензий – 1–5 с., кратких сообщений – 1–3 с. Суммарный объём таблиц и рисунков не должен превышать 1/3 объёма статьи.

1.6. Общий порядок расположения частей статьи и их оформление (смотри образец):

- Раздел журнала.

- УДК (размер шрифта 12, курсив).
- Инициалы, фамилия автора (авторов) (размер шрифта 12, полужирный).
- Места работы авторов (размер шрифта 10 пт).
- Название статьи (размер шрифта 14 полужирный, прописные).
- Аннотация (размер шрифта 10, объём 100–200 слов; она должна включать краткую информацию о целях, объекте и методах исследования, краткие результаты и заключение).
- Словосочетание «Ключевые слова» (размер шрифта 10, полужирный курсив), сами ключевые слова (до 8 слов, прямым светлым шрифтом) должны отделяться друг от друга точкой с запятой.
- Инициалы, фамилии, места работы авторов, название статьи, её аннотация и ключевые слова на английском языке должны полностью соответствовать шрифтам и объёму на русском языке.
- Текст статьи. В статьях экспериментального характера должны быть выделены разделы: **Введение** (можно без заголовка), **Материалы (или Объект) и методы исследований, Результаты и их обсуждение, Выводы (или Заключение)**. Набор текста статьи производится в две колонки одинаковой ширины, расстояние между колонками – 0.5 см. Основной текст набирается шрифтом Times New Roman Суг, размер – 10 пт. Латинские названия таксонов (до семейства включительно) должны быть набраны *курсивом* (кроме авторов таксонов). Литературные ссылки даются на фамилии авторов и располагаются в хронологическом порядке.
- Заголовки разделов набрать в левый край, размер шрифта 12, полужирн. строчные. Заголовки подразделов, если таковые есть, набираются в левый край (размер шрифта 10, жирн. курсив).
- Благодарности и финансирование (размер шрифта 10).
- Библиографический список (размер шрифта 10). Литературные источники в списке приводятся по алфавиту; сначала на кириллице, затем на латинице.
- Пристатейный список литературы на латинице (References), помещается сразу за Библиографическим списком, либо вместе с другой англоязычной частью, размещаемой за статьей. Не допуска-

ется смешивать русскоязычную и англоязычную часть в одной ссылке, точно также, как сокращать русскоязычный Библиографический список, перенося все англоязычные ссылки в References.

- Поступила в редакцию (дата ставится ответственным редактором выпуска, размер шрифта 10).

- Ф.И.О. автора или всех авторов (полностью, без сокращений), учёная степень, учёное звание и должность каждого автора, название учреждения, где выполнялась работа и его почтовый адрес, **ORCID**, адрес электронной почты, телефон (размер шрифта 10) (на русском и английском языках).

Оформление формул, рисунков и таблиц. Формулы набираются в редакторе Microsoft Equation с выравниванием по центру и пробелами сверху и снизу по 6 пт (номер формулы, если формул несколько, выравнивается по правому краю колонки). Размеры и начертание всех элементов формул должны быть одинаковыми с их представлением в тексте (основной размер 10 пт, индексы 7 пт, например, A_i). В тексте статьи и в математических уравнениях коэффициенты и аргументы функций набираются *наклонным* шрифтом, векторы – *наклонным жирным* шрифтом, цифры – обычным прямым шрифтом. Если уравнение не входит в одну строку, то его можно разбить на две или более строк. Химические символы и формулы набираются прямым шрифтом.

Таблицы и рисунки нумеруются в порядке упоминания их в тексте, каждая таблица и рисунок должны иметь свой заголовок. Заголовок таблицы обязателен и набирается полужирным строчным, размер шрифта 10 пт; текст таблицы набирается шрифтом размером 10 или 9 пт. Если в заголовке используются латинские названия таксонов, они набираются *курсивом*. Все столбцы должны иметь заголовки. Цифры в столбцах таблицы должны быть выровнены по точке десятичных дробей или по единице младшего разряда. Если таблица занимает по ширине две колонки, она должна быть расположена либо в начале, либо в конце страницы. Таблица может сопровождаться примечаниями. Таблицы в альбомном формате не допускаются.

Рисунки следует делать экономно, если они выполнены из отдельных элементов, то должны быть сгруппированы. Подписи к рисункам обязательны и набираются обычным прямым текстом размером шрифта 10 пт; обозначения и примечание к рисунку – размер шрифта 9 пт. Названия таксонов в подписях даются только по латыни, *курсивом*. Оригиналы рисунков должны представлять собой файлы форматов gif, jpg либо tif. Авторам следует учесть, что в журнале не предусмотрена цветная печать, поэтому рисунки, как правило, должны быть монохромными. За потерю качества при типографской печати цветных оригиналов редакция ответственности не несёт.

Следует избегать прямого импорта диаграмм в электронный оригинал статьи из редактора MS Excel и ему подобных путём копирования и вставки. Не допускается вставка со связью с оригиналом. Данные диаграммы должны быть доработаны автором в графическом редакторе.

При использовании для создания в тексте статьи схем и диаграмм встроенного графического редактора MS Word по окончании работы над изображением обязательно группируйте все его объекты в формате gif, jpg либо tif. Рамки вокруг изображений, в т. ч. диаграмм и легенд диаграмм, не допускаются. Рекомендуются обращать особое внимание на контрастность рисунков во избежание потерь информации при печати. В случае недостаточной контрастности исходных материалов она может быть повышена в графическом редакторе. Следует избегать большого числа цветов (полутонов) на изображении, а также выбора близких тонов заливки рядом расположенных элементов изображения.

Единственный в статье рисунок (*или* единственная таблица) должен иметь только заголовок и не обозначаться как рис. 1 (*или* табл. 1).

Если таблица не помещается на одну страницу, то на следующей странице - «Продолжение (*или* Окончание) табл. 1».

Сокращения. Разрешаются лишь общепринятые сокращения - названия мер, физических, химических и математических величин и терминов и т.п. Все сокращения должны быть расшифрованы, за исключением небольшого числа общеупотребительных. Названия учреждений при первом упоминании их в тексте даются полностью и сразу же в скобках приводится общепринятое сокращение; при повторных упоминаниях даётся сокращённое название учреждений. *Пример:* Пермский государственный национальный исследовательский университет (ПГНИУ), повторно – ПГНИУ, в Гербарии ПГНИУ и т.д.

Благодарности. В этой рубрике выражается признательность частным лицам, сотрудникам учреждений и фондам, оказавшим содействие в проведении исследований и подготовке статьи, а также указываются источники финансирования научных исследований, если таковые имеются.

Оформление списка литературы. Убедительно просим при оформлении статей руководствоваться новыми правилами. Список литературы должен быть оформлен строго в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка».

Для связи библиографических ссылок с текстом статьи используют идентифицирующие сведения: фамилия автора (авторов) или название публикации, год издания, при необходимости страницу; отсылки в тексте заключают в квадратные скобки [Israeli, Shaffer, Lighthart, 1993, с. 142]. Названия периодических изданий **не сокращаются**. За правильность и полноту предоставления библиографических данных ответственность несёт автор.

Оформление References. Предлагается следующий порядок описания литературного источника:

- авторы (транслитерация);
- [перевод заглавия статьи на английский язык в квадратных скобках];
- название русскоязычного источника (транслитерация);
- [перевод названия источника на английский язык – парафраз (для журналов можно не делать)],
- выходные данные с обозначениями на английском языке;
- указание на язык статьи (In Russ.) после описания статьи.

Например:

Byzov A.L., Utina I.A. [The centrifugal effects on amacrine cells in the retina of frog]. *Neirofiziologiya*. N 3 (1971): pp. 293-300. (In Russ.).

Это наиболее приемлемая схема, т.к. в ней даётся информация о содержании статьи и полные данные об источнике. Перевод заглавия приведён в квадратных скобках, имея в виду, что английское заглавие не является основным в этой статье.

Подробное руководство по оформлению References помещено на странице (<http://www.psu.ru/nauchnye-zhurnaly/metodicheskie-materialy/oformlenie-spiska-literatury-v-latinitse-references>).

Внимание! Единственным критерием для публикации в журнале «Вестник Пермского университета. Серия Биология» является научный уровень работы, выявляемый при её рецензировании. Журнал не взимает плату за публикацию статей с аспирантов и соискателей учёных степеней.

2. Представление и редакционная подготовка рукописи

Рукопись может быть представлена лично, приложена на почтовый адрес редакции или по электронной почте (vestnik_psu_bio@mail.ru). Рукопись регистрируется при получении ответственным секретарем журнала. К рукописи прикладывается **Лицензионный договор**.

Автором(ами) подписывается договор о согласии на использование статьи в открытой печати. Авторы гарантируют, что статья является оригинальным произведением, ранее не публиковалась,

и они обладают исключительными авторскими правами на неё. Форма Лицензионного договора находится на сайте журнала (<http://www.psu.ru/nauchnye-zhurnaly/series-biology>).

Статья аспиранта (без соавторов) должна иметь отзыв научного руководителя.

Вместе со статьей подается ее электронный вариант, названный по фамилии автора(ов), например, Иванов, Петров, Сидоров.doc. Для литературного и технического редактирования представляется печатный вариант статьи со всеми необходимыми элементами, с текстом, размещенным в одну колонку, отпечатанный 12 размером шрифта с межстрочным интервалом 1.5.

Рукопись должна быть тщательно выверена, отредактирована и подписана автором(ами).

После получения редакцией статьи, она направляется на рецензирование. При наличии замечаний к рукописи она отсылается автору (авторам) на доработку. Доработанный вариант статьи автор должен вернуть в редакцию вместе с первоначальным экземпляром не позднее чем через неделю после получения замечаний. В случае невозвращения рукописи автором в редакцию по истечении этого срока или необходимости более двух доработок, первоначальная дата её регистрации аннулируется. Датой поступления считается день получения окончательного варианта статьи.

Рукописи рассматриваются в порядке их поступления в течение 1–6 месяцев в зависимости от сложности ситуации и объема работы.

В редакционно-издательский отдел рукописи статей сдает ответственный редактор. После редакционной правки рукопись при необходимости возвращается автору для согласования (срок – не более 2 дней). После исправления всех замечаний автор подписывает статью к печати.

Для правильного оформления статьи используйте электронную форму настоящих правил последнего выпуска, выложенного на сайте журнала.

Редакционная коллегия

ОБРАЗЕЦ ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЬИ

БОТАНИКА

УДК 581.9

И. И. Иванов^a, П. П. Петров^b, С. С. Сидоров^c

^a Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

^b Московский государственный университет, Москва, Россия

^c Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Пермь, Россия

НАЗВАНИЕ СТАТЬИ

В аннотации (реферате) отражается основное содержание статьи. Аннотация должна содержать 100–200 слов. Например: определён показатель жизнеспособности лиофилизированных культур *Rhodococcus* ssp. после длительного хранения, достаточный для восстановления клеточной популяции. Консервацию алканотрофных родококков рекомендовано производить в условиях предварительного их культивирования на питательных средах. Ключевых слов или словосочетаний должно быть не более 8; они должны отделяться друг от друга точкой с запятой.

Ключевые слова: оформление; статья; правила.

I. I. Ivanov^a, P. P. Petrov^b, S. S. Sidorov^c

^a Perm State University, Perm, Russian Federation

^b Moscow State University, Moscow, Russian Federation

^c Institute of Ecology and Genetics of Microorganisms of the Ural Branch RAS, Perm, Russian Federation

THE TITLE OF THE ARTICLE

Viability level necessary to recover cell populations upon long-term storage was measured. It is recommended to preserve alkanotrophic rhodococci pre-cultivated on nutrient hydrocarbon-containing media. The duration of rhodococci storage could be increased using protectants. The most effective lyoprotectants are shown to be a sucrose-gelatine agar or gelatine agar supplemented with *Rhodococcus*-biosurfactants.

Key words: actinobacteria; *Rhodococcus*; biosurfactants.

Введение

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст [Автор, Автор, Автор, 2012; Автор, 2014].

Текст. Текст. Текст [Автор, Автор, Автор, 1992; Автор, 2001]. Текст. Текст.

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Материал и методы исследования

Материал

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Методы исследования

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст [Автор, Автор, Автор, 1999; Author, 2012].

Текст. Текст. Текст [Author, Author, 1992; Автор, 2000]. Текст. Текст.

Результаты и их обсуждение

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст (рис. 1). Текст. Текст. Текст.

Текст. Текст. Текст (рис. 2, табл. 1). Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст (формула 1)

$$a = \text{th } x + \int_a^b f(x)dx + \text{ch } x - 25 \sum_{i=1}^N k_i A_i . \quad (1)$$

где текст, текст, текст.

Текст. Текст. Текст. Текст (табл. 2). Текст. Текст. Текст. Текст.

Текст. Текст. Текст. Текст (табл. 2). Текст. Текст. Текст. Текст.

Текст. Текст. Текст [Author, 2010]. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

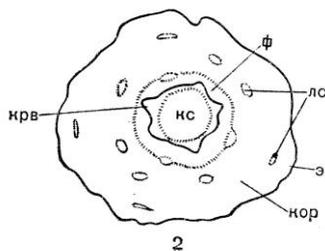


Рис. 1. Название рисунка:

кор – название, крв – название, кс – название, лс – название, ф – название, э – название

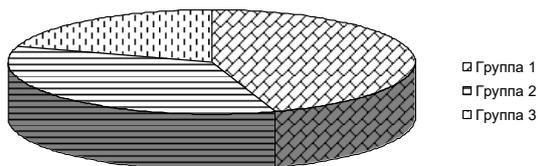


Рис. 2. Название рисунка:

1 – Группа 1 – название, 2 – Группа 2 – название, 3 – Группа 3 – название

Таблица 1

Пример оформления таблицы и заголовка к ней для объекта X

Область оценки	Дисперсия сигнала (D)	v (МГц)	Среднее
А	79	8.91*	5.6
Б	170	13.0	208.0
В	165	12.8	124.05

*Текст примечания.

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Об авторах

Иванов Иван Иванович, доктор биологических наук, профессор, зав. кафедрой гистологии ФГБОУВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»
ORCID: XXXX-XXXX-XXXX-XXXX
 614990, Пермь, ул. Букирева, 15;
 ivanovii@mail.ru; (342)2396233

Петров Петр Петрович, кандидат биологических наук, доцент кафедры органической химии ФГБОУВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова»
ORCID: XXXX-XXXX-XXXX-XXXX
 119991, Москва, Ленинские горы, 123;
 PPetrov@yandex.ru; (095)3764812

Сидоров Семен Семенович, инженер лаборатории адаптации микроорганизмов ФГБУН Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН
ORCID: XXXX-XXXX-XXXX-XXXX
 614081, Пермь, ул. Голева, 13; Sid709@iegm.ru;
 (342)2876328

Выводы

Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Благодарности. Финансирование. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст. Текст.

Библиографический список

Автор И.О. Заголовок // Источник. Год публикации. Том, номер. Страницы.
Автор И.О., Автор И.О. Заголовок // Источник. Год публикации. Том, номер. Страницы.
 Заголовок / Автор И.О. и др. // Источник. Место публикации, год публикации. Страницы.
Author N., Author N. Title // Place of publication. Year Published. Volume Number, Issue Number. Page Numbers.
Author N. Title // Place of publication, Year Published. Page Numbers.
Title // Place of publication, Year Published. Page Numbers.

References

Last Name, First Name. *Title of Book*. Publisher City: Publisher Name, Year Published. Page Numbers.
 Last Name, First Name. [Title] *Journal Name* Volume Number, Issue Number (Year Published): Page Numbers. (In Russ.).
 Last Name, First Name. [Title] *Journal Name* Volume Number, Issue Number (Year Published): Page Numbers.
 Last Name, First Name. *Title of Book*. Publisher City: Publisher Name, Year Published. Page Numbers. (In Russ.).

Поступила в редакцию 00.00.202_

About the authors

Ivanov Ivan Ivanovich, doctor of biology, professor, head of the Department of histology Perm State University
ORCID: XXXX-XXXX-XXXX-XXXX
 15, Bukirev str., Perm, Russia, 614990;
 ivanovii@mail.ru; (342)2396233

Petrov Petr Petrovich, candidate of biology, associate professor of the Department of organic chemistry Lomonosov Moscow State University
ORCID: XXXX-XXXX-XXXX-XXXX
 123, Leninskije gory str., Moscow, Russia, 119991;
 PPetrov@yandex.ru; (095)3764812

Sidorov Semyon Semyonovich, engineer of the laboratory of microbial adaptation Institute of Ecology and Genetics of Microorganism UB RAS
ORCID: XXXX-XXXX-XXXX-XXXX
 13, Golev str., Perm, Russia, 614081;
 Sid709@iegm.ru; (342)2876328

Вестник Пермского университета
БИОЛОГИЯ
2021. Выпуск 1

Bulletin of Perm University
BIOLOGY
2021. Issue 1

Научное издание

Редактор *Л. Л. Савенкова*

Корректор *Л. Л. Соболева*

Компьютерная верстка *С. А. Овеснова*

Подписано в печать 07.04.2021. Выход в свет 16.06.2021. Формат 60×84¹/₈.
Усл. печ. л. 10,8. Тираж 500 экз. Заказ № 184/2021

Издательский центр Пермского государственного национального исследовательского
университета
614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии издательства «Книжный формат»
614000, г. Пермь, ул. Пушкина, 80

Бесплатно.

Подписной индекс журнала в каталоге ОАО «Пресса России. Том 1. Газеты и журналы» 41000