

ВЕСТНИК

ISSN 0869–7698

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ
НАУК

2
2022

Научный журнал

Учредители
ФГБУ ДВО РАН
ФГБУНО ЦНБ ДВО РАН

Журнал основан в 1932 г.
Издание прекращено в 1939 г.,
возобновлено в 1990 г.

ВЕСТНИК

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ОТДЕЛЕНИЯ

РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ
НАУК

2 (222). 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Биологические науки

Т.В. ВОЛКОВА, С.В. КЛЫШЕВСКАЯ. Эколого-фаунистический анализ почвенных нематод широколиственных лесов о-ва Попова в Японском море	5
Н.С. ШИХОВА. Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении	17
О.Н. БОНДАРЕНКО, А.А. БЛИНОВА, Л.Е. ИВАЧЕНКО, С.И. ЛАВРЕНТЬЕВА. Подбор микросателлитных локусов ДНК для создания молекулярно-генетических паспортов диких форм и сортов сои амурской селекции	37

Химические науки

Р.Л. ДАВИДОВИЧ. Структурная деполимеризация комплексных фторидов циркония(IV)	49
Н.Е. КУЛИКОВА, А.Г. ЧЕРНОБРОВИНА, Н.Н. РОЕВА, О.Ю. ПОПОВА. Влияния лазерного излучения на каталитическую активность амилитических ферментных препаратов различной степени очистки	63
А.Г. ЧЕРНОБРОВИНА, Н.Е. КУЛИКОВА, Н.Н. РОЕВА, О.Ю. ПОПОВА, В.А. ВАСЬКИНА. Содержание, состав и термостабильность антоцианового красителя, полученного из ягодного сырья	72

Науки о Земле

Т.С. ЯКИМОВ, Д.А. АХМЕДОВ. Результаты петрографических исследований раннемеловых гранитоидов Японского моря	86
С.М. ГАХРАМАНЛЫ. Горизонт 1в Подкирмакинской свиты Продуктивной толщи месторождения Нефть Дашлары и состояние его разработки	98

Сельскохозяйственные науки

Г.А. БОНДАРЕНКО, И.А. СОЛОВЬЕВА, Т.И. ТРУХИНА, Д.А. ИВАНОВ. Мониторинг трихинеллеза в южных субъектах Дальневосточного федерального округа	106
И.Ю. КУЗЬМИНА. Использование ламинарии и лишайников в рационе помесного молодняка крупного рогатого скота	112
М.Е. ОСТЯКОВА, И.С. ШУЛЬГА. Особенности энтеробиоценоза новорожденных телят при массовых желудочно-кишечных заболеваниях	121
Т.П. ШЕРСТЮКОВА, А.Д. ИВАЩЕНКО. Оценка исходного материала картофеля по хозяйственно ценным признакам (Камчатский край)	131

Из истории науки

А.А. ХИСАМУТДИНОВ. В.К. Арсеньев и его ботанические интересы	137
--	-----

Правила для авторов (с изменениями)	150
---	-----

Главный редактор вице-президент РАН академик РАН В.И. СЕРГИЕНКО

Заместитель главного редактора В.С. ЖЕРДЕВ

Ответственный секретарь Л.А. РУСОВА

Редакционная коллегия:

- | | |
|---|---|
| акад. РАН А.В. АДРИАНОВ | – научный руководитель (президент) Национального научного центра морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН В.А. АКУЛИЧЕВ | – научный руководитель Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток |
| чл.-корр. РАН Д.Л. АМИНИН | – зав. лабораторией Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН П.Я. БАКЛАНОВ | – научный руководитель Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Владивосток |
| д-р биол. наук В.Ю. БАРКАЛОВ | – главный научный сотрудник Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН В.В. БОГАТОВ
(зам. главного редактора) | – главный ученый секретарь ДВО РАН, Владивосток |
| чл.-корр. РАН С.Ю. БРАТСКАЯ | – зав. лабораторией Института химии ДВО РАН, Владивосток |
| чл.-корр. РАН Б.А. ВОРОНОВ | – научный руководитель Института водных и экологических проблем ДВО РАН, Хабаровск |
| чл.-корр. РАН С.В. ГНЕДЕНКОВ | – директор Института химии ДВО РАН, Владивосток |
| чл.-корр. РАН А.А. ГОНЧАРОВ | – директор Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН Е.И. ГОРДЕЕВ | – научный руководитель Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский |
| акад. РАН М.А. ГУЗЕВ | – директор Института прикладной математики ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН Г.И. ДОЛГИХ | – директор Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток |
| д.г.-м.н. О.В. ДУДАРЕВ | – главный научный сотрудник Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН Ю.Н. ЖУРАВЛЁВ | – научный руководитель Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток |
| д.х.н. А.И. КАЛИНОВСКИЙ | – главный научный сотрудник Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток |
| чл.-корр. РАН А.Г. КЛЫКОВ | – зав. отделом Федерального научного центра агробιοтехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки, Уссурийск |
| чл.-корр. РАН П.В. КРЕСТОВ | – директор Ботанического сада-института ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН Ю.Н. КУЛЬЧИН | – научный руководитель Института автоматизации и процессов управления ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН В.Л. ЛАРИН | – научный руководитель Института истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН, Владивосток |
| д.б.н. А.С. ЛЕЛЕЙ | – зав. лабораторией Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток |
| д.г.-м.н. Ю.А. МАРТЫНОВ | – зав. лабораторией Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН П.А. МИНАКИР | – научный руководитель Института экономических исследований ДВО РАН, Хабаровск |
| д.х.н. А.Г. МИРОЧНИК | – зав. лабораторией Института химии ДВО РАН, Владивосток |
| д.г.-м.н. А.Ю. ОЗЕРОВ | – директор Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский |
| чл.-корр. РАН Ю.М. ПЕРЕЛЬМАН | – зам. директора по научной работе Дальневосточного научного центра физиологии и патологии дыхания, Благовещенск |
| д.ф.-м.н. С.В. ПРАНЦ | – зав. отделом Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток |
| акад. РАН В.А. СТОНИК | – научный руководитель Тихоокеанского института биоорганической химии им. Г.Б. Елякова ДВО РАН, Владивосток |
| чл.-корр. РАН Е.Я. ФРИСМАН | – научный руководитель Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН, Биробиджан |
| акад. РАН А.И. ХАНЧУК | – научный руководитель Дальневосточного геологического института ДВО РАН, Владивосток |
| д.г.-м.н. Р.Б. ШАКИРОВ | – зам. директора по научной работе Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичёва ДВО РАН, Владивосток |

Scientific journal

Founders

Far East Branch of RAS

Central Scientific Library, FEB RAS

The journal was found in 1932

The publication was discontinued in 1939,
was resumed in 1990

VESTNIK

OF THE FAR EAST BRANCH

OF THE RUSSIAN
ACADEMY
OF SCIENCES

2 (222). 2022

CONTENTS

Biological sciences

- T.V. VOLKOVA, S.V. KLYSHEVSKAYA. Ecological-faunistic analysis of root nematodes from coniferous-broadleaved forests on the Popov Island in the Japan Sea 5
- N.S. SHIKHOVA. The biogeochemical criteria for assessing the ecological efficiency of species in urban green spaces 17
- O.N. BONDARENKO, A.A. BLINOVA, L.E. IVACHENKO, S.I. LAVRENT'YEVA. Selection of microsatellite DNA loci for creating molecular genetic passports of wild forms and varieties of Amur soybean breeding 37

Chemical sciences

- R.L. DAVIDOVICH. Structural depolymerization of zirconium(IV) fluoride complexes 49
- N.E. KULIKOVA, A.G. CHERNOBROVINA, N.N. ROEVA, O.Yu. POPOVA. Effect of laser radiation on the catalytic activity of amylolytic enzyme preparations of various degrees of purification 63
- A.G. CHERNOBROVINA, N.E. KULIKOVA, N.N. ROEVA, O.Yu. POPOVA, V.A. VASKINA. Content, composition, and thermal stability of anthocyanin dye obtained from berry raw materials 72

Earth sciences

- T.S. IAKIMOV, D.A. AKHMEDOV. Results of petrographic research of Early Cretaceous granitoids of the Sea of Japan 86
- S.M. GAHRAMANLI. The 1st horizon of the Podkirmakinskaya formation of the Productive strata of the Oil Dashlary deposit and state of its development 98

Agricultural sciences

- G.A. BONDARENKO, I.A. SOLOVYEVA, T.I. TRUKHINA, D.A. IVANOV. Monitoring of trichinosis in the southern subjects of the Far Eastern Federal District 106
- I.Yu. KUZMINA. The use of kelp and lichens in the diet of mixed young cattle 112
- M.E. OSTYAKOVA, I.S. SHULGA. Peculiarities of enterobiocenosis of newborn calves in the case of mass gastrointestinal diseases 121
- T.P. SHERSTYUKOVA, A.D. IVASCHENKO. The assessment of the raw material of potatoes on economically valuable characteristics (Kamchatka Krai) 131

From history of science

- A.A. KHISAMUTDINOV, V.K. Arseniev and his botanical interests 137

- Rules for authors (with changes) 150

Chief Editor V. I. SERGIENKO, Academician, Vice-President of RAS

Deputy Chief Editor V.S. ZHERDEV

Executive Secretary L.A. RUSOVA

Editorial staff:

A.V. ADRIANOV, Academician of RAS	– Research Supervisor (President), A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, FEB RAS, Vladivostok
V. A. AKULICHEV, Academician of RAS	– Research Supervisor, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
D.L. AMININ, Corresponding Member of RAS	– Chief of Laboratory, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
P.Ya. BAKLANOV, Academician of RAS	– Research Supervisor, Pacific Geographical Institute, FEB RAS, Vladivostok
V.Y. BARKALOV, Doctor of Biological Sciences	– Principal Researcher, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok
V.V. BOGATOV, Academician of RAS (Deputy Chief Editor)	– Chief Scientific Secretary, FEB RAS, Vladivostok
S.Yu. BRATSKAYA, Corresponding Member of RAS	– Chief of Laboratory, Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
G.I. DOLGIKH, Academician of RAS	– Director, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
O.V. DUDAREV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences	– Chief Researcher, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
E.Ya. FRISMAN, Corresponding Member of RAS	– Research Supervisor, Institute of Complex Analysis of Regional Problems, FEB RAS, Birobidzhan
S.V. GNEDENKOV, Corresponding Member of RAS	– Director, Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
A.A. GONCHAROV, Corresponding Member of RAS	– Director, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok
E.I. GORDEEV, Academician of RAS	– Research Supervisor, Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
M.A. GUZEV, Academician of RAS	– Director, Institute of Applied Mathematics, FEB RAS, Vladivostok
A.I. KALINOVSKY, Doctor of Chemistry	– Principal Researcher, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
A.I. KHANCHUK, Academician of RAS	– Research Supervisor, Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok
A.G. KLYKOV, Corresponding Member of RAS	– Head of the Department, Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A.K. Chaika, Ussuriysk
P.V. KRESTOV, Corresponding Member of RAS	– Director, Botanical Garden-Institute, FEB RAS, Vladivostok
Yu.N. KULCHIN, Academician of RAS	– Research Supervisor, Institute of Automation and Control Processes, FEB RAS, Vladivostok
V.L. LARIN, Academician of RAS	– Research Supervisor, Institute of History, Archaeology and Ethnography of the Peoples of the Far East, FEB RAS, Vladivostok
A.S. LELEJ, Doctor of Biological Sciences	– Chief of Laboratory, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok
Yu.A. MARTYNOV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences	– Chief of Laboratory, Far East Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok
P.A. MINAKIR, Academician of RAS	– Research Supervisor, Economic Research Institute, FEB RAS, Khabarovsk
A.G. MIROCHNIK, Doctor of Chemistry	– Chief of Laboratory, Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
A.Yu. OSEROV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences	– Director, Institute of Volcanology and Seismology, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky
Yu.M. PERELMAN, Corresponding Member of RAS	– Deputy Director for Science, Far Eastern Scientific Center of Physiology and Pathology of Respiration, Blagoveshchensk
S.V. PRANTS, Doctor of Physical-Mathematical Sciences	– Head of the Department, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
R.B. SHAKIROV, Doctor of Geological-Mineralogical Sciences	– Deputy Director for Research, V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok
V.A. STONIK, Academician of RAS	– Research Supervisor, G.B. Elyakov Pacific Institute of Bioorganic Chemistry, FEB RAS, Vladivostok
B.A. VORONOV, Corresponding Member of RAS	– Research Supervisor, Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS, Khabarovsk
Yu.N. ZHURAVLEV, Academician of RAS	– Research Supervisor, Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok

Научная статья

УДК 595.132(571.6)

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_1

Эколого-фаунистический анализ почвенных нематод широколиственных лесов о-ва Попова в Японском море

Т.В. Волкова , С.В. Клышевская

Тамара Владимировна Волкова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии

ДВО РАН, Владивосток, Россия

volkova@biosoil.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2596-7675>

Серафима Владимировна Клышевская

научный сотрудник

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии

ДВО РАН, Владивосток, Россия

klyshevskaya@biosoil.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3730-6869>

Аннотация. Впервые исследована фауна почвенных нематод прибрежных ценозов на территории (50 × 50 м) широколиственных лесов в шестикратном повторе каждый месяц с мая по октябрь на о-ве Попова в Японском море. Выявлены представители 43 родов нематод из 23 семейств. Виды *Rotylenchus ferocis*, *Criconemoides pleriannulatus* и *S. informis* являются доминирующими. По типу питания здесь преобладают фитофаги. Рассмотрено влияние концентрации тяжелых металлов на индексы разнообразия почвенных нематод.

Ключевые слова: почвенные нематоды, биоиндикация, индексы разнообразия, тяжелые металлы, о-в Попова, Дальний Восток России

Для цитирования: Волкова Т.В., Клышевская С.В. Эколого-фаунистический анализ почвенных нематод широколиственных лесов о-ва Попова в Японском море // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 5–16. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_1.

Ecological-faunistic analysis of root nematodes from coniferous-broadleaved forests on the Popov Island in the Japan Sea

T.V. Volkova , S.V. Klyshevskaya

Tamara V. Volkova

Candidate of (Biology) Sciences

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, Russia

volkova@biosoil.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2596-7675>

Serafima V. Klyshevskaya

Researcher

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, Russia

klyshevskaya@biosoil.ru

<https://orcid.org/0000-0002-3730-6869>

Abstract. For the first time, the fauna of soil nematodes of coastal cenoses was studied in a six-fold repetition every month from May to October on the territory of broadleaved forests (50 x 50 m) on the Popov Island in the Sea of Japan. Representatives of 43 genera of nematodes from 23 families were identified. The group of species *Rotylenchus ferox*, *Criconemoides plerianulatus* and *C. informis* are dominant. Phytophages prevail here by the type of nutrition. The influence of the concentration of heavy metals on the indices of the diversity of soil nematodes is considered.

Keywords: soil nematodes, bioindication, diversity indices, heavy metals, Popov Island, Russian Far East

For citation: Volkova T.V., Klyshevskaya S.V. Ecological-faunistic analysis of root nematodes from coniferous-broadleaved forests on the Popov Island in the Japan Sea. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(2): 5–16. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_1.

Изменение комплексов почвенных беспозвоночных является удобным показателем при исследовании и оценке степени загрязнения среды различными отходами производства [1]. В качестве организмов-биоиндикаторов преимущественно используют микроорганизмы, представителей мезофауны.

В настоящее время все большую поддержку находит предположение о возможности экологической оценки почвенных условий на основе сообществ нематод. Нематоды являются широко распространенной группой беспозвоночных, которые обитают практически в любом биотопе и могут составлять от 80 до 90 % численности многоклеточных организмов в почве [2]. В сравнении с другими группами организмов свободноживущие нематоды имеют ряд существенных преимуществ для использования их в качестве биоиндикаторов. Они практически не мигрируют, имеют очень короткий цикл развития при крайне высокой чувствительности

к среде обитания (т.е. при изменении условий среды структура нематодного сообщества очень быстро изменяется), повсеместно распространены (это позволяет интерпретировать и обобщать результаты, полученные в разных регионах планеты), относительно легко могут быть собраны. Нематоды наиболее чувствительны к ионам тяжелых металлов и органическим загрязнителям. В ряде зарубежных исследований показано, что при вмешательстве в естественный процесс сукцессии почвенных и растительных ценозов происходят изменения в сообществах этих круглых червей, это облегчает оценку «качества среды» и позволяет использовать данных животных для мониторинга нарушения и восстановления экосистем. Данная тематика является актуальной для всей мировой нематологии [3–5].

В условиях интенсивного использования природных ресурсов особое значение приобретают исследования флоры и фауны также в ненарушенных биоценозах. На территории о-ва Попова (зал. Петра Великого, Японское море) в естественных ценозах нематологические исследования практически не проводились, поэтому наши работы носят пионерный характер.

Цель данной работы – провести инвентаризацию фауны почвенных свободноживущих нематод в широколиственных лесах о-ва Попова, установить их численность и выявить доминирующие виды, что даст возможность оценить их потенциальное разнообразие в хвойно-широколиственных лесах всего Приморского края. Основное внимание уделено анализу эколого-фаунистических комплексов нематод. Для получения статистически достоверных показателей, позволяющих выделить лимитирующие факторы среды, требуется проведение многочисленных повторных съемок. Этот метод может считаться более точным, поскольку съемка биологических параметров является пролонгированной и полученные данные в меньшей степени зависят от кратковременного действия случайных для конкретного сообщества факторов. На основе данных о качественной и количественной характеристиках сообществ делаются выводы о состоянии экосистем в целом и степени их загрязненности. Итогом работы в перспективе является выявление степени нарушенности почвенных экосистем на территории Приморья.

Материалы и методы исследования

Остров Попова (42°57' с. ш. 131°43' в. д.) находится в архипелаге Императрицы Евгении в зал. Петра Великого Японского моря, в 20 км к югу от Владивостока и в 0,5 км к юго-западу от о-ва Русский, от которого его отделяет прол. Старка. Население согласно переписи 2010 г. составляет 1370 чел., проживает в двух поселках – Старк и Попов. На острове действует несколько турбаз и баз отдыха, каждое лето разбиваются палаточные лагеря. Площадь острова 1240 га, или 12,4 км². Рельеф характерен для юга Приморья. Максимальная высота 158 м над ур. м. Береговая линия представлена песчаными и галечными пляжами, чередующимися со скалистыми обрывами. Климат острова схож с климатом Владивостока. Средняя температура января –12,5 °С, августа +20,5 °С. Средняя температура воды в августе +22 °С¹.

Исследование структуры эколого-фаунистического комплекса почвенных нематод широколиственных лесов проводилось в 2014 г. в северной части

¹ [https://ru.wikipedia.org/wiki/остров Попова](https://ru.wikipedia.org/wiki/остров_Попова).

о-ва Попова (на берегу прол. Старка недалеко от одноименного поселка) в шестикратной повторности каждый месяц с мая по октябрь. Общее количество проанализированных проб – 60 (по 10 средних проб каждый месяц) из ризосферы 9 родов древесных широколиственных и хвойных растений (дуб, граб, береза, осина, тополь, клен, липа, ясень, сосна). Нематод из почвы выделяли центрифужно-флотационным методом [6], фиксировали 4–6%-м формалином. Просветление и приготовление постоянных препаратов фитонематод проводились по [7]. Объем каждой почвенной пробы составлял 200 см³. Содержание в почвах подвижных форм микроэлементов и тяжелых металлов исследовано общепринятыми методами в 1н НСІ вытяжке на атомно-абсорбционном спектрофотометре Hitachi-05 М и плазменно-эмиссионном спектрофотометре «Shimadzu» AA-6601F в аналитическом центре при ДВГИ ДВО РАН. Относительное стандартное отклонение определения не более 5 %. Определение нематод проводили с.н.с. Т.В. Волкова и ст. лаборант И.П. Казаченко (лаборатория паразитологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН), химический анализ почв – н.с. С.В. Клышевская (сектор биогеохимии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН).

Эколого-трофическое группирование нематод осуществляли по [8, 9]. При анализе фауны корневых нематод использовали оценку постоянства видового состава, для чего рассчитывали коэффициент постоянства (процентное отношение числа проб, в которых данный вид обнаружен, к общему числу анализируемых проб). По четырем градациям этого коэффициента виды, составляющие фауну, подразделены на акцидентов (до 25 %) (АК), акцессоров (25–50 %) (АЦ), констант (51–70 %) (К) и эуконстант (71–100 %) (ЭК). Доля участия каждого вида в составе общей фауны корневых нематод выражалась как отношение (%) числа особей данного вида к общему числу нематод, виды были подразделены на эудоминантов (ЭД, более 10 % от всех обнаруженных особей), доминантов (Д, 5,1–10 %), субдоминантов (СД, 2,2–5 %), рецедентов (Р, 1,1–2,1 %) и субрецидентов (СР, менее 1,1 %) [2].

Результаты исследований и их обсуждение

Важнейшей характеристикой любого сообщества и любой экосистемы является биоразнообразие (табл. 1).

Таблица 1

Эколого-трофические группы нематод в широколиственных лесах о-ва Попова

Семейство, род	Индекс MI, с – р*	Количество нематод/100 г почвы в зависимости от времени отбора						Всего нематод
		май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	
Фитофаги								
Tylenchidae								
<i>Basiria</i>	2	270	391	622	311	739	307	2639
<i>Filenchus</i>	2	70	56	102	475	227	149	1079
<i>Malenchus</i>	2	9	11	14	0	7	6	47
<i>Boleodous</i>	2	0	0	39	1	6	0	46
Tylodoridae								
<i>Cephalenchus</i>	2	9	23	19	21	42	30	144
Anguinidae								
<i>Anquina</i>	2	1	0	2	4	3	0	10
<i>Ditylenchus</i>	2	3	16	3	0	6	28	56
Telotylenchidae								

Семейство, род	Индекс MI, с – р*	Количество нематод/100 г почвы в зависимости от времени отбора						Всего нематод
		май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	
<i>Geocenamus</i>	3	0	0	0	11	39	1	51
<i>Merlinius</i>	3	0	0	0	1	0	1	2
<i>Trophurus</i>	3	0	0	1	11	3	12	27
Hoplolaimidae								
<i>Helicotylenchus</i>	3	20	0	0	0	0	0	20
<i>Rotylenchus</i>	3	69	402	406	241	145	600	1863
Heteroderidae								
<i>Meloidodera</i>	3	21	0	0	0	0	0	21
Criconematidae								
<i>Ogma</i>	3	151	305	122	55	0	0	633
<i>Criconemoides</i>	3	85	710	152	83	470	407	1907
<i>Xenocriconemella</i>	3	58	34	0	0	9	0	101
Paratylenchidae								
<i>Paratylenchus</i>	2	0	0	3	0	0	0	3
Longidoridae								
<i>Longidorus</i>	5	25	24	6	4	8	10	77
<i>Xiphinema</i>	5	17	0	0	0	0	0	17
Trichodoridae								
<i>Trichodorus</i>	4	0	0	0	4	0	0	4
Diphterophoridae								
<i>Diphterophora</i>	3	25	17	45	15	45	16	163
Всего	–	833	1989	1536	1237	1749	1567	8911
Микофаги								
Aphelenchidae								
<i>Aphelenchus</i>	2	1	17	8	4	9	3	42
<i>Aphelenchoides</i>	2	0	0	0	0	0	2	2
Всего	–	1	17	8	4	9	5	44
Бактериофаги								
Rhabditidae								
<i>Rhabditidis</i>	1	7	23	23	209	126	48	436
Diplogasteridae								
<i>Diplogasteritus</i>	1	3	0	55	16	0	6	80
Cephalobidae								
<i>Cephalobus</i>	2	11	40	11	72	87	36	257
<i>Heterocephalobus</i>	2	5	0	0	0	0	0	5
<i>Acrobeles</i>	2	6	20	0	0	0	0	26
Teratocephalidae								
<i>Teratocephalus</i>	2	5	2	2	6	5	1	21
Plectidae								
<i>Plectus</i>	2	25	100	75	56	130	98	484
<i>Anaplectus</i>	2	37	72	38	44	124	54	369
Halaphonolaimidae								
<i>Halaphonolaimus</i>	3	4	6	0	10	0	0	20
Prismatolaimidae								
<i>Prismatolaimus</i>	3	2	5	1	2	3	4	17
Monhysteridae								
<i>Monhystera</i>	1	2	2	1	0	0	0	5
Всего	–	107	270	206	415	475	247	1720

Семейство, род	Индекс MI, с – р*	Количество нематод/100 г почвы в зависимости от времени отбора						Всего нематод
		май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	
Хищники								
Mononchida								
<i>Mononchus</i>	4	30	0	0	0	0	0	30
<i>Mylonchulus</i>	4	19	40	22	15	83	130	309
<i>Clarcus</i>	4	22	10	20	20	0	43	115
<i>Coomansus</i>	4	31	46	18	0	12	177	284
Tripylidae								
<i>Paratripyla</i>	3	23	98	120	86	82	270	679
<i>Tobrilus</i>	3	44	136	128	73	0	0	381
Всего	–	169	330	308	194	177	620	1798
Всеядные								
Dorylaimida								
<i>Dorylaimus</i>	4	150	135	185	30	49	359	908
<i>Eudorylaimus</i>	4	116	443	170	25	38	266	1058
<i>Belondira</i>	5	0	6	0	0	0	10	16
Всего	–	266	584	355	55	87	635	1982
Всего нематод	–	1376	3190	2413	1905	2497	3074	14 455

* Здесь и в табл. 3: индекс зрелости; присвоенные значения по шкале colonizators–persisters. Пояснения см. в тексте.

Для характеристики биоразнообразия были применены следующие индексы.

Наиболее широкое применение получил т.н. информационный **индекс Шеннона** (H'), или индекс разнообразия, один из основных по надежности и удобству использования:

$$H' = - \sum_{i=1}^n \frac{N_i}{N} \times \log_2 \frac{N_i}{N},$$

где N_i – плотность (или биомасса) i -го вида, N – плотность (или биомасса) всего сообщества.

Достоинством индекса H' является его комплексность, он учитывает количество видов (видовую плотность) и их выравненность. Мы имеем возможность дать оценку видового разнообразия каждого ценоза в отдельности. В экстремальных условиях, в частности при загрязнении, его величина снижается.

Как меры доминирования были применены индексы Симпсона (D) и Бергера–Паркера (d), которые учитывают обилие отдельных видов, а не видовое богатство.

Индекс Симпсона описывает вероятность принадлежности любых двух особей, случайно отобранных из неопределенно большого сообщества, к разным видам. Индекс Симпсона – это формула, которая используется для измерения разнообразия сообщества и часто – для количественной оценки биоразнообразия среды обитания. При этом учитывается количество видов, присутствующих в среде обитания, а также численность каждого вида. Для расчета индекса используется формула, соответствующая конечному сообществу:

$$D = \sum \left(\frac{n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)} \right),$$

где n_i – число особей i -го вида, N – общее число особей.

Индекс Бергера–Паркера определяет доминирование, т.е. относительную значимость наиболее обильного вида. Его достоинство – простота вычисления:

$$d = \frac{N_{\max}}{N},$$

где N – общая численность сообщества, N_{\max} – численность самого обильного вида.

Индекс трофического разнообразия (Т). По результатам наших исследований в эколого-трофическом группировании преобладали нематоды с бактериальным типом трофики. Особенностью лесных почв являются более низкая плотность заселения их нематодами, обедненность видового состава фауны, низкий процент в фауне паразитических и хищных видов нематод. Преобладание бактериофагов свидетельствует об активном участии нематод в процессах разложения лесного опада.

Индекс зрелости (МІ), отражающий стабильность нематодного сообщества по шкале Бонгера с – р от 1 до 5 [8], предложен как дополнительный инструмент к индексу разнообразия при описании сообществ нематод. Индекс вычисляется как значение взвешенных средних таксонов и предлагается для оценки состояния экосистемы на основе нематодных сообществ. Таксоны нематод располагаются по шкале с – р (первые буквы от colonizers–persisters – колонизаторы–персисторы) со значениями от 1 до 5. Индекс основан на жизненных стратегиях нематод. Типичные колонизаторы имеют короткие жизненные циклы, высокую устойчивость к токсикантам и могут выживать при неблагоприятных условиях среды. По шкале с – р им присваивают значения 1, 2. Персисторы обладают низкой репродуктивной способностью, повышенной чувствительностью к условиям среды, сокращают численность при стрессовых ситуациях и по шкале с – р имеют значения 4, 5. Таксоны с промежуточными свойствами оцениваются показателем 3.

Обычно негативное антропогенное воздействие приводит к уменьшению количества видов в сообществах (за счет исчезновения стенобионтов) и нарушает выравнивание значений их популяционной плотности. Поэтому значения индекса Шеннона и прочих индексов разнообразия сообществ макрозообентоса в условиях загрязнения, как правило, закономерно уменьшаются.

Индексы разнообразия для нематодного сообщества о-ва Попова представлены в табл. 2.

К настоящему времени определены представители 43 родов из 23 семейств почвенных нематод, населяющих ризосферу растений широколиственного леса. Эколого-таксономический анализ видового состава выявленных нематод свидетельствует о том, что фауна фитопаразитических и других групп нематод имеет комплекс, характерный для естественного лесного ценоза. В нем преобладают фитофаги, представленные 11 семействами.

Телотиленхиды из группы фитофагов присутствуют в ризосфере растений редко, в единичных экземплярах, за исключением *Merlinius falcatus*, который часто встречается в ризосфере лиственных пород, но численность этого паразита обычно не превышает 10–20 особей на 100 см³ почвы. Гоплолаймиды представлены 9 видами, из которых только *Rotylenchus ferox* встречается повсеместно. Микофаги представлены родами *Aphelenchus* и *Aphelenchoides*. Из бактериофагов в пробах постоянно присутствуют рабдитиды, цефалобиды и плектиды. Значительный процент фауны составляют хищные нематоды из семейства Mononchidae, с преобладанием видов рода *Coomansus*, и всеядные нематоды из отряда Dorylaimida.

Характеристика разнообразия нематодного сообщества о-ва Попова

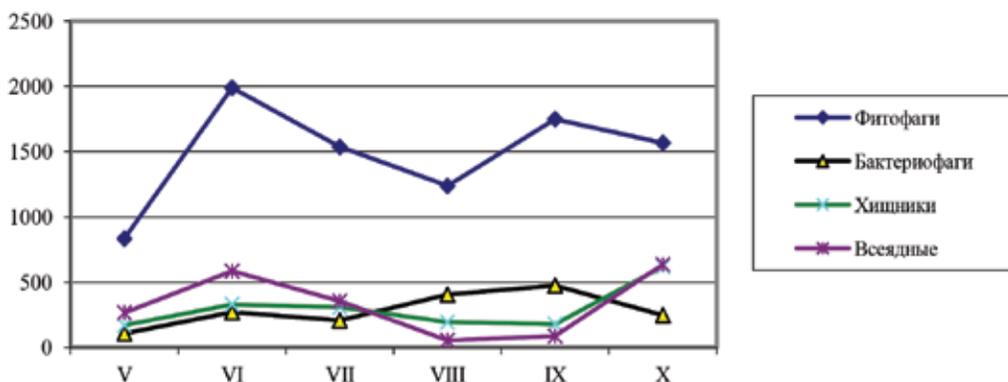
Показатель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Всего
Кол-во нематод N	1376	3190	2413	1905	2497	3074	14 455
Кол-во родов	35	29	30	29	26	28	43
Индекс Шеннона H'	2,848	2,449	2,504	2,465	2,370	2,503	–
Индекс Симпсона D	0,085	0,116	0,121	0,126	0,141	0,104	–
Индекс Бергера– Паркера d	5,096	4,493	3,879	4,011	3,379	5,123	–
Индекс трофического разнообразия T	2,353	2,271	2,220	2,082	1,795	2,860	–
Индекс зрелости MI	2,983	2,980	2,723	2,296	2,424	3,063	–

На о-ве Попова плотность заселения нематодами ризосферы и видовое разнообразие наиболее высокие в дубняках. Наибольшей численностью нематод представлена фауна семейства Tylenchidae (3811 экз. – 26,4 %), кольчатых эктопаразитов корней семейства Criconematidae (2641 экз. – 18,3 %) и всеядных нематод отряда Dorylaimida (1982 экз. – 13,7 %). Большинство из них имеет дискретное распространение, за исключением *Criconemoides pleriannulatus*, частота встречаемости которого в пробах составляет сравнительно высокий процент.

Как видно из табл. 3, чаще всего встречались представители вышеперечисленных семейств, а также Tripluidae (1060 экз. – 7,3 %), Plectidae (853 экз. – 5,9 %) и отряда Mononchida (738 экз. – 5,1 %). Эукономом и константом в фауне являются *Rotylenchus ferocious* и *Criconemoides pleriannulatus* (встречаемость в 79 и 62 % проб соответственно). Эти же виды корневых нематод являются эудоминантами, численность которых составила 43 и 32 % от общей численности выявленных паразитов. Остальные виды относятся к акцидентам, встречаемость которых в пробах менее 25 %. Группа доминирующих видов (10 133 экз.) составляет 69,6 % от общего количества паразитов корневой системы обследованных растений в широколиственном лесу.

Изучение сезонной динамики численности нематод ризосферы древесных пород позволило установить, что на протяжении вегетационного сезона развитие нематодофауны происходило волнообразно (см. рисунок).

Относительно стабильный тип динамики, характеризующийся более или менее постоянной численностью, наблюдался в группе бактериофагов и хищников.



Динамика численности трофических групп нематод в лесной почве на о-ве Попова. По вертикали – численность нематод/100 г почвы, по горизонтали – месяцы отбора проб

Таблица 3

Встречаемость и доминирование нематод в широколиственных лесах о-ва Попова (2014 г.)

Таксон, показатель	Индекс MI, с – р	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь		Октябрь	
		экз.	%										
Фитофаги													
Hoplolaimidae	3	89	6,0	402	12,4	466	17,3	241	12,8	145	6,3	600	17,7
Criconematidae	3	296	20,1	1049	32,3	278	10,3	138	7,3	479	20,9	417	12,3
Tylenchidae	2	476	32,3	543	16,7	801	29,7	796	42,4	859	37,6	647	19,0
Anguinidae	2	1	0,1	0	0	2	0,1	4	0,2	3	0,1	0	0
Longidoridae	5	42	2,9	24	0,7	6	0,2	4	0,2	8	0,4	10	0,3
Trichodoridae	4	0	0	0	0	0	0	4	0,2	0	0	0	0
Diphtherophoridae	3	25	1,7	17	0,5	45	1,7	15	0,8	45	2,0	16	0,5
Итого		929	63,1	2035	62,7	1598	59,3	1202	64,0	1539	67,3	1690	52,9
Микофаги													
Aphelenchidae	2	1	0,1	17	0,5	8	0,3	4	0,2	9	0,4	5	0,1
Бактериофаги													
Rhabditidae	1	7	0,5	23	0,7	23	0,8	215	11,5	126	5,5	48	1,4
Diplogasteridae	1	3	0,2	0	0	107	3,9	16	0,9	0	0	6	0,2
Cephalobidae	2	22	1,5	60	1,9	21	0,8	72	3,8	87	3,8	36	1,0
Teratocephalidae	3	5	0,3	2	0,1	2	0,1	6	0,3	5	0,2	1	0,1
Plectidae	2	62	4,2	180	5,5	115	4,2	112	6,0	254	11,1	152	4,5
Halaphonolaimidae	3	4	0,3	6	0,2	12	0,4	0	0	0	0	0	0
Prismatolaimidae	3	2	0,1	5	0,2	1	0,1	2	0,1	3	0,1	4	0,1
Monhysteridae	1	2	0,1	2	0,1	1	0,1	0	0	0	0	0	0
Итого		107	7,2	278	8,6	282	10,4	423	22,5	475	20,8	247	7,7
Хищники													
Mononchida	4	102	6,9	96	3,0	208	7,7	35	1,9	95	4,2	350	10,3
Tripylidae	3	67	4,5	234	7,2	248	9,2	159	8,5	82	3,6	270	13,8
Итого		169	11,4	330	10,2	456	16,9	194	10,4	177	7,7	620	19,4
Всеядные													
Dorylaimida	4	266	18,1	584	18,0	355	13,1	55	3,0	87	3,8	635	19,9
Всего нематод	–	1472	100	3244	100	2699	100	1878	100	2287	100	3197	100
Индекс MI*	–	2,907		3,469		2,778		2,282		2,443		3,017	
Индекс Шеннона	–	1,866		1,919		2,059		1,904		1,914		2,011	

* Индекс зрелости, рассчитанный для всего сообщества нематод.

Более резкие сезонные колебания численности отмечены в группе фитофагов. Основной пик численности криконематид приходится на июнь и сентябрь, спиральных гопполоид – на июль и октябрь. В августе наблюдается резкое снижение их численности, что, по-видимому, связано с засушливым периодом. Всеядные нематоды отряда Dorylaimida имеют практически постоянную, сравнительно высокую численность с мая по июль, резкое снижение в августе–сентябре и нарастание в октябре. В середине лета численность нематод с большим количеством видов, имеющих с – р от 3 до 5, падает, возрастает роль бактериофагов с с – р 1. В начале осени, в октябре, структура нематодного сообщества восстанавливается до уровня весенне-летнего периода. Микофаги составляли незначительный процент численности нематод.

По индексу зрелости нематодного сообщества (ΣMI) большинство таксонов нематод имеют индексы с – р 2 и с – р 3, относятся к постоянным обитателям обследованных биотопов, что отражает естественную, ненарушенную среду обитания. Для фауны о-ва Попова отмечен один из наиболее высоких индексов зрелости

нематодных сообществ MI (более 3), что указывает на сукцессионную зрелость биотопов.

Обратные значения индексов Симпсона и Бергера–Паркера отражают меру доминирования самых массовых семейств. Наименьшее значение этих индексов отмечено для фауны о-ва Попова, где доминирующее семейство Tylenchidae составляет в среднем 28 % (табл. 4). В остальных биотопах доля доминирующих семейств не превышала 25 % [10–13].

Таблица 4
Индексы разнообразия нематод юга Приморского края
в сходных условиях

	Хасанский р-н	О-в Попова
Индекс Симпсона 1/D	6,88	6,30
Индекс Бергера–Паркера 1/d	4,13	3,59
Индекс Шеннона H'	2,42	2,09
Индекс Пилоу e	0,771	0,698
Индекс трофического разнообразия T	2,723	4,269
Индекс зрелости ΣMI	3,133	2,77
Индекс зрелости MI	3,028	3,09
Индекс зрелости PPI	3,195	2,554
Количество семейств S	23	20
Плотность нематод N, экз./л почвы	749	1233

Наибольшая плотность нематод, отмеченная для фауны о-ва Попова, – 1233 экз./л, при этом в данном биотопе распределение трофических групп отличается относительной равномерностью от наименьшего количества в 12 % для бактериофагов до 31 % для фитофагов, что отражено в наиболее высоком значении индекса трофического разнообразия (T = 4,269) (см. табл. 4).

Таблица 5

Содержание подвижных форм металлов
в местах отбора почвенных нематологических проб на о-ве Попова, мг/кг

Время отбора проб	pH	Fe	Mn	Zn	Ni	Co	Pb	Cd	Cu
Июнь	3,81	640	87,0	11,0	2,0	2,3	7,6	0,08	2,3
Июль	3,73	613	79,5	12,1	2,6	2,2	7,1	0,06	2,2
Август	3,75	729	86,1	13,3	2,3	2,1	6,0	0,05	1,8
Сентябрь	3,98	588	71,4	12,4	1,4	2,4	11,7	0,08	2,1
Октябрь	3,91	602	106,3	15,6	1,2	3,6	7,3	0,10	2,0
ПДК	–	6000	400,0	23,0	4,0	5,0	32,0	0,6	3,0

Для определения антропогенной нагрузки на экотопы и влияния поллютантов на численность нематод нами были проведены исследования содержания тяжелых металлов в пробах почв (табл. 5). Уровни концентрации исследованных элементов находились в норме, т.е. не превышали установленные ПДК (предельно допустимые концентрации)². Побережье о-ва Попова испытывает сильный антропогенный

² Предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочно-допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. – <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293850/4293850511.pdf> (дата обращения: 20.01.2022).

стресс (является зоной отдыха), но загрязнение тяжелыми металлами прибрежного участка не выявлено. Основываясь на данных химического анализа, мы пришли к выводу, что содержание тяжелых металлов в почве не повлияло на показатели зрелости и трофического разнообразия сообществ почвенных нематод. Исходя из значений индекса Шеннона можно считать экологическую среду о-ва Попова относительно чистой, по крайней мере утверждать, что устойчивость естественных экосистем относительно быстро нивелирует последствия небольших загрязнений. В связи с этим нельзя говорить о каком-либо влиянии тяжелых металлов на группы нематод.

Заключение

К настоящему времени для фауны нематод прибрежных участков о-ва Попова определены представители 43 родов из различных трофических групп.

Изучены видовой состав, структура и степень зрелости сообществ нематод. Доминировали виды нематод, устойчивые к неблагоприятным условиям среды, что отражается на индексе зрелости сообществ: MI был низкий (2,2–2,6). В фауне нематод преобладала трофическая группа бактериотрофов.

Основываясь на полученных данных, можно сделать вывод, что показатели зрелости и трофического разнообразия сообществ почвенных нематод не выявили значимых различий в разное время отбора проб, исходя из значений индекса Шеннона можно считать экологическую среду о-ва Попова относительно чистой. Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что устойчивость естественных экосистем относительно быстро нивелирует последствия небольших загрязнений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965. 278 с.
2. Соловьева Г.И. Экология почвенных нематод. Л.: Наука, 1986. 247 с.
3. Bongers T. The Maturity Index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition // *Oecologia*. 1990. Vol. 83. P. 14–19.
4. Bongers T. The Maturity Index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling // *Plant and Soil*. 1999. Vol. 212. P. 13–22.
5. Neher D.A. Soil community composition and ecosystem processes: Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems // *Agroforestry Syst*. 1999. Vol. 45. P. 159–185.
6. Jenkins W.R. A rapid centrifugation-flotation technique for separating of nematodes from soil // *Plant Disease Reporter*. 1964. Vol. 48, N 9. P. 692.
7. Seinhorst J.W. A rapid method for the transfer of nematodes from fixative to anhydrous glycerin // *Nematologica*. 1959. Vol. 4. P. 67–69.
8. Siddiqi M.R. *Tylenchida: Parasites of plants and insects*. St. Albans: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1986. 645 p.
9. Siddiqi M.R. *Tylenchida: Parasites of plants and insects*. 2nd ed. St. Albans: Commonwealth Agricultural Bureaux, 2000. 864 p.
10. Волкова Т.В., Нгуен Ву Тхань, Клышевская С.В. Биоиндикационные свойства почвообитающих нематод в прибрежных ценозах бассейна Японского моря // *Вестн. СВНЦ ДВО РАН*. 2011. № 4. С. 95–100.
11. Волкова Т.В., Казаченко И.П. Биоиндикационные свойства почвообитающих нематод в прибрежных ценозах южной части бассейна Амура Дальнего Востока России // *Вестн. КрасГАУ*. 2017. № 4. С. 164–172.

12. Волкова Т.В., Клышевская С.В., Казаченко И.П. Фауна почвообитающих нематод в прибрежных ценозах бассейна Нижнего Амура // Вестн. КрасГАУ. 2010. Вып. 7. С. 81–86.
13. Волкова Т.В., Казаченко И.П. Фауна почвообитающих нематод в сосновых лесах бассейна Среднего Амура // Биол. науки Казахстана. 2008. № 3. С. 10–19.

REFERENCES

1. Gilyarov M.S. Zoologicheskii metod diagnostiki pochv. M.: Nauka; 1965. 278 p. (In Russ.).
2. Solov'eva G.I. Ekologiya pochvennykh nematod. L.: Nauka; 1986. 247 p. (In Russ.).
3. Bongers T. The Maturity Index: an ecological measure of environmental disturbance based on nematode species composition. *Oecologia*. 1990;83:14-19.
4. Bongers T. The Maturity Index, the evolution of nematode life history traits, adaptive radiation and cp-scaling. *Plant and Soil*. 1999;212:13-22.
5. Neher D.A. Soil community composition and ecosystem processes: Comparing agricultural ecosystems with natural ecosystems. *Agroforestry Syst*. 1999;45:159-185.
6. Jenkins W.R. A rapid centrifugation-flotation technique for separating of nematodes from soil. *Plant Disease Reporter*. 1964;48(9):692.
7. Seinhorst J.W. A rapid method for the transfer of nematodes from fixative to anhydrous glycerin. *Nematologica*. 1959;4:67-69.
8. Siddiqi M.R. Tylenchida: Parasites of plants and insects. St. Albans: Commonwealth Agricultural Bureaux; 1986. 645 p.
9. Siddiqi M.R. Tylenchida: Parasites of plants and insects. 2nd ed. St. Albans: Commonwealth Agricultural Bureaux; 2000. 864 p.
10. Volkova T.V., Nguen Vu Than', Klyshevskaya S.V. Bioindikatsionnye svoystva pochvoobitayushchikh nematod v pribrezhnykh cenzakh bassejna Yaponskogo morya. *Bull. North-East Scientific Center of FEB RAS*. 2011;(4):95-100. (In Russ.).
11. Volkova T.V., Kazachenko I.P. Bioindikatsionnye svoystva pochvoobitayushchikh nematod v pribrezhnykh tsenozakh yuzhnoj chasti bassejna Amura Dal'nego Vostoka Rossii. *Bull. KrasGAU*. 2017;(4):164-172. (In Russ.).
12. Volkova T.V., Klyshevskaya S.V., Kazachenko I.P. Fauna pochvoobitayushchih nematod v pribrezhnykh cenzakh bassejna Nizhnego Amura. *Bull. KrasGAU*. 2010;(7):81-86. (In Russ.).
13. Volkova T.V., Kazachenko I.P. Fauna pochvoobitayushchikh nematod v osnovnykh lesakh bassejna Srednego Amura. *Biologicheskie nauki Kazahstana*. 2008;(3):10-19. (In Russ.).

Научная статья
УДК 504.064.96:574+712.4(571.63)
DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_2

Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении

Н.С. Шихова

Нина Сергеевна Шихова

кандидат географических наук, старший научный сотрудник
Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия
shikhova@biosoil.ru

Аннотация. Дано методическое обоснование эколого-геохимической оценки видового состава городской арборифлоры. Сравниваются городские популяции 81 вида деревьев и кустарников, формирующие зеленые насаждения г. Владивосток, по способности к оптимизации городской среды. Определены приоритетные загрязнители городской растительности – Fe, Zn, Pb, Cu, Ni. Установлены виды с высоким, средним (фоновым) и слабым накоплением тяжелых металлов. Выявлены виды-концентраторы металлов: *Crataegus pinnatifida* (Fe), *Sorbus pochuanensis* и *Picea sp.* (Mn), *Populus maximowiczii* и *P. nigra* (Zn). Даны рекомендации по дифференцированному и рациональному использованию видов в структуре городского озеленения.

Ключевые слова: городские зеленые насаждения, арборифлора, биогеохимия растений, тяжелые металлы, аккумуляция тяжелых металлов растениями, растения-концентраторы металлов

Для цитирования: Шихова Н.С. Биогеохимические критерии оценки экологической эффективности видов в городском озеленении // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 17–36. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_2.

The biogeochemical criteria for assessing the ecological efficiency of species in urban green spaces

N.S. Shikhova

Nina S. Shikhova

Candidate of Sciences in Geography, Senior Researcher
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS,
Vladivostok, Russia
shikhova@biosoil.ru

Abstract. The methodological substantiation of the ecological and geochemical assessment of the urban arboriflora species composition is given. The urban populations of the 81 trees and shrubs species forming the Vladivostok green spaces are compared in terms of their ability to optimize the urban environment. The priority pollutants of urban vegetation have been identified – Fe, Zn, Pb, Cu, Ni. The species of high, medium (background) and weak accumulation of heavy metals have been established. The plants-metal concentrators have been identified: *Crataegus pinnatifida* (Fe), *Sorbus pochuanensis* and *Picea* sp. (Mn), *Populus maximowiczii* and *P. nigra* (Zn). The recommendations for the differentiated and rational using the species in urban landscaping structure are given.

Keywords: urban green planting, arboriflora, biogeochemistry of plants, heavy metals, accumulation of heavy metals by plants, plants-metal concentrators

For citation: Shikhova N.S. The biogeochemical criteria for assessing the ecological efficiency of species in urban green spaces. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(2):17–36. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_2.

Возрастающая численность мегаполисов и урбанизированных территорий, рост городского населения на планете и связанные с этими процессами экологические проблемы приобретают со временем все большую актуальность. Россия с долей городского населения 74,4 % занимает в мировом рейтинге урбанизации по состоянию на 2018 г. 77-е место среди 218 сравниваемых стран и территорий¹. Численность городского населения в Приморском крае, столицей которого является Владивосток, по данным Приморскстата на 1 января 2021 г. составила 77,4 %².

Вся деятельность ведомственных и отраслевых организаций, а также местных органов и предприятий, связанных с городским жилищным и зеленым строительством согласно Градостроительному кодексу РФ, призвана обеспечивать оптимальные условия проживания населения. Актуальность и своевременность

¹ Рейтинг урбанизации стран мира. Гуманитарная энциклопедия: Исследования // Центр гуманитарных технологий, 2006–2020 (последняя редакция: 26.05.2020). – <https://gtmarket.ru/ratings/urbanization-index/info> (дата обращения: 11.06.2020).

² Приморскстат. – <https://primstat.gks.ru/folder/27118> (дата обращения: 29.03.2021).

решения проблем экологической оптимизации урбанизированных территорий России подтверждает принятый правительством РФ в 2019 г. долгосрочный федеральный проект «Жилье и городская среда» (сроки реализации – 2019–2024 гг.)³. В нем одной из приоритетных задач является создание механизмов развития комфортной городской среды, комплексного развития городов и других населенных пунктов с учетом индекса качества городской среды. Успешной реализации этого проекта, на наш взгляд, в значительной степени могут содействовать комплексная качественная и количественная оценка имеющегося городского зеленого фонда, а также разработка и внедрение рациональной научно обоснованной системы городского озеленения и управления качеством объектов озеленения и озелененных территорий в целом. Эта система, в свою очередь, должна опираться не только на оптимальный, возможно широкий для региона ассортимент видов, но и строго дифференцированное их использование на городских территориях разного функционального назначения и с разным техногенным фоном. Важную роль при этом играет учет видовой эколого-биологической функциональности и биогеохимической специализации растений, а также степени их устойчивости в урбанизированной среде.

Урбанизированная среда существенно, и в наибольшей степени по своим экологическим и геохимическим критериям, отличается от природной, в которой были сформированы основные эколого-биологические характеристики растительного мира. Городские растения вынуждены приспосабливаться к необычным условиям среды, включая выработанные за период многовековой эволюции механизмы адаптации и толерантные способности к выживанию в условиях стресс-факторов. Видовая устойчивость и способность растений к трансформации загрязняющих веществ в зонах экологического риска, к каким по многим параметрам можно отнести урбанизированную среду, преимущественно определяет качество выполнения растительностью средообразующих и средостабилизирующих функций. Индикатором же уровня техногенной нагрузки на растительный покров служит химический состав растений, и в первую очередь – содержание в них тяжелых металлов (ТМ).

Цель исследований – оценка эколого-геохимической дифференциации видового состава городской арборифлоры, выявление видов-концентраторов тяжелых металлов и маркеров уровня техногенного пресса на растения в условиях урбоэкосистем.

Объекты и методика

Основным объектом проведенных научных изысканий служил видовой состав арборифлоры, формирующей зеленые насаждения г. Владивосток. Согласно выполненным нами ранее исследованиям в городском озеленении в разной степени представлено 115 видов деревьев и кустарников [1]. Для оценки уровня техногенной нагрузки на городские зеленые насаждения обследована растительность на 135 ранее заложенных пробных площадях (п.п.), входящих в систему многолетнего мониторинга озелененных территорий г. Владивосток (с 1996 г. по настоящее время). Полученный фактический материал послужил основой для изучения

³ Жилье и городская среда – Национальный проект. – <https://futurerussia.gov.ru/formirovanie-komfortnoj-gorodskoj-sredy> (дата обращения: 11.06.2020).

аккумулятивных способностей по отношению к тяжелым металлам у 81 вида городских популяций деревьев и кустарников. На основе полученных фактических данных также были определены городской эколого-геохимический фон (ГЭГФ) тяжелых металлов и приоритетные элементы-загрязнители растительности сели-тебной зоны г. Владивосток.

Для химического анализа отбирались ассимиляционные органы растений – листья и хвоя деревьев и кустарников как показатель ежегодного накопления элементов. На каждой пробной площади брали смешанный образец листьев (хвои) растений с 5–10 особей каждого вида в нижней части кроны деревьев и средней части кроны кустарников, а также укосный травостой с 10 площадок размером 1 м², из которых после высушивания составлялась смешанная проба. Для более детального эколого-геохимического изучения доминантов, а также редких в озеленении видов дополнительно был выполнен отбор проб методом маршрутного обследования насаждений. Опробование проводилось в конце вегетационного сезона (до начала пожелтения листьев), соответствующего времени максимального накопления элементов. Аналитическая подготовка проб и определение в них содержания тяжелых металлов выполнены с использованием известных приемов и методов [2–4] в сертифицированной лаборатории методом атомной абсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu AA 6800 в солянокислом растворе золы растений. Пробы растений предварительно готовили методом сухого озоления при 450 °С. Контроль аналитического качества работ проводили с использованием холостых проб и четырех градуировочных растворов. Определяли содержание 8 металлов: Fe, Mn, Pb, Zn, Cu, Ni, Co и Cd. Выбор металлов определяется техническими возможностями использованного нами метода анализа. Концентрацию металлов в растениях пересчитывали на сухую массу и выражали в миллиграммах на килограмм сухого вещества (мг/кг сух. в-ва).

Для сравнительной количественной оценки интенсивности накопления металлов разными систематическими группами растений использовался коэффициент относительной интенсивности накопления металлов (ОИН), представляющий собой отношение содержания металла в том или ином виде или семействе растений к их среднему содержанию в выборке и выражающийся в относительных единицах (отн. ед.). В зависимости от величины ОИН были выделены группы растений слабого (ОИН = 1,2–1,4), среднего (ОИН = 1,5–2,0), высокого (ОИН = 2,1–5,0) накопления металлов и виды-концентраторы ТМ (ОИН > 5). Кроме того, были установлены виды со средним (фоновым) для городской растительности содержанием ТМ ($0,9 \geq \text{ОИН} \geq 1,1$), а также группы видов со средним (ОИН = 0,7–0,5) и высоким (ОИН < 0,5) рассеянием металлов.

Оценка техногенного влияния урбанизированной среды на растительность и интенсивность загрязнения основного видового состава городских зеленых насаждений тяжелыми металлами выполнена с помощью коэффициента концентрации (K_k) загрязняющих веществ. Он рассчитывался как отношение содержания металла в растениях в техногенных условиях к их локально-фоновым уровням; в данном случае – в растениях урбанизированной среды Владивостока и природных лесных экосистем п-ова Муравьев-Амурский (ЛЭФ). Суммарная концентрация (Z_c) приоритетных загрязнителей растений определена по формуле Ю.Е. Саета [5]: $Z_c = \sum K_k - (n - 1)$, где K_k – коэффициенты концентрации >1, n – число накапливаемых элементов. При вычислении Z_c учитывались лишь те металлы, у которых $K_k \geq 1,2$.

Статистическая обработка аналитических данных выполнена с использованием программ Microsoft Excel и Statistica 10.

Результаты и обсуждение

Среднестатистические показатели содержания металлов в зеленых насаждениях Владивостока представлены в табл. 1. Там же приведены обобщенные данные по величине накопления металлов ассимиляционными органами деревьев и кустарников, формирующих озеленение городских территорий других регионов для оценки эколого-геохимической специфики растительности г. Владивосток. Они рассчитаны нами на основе литературных источников, в той или иной мере характеризующих аккумулятивные способности к металлам растений 28 городов России и ближнего зарубежья (преимущественно) [6–41].

Таблица 1

Средние содержания металлов в зеленых насаждениях г. Владивосток, других городов России и сопредельных территорий

Химический состав	Содержание в растениях г. Владивосток, мг/кг сух. в-ва			V, %	ЛЭФ [42], мг/кг	Среднее содержание для городов других территорий по обобщенным данным [6–41], М ± m, мг/кг
	М ± m	min	max			
Зольность, %	10,0 ± 0,3	4,2	14,9	23	9,7	9,9 ± 0,7
Cd	0,95 ± 0,07	0,23	2,77	64	0,91	0,43 ± 0,10
Co	1,37 ± 0,06	0,27	3,08	39	1,43	1,34 ± 0,36
Ni	2,61 ± 0,09	0,50	4,56	31	2,07	2,65 ± 0,35
Cu	8,6 ± 0,2	4,3	13,9	22	6,2	11,7 ± 1,5
Pb	11,4 ± 0,6	1,2	25,7	44	6,1	8,5 ± 1,4
Zn	64 ± 5	19	205	70	30	72 ± 13
Mn	148 ± 15	31	662	87	149	131 ± 18
Fe	565 ± 32	146	1430	50	138	403 ± 49

Примечание. М ± m – среднее значение и ошибка среднего; min и max – минимальное и максимальное значения; V – коэффициент вариации; ЛЭФ – локальный экологический фон.

Судя по приведенным данным, элементный состав арборифлоры Владивостока по сравнению с зелеными насаждениями других регионов отличается повышенной концентрацией Cd (в 2,2 раза), в меньшей степени – Fe и Pb (в 1,4 раза), но несколько уступает по содержанию Cu (в 1,4 раза).

С использованием полученных нами ранее данных о содержании тяжелых металлов в лесной растительности локально-фоновых условий [42] была определена геохимическая ассоциация приоритетных загрязнителей древесно-кустарниковой растительности Владивостока. Она включает 5 металлов: Fe_{4,1}, Zn_{2,0}, Pb_{1,9}, Cu_{1,4}, Ni_{1,3}. Экологический показатель суммарного загрязнения городской растительности (Zс) составляет 6,7.

Наибольший эффект в техногенное загрязнение городских зеленых насаждений вносит железо – 4-кратное обогащение по сравнению с природными лесными фитоценозами. В городской среде высокое его накопление, в 1,5 раза и более превышающее ГЭФ, отмечено у *Padus maackii* (Rupr.) Kom. (1430 мг/кг), *Corylus*

heterophylla Fisch. et Trautv. (1355 мг/кг), *Ulmus japonica* (Rehd.) Mayr (1087 мг/кг), *Betula ermanii* Cham. (1012 мг/кг), *Abies holophylla* Maxim. (991 мг/кг), *Philadelphus tenuifolius* Ropr. et Maxim. (934 мг/кг), *Ulmus pumila* L. (898 мг/кг) и *Syringa wolfii* С.К. Schneid. (847 мг/кг). Лидирует же по аккумуляции Fe *Crataegus pinnatifida* Bunge – 2975 мг/кг сух. в-ва листьев. Согласно принятой нами градации содержания металлов, боярышник перистонадрезанный является видом-концентратором железа. Абсолютный же максимум Fe зафиксирован в единичной пробе листьев черемухи Маака в придорожной аллее вдоль пр. Столетия Владивостока (пп. 46), находящейся в зоне влияния интенсивного транспортного потока, – 6163 мг/кг. Такое содержание металла превышает городской фон в 11 раз и соответствует сверхконцентрации Fe в данной пробе. В то же время самые низкие его содержания (146–220 мг/кг), отвечающие уровню высокого рассеяния металла, зафиксированы в листьях *Populus maximowiczii* A. Henry и *P. nigra* L., *Salix caprea* L., *Amorpha fruticosa* L., *Aralia elata* (Miq.) Seem. Судя по литературным данным [12], максимальное содержание Fe обнаружено в зеленых насаждениях санитарно-защитных зон металлургических предприятий г. Тула – 1050–7260 мг/кг в листьях деревьев и кустарников и 9763 мг/кг в хвое *Picea pungens* Engelm. f. *Glauca*.

Среди ассоциации основных металлов-загрязнителей городской растительности Zn выделяется повышенной межвидовой вариабельностью – 70 %. Видами-концентраторами цинка являются тополя *Populus nigra* (414 мг/кг) и *P. maximowiczii* (440 мг/кг). Его активно накапливают также *Crataegus pinnatifida* (146 мг/кг), *Salix alba* L. (135 мг/кг), *S. caprea* (147 мг/кг) и *S. schwerinii* E. Wolf (190 мг/кг); *Populus koreana* Rehd. (172 мг/кг) и *P. tremula* L. (197 мг/кг); *Betula davurica* Pall. (167 мг/кг), *B. ermanii* (181 мг/кг) и *B. platyphylla* Sukacz. (205 мг/кг). Эти виды составляют группу высокого накопления цинка. Максимальная же концентрация Zn, в 8 раз превышающая ГЭГФ, зафиксирована в листьях березы плосколистной в Покровском парке (пп. 77–2) – 512 мг/кг. Низкие содержания Zn (19–29 мг/кг), соответствующие уровню высокого рассеяния металла, отмечены в листьях редко представленных в озеленении *Corylus mandshurica* Maxim., *Spiraea salicifolia* L., *S. ussuriensis* Pojark., *Lonicera praeflorens* Batal., *Phellodendron amurense* Rupr., *Malus mandshurica* (Maxim.) Kom., *Acer tegmentosum* Maxim., *Aesculus hyppocastanum* L. и др. Если сравнить полученные нами данные с содержанием Zn в зеленых насаждениях других городов, то его максимальные концентрации оказываются весьма близкими с полученными нами. Они варьируют от 156 мг/кг у *Populus balsamifera* L. на территориях малых городов восточного Забайкалья [19] до 650 мг/кг у *Betula pendula* Roth. в городских парках Иркутска [36]. Абсолютный же максимум отмечен в листьях опробованных видов тополя в озеленении городов Казахстана – до 3093 мг/кг [37].

Близким к цинку по степени загрязнения городских насаждений Владивостока является Pb. Его высокая аккумуляция зафиксирована в листьях *Crataegus pinnatifida* (25,7 мг/кг), *Corylus heterophylla* (24,4 мг/кг), *Microcerasus tomentosa* (Trunb.) Eremim et Jushev (24,3 мг/кг), *Cerasus sargentii* (Rehd.) Pojark. (21,7 мг/кг). Абсолютный же максимум концентрации металла установлен в листьях *Padus maackii*. (пп. 46) и *Robinia pseudoacacia* L. (пп. 45) – 89,7 и 74,5 мг/кг соответственно, что в 7–8 раз превышает ГЭГФ. Оба вида произрастают в рядовых насаждениях пр. Столетия Владивостока – центральной транспортной магистрали города. Средняя интенсивность накопления Pb отмечена у *Euonymus maackii* Rupr. (20,8 мг/кг), *Padus maackii* (Rupr.) Kom. (20,0 мг/кг), *Deutzia amurensis* (Regel) Airy

Shaw (19,9 мг/кг) *Philadelphus tenuifolius* (19,2 мг/кг) и др. Слабо накапливают Pb (1,2–5,1 мг/кг) *Acer tegmentosum*, *A. pseudosieboldianum* (Pax) Kom., *Salix caprea* L., *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.) Maxim., *Aralia elata*, *Amorpha fruticosa*. Большинство этих видов слабо представлены в озеленении, встречаются преимущественно в парках, внутригородских рекреационных лесах и единично – в озеленении жилых кварталов. Лишь клен ложнозибольдов и аморфа кустарниковая относятся к группе видов умеренного распространения в насаждениях. При этом клен чаще можно встретить в парках и старых городских садах, аморфу – во внутриквартальном озеленении и скверах. Судя по литературным данным, высокие концентрации Pb наиболее характерны для зеленых насаждений столичных городов – Москва и Санкт-Петербург – 22–53 мг/кг [33, 35, 38], а также для озеленения промышленного украинского Приазовья – до 41–48 мг/кг [34].

В содержании меди отмечена минимальная вариабельность среди опробованного видового состава растений – 28 %. Группа высокого накопления Cu представлена *Syringa oblata* Lindl. (20 мг/кг) и *Crataegus pinnatifida* (18 мг/кг), среднего накопления – *Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill. (14 мг/кг), *Euonymus maackii* (12 мг/кг) и *Amorpha fruticosa* (12 мг/кг). Лишь у *Lonicera maackii* (Rupr.) Herd. (городской сад, пп. 83-1) и *Philadelphus tenuifolius* (городской парк, пп.78) содержание Cu в листьях достигало 26 мг/кг и 29 мг/кг – у *U. japonica* (придорожная рядовая посадка, пп. 37), что в 2 раза превышает городской фон. В то же время в 1,5–2 раза меньше по сравнению с городским фоном (4–6 мг/кг) накапливали медь *Euonymus macroptera* Rupr., *Kalopanax septemlobus* (Thunb.) Koidz., *Aesculus hippocastanum*, *Acer pseudosieboldianum*, *Micromeles alnifolia* (Siebold et Zucc.) Koehne. Слабой аккумуляцией Cu отличаются также хвойные породы. Анализ литературных источников свидетельствует о некотором обеднении арборифлоры г. Владивосток медью по сравнению с древесно-кустарниковыми видами других городов России. Особенно значимо отличаются насаждения Владивостока по максимальным показателям металла. Так, в листьях *Tilia cordata* Mill. в аллеиных посадках Москвы содержания Cu достигают 36 мг/кг [22], *T. cordata* и *Populus berolinensis* (C. Koch) Dipp. в озеленении Санкт-Петербурга – 80 и 90 мг/кг соответственно [35], в листьях ильмов (*Ulmus pumila*, *U. laevis* Pall.) зеленых насаждений городов Среднего и Нижнего Поволжья – 102–114 мг/кг [23].

Для содержания Ni в ассимиляционных органах сравниваемых видов характерна, подобно Cu, невысокая межвидовая вариабельность – 31 %. Крайние значения содержания никеля отмечены в листьях редко встречающегося в городском озеленении *Acer tegmentosum* (0,5 мг/кг) и умеренно распространенного, но с малым обилием на пробных площадях *Populus nigra* (4,6 мг/кг). Наиболее высокие показатели Ni (4,0–4,4 мг/кг), соответствующие средней интенсивности накопления, обнаружены кроме листьев тополя черного также в ассимиляционных органах *Syringa wolfii*, *Pinus koraiensis*, *Euonymus maackii*, *Crataegus pinnatifida*, *Picea* sp. и др. В отдельных случаях величина содержания металла в пробах растений превышала ГЭГФ в 3–5 раз. Такие концентрации зафиксированы в листьях *Betula platyphylla* (внутриквартальное озеленение, пп. 24) и *Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb. (внутригородской рекреационный лес, пп. 20) – 8,4 и 14,1 мг/кг соответственно. Самые низкие значения содержания Ni (1,3–1,7 мг/кг), отвечающие уровням высокого и среднего рассеяния ТМ, отмечены, кроме указанного выше клена зеленокорого, также у *Aesculus hippocastanum*, *Spiraea ussuriensis*, *Catalpa bignonioides* Walt., *Micromeles alnifolia*, *Abies holophylla*,

Amorpha fruticosa, *Aralia elata*, *Spiraea salicifolia*. Среднестатистические показатели концентрации Ni в растениях Владивостока и других городов оказались равновеликими, но в инорайонных насаждениях гораздо чаще наблюдаются более существенные «пики» в содержании металла. Так, в листьях вяза в условиях старинного парка им. А.В. Суворова в Кобрине (Белоруссия) зафиксировано содержание никеля 16,8 мг/кг [41], в листьях клена (*Acer negundo* L.) санитарно-защитной зоны промышленных предприятий Ижевска – 15 мг/кг [7], в хвое деревьев городской автомагистрали и в листьях боярышника (*Crataegus sanguinea* Pall.) в озеленении санитарно-защитной зоны промышленных предприятий Тулы – 14,5 и 15–345 мг/кг соответственно [13].

Остальные металлы, хотя и не являются приоритетными загрязнителями городской растительности, в ряде случаев весьма активно аккумулируются в зеленых насаждениях, особенно Cd, относящийся вместе с Pb и Zn к 1-му классу опасности – к чрезвычайно опасным по воздействию на живые организмы веществам.

Среднее содержание Cd в проанализированной выборке растений Владивостока составило 0,95 мг/кг, но у отдельных видов было отмечено 2–3-кратное его превышение. Максимальное значение содержания кадмия зафиксировано в листьях бересклета Маака (*Euonymus maackii*) – 2,77 мг/кг, что соответствует, согласно принятой нами градации, уровню высокого накопления металла. К видам высокого накопления Cd (1,78–2,30 мг/кг) относятся и остальные представленные в городском озеленении виды бересклета – *E. pauciflora* Maxim., *E. macroptera*, *E. sacrosancta* Koidz. Активно накапливали металл также *Eleutherococcus sessiliflorus* (Rupr. et Maxim.) S.Y. Hu (2,53 мг/кг), *Crataegus pinnatifida* и *C. maximowiczii* C.K. Schneid. (1,80–2,20 мг/кг), *Philadelphus tenuifolius* и *Deutzia amurensis* (2,08 мг/кг). В единичных пробах растений городских парков концентрация Cd достигала 3,02 мг/кг (*E. macroptera*, пп. 78–2) и 3,24 мг/кг (*Ulmus pumila*, пп. 77–3). Низкие значения Cd (0,23–0,50 мг/кг) отмечены в листьях *Maackia amurensis* Rupr. et Maxim., *Micromeles alnifolia*, *Carpinus cordata* Blume, *Alnus hirsuta* (Spach) Fisch. ex Rupr., *Fraxinus pennsylvanica* Marsh., *Quercus mongolica*, *Acer pseudosieboldianum*, *Tilia mandshurica* Rupr., *T. amurensis* Rupr. и у всех хвойных пород. Эти виды относятся к видам высокого рассеяния кадмия. Согласно полученным данным, среднее содержание Cd в насаждениях Владивостока в 2,2 раза превосходит средний показатель для растительных сообществ других городских территорий. Справедливости ради следует заметить, что у некоторых видов этих сообществ также отмечены высокие концентрации кадмия: 2,09 мг/кг – в листьях осины в парке г. Кобрин [41]; 2,0–4,0 мг/кг – в хвое сосны (*Pinus sylvestris*) в дорожной зоне г. Благовещенск [6]; 4,9 мг/кг – в листьях каштана (*Aesculus hippocastanum*) в студенческом парке г. Белград [42]; 4,5–74,6 мг/кг – в зеленых насаждениях г. Усть-Каменогорск (Казахстан) [39].

Среднее содержание Co в городских насаждениях составляет 1,37 мг/кг, но у ряда видов отмечено его превышение в 1,5–2 раза, что соответствует уровню среднего накопления металла. К таким видам относятся *Crataegus pinnatifida*, *C. maximowiczii*, *Betula davurica*, *Populus maximowiczii*, *P. koreana*, *Philadelphus tenuifolius*, *Euonymus maackii*, аккумулирующие в листьях от 2,13 до 2,58 мг/кг кобальта. Хорошие способности к накоплению Co установлены также у тополя черного (*P. nigra*) – 3,08 мг/кг. Максимальные же его значения, в 3 раза превышающие городской фон, зафиксированы в единичных пробах листьев тополя корейского (аллейная посадка вдоль тротуара, пп. 49/132) и ильма низкого

(придорожное рядовое насаждение, пп. 50) – 4,47 и 3,80 мг/кг соответственно. Минимальные значения кобальта (0,27–0,66 мг/кг), отвечающие уровню высокого рассеяния, отмечены в пробах листьев *Spiraea ussuriensis*, *Sambucus racemosa* L., *Salix caprea*, *Lespedeza bicolor* Turcz., *Acer tegmentosum*, *Pinus sylvestris*, *Abies holophylla*, *Forsythia suspensa* Vahl. Городские фоновые содержания Co в условиях Владивостока близки к среднему показателю по сравниваемой выборке городов, а максимальные концентрации даже несколько уступают им. Так, в литературе указаны следующие максимумы содержания Co: 1,9–7,4 мг/кг – листовые породы в озеленении городов Среднего и Нижнего Поволжья [23]; 7,7 мг/кг – насаждения *Populus nigra*, (г. Усть-Каменогорск) [39]; 5,8–27,4 мг/кг – посадки *Populus balsamifera* L., *P. nigra* (города Казахстана, Западной Сибири и Забайкалья, Благовещенск) [37].

Для Mn характерна самая высокая межвидовая вариабельность среди сравниваемого состава арборифлоры – 87 %. Пределы его значений находятся в границах 31 мг/кг (*Micromeles alnifolia*) – 946 мг/кг (*Sorbus pochuashanensis* (Hance) Hedl.), что соответствует уровням высокого рассеяния и концентрации ТМ соответственно. Среднее же содержание Mn в зеленых насаждениях составило 149 мг/кг. К видам-концентраторам марганца кроме рябины похушаньской (амурской) относится также *Picea* sp. (888 мг/кг), а к видам высокого накопления – *Forsythia suspensa* (662 мг/кг), *Padus avium* Mill. (575 мг/кг), *Corylus heterophylla* (519 мг/кг), *Acer tegmentosum* (518 мг/кг), *Pinus koraiensis* (461 мг/кг), *Aralia elata* (428 мг/кг), *Betula platyphylla* (385 мг/кг), *Syringa wolfii* (313 мг/кг) и *Salix alba* (296 мг/кг). Содержание марганца у этих видов превышает ГЭГФ в 2–6 раз. Абсолютный же максимум в накоплении Mn, в 9 раз превосходящий городской фон, зафиксирован в пробе листьев лещины разнолистной (*Corylus heterophylla*) в сквере на ул. Суханова (пп. 126) – 1370 мг/кг. В то же время очень слабо накапливали металл (до 50 мг/кг) кроме указанного выше мелкоплодника ольхолистного также *Alnus hirsuta*, *Catalpa bignonioides*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Euonymus pauciflora*, *Sambucus racemosa*. Перечисленные виды относятся к группе видов высокого рассеяния Mn. Установленные фоновые городские показатели марганца близки к обобщенному среднему для других регионов, а также мало отличаются от указанных в литературных источниках максимумов. Они колеблются от 484 мг/кг в листьях *Betula pubescens* Ehrh. (насаждения г. Кондопога в Карелии) [21] и 581 мг/кг у *Tilia cordata* Mill. (скверы и парки Перовского района Москвы) [30] до 796 в листьях *Acer platanoides* L. и 1120 мг/кг у *Quercus robur* L. (растительные сообщества загородного парка Санкт-Петербурга) [33].

Оценку уровня токсичности и степени химического загрязнения веществ, продуктов питания, растений, почв обычно определяют, сравнивая фактические содержания с разработанными гигиеническими нормативами. Для природной флоры подобных нормативов не существует. Для этих целей обычно используют стандартные показатели, полученные для больших территорий или больших выборок данных. Наиболее приемлемыми для этих целей являются региональные кларки растительности. Для Приморского края такие показатели, к сожалению, еще не разработаны. Судя по научным обобщениям ряда иностранных ученых, приведенным в литературных источниках [43–46], критические значения Pb в растениях могут варьировать в пределах от 10 до 300 мг/кг, Cd – от 3 до 100, Zn – от 100 до 400, Cu – от 15 до 150 мг/кг. Но нелишне заметить, что эти данные, как правило, получены авторами на основе выборок для кормовых и сельскохозяйственных

растений, которые по многим показателям существенно отличаются от древесных и кустарниковых видов, а также травянистых растений природных местообитаний. Однако сравнение, хотя и не совсем корректное, полученных нами результатов с приведенными в литературе данными о критических концентрациях металлов в целом свидетельствует об относительно нормальном санитарно-гигиеническом состоянии городской арборифлоры Владивостока. Так, содержания металлов в ассимиляционных органах основного видового состава деревьев и кустарников значительно ниже их фитотоксичных концентраций. Даже максимальные в выборке содержания Ni, Co и Cd ниже критических, а содержания Pb и Cu близки к их нижним пределам. Лишь содержание Zn в видах-концентраторах достигает верхней границы критических значений, а у отдельных концентраторов Mn даже незначительно превосходит ее.

Итоговое обобщение полученных данных по эколого-геохимическим особенностям арборифлоры г. Владивосток показало, что 68 видов (83 % состава) способны в разной степени накапливать ТМ. При этом половина этого списка видов накапливают по 1–2 ТМ. Высоким накоплением, более чем вдвое превышающим ГЭГФ, отличаются среди них следующие: *Euonymus macroptera*, *E. sacrosancta*, *Eleutherococcus sessiliflorus* – к Cd; *Salix caprea*, *Populus tremula*, *P. maximowiczii* – к Zn; *Acer tegmentosum*, *Picea* sp., *Aralia elata* – к Mn; *Padus maackii*, *Tilia amurensis* – к Fe. Еще 8 видов показали способность к высокой аккумуляции 3 ТМ, 12 видов – 4 ТМ. По 5 ТМ накапливают 2 вида: *Microcerasus tomentosa* (Fe, Pb, Cu, Co, Mn) и *Salix alba* (Zn, Mn, Fe, Cd, Ni); по 6 ТМ – 5 видов: *Syringa vulgaris* L. (Cd, Mn, Zn, Ni, Co, Cu), *S. wolfii* (Mn, Zn, Ni, Fe, Cu, Pb), *Philadelphus tenuifolius* (Cd, Pb, Fe, Co, Ni, Cu), *Ulmus pumila* (Fe, Cd, Co, Pb, Ni, Zn), *Salix schwerinii* E. Wolf (Zn, Pb, Cd, Co, Fe, Mn). Аккумулятивные способности к 7 металлам установлены лишь у 4 видов: *Corylus heterophylla* – ко всем ТМ, кроме Zn; *Crataegus pinnatifida*, *C. maximowiczii*, *Euonymus maackii* – ко всем ТМ, за исключением Mn. Все перечисленные виды оптимально подходят для экологической оптимизации городских зеленых территорий с высокими антропогенно-техногенными нагрузками.

В табл. 2 представлены данные по 47 видам – наиболее активным аккумуляторам ТМ. Возглавляет список боярышник перистонадрезанный. Из семи накапливаемых им металлов пять относятся к приоритетным загрязнителям городской растительности. При этом боярышник является видом-концентратором Fe, содержание которого в листьях превышает ГЭГФ в 5,3 раза. Этот вид слабо представлен в озеленении, встречается с малым обилием на пробных площадях в скверах, парках и во внутриквартальных насаждениях.

Интересными с практической точки зрения являются также виды с фоновыми уровнями ТМ. Как показали полученные данные, некоторые из них могут характеризовать фоновое содержание целого комплекса тяжелых металлов. Так, среди проанализированного состава виды *Prunus salicina*, *Populus tremula*, *Tilia amurensis* выделяются фоновым содержанием пяти металлов. При этом они близки по содержанию Fe и Ni, но отличаются по другим ТМ. Для сливы иволгистой кроме указанных металлов отмечены также фоновые уровни Pb, Co, Cd; для тополя дрожащего – Co, Cd, Cu; для липы амурской – Pb, Cu, Mn. Группа видов с фоновым содержанием 4 ТМ представлена *Acer negundo*, *Morus alba* L., *Armeniaca mandshurica* и *Tilia mandshurica*. Общими для этой группы видов являются фоновые уровни Pb и Cu, а индивидуальными для клена ясенелистного и шелковицы белой – Ni и Co, абрикоса маньчжурского – Ni и Fe, липы

**Список видов арборифлоры с высокими способностями к накоплению тяжелых металлов
в условиях городской среды г. Владивосток**

Виды растений	Содержание металлов в листьях (хвое), мг/кг сух. в-ва							
	Fe	Zn	Pb	Cu	Ni	Cd	Co	Mn
<i>Crataegus pinnatifida</i>	2975	146	25,7	18,0	4,25	1,80	2,58	–
<i>Euonymus maackii</i>	–	–	20,8	12,4	4,17	2,77	2,13	–
<i>Corylus heterophylla</i>	1355	–	24,4	–	–	1,39	–	519
<i>Philadelphus tenuifolius</i>	934	–	19,2	–	–	2,08	2,16	–
<i>Syringa oblata</i>	–	94	–	19,7	–	1,53	–	230
<i>Syringa wolfii</i>	847	111	–	–	3,99	–	–	313
<i>Pinus koraiensis</i>	–	99	18,3	–	4,10	–	–	461
<i>Betula ermanii</i>	1012	181	19,8	–	–	–	–	–
<i>Betula davurica</i>	–	167	–	–	–	–	2,28	254
<i>Crataegus maximowiczii</i>	–	–	19,2	–	–	2,20	2,50	–
<i>Populus nigra</i>	–	414	–	–	4,56	–	3,08	–
<i>Salix schwerinii</i>	–	190	19,0	–	–	1,63	–	–
<i>Syringa vulgaris</i>	–	104	–	–	–	2,13	–	240
<i>Ulmus pumila</i>	898	–	–	–	–	1,42	–	–
<i>Cerasus sargentii</i>	916	–	21,7	–	–	–	–	–
<i>Tilia amurensis</i>	1187	–	17,8	–	–	–	–	–
<i>Microcerasus tomentosa</i>	1366	–	24,3	–	–	–	–	–
<i>Padus maackii</i>	1430	–	20,0	–	–	–	–	–
<i>Aralia elata</i>	–	127	–	–	–	–	–	428
<i>Betula platyphylla</i>	–	205	–	–	–	–	–	385
<i>Deutzia amurensis</i>	–	–	19,9	–	–	2,08	–	–
<i>Euonymus pauciflora</i>	–	–	16,6	–	–	1,76	–	–
<i>Forsythia suspensa</i>	–	96	–	–	–	–	–	662
<i>Lonicera maackii</i>	–	–	18,2	–	–	1,52	–	–
<i>Picea sp.</i>	–	–	–	–	4,34	–	–	888
<i>Populus koreana</i>	–	172	–	–	–	–	2,17	–
<i>Populus maximowiczii</i>	–	440	–	–	–	–	2,20	–
<i>Salix alba</i>	–	134	–	–	–	–	–	296
<i>Larix sp.</i>	865	–	–	–	–	–	–	–
<i>Weigela praecox</i>	936	–	–	–	–	–	–	–
<i>Abies holophylla</i>	991	–	–	–	–	–	–	–
<i>Ulmus japonica</i>	1087	–	–	–	–	–	–	–
<i>Acer mono</i>	–	–	–	–	–	–	–	251
<i>Acer pseudosieboldianum</i>	–	–	–	–	–	–	–	227
<i>Acer tegmentosum</i>	–	–	–	–	–	–	–	518
<i>Eleutherococcus sessiliflorus</i>	–	–	–	–	–	2,53	–	–
<i>Euonymus macroptera</i>	–	–	–	–	–	2,10	–	–
<i>Euonymus sacrosancta</i>	–	–	–	–	–	2,30	–	–
<i>Fraxinus rhynchophylla</i>	–	–	–	–	4,23	–	–	–
<i>Padus avium</i>	–	–	–	–	–	–	–	575
<i>Pinus sylvestris</i>	–	–	–	–	–	–	–	216
<i>Populus tremula</i>	–	197	–	–	–	–	–	–
<i>Salix caprea</i>	–	147	–	–	–	–	–	–
<i>Schisandra chinensis</i>	–	–	–	13,9	–	–	–	–
<i>Sorbus pochuaashanensis</i>	–	–	–	–	–	–	–	946
<i>Swida alba</i>	–	–	–	–	–	1,53	–	–
<i>Viburnum sargentii</i>	–	–	–	–	–	1,60	–	–

Примечание. Контуром отмечены показатели видов-концентраторов (накопление металлов более чем в 5 раз превышает ГЭГФ), полужирным шрифтом – видов с высоким накоплением (в 2,1–5,0 раза выше ГЭГФ), обычным шрифтом – видов со средней интенсивностью накопления (в 1,5–2,0 раза выше ГЭГФ).

маньчжурской (подобно липе амурской) – Mn и Fe. Все эти виды могут служить фитоиндикаторами фоновых условий городской среды.

В ходе исследований были отмечены также виды со слабым накоплением ТМ. При этом у двух из них – *Micromeles alnifolia* и *Spiraea ussuriensis* – содержание всех рассматриваемых металлов в 2–5 раз ниже ГЭГФ, особенно по уровням Mn, Zn, Co и Cd. Эти виды слабо представлены в озеленении, встречаются преимущественно в парках. Еще у 10 представителей городской арборифлоры зафиксированы низкие содержания по 7 и 6 ТМ. Так, содержания по 7 ТМ ниже городского фона и 1 ТМ металлу на уровне фона отмечены у *Carpinus cordata*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Aesculus hippocastanum*, *Lespedeza bicolor*. По 6 ТМ ниже городского фона и 1 ТМ на уровне фона содержатся в листьях *Acer tegmentosum*, *Alnus hirsuta*, *Catalpa bignonioides*, *Maackia amurensis*, *Corylus mandshurica*. Среди этих видов минимальные показатели зафиксированы у *Acer tegmentosum* в содержании Pb (в 9 раз ниже ГЭГФ) и Ni (в 5 раз ниже ГЭГФ), а также у *Spiraea ussuriensis* – Co (в 5 раз ниже ГЭГФ). С некоторой долей вероятности список видов, индифферентных к ТМ, можно дополнить еще 14 видами. Для них характерно низкое содержание 5 ТМ. Следует заметить, что большинство этих видов имеют малое распространение в озеленении, и для окончательных выводов по их способности к трансформации ТМ в городской среде они нуждаются в дальнейшем исследовании.

Также интересно, что из 6 видов группы широкого распространения в озеленении в список видов-аккумуляторов металлов вошли только 3 вида: *Ulmus japonica* (Fe), *Betula platyphylla* (Zn, Mn) и *Fraxinus rhynchophylla* Hance (Ni). В листьях же самого типичного доминанта древесных насаждений – ясеня маньчжурского (*Fraxinus mandshurica* Rupr.), из которого на 2/3 сформированы рядовые насаждения улиц и тротуаров, в наибольшей степени подверженные антропогенно-техногенному воздействию городской среды, содержание Fe, Pb, Ni, Co соответствует фоновому, а Mn, Cd, Zn – среднего рассеяния. Лишь в содержании Cu у него отмечено слабое накопление (ОИН = 1,2). Этот вид, кроме рядовых посадок, встречается и в других городских насаждениях, но с более высоким обилием – лишь в садах, парках и внутриквартальном озеленении [1].

Несколько иные эколого-геохимические закономерности получены для городских популяций доминанта кустарниковых насаждений – пузыреплодника калинолистного (*Physocarpus opulifolia* (L.) Maxim.). По содержанию Co, Cd и Cu он относится к видам слабого накопления (ОИН = 1,2–1,3); Pb, Ni и Fe – среднего содержания; Zn и Mn – среднего рассеяния металлов (ОИН = 0,6–0,7). Пузыреплодник, подобно ясеню, чаще всего с высокой долей участия представлен в рядовых насаждениях улиц (преимущественно вдоль тротуаров). Реже его можно встретить в скверах и внутриквартальном озеленении, изредка – в городских садах, единично – в парках [1].

Сравниваемые виды-доминанты различаются и по интенсивности накопления металлов в разных типах городских насаждений. Максимальные суммарные запасы металлов у ясеня отмечены в рядовых насаждениях (7,8 отн. ед.), 70 % которых приходится на приоритетные металлы-загрязнители городской растительности (рис. 1). При этом самая высокая интенсивность аккумуляции металлов установлена для Co в городских парках (ОИН = 1,5), а также для Cu в рядовых насаждениях и Ni во внутриквартальном озеленении (ОИН = 1,4). У пузыреплодника максимальное обогащение металлами наблюдается в скверах:

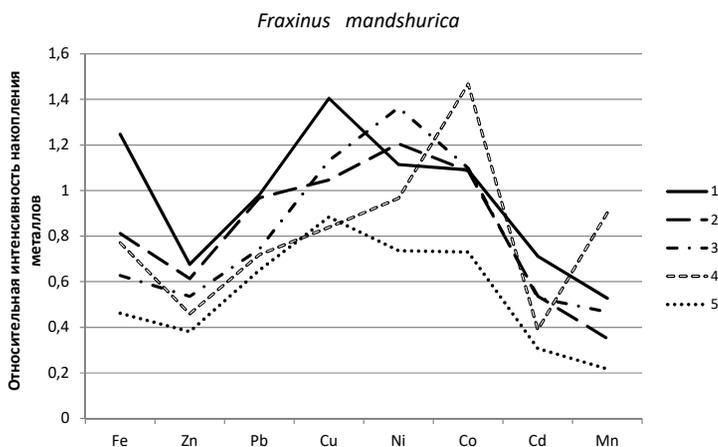


Рис. 1. Интенсивность накопления тяжелых металлов листьями ясеня маньчжурского в разных типах зеленых насаждений г. Владивосток: 1 – рядовые посадки, 2 – скверы, 3 – внутриквартальное озеленение, 4 – городские парки, 5 – старые городские сады

сумма показателя относительного накопления металлов составляет 9,6 отн. ед., 60 % которых также составляют основные загрязнители (рис. 2). В скверах видовой состав растений накапливает в разной степени все ТМ, но наиболее значимо – Mn (ОИН = 1,7) и Zn (ОИН = 1,3). Для пузыреплодника, кроме того, характерно повышенное содержание Cd в листьях. Оно зафиксировано во всех типах насаждений, но более значимо – в городских парках (ОИН = 1,8) и садах (ОИН = 1,7). Однако этот факт является скорее исключением, чем правилом, поскольку именно в растительных сообществах городских парков (в меньшей степени – старых городских садов) отмечены самые низкие показатели содержания большинства ТМ.

Полученная эколого-геохимическая характеристика *Fraxinus mandshurica* позволяет отнести его к металлоустойчивым видам в условиях городского

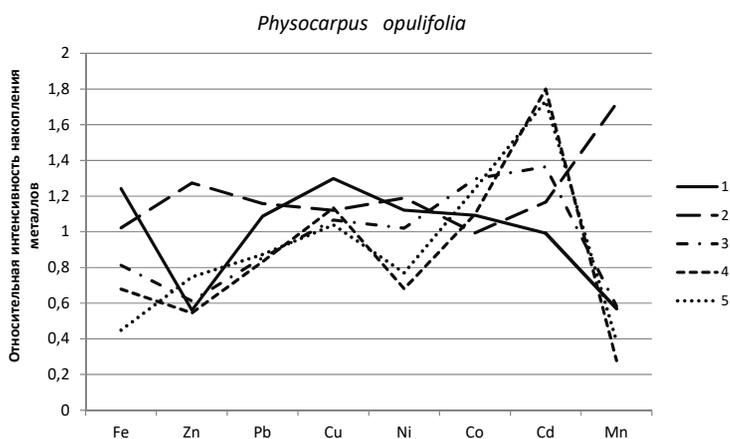


Рис. 2. Интенсивность накопления тяжелых металлов листьями пузыреплодника калинолистного в разных типах зеленых насаждений г. Владивосток. Условные обозначения см. рис. 1

техногенного пресса. Вероятнее всего, это обусловлено наличием у ясеня физиологических барьеров на пути транспорта металлов в органы жизнедеятельности растения. *Physocarpus opulifolia* же, судя по результатам исследования, является видом, толерантным по отношению к тяжелым металлам, и в некоторых условиях способен проявлять к ним высокие аккумулятивные способности.

Эколого-геохимическая специфика в накоплении металлов прослеживается не только по «сквозным» в структуре озеленения видам деревьев и кустарников, но и в целом по городским насаждениям (табл. 3).

Таблица 3

Интенсивность техногенного влияния тяжелых металлов на зеленые насаждения разного функционального назначения

Тип насаждений	Кол-во видов	Z _c	Геохимическая ассоциация основных металлов-загрязнителей зеленых насаждений
Рядовые городские посадки	45	7,4	Fe _{6,2} Zn _{2,2} Pb _{2,1} Cu _{1,5} Ni _{1,4}
Скверы	47	7,0	Fe _{5,1} Zn _{2,5} Pb _{2,5} Cu _{1,5} Ni _{1,4}
Внутриквартальное озеленение	37	4,7	Fe _{4,1} Zn _{2,1} Pb _{1,9} Cu _{1,3} Ni _{1,3}
Старые сады-скверы	18	2,5	Fe _{3,1} Pb _{1,8} Zn _{1,3} Cu _{1,3}
Городские парки	31	2,3	Fe _{2,8} Zn _{1,9} Pb _{1,4} Cu _{1,2}
Внутригородские рекреационные леса	36	1,9	Fe _{2,4} Zn _{1,3} Cu _{1,2}

Примечание. Z_c – суммарный показатель загрязнения растений.

Судя по данным табл. 3, суммарная нагрузка загрязнения металлами городских озелененных территорий снижается в 4 раза от рядовых посадок, находящихся преимущественно в зоне влияния автотранспортного потока, до внутригородских рекреационных лесов, представляющих собой остаточные лесные массивы, уцелевшие от городской застройки и расположенные по окраинам селитебной зоны города. Зеленые насаждения рядовых посадок и скверов максимально подвержены городскому антропогенно-техногенному прессу. Суммарный показатель загрязнения этих насаждений выше среднего по городу. В таких местообитаниях растения накапливают многие металлы, но наиболее существенно – Fe, Pb и Zn, содержание которых в 2–6 раз больше относительно локального экологического фона и до 1,5 раз – по сравнению с городским фоном.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить высокую дифференциацию видового состава городской арборифлоры по аккумулятивным способностям к ТМ. Максимальные отличия (до 87 % по коэффициенту вариации) отмечены в накоплении Mn (31–662 мг/кг), Zn (19–205 мг/кг) и Cd (0,2–2,8 мг/кг). Самые стабильные показатели – в содержании Cu (4,3–13,9 мг/кг) и Ni (0,5–4,6 мг/кг) – 22 и 31 % по величине коэффициента вариации соответственно.

Установлено, что 68 видов (83 % состава) способны в разной степени накапливать ТМ. Половина видов этого списка накапливают по 1–2 ТМ. Аккумулятивные способности к 7 металлам установлены лишь у 4 видов: *Corylus heterophylla* – ко всем ТМ, кроме Zn; *Crataegus pinnatifida*, *C. maximowiczii*, *Euonymus maackii* – ко всем ТМ, исключая Mn.

Определена геохимическая ассоциация приоритетных загрязнителей древесно-кустарниковой растительности г. Владивосток: Fe_{4,1}Zn_{2,0}Pb_{1,9}Cu_{1,4}Ni_{1,3}. Лучшие

способности к их поглощению показали *Padus maackii* и *Corylus heterophylla* (к Fe), *Populus maximowiczii* и *P. nigra* (Zn), *Crataegus pinnatifida*, *Corylus heterophylla* и *Microcerasus tomentosa* (Pb), *Syringa oblata* и *C. pinnatifida* (Cu), *P. nigra* и *Picea* sp. (Ni).

Выявлены виды-концентраторы металлов в условиях городской среды: *Crataegus pinnatifida* (Fe), *Populus maximowiczii* и *P. nigra* (Zn), *Sorbus pochuanensis* и *Picea* sp. (Mn). Содержание металлов у них превышает среднегородские показатели более чем в 5 раз.

Установлены виды с фоновыми уровнями металлов, в том числе целого комплекса ТМ: *Prunus salicina*, *Populus tremula*, *Tilia amurensis* – 5 ТМ (Fe, Ni и др.); *Acer negundo*, *Morus alba*, *Armeniaca mandshurica* и *Tilia mandshurica* – 4 ТМ (Pb, Cu и др.).

Отмечены виды, слабо накапливающие ТМ. В листьях *Micromeles alnifolia* и *Spiraea ussuriensis* содержание всех рассматриваемых металлов, особенно Mn, Zn, Co и Cd, в 2–5 раз ниже ГЭГФ. У ряда видов зафиксированы низкие содержания семи (*Carpinus cordata*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Aesculus hippocastanum*, *Lespedeza bicolor*) и шести ТМ (*Acer tegmentosum*, *Alnus hirsuta*, *Catalpa bignonioides*, *Maackia amurensis*, *Corylus mandshurica*). Самые низкие уровни содержания металлов отмечены у *Acer tegmentosum* в содержании Pb и Ni (в 9 и 5 раз ниже ГЭГФ соответственно) и у *Spiraea ussuriensis* в содержании Co (в 5 раз ниже ГЭГФ).

Эколого-геохимическая характеристика доминантов городского озеленения *Fraxinus mandshurica* и *Physocarpus opulifolia* позволила отнести ясень к видам металлоустойчивым в условиях городского техногенного пресса, пузыреплодник – толерантным по отношению к ТМ, способным в некоторых условиях проявить к ним высокие аккумулятивные свойства. Эти виды желателно и далее использовать при озеленении новых территорий с высокими антропогенно-техногенными нагрузками и реконструкции старых городских насаждений. Посадки ясеня, прошедшие декоративную обрезку, оказались также достаточно устойчивыми и к «ледяному дождю», обрушившемуся на г. Владивосток осенью 2020 г.

В целом проведенные исследования позволяют сделать ряд практических выводов и рекомендаций. Во-первых, необходимо весьма дифференцированно подходить к использованию в зеленом строительстве существующего списка видов для озеленения городских территорий разного функционального назначения и техногенного фона, а также к внедрению новых видов в структуру городского озеленения. Виды, способные к высокому накоплению ТМ, необходимо более активно внедрять для экологической оптимизации зеленых городских территорий с высокими антропогенно-техногенными нагрузками. Виды деревьев и кустарников, отличающиеся высокими декоративными качествами, но слабо накапливающие ТМ, рационально использовать в озеленении жилых кварталов и общественных зданий, а также при реконструкции парков, старых городских садов и скверов с невысоким и умеренным антропогенным прессом. Во-вторых, ряд редких в современном городском озеленении видов, показавших высокие аккумулятивные способности к ТМ, следует включить в перечень объектов, требующих более глубокого исследования на предмет способности к поглощению ТМ и устойчивости к ним. В-третьих, виды фоновых содержаний можно рекомендовать в качестве фитоиндикаторов фоновых условий городской среды при мониторинге состояния городской среды и зеленых насаждений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Шихова Н.С., Полякова Е.В. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока. Владивосток: Дальнаука, 2006. 236 с.
2. Прайс В.Дж. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия. М.: Мир, 1976. 355 с.
3. Практикум по агрохимии / под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
4. Цыпленков В.П., Банкина Т.А., Федоров А.С. Определение зольного состава растительных материалов. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1981. 160 с.
5. Сает Ю.Е. Геохимическая оценка техногенной нагрузки на окружающую среду // Геохимия ландшафтов и география почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1982. С. 84–100.
6. Бородина Н.А. Аккумуляция тяжелых металлов хвоей сосны в урбоэкосистемах города Благовещенска // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2012. Т. 14, № 1. С. 1958–1962.
7. Бухарина И.Л., Двоглазова А.А. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях. Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. 184 с.
8. Вадковская И.К., Гурч Е.П. Геохимические особенности древесно-кустарниковой растительности «Беловежской Пути» // Природопользование: сб. науч. тр. Минск, 1999. Вып. 5. С. 46–48.
9. Вельц Н.Ю., Турлибекова Д.М. Аккумуляция тяжелых металлов в надземной части высших растений, произрастающих в г. Орске и его окрестностях // Вестн. ОГУ. 2011. № 12 (131). С. 378–379.
10. Ветчинникова Л.В., Кузнецова Т.Ю., Титов А.Ф. Особенности накопления металлов в листьях древесных растений на урбанизированных территориях в условиях севера // Тр. Карельского науч. центра РАН. 2013. № 3. С. 68–73.
11. Войтюк Е.А. Аккумуляция тяжелых металлов в почве и растениях в условиях городской среды (на примере г. Читы): автореф. дис. ... канд. биол. наук. Чита, 2011. 21 с.
12. Горелова С.В., Горбунов А.В., Ляпунов С.М., Окина О.И., Фронтасьева М.В. Возможности использования древесных растений для биоремедиации загрязненных тяжелыми металлами почв в урбоэкосистемах // Экологические проблемы промышленных городов: материалы научно-практ. конф. с междунар. участием. Ч. 2. Саратов, 2013. С. 117–120.
13. Горелова С.В., Фронтасьева М.В., Горбунов А.В., Ляпунов С.М., Мочалова Е.Г., Окина О.И. Биогеохимическая активность голосеменных интродуцентов в условиях промышленно развитых урбанизированных экосистем // Вестн. Балтийского федерал. ун-та им. И. Канта. 2015. Вып. 1. С. 92–106.
14. Григорьева И.Я. Изучение биоаккумуляционных свойств древесных растений на тяжелые металлы // Инновац. наука, 2015. Т. 3, № 4/3. С. 26–28.
15. Дергунова А.Б., Рахимова Х.Х. Особенности аккумуляции тяжелых металлов листьями древесных растений // Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы II Всероссийской конф. (Барнаул, 21–22 апреля 2005 г.). Барнаул, 2005. Кн. 2. С. 713–716.
16. Жадко С.В., Дайнеко Н.М. Накопление тяжелых металлов древесными породами улиц г. Гомеля // Изв. Гомельского гос. ун-та. 2003. № 5. С. 77–80.
17. Колбас А.П., Волосюк С.Н., Зеркаль С.В., Сидорович Е.А. Содержание микроэлементов и структурные изменения хвои *Picea abies* (L.) Karst. в условиях городской среды // Весн. Брэсцакага ўн-та. Серыя 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. 2010. № 2. С. 33–42.
18. Копылова Л.В. Накопление тяжелых металлов в древесных растениях на урбанизированных территориях Восточного Забайкалья: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Чита, 2012. 24 с.
19. Копылова Л.В. Фолиарное поступление тяжелых металлов в древесные растения // Вестн. КрасГАУ. 2013. № 12. С. 126–133.
20. Корельская Т.А., Попова Л.Ф. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска // Арктика и Север. 2012. № 7. С. 136–152.
21. Кузнецова Т.Ю., Ветчинникова Л.В., Титов А.Ф. Аккумуляция тяжелых металлов в различных органах и тканях березы в зависимости от условий произрастания // Тр. Карельского науч. центра РАН. 2015. № 1. С. 86–94.
22. Ларина Г.Е., Обухов А.И. Тяжелые металлы в растительности с газонов вдоль автомагистралей // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1995. № 3. С. 41–48.
23. Ларионов М.В. Содержание тяжелых металлов в листьях городских древесных насаждений // Вестн. КрасГАУ. 2012. № 10. С. 71–75.
24. Ларионов М.В., Ларионов Н.В. Динамика сезонного накопления свинца в листьях древесных насаждений в городской среде // Вестн. ВГУ. Сер.: Биология, Фармация. 2015. № 2. С. 51–54.

25. Лукашев О.В., Жуковская Н.В. Ретроспективная оценка загрязнения почв и растительности г. Витебска тяжелыми металлами // *Природ. ресурсы*. 2006. № 4. С. 52–58.
26. Лукашев О.В., Жуковская Н.В. Ретроспективная оценка загрязнения почв и растительности г. Кобрин металлами // *Природ. ресурсы*. 2009. № 1. С. 15–21.
27. Маслеников П.В., Дедков В.П., Куркина М.В., Ващейкин А.С., Журавлев И.О., Бавтрук Н.В. Аккумуляция металлов в растениях урбозкосистем // *Вестн. Балтийского федерал. ун-та им. И. Канта*. 2015. Вып. 7. С. 57–69.
28. Морозова Н.А. Эколого-геохимические особенности промышленных и рекреационных зон г. Самары: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2011. 19 с.
29. Никитенко М.А. Видовая специфика поглощения тяжелых металлов (Сг, Zn, Mn и Fe) древесными растениями г. Камбарки Удмуртской Республики // *Вестн. ИжГТУ*. 2007. Вып 2 (34). С 158–159.
30. Никифорова Е.Н., Лазукова Г.Г. Геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв и растений городских экосистем Перовского района Москвы // *Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География*. 1991. № 3. С. 44–53.
31. Новикова О.В., Макарова М.Г., Кошелева Н.Е. Ассоциации микроэлементов в древесной растительности г. Москвы и Кито // *Вестн. РУДН. Сер.: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2004. № 1. С. 178–186.
32. Обухов А.И., Лепнева О.М. Биогеохимия тяжелых металлов в городской среде // *Почвоведение*. 1989. № 3. С. 65–73.
33. Парибок Т.А., Сазыкина Н.А., Тэмп Г.А., Троицкая Е.А., Леина Г.Д., Червякова Э.Г. Содержание металлов в листьях деревьев в городе // *Ботан. журн*. 1982. Т. 67, № 11. С. 1533–1539.
34. *Промышленная ботаника*. Киев: Наук. думка, 1980. 260 с.
35. Уфимцева М.Д., Терехина Н.В. Фитоиндикация экологического состояния урбозкосистем Санкт-Петербурга. СПб.: Наука, 2005. 339 с.
36. Шергина О.В., Михайлова Т.А. Состояние древесных растений и почвенного покрова парковых и лесопарковых зон г. Иркутска. Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН, 2007. 200 с.
37. Юсупов Д.В., Рихванов Л.П., Барановская Н.В., Ялалтдинова А.Р. Геохимические особенности элементного состава листьев тополя урбанизированных территорий // *Изв. Том. политех. ун-та. Инжиниринг георесурсов*. 2016. Т. 327, № 6. С. 25–36.
38. Якубов Х.Г. Экологический мониторинг зеленых насаждений Москвы. М.: Стагирит-Н, 2005. 264 с.
39. Ялалтдинова А.Р. Элементный состав растительности как индикатор техногенного воздействия на территории г. Усть-Каменогорска: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Томск, 2015. 21 с.
40. Tomašvić M., Rajšič S., Đorđević D., Tašić M., Rrštić J., Novacović V. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas // *Environmental Chemistry Letters*. 2004. Vol. 2 (3). P. 151–154.
41. Роукач А.И. Парфенау В.В. Ацэнка стану прыроднага асяроддзя у парках Беларусі з тэхнагенным забруджаннем // *Вестн. АН БССР. Сер. биол. наук*. 1990. № 2. С. 53–56.
42. Шихова Н.С. Эколого-геохимические особенности растительности Южного Приморья и видовая специализация арборифлоры в накоплении тяжелых металлов // *Сиб. лес. журн*. 2017. № 6. С. 76–88.
43. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.
44. Melsted S.W. Soil-plant relationships // *Recycling municipal sludges and effluents on land*, National Association of State Universities and Land Grant Colleges. Wash. D.C., 1973. P. 121–128.
45. Sauerbeck D. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? // *Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband*. 1982. S.-H. 16. P. 59–72.
46. Verloo M., Cottenie F., Landschoot G. Van. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution // *Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband*. 1982. S.-H. 39. P. 394–403.

REFERENCES

1. Shikhova N.S., Polyakova E.V. *Derev'ya i kustarniki v ozelenenii goroda Vladivostoka* = [Trees and Bushes of Vladivostok streets]. Vladivostok: Dal'nauka; 2006. 236 p. (In Russ.).

2. Prais V. Dzh. Analiticheskaya atomno-absorbtsionnaya spektroskopiya = [Analytical atomic absorption spectrometry]. Per. s angl. V.I. Mosicheva; ed. by B.V. L'vov Moscow: Mir; 1976. 355 p. (In Russ.).
3. Mineeva V.G. (ed.). Praktikum po agrokhimii = [Workshop on agricultural chemistry]. Moscow: Moscovskii universitet; 1989. 304 p. (In Russ.).
4. Cyplenkov V.P., Bankina T.A., Fedorov A.S. Opredelenie zol'nogo sostava rastitel'nykh materialov = [The ash composition of plant materials determination]. Leningrad: Izdatel'stvo Leningradskogo universiteta; 1981. 160 p. (In Russ.).
5. Saet Yu.E. Geokhimicheskaya ocenka tekhnogennoj nagruzki na okruzhayushchuyu sredu. *Geokhimiya landshaftov i geografiya pochv* = [Geochemical assessment of the technogenic load on the environment. In: *Geochemistry of landscapes and geography of soils*]. Moscow: Moscovskii universitet; 1982. P. 84-100. (In Russ.).
6. Borodina N.A. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov khvoej sosny v urboehkosistemakh goroda Blagoveshchenska = [Accumulation of heavy metals by pine needles in urban ecosystem of Blagoveshchensk city]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN* = [Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences]. 2000;14(1):1958-1962. (In Russ.).
7. Bukharina I.L., Dvoeglazova A.A. Bioekologicheskie osobennosti travyanistykh i drevesnykh rastenii v gorodskikh nasazhdeniyakh. Izhevsk: Udmurtskii universitet; 2010. 184 p. (In Russ.).
8. Vadkovskaya I.K., Gurch E.P. Geokhimicheskie osobennosti drevesno-kustarnikovoii rastitel'nosti «Belovezhskoi Pushchi». In: *Prirodopol'zovanie: sbornik nauchnykh trudov*. Minsk; 1999. Iss. 5. P. 46-48. (In Russ.).
9. Vel'ts N.Yu., Turlibekova D.M. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v nadzemnoi chasti vysshikh rastenii, proizrastayushchikh v g. Orske i ego okrestnostyakh = [Accumulation of heavy metals in the elevated part of the higher plants growing in Orsk and its vicinities]. *Vestnik Orenburgskogo Universiteta*. 2011;12(131):378-379. (In Russ.).
10. Vetchinnikova L.V., Kuznetsova T.YU., Titov A.F. Osobennosti nakopleniya metallov v list'yakh drevesnykh rastenii na urbanizirovannykh territoriyakh v usloviyakh severa = [Patterns of heavy metal accumulation in leaves of trees in urban areas in the North Trudy]. In: *Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra RAN*. 2013;(3):68-73. (In Russ.).
11. Voityuk E.A. Akkumulyatsiya tyazhelykh metallov v pochve i rasteniyakh v usloviyakh gorodskoi sredy (na primere g. Chity). Avtoreferat dissertatsii kandidata biologicheskikh nauk. Chita. 2011. 21 p. (In Russ.).
12. Gorelova S.V., Gorbunov A.V., Lyapunov S.M., Okina O.I., Frontas'eva M.V. Vozmozhnosti ispol'zovaniya drevesnykh rastenii dlya bioremediatsii zagryaznennykh tyazhelymi metallami pochv v urboehkosistemakh. *Ekologicheskie problemy promyshlennykh gorodov*. P. 2. Saratov; 2013. P.117-120. (In Russ.).
13. Gorelova S.V., Frontas'eva M.V., Gorbunov A.V., Lyapunov S.M., Mochalova E.G., Okina O.I. Biogeokhimicheskaya aktivnost' golosemennykh introdutsentov v usloviyakh promyshlenno razvitykh urbanizirovannykh ehkosistem. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta imeni I. Kanta*. 2015;1:92-106. (In Russ.).
14. Grigor'eva I.Ya. Izuchenie bioakkumulyatsionnykh svoystv drevesnykh rastenii na tyazhelye metally = [Study of bioaccumulative properties of woody plants for heavy metals]. *Innovatsionnaya nauka*. 2015;3(4/3):26-28. (In Russ.).
15. Dergunova A.B., Rakhimova Kh.Kh. Osobennosti akkumulyatsii tyazhelykh metallov list'yami drevesnykh rastenij = [Features of accumulation of heavy metals by leaves of woody plants]. In: *Novye dostizheniya v khimii i khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: materialy II Vserossijskoy konferentsii* (g. Barnaul. 21–22 aprelya 2005 g.). Barnaul; 2005. Pt. 2. P. 713-716. (In Russ.).
16. Zhad'ko S.V., Dajneko N.M. Nakoplenie tyazhelykh metallov drevesnymi porodami ulic g. Gome-lya = [Accumulation of metals by tree species of the streets of Gomel city]. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo universiteta* = [Proceedings of Francisk Scorina Gomel State University]. 2003;(5):77-80. (In Russ.).
17. Kolbas A.P., Volosyuk S.N., Zerkal' S.V., Sidorovich E.A. Soderzhanie mikroelementov i strukturnye izmeneniya khvoi *Picea abies* (L.) Karst. v usloviyakh gorodskoi sredy = [Trace Element Contents and Structural Changes in Needles of *Picea Abies* (L.) Karst. in Urban Environmental Conditions]. *Vestnik Brestskogo universiteta*. Seriya 5. Khimiya. Biyalogiya. Navuki ab zyamli.. 2010;(2):33-42. (In Russ.).
18. Kopylova L.V. Nakoplenie tyazhelykh metallov v drevesnykh rasteniyakh na urbanizirovannykh territoriyakh Vostochnogo Zabajkal'ya. Avtorefrat dissertatsii kandidata biologicheskikh nauk = [Accumulation of metals in woody plants in urban areas of Eastern Sabaikalia. Abstract master's thesis biol. sci. diss.].

- GOU VPO «Zabajkal'skij gosudarstvennyj gumanitarno-pedagogicheskij univesitet». Chita; 2012. 24 p. (In Russ.).
19. Kopylova L.V. Foliarnoe postuplenie tyazhelykh metallov v drevesnye rasteniya = [Foliar inflow of heavy metals into arboreous plants]. *Vestnik KrasGAU*. 2013;(12):126-133. (In Russ.).
 20. Korel'skaya T.A., Popova L.F. Tyazhelye metally v pochvenno-rastitel'nom pokrove selitebnogo landshafta goroda Arkhangel'ska = [Heavy metals in the soil-vegetation cover of the selitebnii landscape of the city Arkhangel'sk]. *Arktika i Sever*. 2012;(7):136-151. (In Russ.).
 21. Kuznecova T.Yu., Vetchinnikova L.V., Titov A.F. Akkumulyaciya tyazhelykh metallov v razlichnykh organakh i tkanyakh berezy v zavisimosti ot uslovij proizrastaniya = [The heavy metals accumulation in various organs and tissues of birch trees depending on the growing conditions]. *Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN*. 2015;(1):86-94. (In Russ.).
 22. Larina G.E., Obuhov A.I. Tyazhelye metally v rastitel'nosti s gazonov vdol' avtomagistralej = [Heavy metals in vegetation from lawns situated along highways] *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 17. Pochvovedenie*. 1995;(3):41-48. (In Russ.).
 23. Larionov M.V. Soderzhanie tyazhelykh metallov v list'yakh gorodskikh drevesnykh nasazhdenij = [Heavy metals content in urban trees plantation leaves]. *Vestnik Krasnoarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2012;(10):71-75. (In Russ.).
 24. Larionov M.V., Larionov N.V. Dinamika sezonnogo nakopleniya svinca v list'yakh drevesnykh nasazhdenij v gorodskoj srede = [Dynamics of seasonal accumulation of lead in the leaves of tree plantations in the urban environment]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo Universita. Ser. Biologiya, Farmaciya*. 2015;(2):51-54. (In Russ.).
 25. Lukashyov O.V., Zhukovskaya N.V. Retrospektivnaya ocenka zagryazneniya pochv i rastitel'nosti g. Vitebska tyazhyolymi metallami = [Retrospective assessment of pollution of soils and vegetation in Vitebsk with heavy metals]. *Prirodnye resursy*. 2006;(4):52-58. (In Russ.).
 26. Lukashyov O.V., Zhukovskaya N.V. Retrospektivnaya ocenka zagryazneniya pochv i rastitel'nosti g. Kobrina metallami = [Retrospective estimation of metal pollution of soil and plants in Kobrin city] *Prirodnye resursy*. 2009;(1):15-21. (In Russ.).
 27. Maslenikov P.V., Dedkov V.P., Kurkina M.V., Vashchejkin A.S., Zhuravlev I.O., Bavtruk N.V. Akkumulyaciya metallov v rasteniyakh urboehkosistem = [Accumulation of metals in plants of urban ecosystems]. *Vestnik Baltijskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*. 2015;7:57-69. (In Russ.).
 28. Morozova N.A. Ekologo-geokhimicheskie osobennosti promyshlennykh i rekreacionnykh zon g. Samary. Avtoref. diss. kand. biol.nauk = [Ecological and geochemical features of industrial and recreational zones of Samara. Abstract master's thesis biol. sci. diss.]. Tolyatti, IEVRB RAS. 2011. 19 p. (In Russ.).
 29. Nikitenko M.A. Vidovaya specifika pogloshcheniya tyazhelykh metallov (Si, Zn, Mn i Fe) drevesnymi rasteniyami g. Kambarki Udmurtskoj Respubliki = [Species specificity of absorption of heavy metals (Cu, Zn, Mn, and Fe) by woody plants in the Kambarka city of Udmurt Republic]. *Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta imeni M.T. Kalashnikova*. 2007;2(34):158-159. (In Russ.).
 30. Nikiforova E.N., Lazukova G.G. Geokhimicheskaya ocenka zagryazneniya tyazhelymi metallami pochv i rastenij gorodskikh ehkosistem Perovskogo rajona Moskvy = [Geochemical assessment of heavy metal pollution of soils and plants in urban ecosystems of the Perovsky district of Moscow]. *Vestnik Moskovskogo universitetata. Seriya 5. Geografiya*. 1991;(3):44-53. (In Russ.).
 31. Novikova O.V., Makarova M.G., Kosheleva N.E. Associacii mikroelementov v drevesnoj rastitel'nosti gg. Moskvy i Kito = [Association of microelements in tree vegetation of Moscow and Quito]. *Vestnik Rossii'skogo universiteta družby narodov. Ser. Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti..* 2004;1(10):178-186. (In Russ.).
 32. Obukhov A.I., Lepneva O.M. Biogeokhimiya tyazhelykh metallov v gorodskoj srede = [Biogeochemistry of heavy metals in urban environments]. *Pochvovedenie*. 1989;(3):65-73. (In Russ.).
 33. Paribok T.A., Sazykina N.A., Tehmp G.A., Troitskaya E.A., Leina G.D., Chervyakova Eh.G. Soderzhanie metallov v list'yakh derev'ev v gorode = [The metals content in the cities trees leaves]. *Botanicheskii Zhurnal*. 1982;67(11):1533-1539. (In Russ.).
 34. Promyshlennaya botanika = [The industrial Botany]. Kiev: Naukova dumka; 1980. 260 p. (In Russ.).
 35. Ufimceva M.D., Terekhina N.V. Fitoindikaciya ehkologicheskogo sostoyaniya urboehkosistem Sankt-Peterburga = [Phytoindication of ecological state of urban geosystems in Saint Petersburg]. St.Peterburg: Nauka; 2005. 339 p. (In Russ.).

36. Shergina O.V., Mikhajlova T.A. Sostoyanie drevesnykh rastenij i pochvennogo pokrova parkovykh i lesoparkovykh zon g. Irkutsk = [The woody plants and soil cover of park and forest park areas state of Irkutsk city]. Irkutsk: Izdatel'stvo Instituta geografii SO RAN; 2007. 200 p. (In Russ.).
37. Yusupov D.V., Rikhvanov L.P., Baranovskaya N.V., Yalaltdinova A.R. Geokhimicheskie osobennosti ehlementnogo sostava list'ev topolya urbanizirovannykh territorij = [Geochemical features of poplar leaf elemental composition in urban areas]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov. = Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2016;327(6):25-36. (In Russ.).
38. Yakubov Kh.G. Ehkologicheskij monitoring zelenykh nasazhdenij Moskvy = [Ecological monitoring of green spaces in Moscow]. Moscow: Stagirit-N; 2005. 264 p. (In Russ.).
39. Yalaltdinova A.R. Ehlementnyj sostav rastitel'nosti kak indikator tekhnogenogo vozdejstviya na territorii g. Ust'-Kamenogorska. Avtoreferat dissertacii kandidata geologo-mineralogicheskikh nauk = [Elemental composition of vegetation as an indicator of technogenic impact on the territory of Ust-Kamenogorsk city: Abstract master's thesis geol.-mineral. sci. diss.]. Tomsk; 2015. 21 p. (In Russ.).
40. Tomašvić M., Rajšić S., Đorđević D., Tašić M., Rršić J., Novacović V. Heavy metals accumulation in tree leaves from urban areas. *Environmental Chemistry Letters*. 2004;2(3):151-154.
41. Roukach A.I. Parfenau V.V. Ačehnka stanu pryrodnaga asyaroddzja u parkakh Belarusi z tekhnagennym zabrudzhvannem = [Assessment of the state of the natural environment in the parks of Belarus with man-made pollution]. *Vesci AN BSSR. Ser. Biol. nauk. = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus, Biological Series*. 1990(2):53-56. (In Beloruss.).
42. Shihova N.S. Ehkologo-geokhimicheskie osobennosti rastitel'nosti Yuzhnogo Primor'ya i vidovaya specializaciya arboriflory v nakoplenii tyazhelykh metallov = [Ecological and geochemical peculiarities of the south Primorye vegetation and arboriflora species specificity in the heavy metal accumulations]. *Sibirskij lesnoj zhurnal*. 2017;(6):76-88. (In Russ.).
43. Kabata-Pendias A., Pendias KH. Mikroehlementy v pochvakh i rasteniyakh (Per. s ang.) = [Trace elements in soils and plants]. Moscow: Mir; 1989. 439 p.
44. Melsted S.W. Soil-plant relationships. In: *Recycling Municipal Sludges and Effluents on Land*, National Association of State Universities and Land Grant Colleges, Wash. D.C.; 1973. P. 121-128.
45. Sauerbeck D. Welche Schwermetallgehalte in Pflanzen dürfen nicht überschritten werden, um Wachstumsbeeinträchtigungen zu vermeiden? *Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband*. 1982;16: 59-72.
46. Verloo M., Cottenie F., Landschoot G. Van. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution. *Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband*. 1982;39:394-403.

Научная статья
УДК 633.853.52: 631.522:575:577.29
DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_3

Подбор микросателлитных локусов ДНК для создания молекулярно-генетических паспортов диких форм и сортов сои амурской селекции

О.Н. Бондаренко[✉], А.А. Блинова, Л.Е. Иваченко, С.И. Лаврентьева

Ольга Николаевна Бондаренко
младший научный сотрудник
Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия
ton@vniisoi.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5051-7695>

Анастасия Андреевна Блинова
младший научный сотрудник
Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия
baa@vniisoi.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7234-0595>

Любовь Егоровна Иваченко
доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник
Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия
ivachenko-rog@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-4870-2223>

Светлана Игоревна Лаврентьева
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник
Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт сои», Благовещенск, Россия
lana.lavrenteva.1984@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7328-9595>

Аннотация. В настоящее время оценка генетического разнообразия сортов сельскохозяйственных культур и идентификация селекционного материала эффективно проводятся с использованием различных молекулярно-генетических маркеров. Микросателлитные маркеры (Simple Sequence Repeat, SSR) более широко используются для оценки генетического разнообразия, чем белковые, поскольку достаточно высоконадежны, локус-специфичны, воспроизводимы, имеют высокий уровень полиморфизма, доминантны и не

подвержены влиянию окружающей среды. Сорты сои ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои ранее не были исследованы по локусам ДНК. Цель данной работы – подбор информативных праймеров, оптимальных условий ПЦР, выявление стабильного, воспроизводящегося полиморфизма амплифицированных фрагментов ДНК и создание системы молекулярных маркеров для дальнейшей идентификации и паспортизации диких форм, сортов, линий и гибридов сои селекции ФНЦ ВНИИ сои. Материалом исследования служили 7 сортов сои амурской селекции – Кружевница, Сентябринка, Веретейка, Лидия, Умка, Золушка, Лазурная (2020 г.) и 3 формы дикой сои – КА-342, КБел-72, КБл-24 (2019 г.). Геномную ДНК выделяли из 7-дневных проростков сои с использованием готового набора реагентов для выделения геномной ДНК из растений (ООО «Синтол»). Подобраны 11 пар SSR-праймеров с оптимальной температурой отжига от 45 до 60 °С. Четыре праймера не гибридизировались с матричной ДНК, несмотря на оптимизацию процесса, locus *Soypr1* был мономорфным. Выявлены уникальные наборы аллелей, различия наблюдались по одному локусу и более. У четырех полиморфных локусов (*Satt1*, *Satt5*, *Sat36* и *Soyhspl76*) обнаружено по два аллеля, у локусов *Satt2* и *Satt9* – по три. Среднее число аллелей на locus составило 2,14. Значения эффективного числа аллелей варьировали от 1,00 до 2,78 со средней величиной 1,66. Значения PIC находились в диапазоне 0,18–0,63 со средней величиной 0,34. Полученные величины характеризуют полиморфизм исследованных образцов коллекции как средний. Методом ПЦР-анализа отобраны шесть локусов, выявляющих стабильный, воспроизводящийся полиморфизм фракций амплифицированной ДНК, что позволяет использовать их для сертификации и молекулярно-генетической паспортизации сортов сои.

Ключевые слова: соя, *Glycine max* (L.) Merr., *Glycine soja* Siebold & Zucc, SSR, микросателлиты, ДНК, паспортизация, генетическое разнообразие

Для цитирования: Бондаренко О.Н., Блинова А.А., Иваченко Л.Е., Лаврентьева С.И. Подбор микросателлитных локусов ДНК для создания молекулярно-генетических паспортов сортов сои амурской селекции // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 37–48. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_3.

Original article

Selection of microsatellite DNA loci for creating molecular genetic passports of wild forms and varieties of Amur soybean breeding

O.N. Bondarenko, A.A. Blinova, L.E. Ivachenko, S.I. Lavrent'yeva

Olga N. Bondarenko

Junior researcher

Federal Research Center «All-Russian Scientific Research Institute of Soybean»,
Blagoveshchensk, Russia

ton@vniisoi.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5051-7695>

Anastasia A. Blinova

Junior researcher

Federal Research Center «All-Russian Scientific Research Institute of Soybean»,
Blagoveshchensk, Russia

baa@vniisoi.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7234-0595>

Lubov E. Ivachenko

Doctor of Sciences (Biological)

Leading Researcher

Federal Research Center «All-Russian Scientific Research Institute of Soybean»,
Blagoveshchensk, Russia

ivachenko-rog@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4870-2223>

Svetlana I. Lavrent'yeva

Candidate of Sciences (Biological)

Leading Researcher

Federal Research Center «All-Russian Scientific Research Institute of Soybean»,
Blagoveshchensk, Russia

ana.lavrenteva.1984@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7328-9595>

Abstract. Currently, the assessment of the genetic diversity of crop varieties and the identification of breeding material is effectively carried out using various molecular genetic markers. Microsatellite markers (Simple Sequence Repeat, SSR) are most widely used to evaluate genetic diversity as far as compared to others they are more reliable, locus-specific, reproducible, and have a high level of polymorphism, dominant and less affected by the environment. Amur soybean varieties have not previously been studied for DNA loci, so the purpose of this work was to select informative primers, optimal PCR conditions and identify stable reproducible polymorphism of amplified DNA fragments to create a system of molecular markers suitable for further identification and certification of varieties, lines and hybrids of soybean breeding FSBSI FRC ARSRIS. The material for the study was 7 varieties of soybeans of the Amur breeding and 3 forms of wild soybeans. Genomic DNA was isolated from 7-day-old soybean seedlings using a ready-made kit of reagents to precipitate genomic DNA from plants (LLC “Syntol”). 11 pairs of SSR primers with the optimal annealing temperatures (from 45 to 60°C) were selected. Four primers did not hybridize with template DNA, despite the process optimization, *Soypr1* locus was monomorphic. Unique sets of alleles were identified, and differences were observed at one or more loci. Four polymorphic loci (Satt1, Satt5, Sat36, and Soyhspl76) each contained two alleles, while loci Satt2 and Satt9 contained three alleles. The mean number of alleles per locus was 2.14. The values of the effective number of alleles varied from 1.00 to 2.78 with an average value of 1.66. PIC values ranged from 0.18 to 0.63 with a mean value of 0.34. The obtained values characterize the polymorphism of the studied samples of the collection as average. Using PCR analysis, six loci with stable reproducible polymorphisms of amplified DNA fractions were selected, which allows them to be used for molecular genetic certification of soybean varieties.

Keywords: soybean, *Glycine max* (L.) Merr., *Glycine soja* Siebold & Zucc, SSR, microsatellites, DNA, certification, genetic diversity

For citation: Bondarenko O.N., Blinova A.A., Ivachenko L.E., Lavrent'yeva S.I. Selection of DNA microsatellite loci for creation of molecular genetic passports of soy varieties of Amur selection. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(2);37–48. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_3.

Введение

В настоящее время соя является одной из ключевых сельскохозяйственных культур в мировом агропромышленном комплексе. На территории Дальневосточного федерального округа (ДФО) соя – основная возделываемая культура. Амурская область входит в ТОП-5 регионов – производителей сои в России, и на ее площади приходится около 90 % посевов сои ДФО [1]. Несмотря на то что в последние годы в Российской Федерации повсеместно наблюдалась положительная динамика увеличения площадей сельскохозяйственных земель, занятых под возделыванием сои, Министерство сельского хозяйства РФ в 2019 г. запланировало к 2024 г. увеличить производство сои на 75 %, что привело к появлению ряда новых задач в селекции этой культуры [2]. Взаимодополняющее использование современных и классических методов исследований позволит ускорить селекционный процесс, где основной механизм получения новых сортов сельскохозяйственных растений с улучшенными агрономическими и хозяйственно значимыми признаками будет реализован за счет применения маркер-вспомогательной селекции [3].

Соя (*Glycine max* (L.) Merr. и *Glycine soja* Siebold & Zucc) принадлежит семейству Fabaceae, подсемейству Papilionoideae с размером генома 1,1 млрд п.о. [4]. Геном сои относительно небольшой, если сравнивать с геномами других тетраплоидных видов растений. В настоящее время оценка генетического разнообразия сортов сельскохозяйственных культур и линий их диких сородичей, а также идентификация селекционного материала эффективно проводятся с использованием молекулярно-генетических маркеров. Одним из наиболее распространенных и широко используемых для этих целей классов ДНК-маркеров являются микросателлитные последовательности ДНК, или SSR-маркеры (Simple Sequence Repeat) [5]. Они чаще всего применяются для оценки генетического разнообразия, поскольку более надежны, локус-специфичны, воспроизводимы, имеют высокий уровень полиморфизма, доминантны и меньше подвержены влиянию окружающей среды [6]. Для идентификации генотипов сои удобно использовать уникальные профили ДНК, полученные с помощью микросателлитных маркеров. Такой метод анализа уже используется для сертификации и паспортизации сортов сои в странах – крупнейших экспортёрах этой культуры [4, 7, 8]. Считается, что 4–6 правильно подобранных микросателлитных маркеров достаточно для различия сортов сои. Еще в конце прошлого столетия М. Моргант с соавторами, используя семь микросателлитных локусов, получили уникальные ДНК-профили для 61 генотипа сои *Glycine max* и *Glycine soja*. Они также показали преимущество SSR-маркеров перед RFLP- анализом [9]. Высокий уровень полиморфизма в SSR-локусах, достаточный для идентификации сортов сои, отмечали многие исследователи [10–13]. В России идентификация сортов, гибридов и линий сои с использованием микросателлитных локусов проводится в ФНЦ ВНИИМК (г. Краснодар) [14, 15]. Сорта сои ФНЦ ВНИИ сои не были исследованы по ДНК-локусам.

Несмотря на наличие достаточно большого числа микросателлитных маркеров, исследованных другими авторами [10, 11, 14], необходимо провести поиск SSR-праймеров, выявляющих полиморфизм фракций ДНК и оптимизацию их температурных режимов амплификации ДНК непосредственно для диких форм и сортов сои амурской селекции. Цель данной работы – подбор информативных праймеров, оптимальных условий ПЦР и выявление стабильного воспроизводимого

полиморфизма амплифицированных фрагментов ДНК, а также создание системы молекулярных маркеров для дальнейшей идентификации и паспортизации диких форм, сортов, линий и гибридов сои селекции ФНЦ ВНИИ сои. Задачи исследований – оптимизация условий амплификации микросателлитных последовательностей ДНК сои; оценка степени полиморфизма микросателлитов ДНК сои; выявление системы маркеров для дифференциации форм дикой и сортов культурной сои.

Материалы и методы

Для составления молекулярно-генетических формул и установления степени генетического родства использовали 7-дневные проростки 7 сортов сои амурской селекции – Кружевница, Сентябринка, Веретейка, Лидия, Умка, Золушка, Лазурная (2020 г.) и 3 форм дикой сои – КА-342 (Архаринский район), КБел-72 (Белогорский район), КБл-24 (Благовещенский район) (2019 г.). Проростки получали из семенного материала полевого севооборота лаборатории селекции и генетики сои ФНЦ ВНИИ сои (с. Садовое, Тамбовский район). Для проведения опыта семена сои проращивали согласно ГОСТ 12044-93¹ в рулонах фильтровальной бумаги в течение 7 сут при комнатной температуре. Проростки сои хранили при температуре –18 °С до проведения исследований. Выделение и очистка ДНК были проведены с использованием готового набора реагентов¹ (ООО Синтол) согласно прилагаемой инструкции производителя. Концентрацию ДНК определяли при помощи набора реагентов для измерения концентрации двухцепочечной ДНК на флуориметре MAXLIFE согласно инструкции по применению к набору Test dsDNA-100² (ООО «МВМ-Диагностик»). По результатам данного этапа перед проведением амплификации концентрацию выделенной ДНК разбавляли до 100 нг/мкл. Для амплификации выделенной ДНК применяли 11 пар SSR-праймеров (табл. 1), предложенных ранее авторами из ФНЦ ВНИИМК в качестве маркерной системы для идентификации и паспортизации сортов культурной сои [16].

Амплификацию выделенных фрагментов ДНК сои проводили с помощью амплификатора CFX96 (Real-time) (Bio-Rad laboratories Inc., США) при следующих температурных режимах: начальная денатурация – при 96 °С в течение 2 мин, затем 32 цикла при температурно-временном режиме: денатурация – при 94 °С – 30 сек, отжиг праймера – при 45–60 °С (в зависимости от праймера) – 40 с, элонгация – при 70 °С в течение 1 мин; финальная элонгация – при 70 °С в течение 2 мин. Для каждой из представленных пар праймеров была рассчитана температура отжига (в веб-версии программы PrimerBLAST) и проведена оптимизация экспериментальным путем (табл. 2). Для этого с каждой парой праймеров проводили ПЦР, где ДНК образцов сои амплифицировали по установленному протоколу, изменяя температуру отжига в каждом опыте на 3–5 °С. Выбор оптимального значения температуры отжига основывался на получении четких, хорошо различимых

¹ ДНК-Экстран-3 Набор реагентов для выделения геномной ДНК из растений. Синтол, EX-513-100. 2021.

² Флуориметр для количественного определения ДНК, РНК и содержания белка: Руководство пользователя. ООО «МВМ-Диагностик». – <https://docplayer.com/74881836-Fluorimetr-dlya-kolichestvennogo-opredeleniya-dnk-rnk-i-soderzhaniya-belka-rukovodstvo-polzovatelya-sdelano-v-rossii-ooo-mvm-diagnostik.html> (дата обращения: 17.01.2022 г.).

Таблица 1

Характеристика исследуемых микросателлитных локусов

Наименование локуса	Повтор	Последовательность фланкирующих праймеров (5'-3')
<i>Satt1</i>	(ATT) ₂₄	f-AGTACATAGATATTAAGTCT
		r-AAATGATGAACGTGAATTATT;
<i>Satt2</i>	(AAT) ₁₈	f-ATAATGTGGAACTAAATGG
		r-TAATGTGCCTATCCTTGTCTT
<i>Satt5</i>	(TAA) ₂₁	f-TATCCTAGAGAAGAATAAAAA
		r-GTCGATTAGGCTTGAAATA
<i>Satt9</i>	(AAT) ₁₂	f-ATTACTAGAGAAATTAGTTTA
		r-CTTACTAGGGTATTAACCCTT
<i>Soypr1</i>	(TAT) ₂₀	f-CGAAGAGCTACGTGCCAAATT
		r-GTTAGAAAACCCGCCACAC
<i>Soygy2</i>	(AT) ₉ (ATT) ₆	f-AAAATTGAAAGTGTCACACCCC
		r-TTAAAATCGATTAATTGGCATGA
<i>Sat1</i>	(AT) ₁₇	f-CTGGTGGACTATTGATACGACC;
		r-AACTGCGAAGATACTACCCTCC
<i>Sat36</i>	(AT) ₁₉	f-AAAAGTCATAACTGGCACTCCAAGTTT
		r-GAACATAACAATAATAATATAGCTC
<i>Sat43</i>	(AT) ₂₀	f-AAATTCTGTTTCATTGTCCGTC
		r-CATTTTAATATCCCGAGTAGG
<i>Soyhsp176</i>	(AT) ₁₅	f-TGTGGGCCACAAAACGTATAG
		r-CGTACGTTCTAGCTAGTCTTC
<i>138ct04</i>	(AG) ₈	f-ACAATTTATTATTGTGCACGC
		r-ATTGTGCGCGTGTATGCG

Примечание. Концентрация праймеров во всех вариантах – 100 пкмоль/мкл.

амплифицированных фрагментов в характерном для каждого локуса диапазоне длин.

Полимеразную цепную реакцию осуществляли в объеме реакционной смеси 25 мкл, которая включала в себя: 12,5 мкл готовой реакционной смеси БиоМастер HS-Тaq ПЦР-Color (2×)³ (ООО «Биолабмикс»), содержащей 100 мМ Трис-НСl, рН 8,5 (при 25 °С), 100 мМ КСl, 0,4 мМ каждого дезоксинуклеозидтрифосфата, 4 мМ MgCl₂, 0,06 ед. акт./мкл Тaq ДНК-полимеразы, 0,2 % Tween 20, стабилизаторы HS-Тaq ДНК-полимеразы и красители; 1 мкл образца выделенной ДНК; по 1 мкл прямого и обратного праймеров; 9,5 мкл стерильной воды. ПЦР проведена в 3-кратной повторности. Продукты реакции были разделены методом электрофореза в 2%-м агарозном геле, окрашенном бромистым этидием,

³ БиоМастер HS-Тaq ПЦР-Color (2×). Информация о продукте. 2021. – https://biolabmix.ru/upload/iblock/bd5/product-_MHS010.pdf (дата обращения: 17.01.2022).

Таблица 2

Оптимальная температура отжига праймера

Наименование	Температура отжига, °С	
	Экспериментальная	Расчетная
<i>Satt1</i>	60	60
<i>Satt2</i>	60	63
<i>Satt5</i>	55	58
<i>Satt9</i>	45	61
<i>Soypr1</i>	60	68
<i>Soygy2</i>	60	66
<i>Sat1</i>	60	70
<i>Sat36</i>	55	72
<i>Sat43</i>	55	64
<i>Soyhsp176</i>	60	67
<i>138ct04</i>	60	60

в 0,5×ТВЕ с использованием камеры для горизонтального электрофореза SE-1 (ООО «Компания Хеликон», Россия) в течение 1,5–2 ч при силе тока 50 мА и напряжении 90–100 В. Визуализация осуществлена путем облучения геля ультрафиолетом с использованием гель-документирующей системы GelDoc EZ (Bio-Rad laboratories Inc., США). Идентификацию и определение размеров аллелей микросателлитных локусов проводили с использованием программы Image Lab Version 6.0.1 4 Standard Edition. Выявленные по каждому локусу аллели обозначали цифрами: аллель с максимальным значением молекулярной массы обозначали цифрой 1, далее по мере его уменьшения – цифрами 2, 3. Отсутствие амплифицированного фрагмента на электрофореграмме обозначали 0.

Индекс информационного полиморфного содержания (PIC) и эффективное число аллелей (n_e) [14, 15] вычисляли по следующим формулам:

$$PIC_i = 1 - \sum_{j=1}^n P_{ij}^2,$$

$$n_e = 1 / \sum_{j=1}^n P_{ij}^2,$$

где – P частота j паттерна для локуса i , суммирование распространяется на n паттернов.

Результаты и обсуждение

С использованием SSR-маркеров исследовали 7 сортов сои селекции ФНЦ ВНИИ сои и 3 формы дикой сои. Из исследуемых 11 пар праймеров, праймеры, фланкирующие локусы *Soygy2*, *Sat1*, *Sat43* и *138ct04*, не гибридизировались с матричной ДНК (табл. 2), несмотря на дополнительную оптимизацию температуры отжига. Таким образом, из 11 микросателлитных локусов для идентификации и паспортизации имеющихся генотипов сои выявлены 7. Результаты амплификации ДНК 10 генотипов сои показали, что из семи изученных SSR-

локусов шесть оказались полиаллельными, один – *Soypr1* – мономорфным. Изученные нами сорта и дикие формы сои были проанализированы по оставшимся шести локусам (табл. 3).

Таблица 3

Полиморфизм микросателлитных локусов ДНК сортов амурской селекции и диких форм сои

Сорта	Локусы					
	<i>Satt1</i>	<i>Satt2</i>	<i>Satt5</i>	<i>Satt9</i>	<i>Sat36</i>	<i>Soyhsp176</i>
Кружевница	1	1	1	1, 3	2	1
Сентябринка	1	1	2	1	2	1
Веретейка	1	1, 3	1, 2	1	2	1
Лидия	1	1, 3	1	2	2	1
Умка	1	1	2	3	2	1
Золушка	1	3	2	1	2	1
Лазурная	1	1	2	3	1, 2	1
КБл-24	1	1, 2	2	2	1, 2	2
КБел-72	2	1	2	1	1	1
КА-342	1	1, 2, 3	2	2	1	2

Дискриминационные возможности этой маркерной системы были оценены совместно для двух групп образцов сои: сортов селекции ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои (*G. max*) и форм дикой сои (*G. soja*). По двум локусам (*Satt1* и *Soyhsp176*) в сортах культурной сои отсутствовал межсортной полиморфизм, при этом в формах дикой сои был выявлен полиморфизм электрофоретических спектров по обоим указанным локусам. Для диких форм сои мономорфным локусом оказался *Satt5*. В результате амплификации получили межсортные полиморфные картины распределения фрагментов ДНК по всем локусам для обеих групп образцов. Результаты ПЦР-анализа исследуемых образцов позволили выявить всего 15 аллелей. Число аллелей на один локус варьировало от 1 до 3: у двух локусов (*Satt2*, *Satt9*) отмечено по три аллеля, у остальных локусов (*Satt1*, *Satt5*, *Sat36* и *Soyhsp176*) – по два (табл. 4). Среднее число аллелей на локус составило 2,14.

Одним из показателей, характеризующих информативность локуса, является эффективное число аллелей (n_e). Этот показатель характеризует выявленные аллели по частоте их встречаемости в изучаемой выборке генотипов, и в тоже время n_e – это нижняя оценка числа аллелей, одновременно присутствующих в популяции, при условии, что генетический дрейф и мутагенез уравновешены. Количество выявленных аллелей будет равно количеству эффективных, если частоты их встречаемости одинаковы [14]. Для исследуемых образцов этот показатель варьировал от 1 до 2,78. Среднее эффективное число аллелей на локус составило 1,66 (табл. 4).

Другим важным показателем информативности микросателлитных локусов является индекс полиморфного информационного содержания PIC. Этот показатель характеризует дискриминационную силу локуса не только по количеству выявленных аллелей, но и по относительным частотам их встречаемости [17]. Встречаемость редких аллелей меньше влияет на значение PIC, чем аллелей с высокими частотами. Значения PIC варьируют от 0 до 1. PIC приближается к единице, если локус имеет много аллелей с приблизительно равной частотой

Характеристика исследованных микросателлитных локусов

Локус	Молекулярная масса (п.н.)	Наблюдаемое число аллелей, N_A	Эффективное число аллелей, n_e	Индекс полиморфного информационного содержания, PIC
<i>Satt1</i>	141–150	2	1,22	0,18
<i>Satt2</i>	140–152	3	1,85	0,46
<i>Satt5</i>	157–177	2	1,60	0,38
<i>Satt9</i>	142–221	3	2,78	0,63
<i>Soypr1</i>	163–188	1	1,00	0,00
<i>Sat36</i>	115–185	2	1,67	0,40
<i>Soyhsp176</i>	118–135	2	1,47	0,32
Среднее	–	2,14	1,66	0,34

встречаемости, и равен 0, если локус мономорфный. Для изученных нами SSR-локусов PIC варьирует от 0 для *Soypr1* до 0,63 для *Satt9* (табл. 4). По локусу *Soypr1* в этой выборке не обнаружено полиморфных аллелей, поэтому PIC равен нулю. У локуса *Satt1* индекс полиморфности самый низкий – 0,18, это обусловлено тем, что только дикая форма сои КБел-72 отличается по нему от остальных (табл. 3). У остальных пяти локусов значения PIC достаточные для использования их в целях идентификации и паспортизации сортов сои. Среднее значение индекса полиморфного информационного содержания для изученной группы сортов составило 0,34. Показатели информативности SSR-локусов для сортов селекции ФНЦ ВНИИ сои несколько меньше полученных ранее для российских и казахских сортов сои [10, 18]. Указанные авторы изучали большее количество генотипов разного происхождения, что, вероятно, и определяет их разнообразие. Полученные нами величины характеризуют полиморфизм исследованных образцов коллекции как средний. Таким образом, для исследованных форм дикой и сортов культурной сои амурской селекции выявлены уникальные наборы аллелей, различия наблюдались по одному и более локусам. Для каждого генотипа на основании полученного набора аллелей микросателлитных локусов в дальнейшем будут составлены молекулярно-генетические паспорта.

Заключение

Методом ПЦР-анализа для идентификации сортов сои использовали 11 микросателлитных локусов, из которых были отобраны шесть (*Satt2*, *Satt9*, *Satt1*, *Satt5*, *Sat36* и *Soyhsp176*), обладающих полиморфизмом. Четыре праймера, фланкирующие локусы *Soygy2*, *Sat1*, *Sat43* и *138ct04*, не гибридизировались с матричной ДНК. Выявлены уникальные наборы аллелей, различия наблюдались по одному локусу и более. Среднее число аллелей на локус равнялось 2,14. Среднее значение индекса полиморфного информационного содержания для изученной группы генотипов составило 0,34. Шесть пар праймеров для ПЦР выявляли стабильный воспроизводящийся полиморфизм фракций амплифицированной ДНК,

что в дальнейшем позволит использовать их для сертификации и молекулярно-генетической паспортизации сортов сои.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Соя в России и мире: производство, внутреннее потребление и внешнеторговый оборот. – <https://vostokgosplan.ru/wp-content/uploads/2021/11> (дата обращения: 17.01.2022).
2. Фокина Е.М., Титов С.А. Новые сорта сои амурской селекции // Вестн. ДВО РАН. 2021. № 3(217). С. 85–91. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2021_217_03_14.
3. Чесноков Ю.В. Генетические ресурсы растений и ускорение селекционного процесса / Ю.В. Чесноков, В.М. Косолапов. М.: Угрешская типография, 2016. 172 с. ISBN 978-5-91850-055-2.
4. Genetic diversity and population structure of Indian soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) as revealed by microsatellite markers / S. Tiwari, N. Tripathi, K. Tsuji et al. // *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2019. Vol. 25. P. 953–964. <https://doi.org/10.1007/s12298-019-00682-4>.
5. Савиченко В.Г., Рамазанова С.А. Идентификация сортов сои селекции ВНИИМК методом микросателлитного анализа // Актуальные вопросы биологии, селекции, технологии возделывания и переработки сельскохозяйственных культур: сб. материалов 11-й Всерос. конф. молодых ученых и специалистов, Краснодар, 25–26 февраля 2021 г. Краснодар: Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский институт масличных культур имени В.С. Пустовойта», 2021. С. 97–101. <https://doi.org/10.25230/conf11-2021-97-101>.
6. SSR diversity of vegetable soybean [*Glycine max* (L.) Merr.] / M. Mimura, C.J. Coyne, M.W. Bamback et al. // *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2006. Vol. 54. P. 497–508. <https://doi.org/10.1007/s10722-006-0006-4>.
7. Molecular characterization and genetic diversity studies of Indian soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars using SSR markers / S.P.J. Kumar, C. Susmita, K.V. Sripathy et al. // *Molecular Biology Reports*. 2022. Vol. 49. P. 2129–2140. <https://doi.org/10.1007/s11033-021-07030-4>.
8. Keragaman genetik 27 aksesori kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) introduksi subtropis berdasarkan marka SSR / P. Lestari, R.E. Putri, I. Rineksane et al. // *Vegetalika*. 2021. Vol. 10, N 1. P. 1–17. <https://doi.org/10.22146/veg.58418>.
9. Genetic mapping and variability of seven soybean simple sequence repeat loci / M. Morgante, A. Rafalski, P. Biddle et al. // *Genome*. 1994. Vol. 37, N 5. P. 763–769. <https://doi.org/10.1139/g94-109>.
10. ДНК-фингерпринтинг сортов сои Казахстана с использованием SSR маркеров / С.И. Аbugалиева, Л.А. Волкова, А.А. Нурланова и др. // *Биотехнология. Теория и практика*. 2013. № 3. С. 26–34. DOI: 10.11134/btp.3.2013.4.
11. SSR analysis of 38 genotypes of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genetic diversity in India / A. Bisen, D. Khare, P. Nair et al. // *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2015. Vol. 21 (1). P. 109–115. DOI: 10.1007/s12298-014-0269-8.
12. Kujane K., Sedibe M.M., Mofokeng A. Genetic diversity analysis of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes making use of SSR markers // *Australian Journal of Crop Science*. 2019. Vol. 13 (07). P. 1113–1119. <https://doi.org/10.21475/ajcs.19.13.07.p1638>.
13. Fine mapping, candidate gene identification and co-segregating marker development for the *Phytophthora* root rot resistance gene *rpsyd25* / C. Zhong, S. Sun, X. Zhang et al. // *Frontiers Genetics*. 2020. Vol. 11, Article 799. P. 1–12. <https://doi.org/10.3389/fgene.2020.00799>.
14. Рамазанова С.А., Коломыцева А.С. Оптимизация технологии генотипирования сои на основе анализа полиморфизма SSR-локусов ДНК // *Масличные культуры*. 2020. № 1 (181). С. 42–48.
15. Гучетль С.З., Фролов С.С., Кузнецова Е.С. Подбор информативных праймеров и оптимальных условий ПЦР для проведения SSR-анализа геномной ДНК сои селекции АОС ВНИИМК // *Масличные культуры*. 2018. № 3 (175). С. 28–33. https://elibrary.ru/download/elibrary_36468543_36074349.pdf.
16. Рамазанова С.А. Идентификация сортов сои (*Glycine max* L.) с использованием микросателлитных локусов ДНК // *Масличные культуры: Науч.-техн. бюл. Всерос. науч.-исслед. ин-та масличных культур*. 2016. № 2 (166). С. 63–67.
17. Сиволап Ю.М., Солоденко А.Е., Бурлов В.В. RAPD-анализ молекулярно-генетического полиморфизма подсолнечника (*Helianthus annuus*) // *Генетика*. 1998. Т. 34. № 2. С. 266–271.

18. Внутрисортовой полиморфизм сортов сои селекции ВНИИМК / С.А. Рамазанова, С.З. Гучетль, Т.А. Челюстникова и др. // Масличные культуры: Науч.-техн. бюл. ВНИИМК. 2009. № 2 (141). С. 96–98.

REFERENCES

1. Soya v Rossii i mire: proizvodstvo vnutrenneye potrebleniye i vneshnetorgovyi oborot. – <https://vostokgosplan.ru/wp-content/uploads/2021/11/>(accessed: 01/17/2022).
2. Fokina E.M., Titov S.A. Novye sorta soi amurskoy seleksii = [New varieties of soybeans of the amur selection]. *Vestnik of the FEB RUS*. 2021;3(217):85-91. (In Russ.).
3. Chesnokov Yu.V. Kosolapov V.M. Geneticheskie resursy rastenii i uskorenie selektsionnogo protsesa = [Plant Genetic Resources and Acceleration of the Breeding Process]. M.: Ugreshskaya tipografiya; 2016.172 p. (In Russ.)
4. Tiwari S., Tripathi N., Tsuji K., Tantwai K. Genetic diversity and population structure of Indian soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) as revealed by microsatellite markers. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2019;25:953-964.
5. Savichenko V.G., Ramazanova S.A. Identifikatsiya sortov soi seleksii VNIIMK metodom mikro-satellitnogo analiza = [The identification of soybean varieties of the breeding of V.S. Pustovoit all-russian research institute of oil crops by microsatellite analysis]. In: *Aktual'nye voprosy biologii, seleksii, tekhnologii vozdeyvaniya i pererabotki sel'skokhozyajstvennykh kul'tur: Sbornik materialov 11-i Vserossiiskoi konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, Krasnodar, 25–26 fevralya 2021 goda. Krasnodar: Federal'nyi nauchnyi centr «Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut maslichnykh kul'tur imeni V.S. Pustovoita»*; 2021. P. 97-101. (In Russ.).
6. Mimura M., Coyne C.J., Bambuck M.W., Lumpkin T.A. SSR diversity of vegetable soybean (*Glycine max* (L.) Merr.). *Genetic Resources and Crop Evolution*. 2006;54:497-508.
7. Kumar S.P.J., Susmita C., Sripathy K.V. et al. Molecular characterization and genetic diversity studies of Indian soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) cultivars using SSR markers. *Molecular Biology Reports*. 2022;49:2129-2140.
8. Lestari P., Putri R.E., Rineksane I. et al. Keragaman genetik 27 aksesi kedelai (*Glycine max* (L.) Merr.) introduksii subtropis berdasarkan marka SSR. *Vegetalika*. 2021;10(1):1-17. <https://doi.org/10.22146/veg.58418>.
9. Morgante M., Rafalski A., Biddle P., Tingey S., Olivieri A.M.. Genetic mapping and variability of seven soybean simple sequence repeat loci. *Genome*. 1994;37(5):763-769.
10. Abugalieva S.I., Volkova L.A., Nurlanova A.A., Zhanpeisova A.S. DNK-fingerprinting sortov soi Kazakhstana s ispol'zovaniem SSR markerov = [DNA-fingerprinting of soybean varieties in Kazakhstan using SSR-markers]. *Biotechnology theory and practice*. 2013;3:26-34 (In Russ.).
11. Bisen A., Khare D., Nair P., Tripathi N. SSR analysis of 38 genotypes of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genetic diversity in India. *Physiol. Mol. Biol. Plants*. 2015;21(1):109-115. <https://doi.org/10.1007/s12298-014-0269-8>.
12. Kujane K., Sedibe M.M., Mofokeng A. Genetic diversity analysis of soybean (*Glycine max* (L.) Merr.) genotypes making use of SSR markers. *Australian Journal of Crop Science*. 2019;13(07):1113-1119.
13. Zhong C., Sun S., Zhang X. et. al. Fine mapping, candidate gene identification and co-segregating marker development for the *Phytophthora* root rot resistance gene *rpsyd25*. *Frontiers Genetics*. 2020;11(799):1-12.
14. Ramazanova S.A., Kolomytseva A.S. Optimizatsiya tekhnologii genotipirovaniya soi na osnove analiza polimorfizma SSR-lokusov DNK = [Optimization of soybean genotyping process using analysis of a polymorphism of SSR-loci in DNA]. *Maslichnye kul'tury*. 2020;1(181):42-48. (In Russ.)
15. Guchetl' S.Z., Frolov S.S., Kuznetsova E.S. Podbor informativnykh praimerov i optimal'nykh uslovii PCR dlya provedeniya SSR-analiza genomnoi DNK soi seleksii AOS VNIIMK = [A selection of informative markers and optimal conditions of PCR for SSR-analysis of a genomic DNA of soybean developed at the Armavirskaya experimental station]. *Maslichnye kul'tury*. 2018; 3(175):28-33. (In Russ.)

16. Ramazanova S.A. Identifikatsiya sortov soi (*Glycine max* L.) s ispol'zovaniem mikrosatellitnykh lokusov DNK = [Identification of soybean (*Glycine max* L.) cultivars using microsatellite DNA loci]. *Maslichnye kul'tury*. 2016;2(166):63-67. (In Russ.)
17. Sivolap Yu.M., Solodenko A.E., Burlov V.V. RAPD-analiz molekulyarno-geneticheskogo polimorfizma podsolnechnika (*Helianthus annuus*) = [RAPD analysis of sunflower (*Helianthus annuus*) molecular genetic polymorphism]. *Genetika*. 1998;34(2):266-271. (In Russ.)
18. Ramazanova S.A., Guchetl S.Z., Chelyustnikova T.A., Antonova TS., Moshnenko E.V. Vnutrisortovoi polimorfizm sortov soi selektsii VNIIMK = [Invarietal polymorphism of soybean cultivars of VNIIMK breeding]. *Maslichnye kul'tury*. 2009;2(141):96-98. (In Russ.)

Научная статья

УДК 541.49:546.831.4'161

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_4

Структурная деполимеризация комплексных фторидов циркония(IV)

Р.Л. Давидович

Рувен Лейзерович Давидович

доктор химических наук, профессор

Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия

davidovich@ich.dvo.ru, ruven.davidovich@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-8473-3580>

Аннотация. Рассмотрена предложенная автором концепция структурной деполимеризации фторидных соединений металлов, являющейся основой образования комплексных фторидов металлов и формирования их кристаллических структур. Обсуждаются характер структурной деполимеризации комплексных фторидов циркония с катионами K^+ , гуанидиния и этилендиаммония, влияние кислотности среды и термической обработки на процесс полимеризации комплексных фторидов циркония с дискретными комплексными анионами и применение предложенной концепции для систематики кристаллических структур фторидоцирконатов(IV).

Ключевые слова: цирконий(IV), фторид, гуанидиний, этилендиаммоний, комплексное соединение, структура, концепция, деполимеризация

Для цитирования: Давидович Р.Л. Структурная деполимеризация комплексных фторидов циркония(IV) // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 49–62. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_4.

Original article

Structural depolymerization of zirconium(IV) fluoride complexes

R.L. Davidovich

Ruven L. Davidovich

Doctor of Science (Chemistry), Professor

Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, Russia

davidovich@ich.dvo.ru, ruven.davidovich@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-8473-3580>

© Давидович Р.Л., 2022

Abstract. Suggested by the author the concept of structural depolymerization of metal fluoride compounds, which is a basis for the formation of metal fluoride complexes and their crystal structures, was considered. The character of the structural depolymerization of fluoride zirconium complexes with K^+ , guanidinium and ethylenediammonium cations, the influence of the medium acidity and heat treatment on the polymerization of zirconium fluoride complexes with discrete complex anions and the use of the proposed concept for the systematics of the crystal structures of fluoridozirconates(IV) are being discussed.

Keywords: zirconium(IV), fluoride, guanidinium, ethylenediammonium, complex, structure, concept, depolymerization

For citation: Davidovich R.L. Structural depolymerization of zirconium(IV) fluoride complexes. *Vestnik of the FEBRAS*. 2022;(2):49–62. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_4.

Введение

Неорганические фториды, в том числе и комплексные фториды металлов, играющие важную роль в современной технике и технологии, представляют собой обширный класс неорганических соединений. На основании выполненных систематических фундаментальных исследований по химии и строению комплексных фторидов металлов III–V групп Периодической системы установлена связь между условием их образования, составом и строением, обоснована и сформулирована концепция структурной деполимеризации фторидных соединений металлов, являющейся основой образования комплексных фторидов металлов и формирования их кристаллических структур [1].

Многие переходные металлы по отношению к фтору как лиганду имеют большие координационные числа (КЧ) (6–9). При образовании так называемых простых фторидов металлов в кристаллическом состоянии, когда количество атомов F недостаточно для насыщения координационной емкости металла монодентатными связями, формируются полимерные образования с фторидными мостиковыми связями. При действии на фтористое соединение металла, содержащее мостиковые связи A–F–A, фторид-ионами, обладающими большим сродством к металлу A, чем мостиковые атомы фтора, мостиковые связи в этих соединениях разрываются и полимерные образования последовательно деполимеризуются. Таким образом, образование комплексных фторидов металлов при взаимодействии F⁻-ионов и AF_n или F⁻-ионов и M_nAF_m в зависимости от мольного отношения реагирующих компонентов можно представить как процесс последовательной трансформации фторидного соединения под действием фторид-ионов. Предложенная концепция обоснована на основании анализа кристаллических структур полных рядов комплексных фторидов циркония и гафния [2, 3] с одинаковыми внешне-сферными катионами.

За степень полимеризации кристаллической структуры (ε) условно принято отношение числа мостиковых атомов фтора (лиганда) к числу концевых атомов фтора (лиганда) в структурном фрагменте комплексного соединения. Например, для соединения $\alpha\text{-ZrF}_4$, в котором каждый атом Zr окружен 8 атомами F (структурный фрагмент $ZrF_{0/1}F_{8/2}$) и все атомы фтора являются мостиковыми, степень полимеризации структуры $\varepsilon = F_m : F_k = 8 : 0 = \infty$. Для Rb_2ZrF_6 или K_3ZrF_7 со структурными фрагментами соответственно $ZrF_{6/1}F_{0/2}$ и $ZrF_{7/1}F_{0/2}$, в которых мостиковые атомы F отсутствуют, $\varepsilon = 0$. Структуры комплексных фторидов, в которых структурные

фрагменты содержат как концевые, так и мостиковые атомы фтора (лиганда), характеризуются величиной степени полимеризации, лежащей в интервале $0 \leq \varepsilon \leq \infty$.

В наиболее чистом виде процесс деполимеризации фторидных соединений металлов протекает в расплаве, где взаимодействие между F^- -ионами и AF_n не осложнено присутствием растворителя. Из расплава получены многие ряды фторидоцирконатов, в том числе фторидоцирконаты калия и бария, и фторидогафнатов. Большинство комплексных фторидов циркония и гафния синтезировано в водном растворе. Молекулы H_2O в определенных условиях, когда количество атомов фтора недостаточно для насыщения координационной емкости циркония, могут вступать во взаимодействие с центральным атомом, образуя с ним координационную связь.

Структурная деполимеризация комплексных фторидов циркония детально рассмотрена в серийном сборнике научных трудов «Проблемы кристаллохимии 1990» [4] и в монографии [5].

В 2001 г. опубликована работа [6], в которой содержатся положения, сходные с положениями концепции структурной деполимеризации. Авторами предложен практический формализм, позволяющий манипулировать с кристаллическими структурами твердых тел, названный «dimensional reduction» – «уменьшение размерности». Как и в концепции структурной деполимеризации, в предложенном практическом формализме «уменьшение размерности» используется каркасное соединение MX_x , названное родительским, которое реакцией с ионным реагентом A_aX превращается в соединение $A_{na}MX_{x+n}$, названное детским. Добавленные ионные реагенты разрушают мостиковые связи $M-X-M$, образуя менее связанный каркас, сохраняющий, по мнению авторов [6], координационную геометрию металла и характер связей полиэдров такими, как в оригинальной родительской структуре.

В работе [6] приведены многочисленные примеры трансформации кристаллической структуры для различных классов соединений. Пути превращения кристаллических структур рассмотрены формально, механизм, обуславливающий эти превращения, не рассматривается и не обсуждается. Приведенные в работе [6] положения не могут служить для целенаправленного синтеза новых соединений с заданной структурой. Предложенная концепция структурной деполимеризации фторидов металлов [1] имеет существенное преимущество перед работой [6]. Она не только позволяет проследить за структурными изменениями в данном ряду комплексных соединений с одним и тем же внешнесферным катионом, но и указывает на механизм этих превращений, что является основой для целенаправленного синтеза новых соединений с заданной кристаллической структурой.

Результаты исследования структурной деполимеризации комплексных фторидов циркония опубликованы в малодоступных изданиях, поэтому автор посчитал целесообразным основные результаты этих исследований, которые переработаны и дополнены, представить в виде журнальной статьи.

Структурная деполимеризация фторидоцирконатов(IV)

Структурная деполимеризация фторидоцирконатов(IV) калия

Фторидоцирконаты калия сравнительно хорошо изучены как методами химического, так и рентгеноструктурного анализов. В системе $KF-ZrF_4$ [7] установлено

образование соединений K_3ZrF_7 , K_2ZrF_6 , $K_3Zr_2F_{11}$, $KZrF_5$ и KZr_2F_9 . К моменту опубликования работы [4] были известны кристаллические структуры K_2ZrF_6 и K_3ZrF_7 [2].

Соединение K_2ZrF_6 [2] кристаллизуется в моноклинной сингонии, пр. гр. $C2/c$. Каждый атом циркония в структуре окружен восемью атомами F, четыре из которых являются мостиковыми. Координационный полиэдр имеет форму додекаэдра. Объединяясь общими ребрами F–F, полиэдры ZrF_8 образуют бесконечные цепи $[AF_6]_n^{2-}$ (рис. 1, а).

Кристаллическая структура K_3ZrF_7 [2] идентична $(NH_4)_3ZrF_7$ [2]. Кубические кристаллы K_3ZrF_7 относятся к пространственной группе $Fm\bar{3}m$. В структуре K_3ZrF_7 содержатся изолированные искаженные комплексные анионы $[ZrF_7]^{3-}$ в форме пентагональной бипирамиды (рис. 1, б).

Исходя из предложенной концепции структурной деполимеризации фторидных соединений металлов, следовало ожидать, что по сравнению со структурой K_2ZrF_6 кристаллическая структура $KZrF_5$ должна быть более полимеризована и содержать группы ZrF_8 , связанные фторидными мостиковыми связями. Результаты определения кристаллической структуры $KZrF_5$ [8] подтвердили сделанные предположения.

Атомы Zr в структуре $KZrF_5$ (рис. 1, в) имеют восьмерную координацию и образуют полиэдры ZrF_8 в форме додекаэдра. Два ребра каждого додекаэдра в структуре делятся с двумя соседними полиэдрами, и две вершины полиэдра делятся с двумя другими додекаэдрами, что приводит к образованию бесконечных слоев. Таким образом, в каждой группе ZrF_8 кристаллической структуры $KZrF_5$ на 6 мостиковых атомов F в полиэдре приходится 2 концевых атома F и, следовательно, степень полимеризации структуры $\varepsilon = 3$ (табл. 1).

Таблица 1

Структурная деполимеризация фторидоцирконатов(IV) калия

MF : ZrF ₄ в системе	Соединение	КЧ Zr	Структурный фрагмент	ε	Состав, строение комплексного аниона	Ассоциация*	Источник
0 : 1	α -ZrF ₄	8	ZrF ₀₁ F ₈₂	∞	[ZrF _{4n}] _n , каркас	8В	[9]
1 : 1	KZrF ₅	8	ZrF ₂₁ F ₆₂	3	[ZrF _{5n}] _n ⁻ , слой	3Р	[8]
2 : 1	K ₂ ZrF ₆	8	ZrF ₄₁ F ₄₂	1	[ZrF _{6n}] _n ²⁻ , цепь	2Р	[2]
3 : 1	K ₃ ZrF ₇	7	ZrF ₇₁ F ₀₂	0	[ZrF ₇] _n ³⁻ , мономер	–	[2]

* В – вершина, Р – ребро.

К настоящему времени кристаллические структуры комплексных фторидов $K_3Zr_2F_{11}$ и KZr_2F_9 , образующихся в системе KF–ZrF₄, не исследованы. Исходя из анализа описанных выше кристаллических структур фторидоцирконатов калия и положений концепции структурной деполимеризации фторидов металлов, можно полагать, что соединение $K_3Zr_2F_{11}$ должно иметь слоистую полимерную структуру, образованную из групп ZrF_8 , соединенных друг с другом пятью мостиковыми атомами F. Соединение KZr_2F_9 должно быть построено из полиэдров ZrF_8 с семью мостиковыми и одним концевым атомами F.

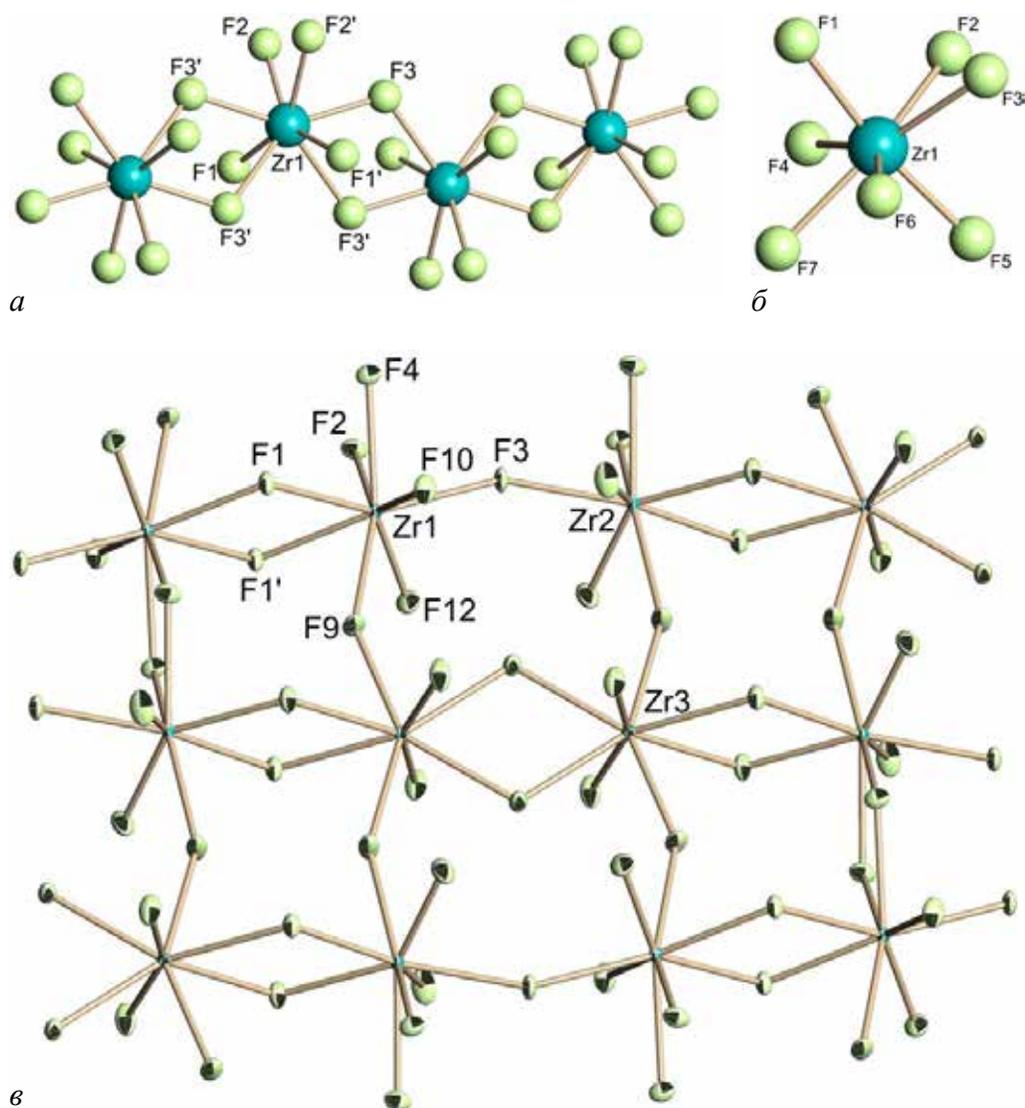


Рис. 1. Фрагменты кристаллических структур фторидоцирконатов(IV) калия: K_2ZrF_6 (а), K_3ZrF_7 (б), $KZrF_5$ (в)

Структурная деполимеризация фторидоцирконатов(IV) гуанидиния и этилендиаммония

Для комплексных фторидов циркония и гафния, получаемых из раствора фтористоводородной кислоты, в том числе гидротермальным методом, наблюдается та же тенденция последовательной деполимеризации соединения по мере увеличения мольного отношения реагирующих компонентов в системе. Из водного раствора фтористоводородной кислоты получено несколько типов комплексных фторидов циркония с протонированными катионами органических оснований.

В гибридных органических-неорганических комплексных фторидах циркония выявлена та же тенденция последовательной трансформации

комплексного соединения при переходе от пента- к гекса- и от гекса- к гептафторидоцирконатам(IV).

В работах [10, 11] описаны синтез и исследование фторидоцирконатов гуанидиния и этилендиаммония, относящихся к пентафторидо-, гексафторидо- и гептафторидокомплексам. Были определены кристаллические структуры гексафторидоцирконата гуанидиния, $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2\text{ZrF}_6$, и гексафторидоцирконата этилендиаммония, $(\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_{10})\text{ZrF}_6$ [2], имеющих одинаковую кристаллическую структуру, построенную из островных димерных комплексных анионов $[\text{Zr}_2\text{F}_{12}]^{4-}$, катионов CN_3H_6^+ и, соответственно, $\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_{10}^{2+}$. Димерные комплексы $[\text{Zr}_2\text{F}_{12}]^{4-}$ составлены из двух пентагональных бипирамид, соединенных общим ребром F–F (рис. 2, б, 3, в). В полиэдрах атомов циркония, образующих димерные комплексы, на пять концевых атомов F приходится два мостиковых атома фтора, степень полимеризации этих кристаллических структур равна 0,4. Образование гептафторидоцирконатов $(\text{CN}_3\text{H}_6)_3\text{ZrF}_7$ и $(\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_{10})_3(\text{ZrF}_7)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, обусловленное увеличением содержания фторид-ионов в растворе (табл. 2, 3), сопровождается разрывом общего ребра в димерных комплексных анионах, и структуры с димерными комплексами превращаются в структуры с островными мономерными комплексными анионами $[\text{ZrF}_7]^{3-}$ ($\varepsilon = 0$) (рис. 2, в, 3, в).

Таблица 2

Структурные превращения фторидоцирконатов(IV) гуанидиния

Отношение $\text{GuF} : \text{ZrF}_4$ в системе	Соединение	КЧ Zr	Структурный фрагмент	ε	Состав и строение комплексного аниона	Ассо- циация	Источ- ник
0 : 1	$\alpha\text{-ZrF}_4$	8	$\text{ZrF}_{0/1}\text{F}_{8/2}$	∞	$[\text{ZrF}_4]_n$, каркас	8В	[9]
0,5 : 1	$(\text{CN}_3\text{H}_6)_5(\text{H}_3\text{O})(\text{ZrF}_5)_6$	8	$\text{ZrF}_{2/1}\text{F}_{6/2}$	3	$[\text{Zr}_6\text{F}_{30}]_n^{6-}$, каркас	3Р	[12]
2 : 1	$(\text{CN}_3\text{H}_6)_2\text{ZrF}_6$	7	$\text{ZrF}_{5/1}\text{F}_{2/2}$	0,4	$[\text{Zr}_2\text{F}_{12}]^{4-}$, димер	Р	[2]
> 4 : 1	$(\text{CN}_3\text{H}_6)_3\text{ZrF}_7$	7	$\text{ZrF}_{7/1}\text{F}_{0/2}$	0	$[\text{ZrF}_7]^{3-}$, мономер	–	[2]

С целью дальнейшего обоснования предложенной концепции структурной деполимеризации на примере структурного ряда фторидоцирконатов гуанидиния разработан метод получения пентафторидоцирконата гуанидиния в виде монокристаллов, пригодных для рентгеноструктурных исследований, и определена его кристаллическая структура [12].

Кристаллическая структура пентафторидоцирконата гуанидиния-гидроксония $(\text{CN}_3\text{H}_6)_5(\text{H}_3\text{O})(\text{ZrF}_5)_6$ (рис. 2, а) представляет собой трехмерный каркас $[\text{Zr}_6\text{F}_{30}]_n^{6-}$, в пустотах которого расположены катионы CN_3H_6^+ и H_3O^+ . Каждый комплекс $[\text{Zr}_6\text{F}_{30}]^{6-}$ составлен из шести ZrF_8 групп. Шесть (по два) из восьми координированных атомом Zr атомов F обобществлены с тремя соседними атомами циркония. Два атома F в каждой группе (полиэдре) являются концевыми. Степень полимеризации структуры $(\text{CN}_3\text{H}_6)_5(\text{H}_3\text{O})(\text{ZrF}_5)_6$, $\varepsilon = 3$.

В процессе структурной трансформации в ряду фторидоцирконатов гуанидиния под действием F⁻-ионов имеет место превращение каркасной структуры $\alpha\text{-ZrF}_4$ (КЧ 8) со структурными фрагментами $\text{ZrF}_{0/1}\text{F}_{8/2}$ ($\varepsilon = \infty$) в каркасную структуру $(\text{CN}_3\text{H}_6)_5(\text{H}_3\text{O})(\text{ZrF}_5)_6$ (КЧ 8) со структурными фрагментами $\text{ZrF}_{2/1}\text{F}_{6/2}$ ($\varepsilon = 3$) и далее в структуру $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2\text{ZrF}_6$ (КЧ 7) с димерными комплексными анионами $[\text{Zr}_2\text{F}_{12}]^{4-}$, составленными из групп $\text{ZrF}_{5/1}\text{F}_{2/2}$ ($\varepsilon = 0,4$) с общим ребром F–F. Деполимеризация $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2\text{ZrF}_6$ сопровождается разрывом общего ребра в димере, и

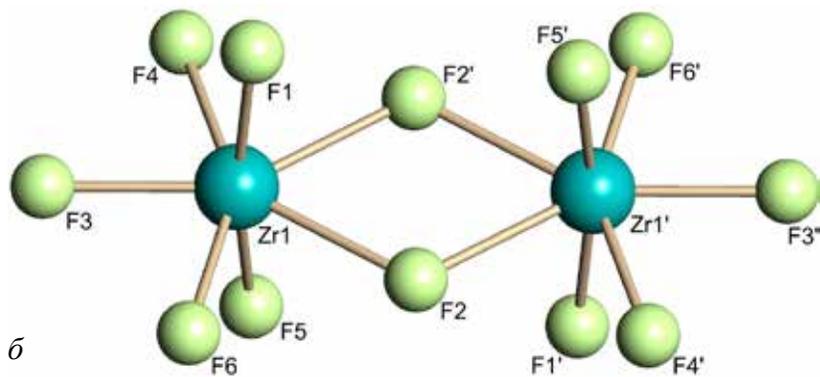
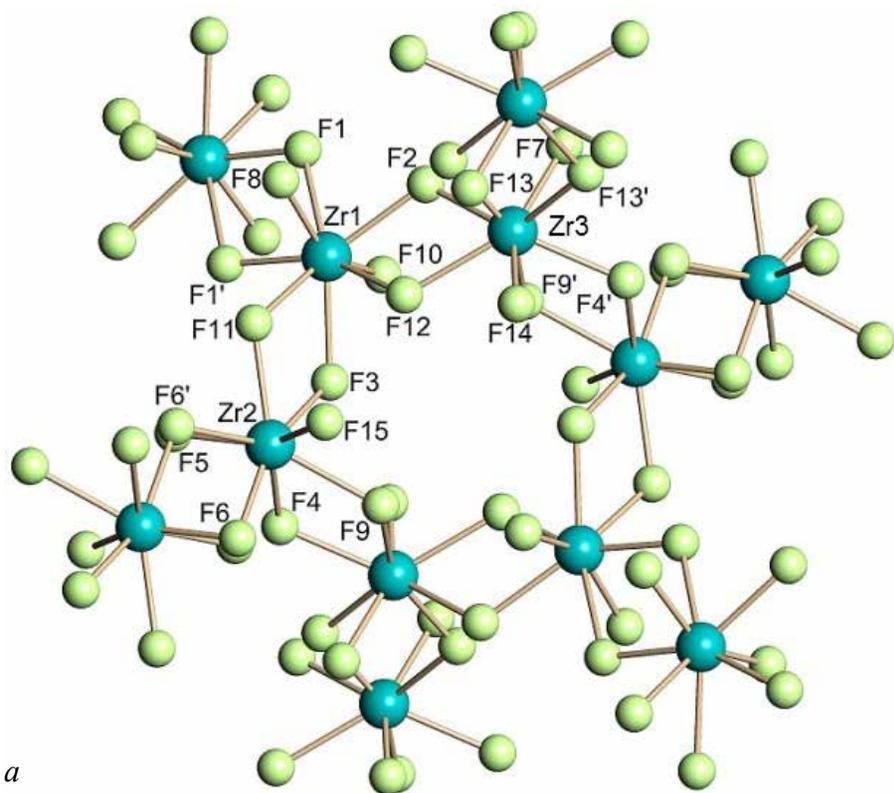
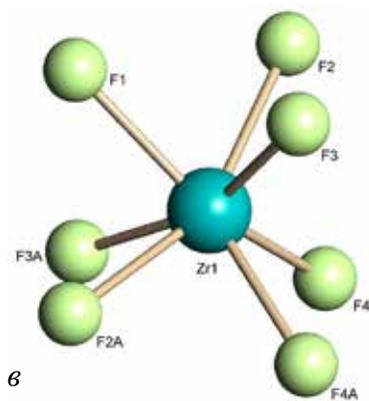
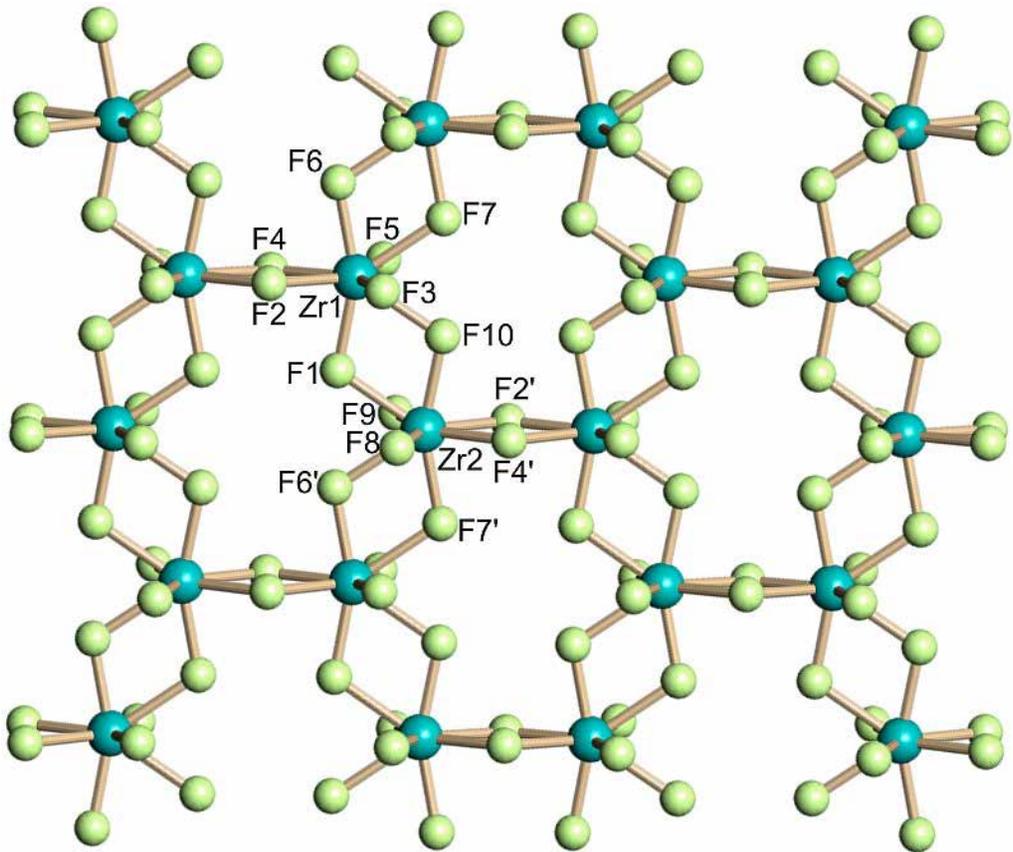
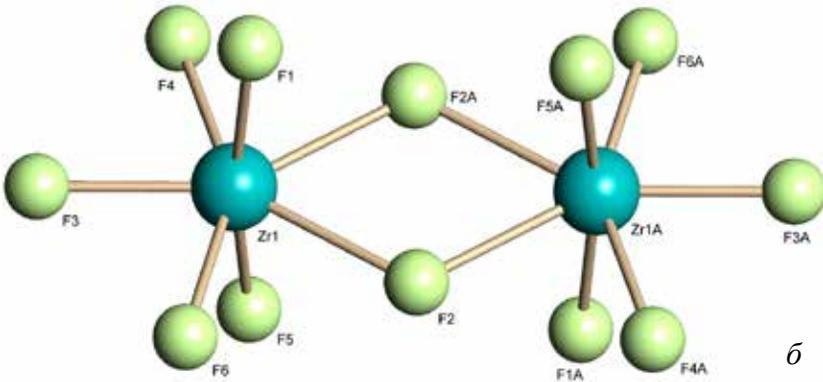


Рис. 2. Фрагменты кристаллических структур фторидоцирконатов(IV) гуанидиния: $(\text{CN}_3\text{H}_6)_3(\text{H}_3\text{O})(\text{ZrF}_3)_6$ (*a*), $(\text{CN}_3\text{H}_6)_2\text{ZrF}_6$ (*б*), $(\text{CN}_3\text{H}_6)_3\text{ZrF}_7$ (*в*)

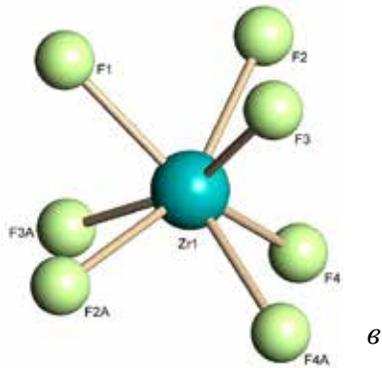




a



б



в

Рис. 3. Фрагменты кристаллических структур фторидоцирконатов(IV) этилендиаммония: $(C_2N_2H_{10})(ZrF_5)_2 \cdot H_2O$ (*a*), $(C_2N_2H_{10})ZrF_6$ (*б*), $(C_2N_2H_{10})_3(ZrF_7)_2 \cdot 2H_2O$ (*в*)

комплексные анионы $[\text{Zr}_2\text{F}_{12}]^{4-}$ превращаются в мономерные комплексные анионы $[\text{ZrF}_7]^{3-}$ ($\varepsilon = 0$), составляющие основу кристаллической структуры $(\text{CN}_2\text{H}_{10})_3\text{ZrF}_7$ [2] (КЧ 7) (рис. 2, в).

Кристаллическая структура $(\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_{10})(\text{ZrF}_5)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ [13] образована из полимерных анионных слоев $[\text{Zr}_2\text{F}_{10}]_n^{2-}$, между которыми расположены катионы $\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_{10}^{2+}$ и кристаллизационные молекулы H_2O . В полимерном слое додекаэдрические группы ZrF_8 делят три общих ребра с соседними полиэдрами. На каждый атом Zr в структуре приходится по 6 мостиковых и по два концевых атома F ($\varepsilon = 3$). Характер структурного превращения фторидоцирконатов этилендиаммония в целом аналогичен структурному превращению фторидоцирконатов гуанидиния (табл. 3).

Таблица 3

Структурная трансформация фторидоцирконатов(IV) этилендиаммония

Отношение $\text{EnF}_2 : \text{ZrF}_4$ в системе	Соединение	КЧ Zr	Структурный фрагмент	ε	Состав и строение комплексного аниона	Ассоциация	Источник
0 : 1	$\alpha\text{-ZrF}_4$	8	$\text{ZrF}_{0/1}\text{F}_{8/2}$	∞	$[\text{ZrF}_4]_n$, каркас	8В	[9]
0,5 : 1	$(\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_{10})(\text{ZrF}_5)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	8	$\text{ZrF}_{2/1}\text{F}_{6/2}$	3	$[\text{Zr}_2\text{F}_{10}]_n^{2-}$, слой	3Р	[13]
2–4 : 1	$(\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_{10})\text{ZrF}_6$	7	$\text{ZrF}_{5/1}\text{F}_{2/2}$	0,4	$[\text{Zr}_2\text{F}_{12}]^{4+}$, димер	Р	[2]
> 20 : 1	$(\text{C}_2\text{N}_2\text{H}_{10})_3(\text{ZrF}_7)_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	7	$\text{ZrF}_{7/1}\text{F}_{0/2}$	0	$[\text{ZrF}_7]^{3-}$, мономер	–	[2]

Важным следствием, вытекающим из предложенного деполимеризационного механизма образования комплексных фторидов переходных металлов, является характер поведения координационного числа центрального атома в процессе структурной деполимеризации. Анализ литературных данных и исследованных кристаллических структур комплексных фторидов циркония показывает, что в процессе структурной деполимеризации координационное число циркония остается неизменным или же уменьшается. Ни в одной из известных структур фторидоцирконатов не наблюдается увеличение координационного числа центрального атома при переходе от более полимеризованного продукта к менее полимеризованному. В ряду комплексных фторидов циркония увеличение координационного числа комплексообразователя имеет место только в случае перехода из одного типа островных структур, например гексафторидоцирконатов с дискретными октаэдрическими комплексными анионами, в другой тип островных структур, также содержащих дискретные комплексные анионы, например гепта- или октафторидокомплексы.

Влияние кислотности среды и термической обработки на процесс полимеризации комплексных фторидов циркония

В отличие от фторид-ионов, оказывающих деполимеризующее действие на фтористые соединения переходных металлов, кислотность раствора влияет противоположно, приводя к образованию более полимеризованных продуктов. Нами предложен метод получения комплексных фторидов полимерного строения, основанный на действии минеральных кислот на фтористые соединения металлов с дискретными комплексными анионами [14].

Увеличение степени полимеризации имеет место также во фтористых соединениях металлов, которые в процессе нагревания претерпевают полиморфные превращения или же переходят в соединения иного состава. Влияние полиморфных превращений на степень полимеризации структуры рассмотрено на примере фторидоцирконатов бария (табл. 4). Низкотемпературная модификация α -BaZrF₆ имеет димерную структуру, которая образована из изолированных комплексных анионов [Zr₂F₁₂]⁴⁻, представляющих собой две одношапочные тригональные призмы, соединенные общим ребром F–F, и катионов Ba²⁺ [15]. Из семи атомов фтора, входящих в координационный полиэдр циркония, два атома фтора являются мостиковыми, а пять атомов фтора – концевыми ($\epsilon = 0,4$). Переход в высокотемпературную модификацию β -BaZrF₆ (544 °С) сопровождается значительным изменением структуры. Кристаллическая структура β -BaZrF₆ [16] содержит бесконечные цепи [ZrF₆]_n²⁻ из реберносвязанных групп ZrF₈, каждая из которых содержит четыре мостиковых и четыре концевых атома фтора ($\epsilon = 1$). Таким образом, при преобразовании низкотемпературной модификации α -BaZrF₆ в высокотемпературную модификацию β -BaZrF₆ возрастает координационное число циркония с 7 до 8 и увеличивается степень полимеризации структуры. При этом структура с димерными комплексными анионами переходит в структуру с бесконечными полимерными цепями.

Таблица 4

Структурная полимеризация фторидных комплексных соединений циркония(IV)

T, °C	Соединение	КЧ Zr	Структурный фрагмент	ϵ	Состав, строение комплексного аниона	Ассо- циация	Источник
25	α -BaZrF ₆	7	ZrF _{5/1} F _{2/2}	0,4	[Zr ₂ F ₁₂] ⁴⁻ , димер	P	[15]
544	β -BaZrF ₆	8	ZrF _{4/1} F _{4/2}	1	[ZrF ₆] _n ²⁻ , цепь	2P	[16]
22	ZrF ₄ ·3H ₂ O	8	ZrF _{3/1} O _{3/1} F _{2/2}	0,33	[Zr ₂ F ₈ (H ₂ O) ₆], димер	P	[17]
24	(H ₃ O) ₂ ZrF ₆	8	ZrF _{4/1} F _{4/2}	1	[ZrF ₆] _n ²⁻ , цепь	2P	[18]
140–160	ZrF ₄ ·H ₂ O	8	ZrF _{2/1} O _{2/2} F _{4/2}	3	[ZrF ₄ (H ₂ O)] _n , каркас	6B	[19]
340–360	α -ZrF ₄	8	ZrF _{0/1} F _{8/2}	∞	[ZrF ₄] _n , каркас	8B	[9]

Структурные превращения, сопровождающиеся увеличением степени полимеризации кристаллической структуры, имеют место при ступенчатой дегидратации ZrF₄·3H₂O или при термическом разложении (H₃O)₂ZrF₆. В обоих случаях в качестве промежуточных и конечных продуктов образуются одни и те же соединения ZrF₄·H₂O и α -ZrF₄ (табл. 4).

Соединение ZrF₄·3H₂O при 140–160 °С отщепляет две молекулы H₂O и превращается в ZrF₄·H₂O. Образование безводного тетрафторида циркония в результате дегидратации ZrF₄·H₂O имеет место при 340–360 °С. Термическое разложение (H₃O)₂ZrF₆ протекает примерно при тех же температурах, что и дегидратация ZrF₄·3H₂O.

Кристаллическая структура ZrF₄·3H₂O [17] образована из димерных комплексов [Zr₂F₈(H₂O)₆], объединенных водородными связями в трехмерный каркас. Каждый комплекс составлен из двух групп ZrF₅(H₂O)₃, соединенных общим ребром F–F. В полиэдре атома циркония на два мостиковых атома F приходится три концевых атома F и три концевые молекулы H₂O ($\epsilon = 0,33$).

Кристаллическая структура (H₃O)₂ZrF₆ [18] образована из бесконечных цепей [ZrF₆]_n²⁻, направленных параллельно друг другу вдоль координатной оси x, и катионов H₃O⁺, расположенных между цепями. Общими ребрами F(2)–F(2) полиэдры ZrF₈ объединяются в цепи ($\epsilon = 1$).

Образование $ZrF_4 \cdot H_2O$ в результате дегидратации $ZrF_4 \cdot 3H_2O$ или термического разложения $(H_3O)_2ZrF_6$ сопровождается повышением степени полимеризации структуры, представляющей собой трехмерный каркас. Кристаллическая структура $ZrF_4 \cdot H_2O$ образована из додекаэдрических групп $ZrF_6(H_2O)_2$, которые шестью вершинами соединяются с шестью соседними такими же группами [19]. В каждом полиэдре $ZrF_6(H_2O)_2$ содержится четыре мостиковых, два концевых атома фтора и две мостиковые молекулы H_2O . Следовательно, для структуры $ZrF_4 \cdot H_2O$ $\epsilon = 3$. Безводный α - ZrF_4 также имеет каркасную структуру. Однако, в отличие от структуры $ZrF_4 \cdot H_2O$, структура α - ZrF_4 [9], в которой все атомы фтора являются мостиковыми, значительно более полимеризована ($\epsilon = \infty$). Таким образом, в результате дегидратации $ZrF_4 \cdot 3H_2O$ или термического разложения $(H_3O)_2ZrF_6$ димерная ($ZrF_4 \cdot 3H_2O$) или цепочная ($(H_3O)_2ZrF_6$) структуры превращаются в каркасную – $ZrF_4 \cdot H_2O$, которая при дальнейшей дегидратации переходит также в каркасную структуру α - ZrF_4 , но более полимеризованную.

Для целенаправленного синтеза комплексных фторидов циркония необходимо учитывать, как деполимеризующее действие фторид-ионов, так и кислотность раствора или термическую обработку вещества, вызывающие противоположный эффект.

Структурная деполимеризация – основа систематики кристаллических структур комплексных фторидов металлов

Проведенная систематизация кристаллических структур фторидоцирконатов, основанная на составе соединения (отношение лиганд : цирконий), не позволила вскрыть закономерностей образования данного класса веществ и предсказать характер кристаллической структуры неисследованных фторидокомплексов. Установленная закономерность образования комплексных фторидов переходных металлов и формирования их кристаллических структур путем последовательной деполимеризации фторидного соединения под действием фторид-ионов позволяет подойти к проблеме систематики кристаллических структур на основе концепции структурной деполимеризации фторидных соединений металлов, отражающей генетическую связь данного класса соединений.

Структурные фрагменты деполимеризации, являющиеся основой формирования кристаллических структур фторидоцирконатов, в виде координационных формул представлены в статье [20]. Атомы фтора (лиганда) в них разделены на концевые и мостиковые. Концевые атомы F (Lig), обозначение для которых в координационной формуле следует непосредственно за символом Zr, связаны с одним атомом металла, а мостиковые атомы F объединяют два атома циркония. Соответственно числа 1 и 2 в знаменателе дроби при этих лигандах указывают на количество атомов металла, с которым связан данный тип лиганда, а числитель указывает на количество атомов фтора (лиганда) данного сорта. При этом общее количество атомов F (Lig) (сумма чисел в числителе) равно координационному числу центрального атома. В процессе структурной деполимеризации фторидоцирконатов мостиковые атомы фтора последовательно замещаются на концевые атомы фтора или иного лиганда.

Характерной особенностью рассматриваемых фрагментов структурной деполимеризации является то, что они непосредственно указывают на степень полимеризации кристаллической структуры фторидоцирконата (отношение чисел в

числителе дроби у мостиковых и концевых атомов фтора (лиганда)). В кристаллической структуре фрагменты могут объединяться между собой посредством общих вершин, общих ребер или общих треугольных граней. В зависимости от характера ассоциации структурных фрагментов может реализоваться тот или иной структурный мотив: каркасный, слоистый, цепочный или димерный.

Рассмотренный на примерах кристаллических структур фторидоцирконатов предложенный деполимеризационный механизм образования комплексных фторидов переходных металлов и формирования их кристаллических структур может быть распространен на другие элементы, простые фториды которых в кристаллическом состоянии имеют полимерное строение. Предложенная концепция структурной деполимеризации фторидных соединений металлов успешно была применена к комплексным фторидам уранила [21], а также при анализе образования и строения фториндатовых стекол [22].

Исходя из концепции структурной деполимеризации предложена систематика кристаллических структур фторидоцирконатов [4], отражающая генетическую связь соединений данного класса веществ. Она позволяет осуществлять целенаправленный синтез новых групп комплексных фторидов, выявлять новые структурные мотивы в ряду соединений с одинаковым химическим составом и предсказывать тип кристаллической структуры для структурно не исследованных соединений. Положенные в основу систематики фторидоцирконатов принципы структурной деполимеризации с успехом могут быть использованы для систематики кристаллических структур других классов комплексных фторидов.

За последние годы определены кристаллические структуры большого числа комплексных фторидов циркония и гафния, как в Институте химии ДВО РАН, так и зарубежными авторами, подтвердившие положения предложенной концепции структурной деполимеризации фторидных соединений металлов.

Заключение

Рассмотрена предложенная автором статьи концепция структурной деполимеризации фторидных соединений металлов под действием фторид-ионов, являющейся основой образования комплексных фторидов металлов и формирования их кристаллических структур. Обсуждаются характер структурной деполимеризации комплексных фторидов циркония с катионами K^+ , гуанидиния и этилендиаммония, влияние кислотности среды и термической обработки на процесс полимеризации комплексных фторидов циркония с дискретными комплексными анионами и применение предложенной концепции структурной деполимеризации как основы для систематики кристаллических структур фторидоцирконатов(IV).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Давидович Р.Л. Деполимеризующее действие фторид-ионов на фтористые соединения переходных металлов // Коорд. химия. 1986. Т. 12, № 2. С. 281–282.
2. Давидович Р.Л. Стереохимия комплексных фторидов циркония и гафния // Коорд. химия. 1998. Т. 24, № 11. С. 803–821.
3. Давидович Р.Л. Стереохимия разнолигандных фторсодержащих комплексных соединений циркония и гафния // Коорд. химия. 1999. Т. 25, № 4. С. 243–255.

4. Давидович Р.Л. Структурная деполимеризация и систематика кристаллических структур фторцирконатов // Проблемы кристаллохимии 1990 / отв. ред. М.А. Порай-Кошиц. М.: Наука, 1990. С. 48–81.
5. Давидович Р.Л., Сергиенко В.И. Структурная химия комплексных фторидов титана(IV), циркония(IV) и гафния(IV). Владивосток: Дальнаука, 2016. 176 с.
6. Tulskey E.G., Long J.R. Dimensional reduction: a practical formalism for manipulating solid structures // Chem. Mater. 2001. Vol. 13, N 4. P. 1149–1166. DOI: 10.1021/cm0007858.
7. Коренев Ю.М., Говоров В.В., Косоруков А.А., Рязур Р., Новоселова А.В. О взаимодействии тетрафторидов гафния и циркония с некоторыми фторидами щелочных металлов // Изв. СО АН СССР. Сер. хим. наук. 1968. № 2. С. 10–14.
8. Gaumet V., El-Ghozzi M., Avignat D. Crystal structure of $KZrF_5$ // Eur. J. Solid State Inorg. Chem. 1997. Vol. 34, N 3. P. 283–293.
9. Papiernik R., Mercurio D., Frit B. Structure du tétrafluorure de zirconium, $ZrF_4 \alpha$ // Acta Crystallogr. 1982. Vol. B38, pt 9. P. 2347–2353. DOI: 10.1107/S0567740882008760.
10. Давидович Р.Л., Медков М.А., Ризаева М.Д., Буквецкий Б.В. Фтороцирконаты гуанидиния и аминугуанидиния // Изв. АН СССР. Сер. химическая. 1982. № 7. С. 1447–1452.
11. Медков М.А., Давидович Р.Л., Ризаева М.Д., Кондратюк И.П., Буквецкий Б.В. Фтороцирконаты этилендиаммония // Изв. АН СССР. Сер. химическая. 1980. № 8. С. 1703–1708.
12. Герасименко А.В., Буквецкий Б.В., Логвинова В.Б., Давидович Р.Л. Кристаллическая структура пентафтороцирконата гуанидиния-гидроксония // Коорд. химия. 1996. Т. 22, № 8. С. 584–590.
13. Sykora R.E., Ruf M., Albrecht-Schmitt T.E. Organically templated zirconium fluorides: hydrothermal syntheses, structural relationships, and thermal behavior of $(C_2H_{10}N_2)Zr_2F_{10} \cdot H_2O$ and $(C_4H_{12}N_2)ZrF_6 \cdot H_2O$ // J. Solid State Chem. 2001. Vol. 159, N 1. P. 198–203. DOI: 10.1006/jssc.2001.9151.
14. Давидович Р.Л., Буслаев Ю.А. Сольволитические реакции комплексных фторидов уранила // Докл. АН СССР. 1970. Т. 191, № 2. С. 355–357.
15. Laval J.-P., Papiernik R., Frit B. $BaZrF_6 \alpha$: Une structure à anion complexe $[Zr_2F_{12}]^{4-}$ // Acta Crystallogr. 1978. Vol. B34, pt 4. P. 1070–1074. DOI: 10.1107/S056774087800494X.
16. Mehlhorn B., Hoppe R. Neue Hexafluorozirkonate(IV): $BaZrF_6$, $PbZrF_6$, $EuZrF_6$, $SrZrF_6$ // Z. Anorg. Allg. Chem. 1976. Vol. 425, N 2. P. 180–188. DOI: 10.1002/zaac.19764250213.
17. Gabela F., Kojić-Prodić B., Šljukić M., Ružić-Toroš Ž. Refinement of the crystal structure of di- μ -fluoro-hexafluorohexaquadizirconium(IV), $Zr_2F_8(H_2O)_6$ // Acta Crystallogr. 1977. Vol. B33, pt 12. P. 3733–3736. DOI: 10.1107/S0567740877011960.
18. Давидович Р.Л., Герасименко А.В., Буквецкий Б.В., Логвинова В.Б., Буслаев Ю.А. Кристаллическая структура гексафтороцирконата гидроксония // Коорд. химия. 1987. Т. 13, № 5. С. 706–709.
19. Kojić-Prodić B., Gabela F., Ružić-Toroš Ž., Šljukić M. Structure of aquatetrafluorozirconium(IV) // Acta Crystallogr. 1981. Vol. B37, pt 11. P. 1963–1965. DOI: 10.1107/S0567740881007772.
20. Jensen W.B. Crystal coordination formulas: A flexible notation for the interpretation of solid-state structures // The Structures of Binary Compounds. North Holland: Elsevier Sci. Publ. B.V., 1989. Vol. 2, chap. II. P. 105–146. DOI: 10.1016/B978-0-444-87478-8.50006-2
21. Давидович Р.Л. Структурная деполимеризация комплексных фторидов уранила // Коорд. химия. 1998. Т. 24, № 3. С. 206–209.
22. Федоров П.П., Закалюкин Р.М., Игнатъева Л.Н., Бузник В.М. Фториндентные стекла // Успехи химии. 2000. Т. 69, № 8. С. 767–779.

REFERENCES

1. Davidovich R.L. Depolimerizuyushchee dejstvie ftorid-ionov na ftoristye soedineniya perekhodnyh metallov. *Koordinacionnaya khimiya*. 1986;12(2):281-282. (In Russ.).
2. Davidovich R.L. Stereochemistry of Zirconium and Hafnium Fluoro Complexes. *Russ. J. Coord. Chem.* 1998;24(11):751-768.
3. Davidovich R.L. Stereochemistry of Heteroligand Fluoro-containing Complex Compounds of Zirconium and Hafnium. *Russ. J. Coord. Chem.* 1999;25(4):225-236.
4. Davidovich R.L. Strukturnaya depolimerizatsiya i sistematika kristallicheskih struktur ftorsirkonатов. In: *Poraj-Koshits M.A. (ed.). Problemy kristallohimii 1990 = Problems of Crystal Chemistry 1990*. Moscow: Nauka; 1990. P. 48-81. (In Russ.).

5. Davidovich R.L., Sergienko V.I. Strukturnaya khimiya kompleksnyh fluoridov titana(IV), tsirkoniya(IV) i gafniya(IV). Vladivostok: Dal'nauka, 2016. 176 p. (In Russ.).
6. Tulskey E.G., Long J.R. Dimensional reduction: a practical formalism for manipulating solid structures. *Chem. Mater.* 2001;13(4):1149-1166. DOI: 10.1021/cm0007858.
7. Korenev Yu.M., Govorov V.V., Kosorukov A.A., Riyazur R., Novoselova A.V. O vzaimodeistvii tetrafluoridov gafniya i tsirkoniya s nekotorymi fluoridami shchelochnyh metallov. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Akademii nauk SSSR. Seriya himicheskikh nauk.* 1968;(2):10-14. (In Russ.).
8. Gaumet V., El-Ghozzi M., Avignat D. Crystal structure of KZrF_5 . *Eur. J. Solid State Inorg. Chem.* 1997;34(3):283-293.
9. Papiernik R., Mercurio D., Frit B. Structure du tétrafluorure de zirconium, $\text{ZrF}_4 \alpha$. *Acta Crystallogr.* 1982;B38(9):2347-2353. DOI: 10.1107/S0567740882008760.
10. Davidovich R.L., Medkov M.A., Rizaeva M.D., Bukvetskii B.V. Guanidine and aminoguanidine fluozirconates. *Bull. Acad. Sci. USSR. Div. chem. sci.* 1982;31(7):1291-1295. DOI: 10.1007/BF00954137.
11. Medkov M.A., Davidovich R.L., Rizaeva M.D., Kondratyuk I.P., Bukvetskii B.V. Ftorotsirkonaty etylendiammoniya. *Izvestiya Akademii nauk SSSR. Seriya khimicheskaya.* 1980;(8):1703-1708. (In Russ.).
12. Gerasimenko A.V., Bukvetskii B.V., Logvinova V.B., Davidovich R.L. Kristallicheskaya struktura pentaftorotsirkonata guanidiniya-gidroksoniya. *Koordinatsionnaya khimiya.* 1996;22(8):584-590. (In Russ.).
13. Sykora R.E., Ruf M., Albrecht-Schmitt T.E. Organically templated zirconium fluorides: hydrothermal syntheses, structural relationships, and thermal behavior of $(\text{C}_2\text{H}_{10}\text{N}_2)\text{Zr}_2\text{F}_{10} \cdot \text{H}_2\text{O}$ and $(\text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2)\text{ZrF}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$. *J. Solid State Chem.* 2001;159(1):198-203. DOI: 10.1006/jssc.2001.9151.
14. Davidovich R.L., Buslaev Yu.A. Sol'voliticheskie reaktsii kompleksnyh fluoridov uranila. *Doklady Akademii nauk SSSR.* 1970;191(2):355-357. (In Russ.).
15. Laval J.-P., Papiernik R., Frit B. $\text{BaZrF}_6 \alpha$: Une structure à anion complexe $[\text{Zr}_2\text{F}_{12}]^{4-}$. *Acta Crystallogr.* 1978;B34(4):1070-1074. DOI: 10.1107/S056774087800494X.
16. Mehlhorn B., Hoppe R. Neue Hexafluorozirkonate(IV): BaZrF_6 , PbZrF_6 , EuZrF_6 , SrZrF_6 . *Z. Anorg. Allg. Chem.* 1976;425(2):180-188. DOI: 10.1002/zaac.19764250213.
17. Gabela F., Kojić-Prodić B., Šljukić M., Ružić-Toroš Ž. Refinement of the crystal structure of di- μ -fluoro-hexafluorohexaquadizirconium(IV), $\text{Zr}_2\text{F}_8(\text{H}_2\text{O})_6$. *Acta Crystallogr.* 1977;B33(12):3733-3736. DOI: 10.1107/S0567740877011960.
18. Davidovich R.L., Gerasimenko A.V., Bukvetskii B.V., Logvinova V.B., Buslaev Yu.A. Kristallicheskaya struktura geksaftorotsirkonata gidroksoniya. *Koordinatsionnaya khimiya.* 1987;13(5):706-709. (In Russ.).
19. Kojić-Prodić B., Gabela F., Ružić-Toroš Ž., Šljukić M. Structure of aquatetrafluorozirconium(IV). *Acta Crystallogr.* 1981; B37(11):1963-1965. DOI: 10.1107/S0567740881007772.
20. Jensen W.B. Crystal coordination formulas: A flexible notation for the interpretation of solid-state structures. In: *The Structures of Binary Compounds*. North Holland: Elsevier Sci. Publ. B.V.; 1989. Vol. 2, chap. 2. P. 105-146. DOI: 10.1016/B978-0-444-87478-8.50006-2.
21. Davidovich R.L. Structural Depolymerization of Complex Uranyl Fluorides. *Russ. J. Coord. Chem.* 1998;24(3):192-195.
22. Fedorov P.P., Zakalyukin R.M., Ignat'eva L.N., Buznik V.M. Fluoroidate glasses. *Russ. Chem. Revs.* 2000;69(8):705-716. DOI: 10.1070/RC2000v069n08ABEH000582.

Научная статья
УДК 543.421:663.443.1
DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_5

Влияние лазерного излучения на каталитическую активность амилолитических ферментных препаратов различной степени очистки

Н.Е. Куликова✉, А.Г. Чернобровина, Н.Н. Роева, О.Ю. Попова

Наталья Евгеньевна Куликова

кандидат технических наук, доцент
Московский государственный университет пищевых производств; Москва, Россия
nataliyakulikova67@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2397-8696>

Антонина Григорьевна Чернобровина

кандидат технических наук, доцент
Московский государственный университет пищевых производств; Москва, Россия
ag_61@list.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7233-3603>

Наталья Николаевна Роева

доктор химических наук, профессор
Московский государственный университет пищевых производств; Москва, Россия
Olyga roeva@mgupr.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1321-8354>

Ольга Юрьевна Попова

преподаватель
Московский государственный университет пищевых производств; Москва, Россия
ropovaou@mgupr.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8147-0893>

Аннотация. Представлены результаты исследования влияния гелий-неонового лазера на каталитическую активность амилолитических ферментных препаратов различной степени очистки. Экспериментально определены условия воздействия лазерного излучения, его оптимальная мощность и длительность воздействия, при которых активность ферментного препарата Амилосубтилин ГЗХ повышается на 50 %, Амилосубтилин Г10Х – на 35 %, Амилосубтилин Г20Х – на 27 %. Более очищенный препарат в меньшей степени подвергается активации при лазерном облучении, это не только позволяет снизить дозировку препарата, но и дает возможность применять более экономичные, не высокоочищенные промышленные ферменты для использования в технологическом процессе.

Ключевые слова: гелий-неоновый лазер, активация, фермент

Для цитирования: Куликова Н.Е., Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю. Влияния лазерного излучения на каталитическую активность амилолитических ферментных препаратов различной степени очистки // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 63–71. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_5.

Original article

Effect of laser radiation on the catalytic activity of amylolytic enzyme preparations of various degrees of purification

N.E. Kulikova✉, A.G. Chernobrovina, N.N. Roeva, O.Yu. Popova

Natal'ya E. Kulikova

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia
nataliyakulikova67@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2397-8696>

Antonina G. Chernobrovina

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia
ag_61@list.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7233-3603>

Natalya N. Roeva

Doctor of Science (chemistry), Professor
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia
roeva@mgupp.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1321-8354>

Olga Yu. Popova

Teacher
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia
popovaoyu@mgupp.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8147-0893>

Abstract. The paper presents the results of a study of the effect of a helium-neon laser on the catalytic activity of amylolytic enzyme preparations of various degrees of purification. Experimentally determined the conditions of exposure to laser radiation, its optimal power and exposure duration. It has been shown that under those conditions the activity of the enzyme preparation Amylosubtilin G3X increases by 50 %, Amylosubtilin G10X – by 35 %, Amylosubtilin G20X – by 27 %. Moreover, a more purified drug is less activated by laser irradiation, this will not only reduce the dosage of the drug, but also makes it possible to use more economical, not highly purified industrial enzymes for practical use in the technological process.

Keywords: helium-neon laser, activation, enzyme

For citation: Kulikova N.E., Chernobrovina A.G., Roeva N.N., Popova O.Yu. Effect of laser radiation on the catalytic activity of amylolytic enzyme preparations of various degrees of purification. *Vestnik of the FEB RAS.* 2022;(2):63–71. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_5.

Введение

Белки являются весьма лабильными соединениями и при некоторых специфических изменениях условий в течение очень короткого промежутка времени могут подвергнуться конформационным изменениям. Есть предположение, что при этом каждая молекула или ее участок способен принимать любую конформацию, допускаемую больмановской зависимостью между конформацией и величиной отклонения свободной энергии от ее минимального значения [1–4]. Факторами, влияющими на конформационную подвижность макромолекулы фермента и, следовательно, на его каталитическую активность, выступают, в частности, некоторые физико-химические воздействия (тепловая обработка, методы кругового дихроизма, ядерно-магнитный резонанс, методы флуоресцентной спектроскопии, гелий-неоновый лазер и мн. др.) [4–6].

Интерес к управлению активностью ферментов обусловлен их использованием в различных отраслях промышленности, которое, с одной стороны, позволяет интенсифицировать технологический процесс, с другой – как правило, увеличивает себестоимость готовой продукции. Поэтому поиск путей повышения каталитической активности ферментных препаратов остается актуальной задачей, решение которой позволит сделать их применение в промышленности более эффективным [6–8].

Выше был упомянут один из способов регулирования активности ферментных препаратов – лазерное излучение [9–13]. Оно обладает рядом особенностей, к которым относятся когерентность, высокая монохроматичность, направленность и большая плотность энергии [12, 14–16]. С ними, по-видимому, связано воздействие лазерного излучения на биологические объекты. Механизмы этого процесса сложны, и на сегодня не существует объясняющей их единой теории [15, 17]. В настоящее время ведутся эффективные исследования по совершенствованию лазерной техники, созданию квантовых генераторов для промышленного использования.

Целью данной работы является изучение влияния лазерного излучения на каталитическую активность амилолитических ферментных препаратов различной степени очистки, применяемых в качестве биокатализаторов в хлебопечении, производстве консервов, спирта и в других отраслях пищевой промышленности.

Объекты и методы исследования

В работе исследованы промышленные ферментные препараты Амилосубтилин Г10Х, Амилосубтилин Г20Х, Амилосубтилин Г3Х производственного объединения «Сиббиофарм» (Россия).

Использованы стандартные и общепринятые в исследовательской практике методики определения амилолитической активности (АС) колориметрическим методом по ГОСТ Р. 54330-2011, содержание белка в ферментных препаратах оценивали по методу Лоури (экспресс-метод). АС ферментных препаратов Амилосубтилин Г3Х, Амилосубтилин Г10Х, Амилосубтилин Г20Х оказалась равна соответственно 1500, 3600, 5140 ед./г (ед./мл), содержание белка в них – 9,5, 18, 29 %.

В качестве источника лазерного излучения выступали оптический квантовый генератор ОКГ-25 с максимальной выходной мощностью 20 мВт/см², длиной

волны излучения 632,8 нм (ширина спектральной полосы – 10^{-3} нм), а также гелий-неоновый лазер ЛГН-303-1 с максимальной выходной мощностью 2 мВт/см² и длиной волны 632,8 нм, одночастотный в каждой из двух поляризаций. Рабочая длина волны 632,8 нм расположена в красном диапазоне видимого спектра. Облучение растворов ферментных препаратов проводили в стеклянной кювете. Интенсивность излучения для ОКГ-25 регулировали за счет использования расфокусированной насадки, представляющей собой выпуклую линзу (оптическая система для формирования лазерного пучка), при измерении расстояния между объектом (на который непосредственно воздействуют) и источником лазерного излучения. С помощью дозиметра – полупроводникового элемента, чувствительного в красной области видимого спектра, проводилось определение интенсивности падающей и поглощенной энергии без учета доли светорассеяния.

Результаты и обсуждение

Для изучения взаимодействия лазерного излучения с исследуемыми ферментными препаратами был снят спектр поглощения 0,1%-го раствора Амилоубтилина Г10Х (рис. 1). Этот спектр имел характерный максимум в ультрафиолетовой области, обусловленный остатками триптофана в белковой молекуле [5, 18]. В видимой части спектра фермент не имеет характерных максимумов поглощения, величина поглощения в этом диапазоне лежит в пределах 7–10 %, в частности для 630 нм (области, соответствующей спектральной характеристике излучения гелий-неонового лазера) она равна 7 %.

Наличие небольшого поглощения в области 630–632 нм позволяет предположить, что гелий-неоновый лазер может оказывать определенное воздействие на каталитическую активность данных препаратов. Активность ферментных

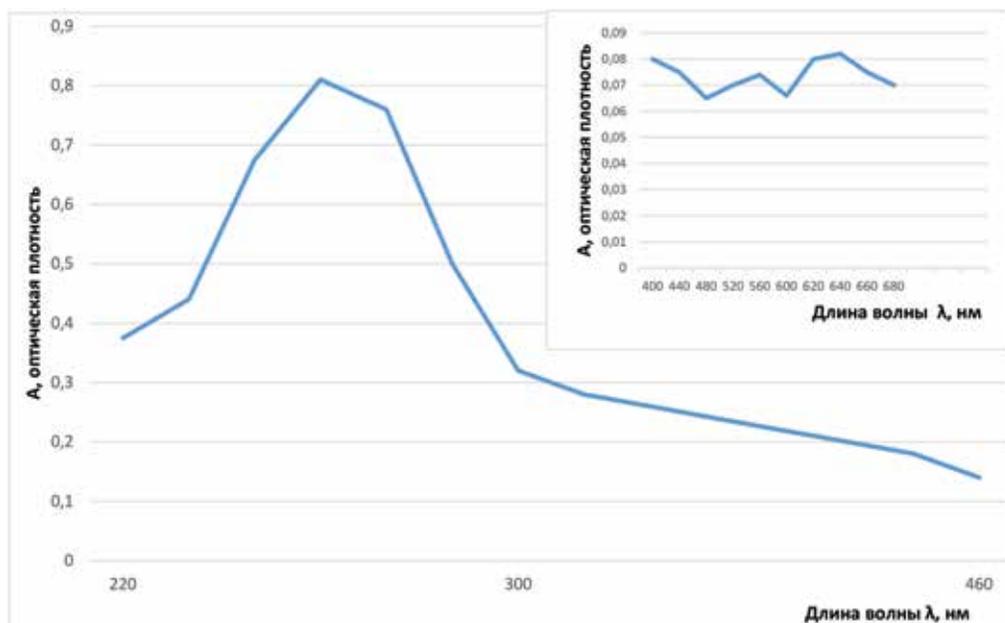


Рис. 1. Спектр поглощения 0,1%-го раствора ферментного препарата Амилоубтилин Г10Х

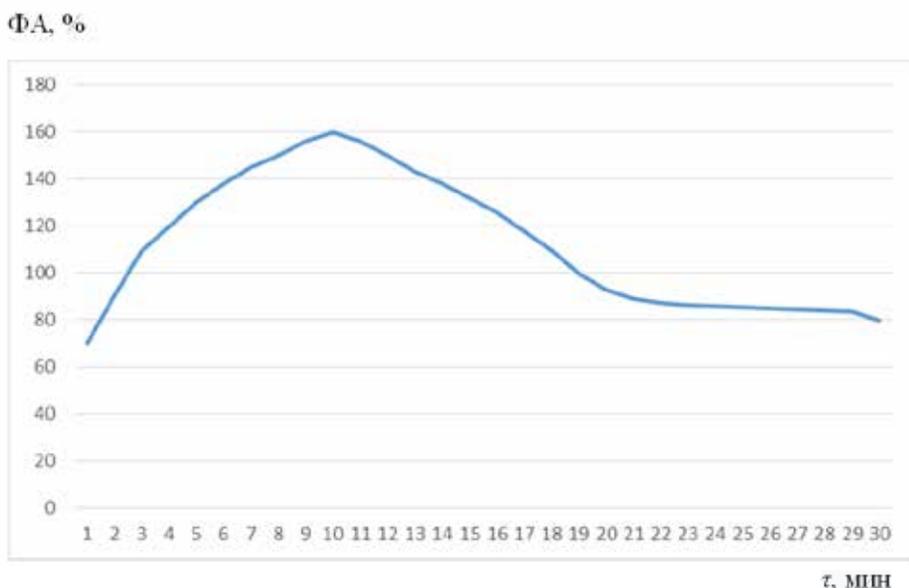


Рис. 2. Зависимость активности 0,1%-го раствора ферментного препарата Амилосубтилин Г10Х от времени воздействия лазерного излучения при интенсивности излучения 5 мВт/см²

препаратов после лазерного воздействия выражали как процент к контролю – необлученному образцу.

Проведенные исследования показали (рис. 2), что каталитическая активность (ФА) в первую очередь зависит от интенсивности облучения. При интенсивности 1 мВт/см² и экспозиции 5 мин не было обнаружено увеличения активности. Однако при интенсивности 3,5 мВт/см² активность возрастала на 50 %. Эффект стимулирующего действия лазерного излучения начиная с интенсивности 10 мВт/см² уменьшается, а при 20 мВт/см² наблюдается заметная инактивация ферментного препарата.

Так как при воздействии лазерного излучения на биологические объекты имеет значение не только «доза воздействия», а и экспозиция, была изучена зависимость активности фермента от времени (1–30 мин) облучения при постоянной интенсивности 5 мВт/см² (рис. 3).

Кривая изменения амилолитической активности от времени $AC = f(t)$ аналогична кривым, полученным при исследовании конформационных переходов белковых молекул [18, 19]. По-видимому, это можно объяснить тем, что изменение реакционной способности различных участков белковой молекулы или конформации в целом происходит в результате распределения поглощенной энергии между колебательно-возбужденным состоянием отдельных атомных групп и областей молекул [1, 2, 20]. С увеличением времени воздействия увеличивается число конформационных перестроек, что влечет за собой изменение каталитической активности фермента. Любые конформационные превращения в молекулах белков носят кооперативный характер [1, 18, 20], тем самым кооперативен сам акт возникновения индуцированного структурного соответствия фермент–субстрат. И возможно, что изменение конформации белка под действием излучения гелий-неонового лазера приводит к увеличению сродства фермента к субстрату, и этим объясняется повышение его амилолитической активности.

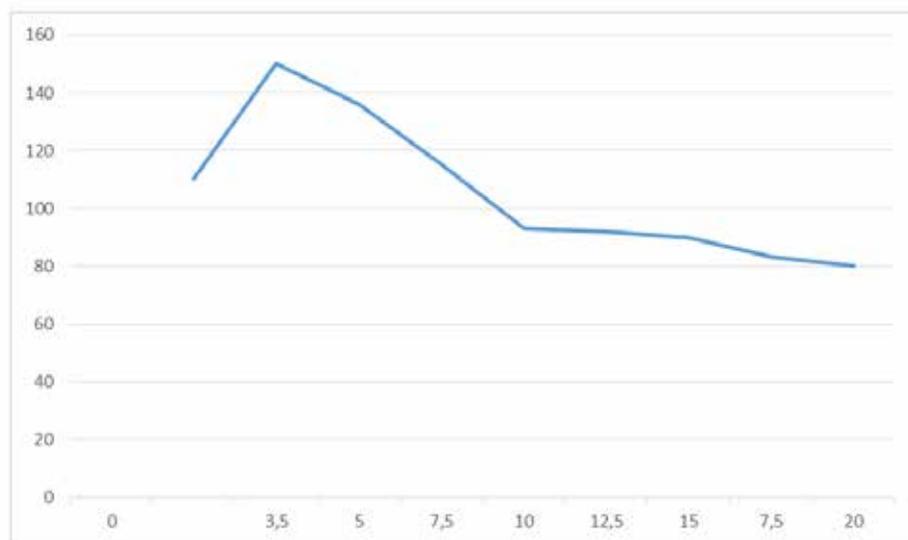
Сравнивая эффекты, полученные при одних и тех же общих дозах воздействия, была выявлена разница, которая свидетельствует о том, что для возникновения определенного эффекта важна не общая доза воздействия, а каждый из ее компонентов. Так, доза 4,5 Дж/см², полученная при облучении интенсивностью 15 мВт/см² в течение 5 мин, приводила к уменьшению активности, а если получать эту дозу, используя более низкую интенсивность излучения (5 мВт/см²), но более длительную экспозицию (15 мин), то наблюдается повышение активности фермента на 40 %. Принимая это во внимание, целесообразно использовать для повышения каталитической активности исследуемых ферментных препаратов и менее мощные лазеры [2, 15, 16].

В настоящее время для научных целей широко применяют отечественный гелий-неоновый лазер ЛГН-303-1, который использовали в дальнейших исследованиях. Данные по влиянию лазерного излучения на амилолитическую активность ферментных препаратов различной степени очистки представлены в таблице.

Влияние гелий-неонового лазера ЛГН-303-1 на активность ферментных препаратов

Препарат	Время облучения, мин	Ферментативная активность, % к контролю
Амилосубтилин ГЗХ	3	131
	5	150
	7	119
Амилосубтилин Г10Х	3	120
	5	135
	7	114
Амилосубтилин Г20Х	3	111
	5	127
	7	109

ФА, %



Интенсивность излучения, мВт/см²

Рис. 3. Зависимость активности 0,1%-го раствора ферментного препарата Амилосубтилин Г10Х от интенсивности воздействия лазерного излучения при экспозиции 5 мин

Как видно из представленных данных, оптимальной для всех исследуемых препаратов при мощности излучения 2 мВт/см² была длительность воздействия 5 мин, при этом наблюдалось значительное увеличение каталитической активности ферментных препаратов – на 27–50 % к контролю. Причем более очищенный (Амилосубтилин Г10Х) и высокоочищенный (Амилосубтилин Г20Х) препараты в меньшей степени подвергаются активации при лазерном облучении, так как в процессе очистки фермента происходит удаление веществ, стабилизирующих белковую молекулу. Воздействие же гелий-неонового лазера на фермент с низким уровнем очистки (Амилосубтилин Г3Х) повышает его каталитическую активность в среднем на 50 %; это, несомненно, позволит уменьшить себестоимость продукции за счет применения более экономичных низкоочищенных препаратов, а также снижения дозы вносимого фермента без ухудшения качества продукта. Снижение уровня очистки препарата, как наглядно демонстрируют полученные результаты, не приводит к существенному ухудшению свойств, проявляемых препаратом в технологическом процессе.

Заключение

В результате проведенных исследований показано, что изменение активности бактериальных ферментных препаратов амилолитического действия можно достигнуть одним из физико-химических воздействий – облучением их водных растворов гелий-неоновым лазером (ЛГН-303-1, ОКГ-25). С совершенствованием лазерной техники этот вид воздействия станет весьма перспективным для повышения эффективности использования ферментных препаратов.

На активность изученных ферментных препаратов оказывают влияние интенсивность лазерного излучения и длительность его воздействия. При экспериментально определенных условиях (мощность воздействия 2 мВт/см², длительность 5 мин) активность ферментного препарата Амилосубтилин Г3Х повышается на 50 %, Амилосубтилин Г10Х – на 35 %, Амилосубтилин Г20Х – 27 %. Таким образом, максимальная эффективность наблюдалась в случае препарата, обладающего наименьшей каталитической активностью, что, несомненно, имеет важное практическое значение для снижения себестоимости технологического процесса с участием ферментных препаратов в качестве биокатализаторов в различных областях пищевой промышленности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бакунц А.Г. Влияние связывания катионов металлов на кооперативность тепловых переходов в парвальбумине: дис. ... канд. биол. наук. Пущино: Ин-т теорет. и эксперим. биофизики РАН, 2009. 130 с.
2. Голубцов А.В. Кристаллизационная оценка изменения конформационных свойств сыворотки крови под влиянием низкоинтенсивного лазерного излучения // Актуал. вопр. ветеринар. биологии. 2013. № 2. С. 3–7.
3. Капралова А.В., Погодин А.С. Влияние терагерцового излучения различных диапазонов на конформацию молекул бычьего сывороточного альбумина // Вестн. НГУ. Серия: Физика. 2010. Т. 5, № 4. С. 182–185.
4. Скворцов И.М. О конформационной гетерогенности пирролизидинов по типу сочленения пятичленных колец // Карбонильные соединения в синтезе гетероциклов: сб. науч. тр. / под ред. А.П. Кривенько. Саратов: Науч. книга, 2008. С. 253–258.

5. Молдогазиева Н.Т., Терентьев А.А., Шайтан К.В. Структурно-функциональные взаимосвязи в молекуле альфа-фетопротейна: его конформационные состояния и биологическая активность // Биомедицинская химия. 2005. Т. 51, № 2. С. 127–151.
6. Карпенко Д.В., Кравченко В.С., Шалагинов К.В. Активация амилалитического ферментного препарата волновыми воздействиями // Пиво и напитки. 2017. № 5. С. 16–19.
7. Квиньи Ж. Термодинамика и теоретические представления о регуляции активности ферментов (обзор) // Биохимия. 2015. Т. 80, № 1. С. 5–13.
8. Поляков В.А., Погоржельская Н.С. Инновационное развитие пищевой биотехнологии // Индустрия питания. 2017. № 4. С. 6–14.
9. Алмазова Е.Б., Емец Б.Г. Гелий-неоновый лазер изменяет радиационную стойкость культуры биологических клеток // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2012. Т. 5, № 5. С. 3–7.
10. Васильева В.С., Голубцов А.В. Использование низкоинтенсивного лазерного излучения в молочном животноводстве // Инновационные технологии и технические средства для АПК. Воронеж: Воронеж. гос. аграр. ун-т, 2015. С. 29–37.
11. Макаров И.О., Клюев Д.А., Смирнов В.Ф. и др. Действие низкочастотного импульсного магнитного поля и низкоинтенсивного лазерного излучения на активность оксидоредуктаз и рост микромицетов – активных деструкторов полимерных материалов // Микробиология. 2019. Т. 88, № 1. С. 83–90.
12. Черкасова О.П., Федоров В.И., Немова Е.Ф., Погодин А.С. Влияние лазерного терагерцового излучения на спектральные характеристики и функциональные свойства альбумина // Оптика и спектроскопия. 2009. Т. 107, № 4. С. 566–569.
13. Zhao Q. Partition function of protein conformational state // J. Comput. Theor. Nanosci. 2012. Vol. 9. P. 745–751.
14. Гизингер О.А., Ишпахтина К.Г., Колесников О.Л. Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на нейтрофилы и факторы мукозального иммунитета: дис. ... д-ра биол. наук. Челябинск, 2010. 356 с.
15. Измайлов Г.Н. Создание нового поколения высокочувствительных сверхбыстродействующих детекторов, генераторов и преобразователей субтерагерцового и терагерцового диапазона частот // Инноватика и экспертиза: науч. тр. 2012. № 2. С. 034–040.
16. Прокопьев В.Е. Биофизические механизмы воздействия низкоинтенсивного лазерного излучения на биологические ткани и оптические методы диагностики их состояния: автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Томск, 2004. 42 с.
17. Фёдоров В.И., Погодин А.С., Дубатолова Т.Д., Варламов А.В., Леонтьев К.В., Хамоян А.Г. Сравнительное исследование влияния электромагнитного излучения инфракрасного, субмиллиметрового и миллиметрового диапазонов на индуцированные гамма-облучением соматические мутации клеток крыльев *Drosophila melanogaster* // Биофизика. 2001. Т. 46, № 2. С. 298–302.
18. Поляничко А.М., Воробьев В.И., Чихиржина Е.В. Структура комплексов ДНК с хромосомным белком HMGB1 и гистоном H1 в присутствии ионов марганца. II. Спектроскопия кругового дихроизма в ИК области // Молекулярная биология. 2013. Т. 47, № 2. С. 338–346.
19. Наим А., Салимуддин М., Хан Р.Х. Агглютинин из *Clitoria ternatea* в индуцированном кислотой компактном состоянии сохраняет биологическую активность // Биохимия. 2009. Т. 74, № 10. С. 1336–1345.
20. Артюхов В.Г., Наквасина М.А., Лысенко Ю.А. Кинетические закономерности УФ- и термопревращений молекул лактатдегидрогеназы в условиях различного микроокружения // Междунар. школа «Соврем. проблемы теорет. биофизики»: тез. М., 1998. С. 108.

REFERENCES

1. Bakunts A.G. Vliyanie svyazyvaniya kationov metallov na kooperativnost' teplovykh perekhodov V parval'bumine: diss. Pushchino: Institute of Theoretical and Experimental Biophysics, Russian Academy of Sciences; 2009. 130 p. (In Russ.).
2. Golubcov A.V. Kristallizatsionnaya otsenka izmeneniya konformatsionnykh svoystv syvorotki krovi pod vliyaniem nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya. *Aktual'nye voprosy veterinarnoi biologii*. 2013;(2):3-7. (In Russ.).

3. Kapralova A.V., Pogodin A.S. Vliyanie teragertsovogo izlucheniya razlichnykh diapazonov na konformatsiyu molekul bych'ego syvorotochnogo al'bumina. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta*. Ser.: Fizika. 2010;5(4):182-185. (In Russ.).
4. Skvortsov I.M. O konformatsionnoi geterogenosti pirrolizidinov po tipu sochleneniya pyatichlennykh kolets. In: *Karbonil'nye soedineniya v sinteze geterokhlikov*. Saratov: Nauchnaya kniga; 2008. P. 253-258. (In Russ.).
5. Moldogazieva N.T., Terent'ev A.A., Shaitan K.V. Strukturno-funktsional'nye vzaimosvyazi v molecule al'fa-fetoproteina: ego konformatsionnye sostoyaniya i biologicheskaya aktivnost'. *Biomeditsinskaya himiya*. 2005;51(2):127-151. (In Russ.).
6. Karpenko D.V., Kravchenko V.S., Shalaginov K.V. Aktivatsiya amilolicheskogo fermentnogo preparata volnovymi vozdeistviyami. *Pivo i napitki*. 2017;(5):16-19. (In Russ.).
7. Kvin'i Zh. Termodinamika i teoreticheskie predstavleniya o regulyatsii aktivnosti fermentov (obzor). *Biohimiya*. 2015;80(1):5-13. (In Russ.).
8. Polyakov V.A., Pogorzhel'skaya N.S. Innovatsionnoe razvitie pishchevoi biotekhnologii. *Industriya pitaniya*. 2017;(4):6-14. (In Russ.).
9. Almazova E.B., Emec B.G. Gellii-neonovyy laser izmenyaet radiacionnyu stoikost' kul'tury biologicheskikh kletok. *Vostochno-Evropeiskii zhurnal peredovykh tekhnologii*. 2012;5(5):3-7. (In Russ.).
10. Vasil'eva V.S., Golubcov A.V. Ispol'zovanie nizkointensivnogo-lazernogo izlucheniya v molochnom zhivotnovodstve. In: *Innovatsionnye tekhnologii i tekhnicheskie sredstva dlya APK: materialy mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii molodyh uchenykh i spetsialistov*. Voronezh: Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great; 2015. P. 29-37. (In Russ.).
11. Makarov I.O., Klyuev D.A., Smirnov V.F. et al. Deistvie nizkochastotnogo impul'snogo magnitnogo polya i nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya na aktivnost' oksidoreduktaz i rost mikromitsetov-aktivnykh destrukturov polimernykh materialov. *Mikrobiologiya*. 2019;88(1):83-90. (In Russ.).
12. Cherkasova O.P., Fedorov V.I., Nemova E.F., Pogodin A.S. Vliyanie lazernogo teragertsovogo izlucheniya na spektral'nye karakteristiki i funktsional'nye svoystva al'bumina. *Optika i spektroskopiya*. 2009;107(4):566-569. (In Russ.).
13. Zhao Q. Partition function of protein conforma tional state. *J. Comput. Theor. Nanosci*. 2012;9:745-751.
14. Gizinger O.A., Ishpaktina K.G., Kolesnikov O.L. Vliyanie nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya na neutrofil'y i faktory mukozal'nogo immuniteta: diss. Chelyabinsk, 2010. 356 p. (In Russ.).
15. Izmajlov G.N. Sozdanie novogo pokoleniya vysokochuvstvitel'nykh sverhbystrodeistvuyushchih detektorov, generatorov i preobrazovatelei subteragertsovogo i teragertsovogo diapazona chastot. *Innovatika i ekspertiza: nauchnye trudy*. 2012;(2):034-040. (In Russ.).
16. Prokop'ev V.E. Biofizicheskie mekhanizmy vozdeistviya nizkointensivnogo lazernogo izlucheniya na biologicheskie tkani i opticheskie metody diagnostiki ih sostoyaniya: diss. Tomsk, 2004. 42 p. (In Russ.).
17. Fyodorov V.I., Pogodin A.S., Dubatolova T.D., Varlamov A.V., Leont'ev K.V., Hamoyan A.G. Sravnitel'noe issledovanie vliyaniya elektromagnitnogo izlucheniya infrakrasnogo, submillimetrovogo i millimetrovogo diapazonov na indutsirovannyye gamma-oblucheniem somaticheskie mutatsii kletok kryl'ev *Drosophila melanogaster*. *Biofizika*. 2001;46(2):298-302. (In Russ.).
18. Polyanichko A.M., Vorob'ev V.I., Chihirzhina E.V. Struktura kompleksov DNK s hromosomnym belkom HMGB1 i gistonom N1 v prisutstvii ionov margantsa. II. Spektroskopiya krugovogo dihiroizma v IK oblasti. *Molekulyarnaya biologiya*. 2013;47(2):338-346. (In Russ.).
19. Naim A., Salimuddin M., Han R.H. Agglyutinin iz *Clitoria ternatea* v indutsirovannom kisloti kompaktnom sostoyanii sokhranyaet biologicheskuyu aktivnost'. *Biohimiya*. 2009;74(10):1336-1345. (In Russ.).
20. Artyuhov V.G., Nakvasina M.A., Lysenko Yu.A. Kineticheskie zakonomernosti UF- i termoprevrashchenii molekul laktatdegidrogenazy v usloviyah razlichnogo mikrookruzheniya. In: *Sovremennye Problemy Teoreticheskoy Biofiziki: theses of International school*. Moscow; 1998. P. 108. (In Russ.).

Научная статья

УДК 547.97.663.8.7.

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_6

Содержание, состав и термостабильность антоцианового красителя, полученного из ягодного сырья

А.Г. Чернобровина[✉], Н.Е. Куликова, Н.Н. Роева,
О.Ю. Попова, В.А. Васькина

Антонина Григорьевна Чернобровина

кандидат технических наук, профессор

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

ag_61@list.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7233-3603>

Наталья Евгеньевна Куликова

кандидат технических наук, профессор

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

nataliyakulikova67@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2397-8696>

Наталья Николаевна Роева

доктор химических наук

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

goeva@mgupp.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1321-8354>

Ольга Юрьевна Попова

преподаватель

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

porovaou@mgupp.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8147-0893>

Валентина Андреевна Васькина

доктор технических наук

Московский государственный университет пищевых производств, Москва, Россия

v.a.vaskina@inbox.ru

<https://orcid.org/0000-0001-5414-3291>

Аннотация. Представлены результаты исследований по наиболее полному извлечению природного комплекса красящих веществ, изучению их содержания, состава и выявлению термостабильности с целью применения в рецептурах продуктов питания. На начальном этапе исследований проводили ферментативный гидролиз измельченного ягодного сырья при оптимальных (установленных экспериментально) условиях с добавлением

ферментных препаратов в виде мультэкзимных композиций, соотношение и дозировка которых определена экспериментально. Применение биокатализаторов позволяет увеличить выход антоциановых веществ в ферментативную соковую фракцию для всех ягод по сравнению с соком (контролем), полученным при тех же условиях, но без обработки ягодного сырья ферментными препаратами.

На стадии получения соковой фракции проведен анализ антоцианов: определены их качественный состав и относительное содержание в ферментативной соковой фракции. Выявлен основной компонент антоцианового комплекса всех ягод – цианидин, при этом абсолютный состав красителей, присутствующих в перечисленных ягодах, достаточно разнообразен.

Для наиболее широкого применения ягодных соков в производстве продуктов питания их концентрировали до содержания с. в. 50–75 % и проводили изучение термической стабильности антоциановых красителей в концентратах ягод клюквы, красной смородины, брусники и малины, так как данная характеристика является важной оценкой концентратов с точки зрения их применения в рецептурах пищевых продуктов.

Ключевые слова: красящие вещества, термообработка, соковая фракция, ягоды брусники, малины, клюквы, красной смородины

Для цитирования: Чернобровина А.Г., Куликова Н.Е., Роева Н.Н., Попова О.Ю., Васькина В.А. Содержание, состав и термостабильность антоцианового красителя, полученного из ягодного сырья // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 72–85. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_6.

Original article

Content, composition and thermal stability of anthocyanin dye obtained from berry raw materials

A.G. Chernobrovina, N.E. Kulikova, N.N. Roeva,
O.Yu. Popova, V.A. Vaskina

Antonina G. Chernobrovina

Candidate of Technical Sciences, associate professor
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia
ag_61@list.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7233-3603>

Nataliya E. Kulikova

Candidate of Technical Sciences, associate professor
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia
nataliyakulikova67@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2397-8696>

Natal'ya N. Roeva

Doctor of Science (Chemistry), Professor
Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia
roeva@mgupp.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1321-8354>

Olga Yu. Popova

Teacher

Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

popovaoyu@mgupp.ru

<https://orcid.org/0000-0002-8147-0893>

Valentina A. Vaskina

Doctor of Science (Technical), Professor

Moscow State University of Food Production, Moscow, Russia

v.a.vaskina@inbox.ru

Abstract. In this work, studies were carried out on the most complete extraction of the natural complex of coloring substances, the study of their content, composition and the identification of thermal stability in order to use them in food formulations. At the initial stage of research, enzymatic hydrolysis of crushed berry raw materials was carried out under optimal (experimentally established) conditions with the addition of enzyme preparations in the form of multiexim compositions, the ratio and dosage of which was determined experimentally. The use of biocatalysts makes it possible to increase the yield of anthocyanin substances in the enzymatic juice fraction for all berries, in comparison with the juice (control) obtained under the same conditions, but without the processing of berry raw materials with enzyme preparations.

At the stage of obtaining the juice fraction, anthocyanins were analyzed: their qualitative composition and relative content in the enzymatic juice fraction were determined. The main component of the anthocyanin complex of all berries, cyanidin, was revealed, while the absolute composition of the dyes presented in the listed berries is quite diverse.

For the widest use of berry juices in food production, they were concentrated to dry matter content of *c.v.* 50-75% and studied the thermal stability of anthocyanin dyes in the concentrates of cranberries, red currants, cowberries and raspberries, since this characteristic is an important assessment of concentrates in terms of their use in food formulations.

Keywords: dyes, heat treatment, juice fraction, cowberry, raspberry, cranberry, red currant.

For citation: Chernobrovina A.G., Kulikova N.E., Roeva N.N., Popova O.Yu, Vaskina V.A. Content, composition, and thermal stability of anthocyanin dye obtained from berry raw materials. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022. No. 2. P. 72–85. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_6.

Введение

В России, как и во многих других странах, отмечается повышенный интерес к высококачественным, полноценным и безопасным продуктам питания, полученным на основе натурального сырья. Как правило, для сохранения, улучшения или придания продукту привлекательного внешнего вида в рецептурах предусмотрено введение красителей – синтетических и натуральных. Дискуссии о необходимости и целесообразности их применения ведутся как специалистами, так и потребителями. И какие бы аргументы ни приводились противниками окрашивания пищевых продуктов, в сознании человека вкус и цвет пищи связаны очень тесно. Приоритет использования натуральных пищевых красителей в технологии производства продуктов питания обусловлен стремлением производителей придать продукту статус «экопродукта». Известно, что наиболее востребованными на мировом рынке являются антоциановые красные красители. Антоциановые красители – широко распространенные водорастворимые красители, основным компонентом которых являются антоцианы, относящиеся к группе флавоноидных соединений. Схематическое строение молекулы антоциана представлено на рис. 1.

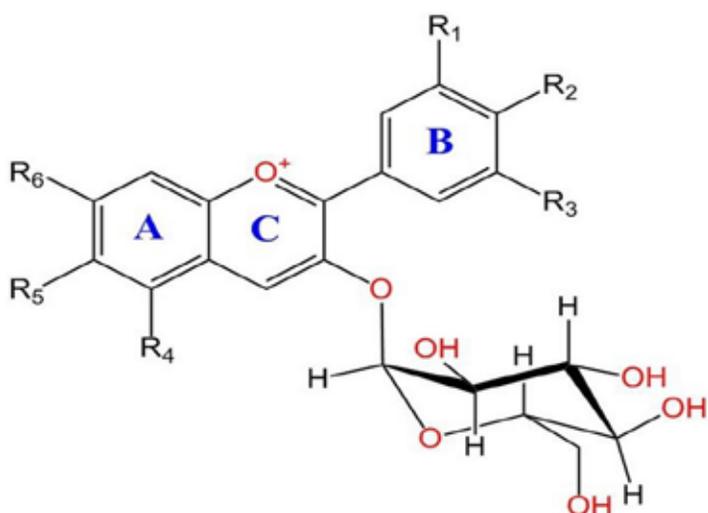


Рис. 1. Схема строения молекулы антоцианов: *A* и *B* – бензольные циклы, *C* – цикл, содержащий в качестве гетероатома кислород

В кислой среде антоцианины и антоцианидины находятся в виде катиона флавилия, придающего раствору ярко-красную окраску [1]. Источником для их получения служит растительное сырье, в том числе ягоды клюквы, малины, брусники, красной смородины и др.

Известными способами извлечения натуральных красящих веществ является экстракция растворителем и последующая очистка экстракта от соответствующих соединений. Эффективность экстрагирования во многом зависит от способа подготовки сырья и его предобработки, поэтому чаще всего для наиболее полного извлечения природных компонентов, в том числе красителей, применяют измельчение сырья и его биотехнологическую обработку с последующей экстракцией. Имеются исследования (напр., [2]), свидетельствующие об эффективном использовании ферментных препаратов для увеличения коэффициента внутренней диффузии, способствующей увеличению экстракции; также описаны факты использования биокатализаторов для увеличения выхода природных компонентов за счет частичной биодеградации структурных биополимеров клеточной стенки. В частности, при обработке мякоти рябины ферментным препаратом пектолитического действия был получен сок, интенсивность окраски которого в 1,8 раз выше, чем сока, полученного без обработки ферментным препаратом [2]. Доказана эффективность предварительной ферментации Целлюлазой-100 ягод аронии для получения антоцианового красителя: выход антоцианов при последующей водно-спиртовой экстракции увеличился на 25 %, а качество и стойкость полученного в виде концентрата красителя соответствовали наилучшим показателям, что позволило использовать этот препарат в качестве красителя при производстве продуктов питания [2].

Натуральные пищевые красители безвредны для организма человека, однако их применение несколько ограничено, так как в технологическом процессе они проявляют лабильные свойства, легко окисляются под действием кислорода воздуха, солнечного света, высоких температур и при взаимодействии с металлами [1, 3]. Результаты многочисленных исследований [3, 4], полученные в разных странах за последние годы подтверждают, что натуральные красители, используемые

при производстве продуктов питания, частично или даже полностью утрачивают первоначальную цветовую палитру: яркие ягоды малины или клубники после термической обработки изменяют свою окраску до блекло-розовой. Большой интерес вызывают исследования по наиболее полному извлечению природного комплекса красящих веществ, изучению их содержания, состава и выявлению термостабильности с целью применения в рецептурах продуктов питания.

Цель исследований – изучение содержания и состава антоциановых красителей соковой фракции ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины, полученной в результате их комплексной ферментативной обработки, и выявление влияния температурной обработки на стабильность антоциановых красителей в концентратах соковых фракций указанных ягод.

Материалы и методы

В работе использовали ягоды красной смородины, собранные в саду, и дикорастущие ягоды малины, брусники и клюквы, собранные в Московской области в 2021 г. В качестве ферментных препаратов пектолитического действия использовали Fructocim БЕ, Fructocim П6-Л, Fructocim-Color (производитель – фирма «Эрб Сле», Германия) и целлюлолитического действия – Ламинекс-С2К и Ламинекс-ВГ, полученные в результате ферментации штамма *Trichoderma reesei*, Ксибитен-цел (производитель Biovet, Болгария) и Целлолюкс-А (производитель Сиббиофарм, Россия). Дозировка ферментных препаратов и их состав зависят от комплекса активностей каждого из них и вида сырья. На основании ряда исследований определены оптимальные условия проведения ферментативного гидролиза и смоделированы МЭК (мультиэнзимные композиции) ферментных препаратов (состав и концентрации ферментных препаратов) для каждого вида ягод: МЭКб – для ягод брусники (ф.п. Fructocim-Color + ф.п. Ламинекс-ВГ), МЭКм – для ягод малины (ф.п. Ламинекс-С2К + ф.п. Fructocim-П6), МЭКк – для клюквы (ф.п. Fructocim-БЕ + Целлолюкс-А) и МЭКсм – для ягод красной смородины (ф.п. Фрутоцим-Колор + ф.п. Ксибитен-Цел) [5–7]. Суммарное содержание антоцианов определяли спектрофотометрическим методом [8], основанным на специфическом для антоциановых красителей изменении поглощения в зависимости от значений pH раствора. Качественный состав антоцианов в ферментативных соковых фракциях ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины определяли с помощью высокоэффективной жидкостной обращенно-фазовой хроматографии (ВЭЖХ) с использованием спектрофотометрического детектора при оптимальной длине волны 510 нм [8].

Результаты и обсуждение

На начальном этапе исследований проводили ферментативный гидролиз измельченного ягодного сырья при оптимальных (установленных экспериментально) условиях с добавлением ферментных препаратов в виде мультиэнзимных композиций, соотношение и дозировка которых разработана экспериментально с применением метода математического моделирования на основе униформ рототабельного планирования для каждого вида ягод [5–7]. Длительность обработки

составляла 1,5–2 ч при температуре 45 °С. В результате ферментативного гидролиза выход сока увеличивался на 20 % для малины и на 30 % – для красной смородины, брусники и клюквы по сравнению с контролем – соком, полученным без ферментативной обработки.

При этом изучали содержание красителей в соке, полученном после ферментативного гидролиза. Установлено увеличение выхода антоцианов – красящих веществ растений. Антоцианы локализируются в клеточном соке в растворенном виде, а при действии на мезгу ягод ферментных препаратов уменьшается количество и прочность связей пигмента с лигноуглеводным комплексом клетки, тем самым обеспечивается доступ к нему экстрагента, поэтому антоцианы легко переходят в сок. Данные по увеличению выхода красящих веществ в ферментативную соковую фракцию для каждого вида ягод представлены в табл. 1.

Таблица 1

Содержание красящих веществ в ферментативных соковых фракциях ягод брусники, малины, клюквы и красной смородины и в соке (контроль)

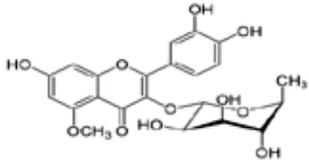
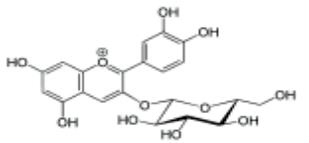
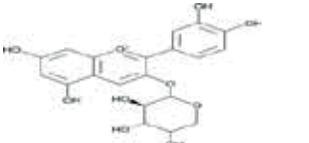
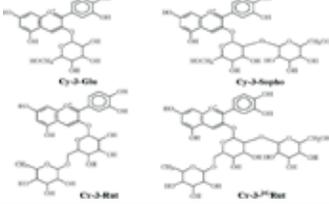
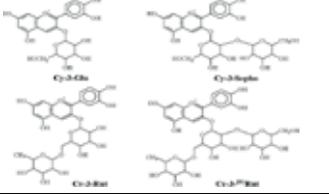
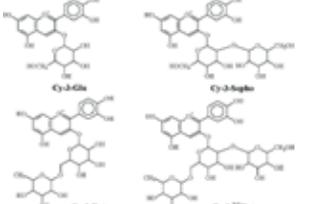
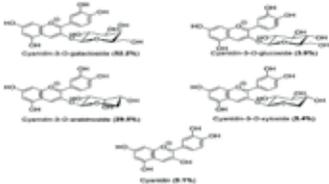
Показатель	Содержание антоцианов в ферментативной соковой фракции (фсф) и соке ягод							
	клюкwa		брусника		красная смородина		малина	
	сок	фсф	сок	фсф	сок	фсф	сок	фсф
Антоцианы, мг/л	195	325	294,40	523,70	197,6	235,6	106,20	146,40
В том числе лейкоантоцианы	50,40	115	103,40	159,20	49,12	62,10	37,00	55,00

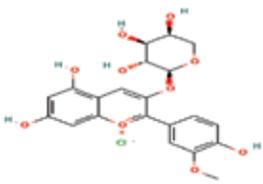
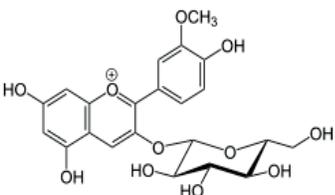
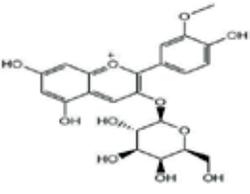
Из данных табл. 1 видно, что выход антоциановых веществ в ферментативную соковую фракцию увеличился для всех ягод по сравнению с соком (контролем), полученным при тех же условиях, но без обработки ягодного сырья ферментными препаратами: в 1,2 раза – для сока из красной смородины, в 1,4 раза – для сока из ягод малины, в 1,7 раза – для сока клюквы и до 1,8 раза – для сока брусники. Таким образом, установлено, что проведение комплексной ферментно-тепловой обработки с применением МЭК для каждого вида ягод способствует более полной экстракции и переводу в растворимую часть ферментативной соковой фракции ценных физиологически функциональных ингредиентов ягод (антоцианов). Повышение выхода антоцианов и максимальное их сохранение в процессе переработки имеют большое значение для физиологии питания, так как, согласно взглядам академика И.П. Павлова, в процессе эволюции у человека создались крепкие интуитивные связи между зрительным восприятием и процессом пищеварения. На стадии получения соковой фракции был проведен анализ антоцианов: определен их качественный состав и относительное содержание в ферментативной соковой фракции, полученной прессованием обработанного ферментными препаратами измельченного ягодного сырья. Данные исследований представлены в табл. 2.

В растительном мире наиболее распространены так называемые неметилированные антоцианидины, т.е. не содержащие в боковом кольце своих молекул (кольце Б) группу CH_3 [9]. Первое место в этом отношении занимает цианидин [9, 10], который и обуславливает идентичную цветовую пигментацию сока, экстрагированного из ягод брусники, малины, клюквы и красной смородины, так как его относительное содержание по сравнению с другими антоцианидинами, присутствующими во всех исследуемых объектах, наибольшее. В то же время данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что все четыре соковые

Таблица 2

**Состав и относительное содержание компонентов антоцианового красителя
в ферментативной соковой фракции ягод**

Компонент антоцианового красителя	Относительное содержание и состав антоцианового красителя в ферментативной фракции ягод, %			
	брусника	малина	клюква	смородина
 <p>Cy-3- gal</p>	80,8	–	25,4	–
 <p>Cy-3- glu</p>	4,3	48,5	4,5	–
 <p>Cy-3- arab</p>	14,9	–	15,4	-
 <p>Cy-3-Glu Cy-3-Mal Cy-3-Rut Cy-3^P-Rut</p>	–	4,3	–	60,7
 <p>Cy-3-Glu Cy-3-Mal Cy-3-Rut Cy-3^P-Rut</p>	–	38,4	–	4,2
 <p>Cy-3-Glu Cy-3-Mal Cy-3-Rut Cy-3^P-Rut</p>	–	8,8	–	8,6
 <p>Cy-3- xyl</p>	–	–	–	26,6

Компонент антоцианового красителя	Относительное содержание и состав антоцианового красителя в ферментативной фракции ягод, %			
	брусника	малина	клюква	смородина
 <p>Peo-3-arab</p>	–	–	18,4	–
 <p>Peo-3-glu</p>	–	–	5,8	–
 <p>Peo-3-gal</p>	–	–	30,5	–

Примечание. Прочерк – компонент отсутствует.

фракции, полученные из ягод, содержат различный, абсолютно не совпадающий по составу, набор антоцианов. Многообразие оттенков пигментации ягод обусловлено большим количеством комбинаций гликозилирования и ацилирования [10]. Чаще всего один или несколько фрагментов сахаров присоединяются через гликозидную связь в 3-, 5- и 7-положения. Замена одного вида сахара на другой также влияет на воспринимаемый цвет пигментов антоциана. Антоцианидин – 3-гликозиды окрашены интенсивнее, чем соответствующие 3,5- и 5-гликозиды [9]. В качестве структурных элементов красителя большая доля в количественном отношении приходится в ягодах брусники – на моносахарид галактозы цианидин-3-галактозид (около 80 %), малины – на моносахарид глюкозы цианидин 3-гликозид (около 50 %), красной смородины – на дисахарид глюкорутинозид: цианидин-3-глюкорутинозид (60 %) , а в клюкве практически в равных долях содержатся антоцианидины (пеонидин и ционидин), содержащие один и тот же моносахарид – галактозу: пеонидин-3-галактозид (30 %) и ционидин-3-галактозид (25 %) (табл. 2).

Для наиболее широкого применения ягодных соков в производстве продуктов питания их чаще всего концентрируют до 50–75%-го содержания сухих веществ. Поэтому следующий шаг в наших исследованиях – концентрирование ферментативной соковой фракции ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины, которое вели под вакуумом при температуре 60–70 °С. В процессе получения

концентраты увеличивают химическую и микробиологическую стабильность и могут в течение длительного времени быть использованы в качестве натуральных красителей. Технологии получения многих пищевых продуктов включают термическую обработку, в результате которой происходит частичная или даже полная утрата первоначальной окраски красителей. Это обусловлено наличием в гетероциклическом кольце антоцианов кислорода, который обладает высокой реакционной способностью за счет электронной недостаточности. Вследствие этого антоцианы легко окисляются, образуют соли, вступают в реакции с различными органическими соединениями (полисахаридами, белками, танинами, образуя бесцветные комплексные соединения) и претерпевают изменения, что понижает пищевую и биологическую ценность продукта: ухудшается его цвет, а следовательно, и качество [10, 11]. На рис. 2 показаны предлагаемые пути термической деструкции антоцианов.

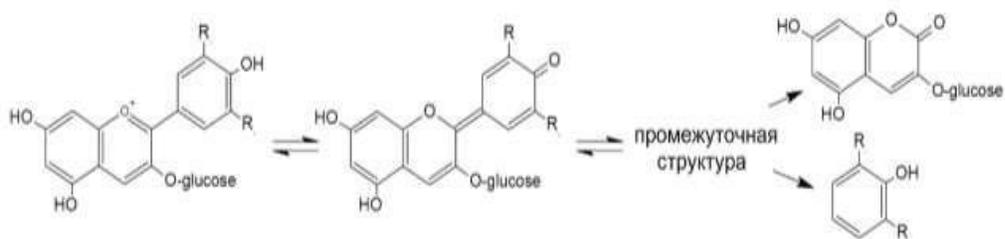


Рис. 2. Деградация моноглокозида антоциана при термическом воздействии в кислой среде (pH = 3,7)

В целом те же структурные факторы, которые обуславливают стабильность pH антоцианов, могут повышать или стабилизировать антоциановые красители при термической обработке [9, 12]. Первый этап термической деструкции антоцианов сопровождается образованием халкона [10–12]. Итогом термической дегградации красителей является образование коричневых продуктов, особенно в присутствии кислорода [10–12]. Термическая дегградация антоцианов следует кинетике первого порядка [3, 4]. Высокая температура наряду с высоким pH может вызывать частичную или полную дегградацию антоцианов. Поэтому изучение и оценка термической стабильности антоциановых красителей в концентратах ягод клюквы, красной смородины, брусники и малины – важная составляющая с точки зрения их применения в рецептурах пищевых продуктов.

Изучение термостабильности антоциановых красителей в концентратах ягод проводили по следующей методике. На часовое стекло наносили концентраты (по 6 образцов каждого концентрата ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины) с точной массой (5 г) и термостатировали при температуре 80 °С, при этом через определенные промежутки времени (0,5; 1; 2; 3; 4 и 5 ч) определяли оптическую плотность и рассчитывали содержание антоциановых красителей в исследуемых объектах. После термостатирования определение проводили следующим образом: концентрат растворяли в 4%-м растворе соляной кислоты в колбе объемом 100 мл, добавляли туда же 12,5 мл подкисленного этилового спирта (pH = 1,2). После этого раствор центрифугировали в течение 10 мин и определяли оптическую плотность при $\lambda = 540$ нм и $l = 1$ мм на спектрофотометре КФК-3. Затем образцы концентратов термостатировали при более высоких температурах

(90 и 100 °С) и по такой же методике определяли оптическую плотность и содержание антоциановых красителей. Данные по изучению оптической плотности представлены в табл. 3.

Таблица 3

Влияние температуры и времени обработки на величину оптической плотности красителей в исследуемых растворах концентратов ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины

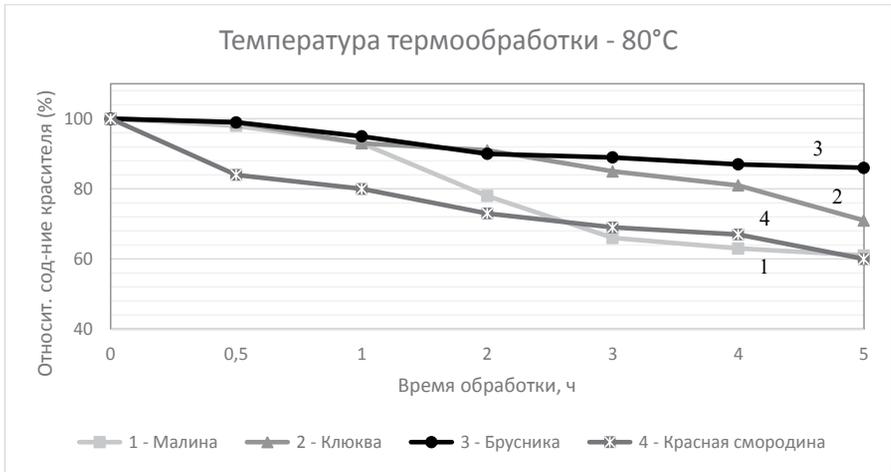
Температура термостагирования, °С	Время обработки, ч							
		0	0,5	1	2	3	4	5
80	Концентрат из ягод	Среднее значение оптической плотности концентратов ягод после термообработки при различных температурах						
	малины	0,514	0,504	0,478	0,401	0,339	0,324	0,314
	брусники	0,785	0,785	0,73	0,705	0,700	0,680	0,670
	клюквы	0,560	0,554	0,520	0,510	0,476	0,454	0,398
	смородины	0,380	0,320	0,304	0,277	0,262	0,255	0,228
90	малины	0,514	0,457	0,416	0,370	0,324	0,262	0,216
	брусники	0,785	0,765	0,700	0,660	0,625	0,605	0,520
	клюквы	0,560	0,543	0,487	0,460	0,448	0,431	0,392
	смородины	0,380	0,312	0,280	0,231	0,214	0,190	0,182
100	малины	0,514	0,427	0,315	0,288	0,221	0,175	0,154
	брусники	0,785	0,675	0,655	0,615	0,591	0,575	0,510
	клюквы	0,560	0,521	0,465	0,420	0,403	0,336	0,286
	смородины	0,380	0,296	0,280	0,137	0,122	0,009	0,630

На основе полученных данных строили график зависимости уменьшения антоциановых красителей (в %) в концентратах ягод от времени термической обработки при соответствующих температурах воздействия; контролем служил концентрат, не подвергавшийся термообработке. Данные исследований представлены на рис. 3.

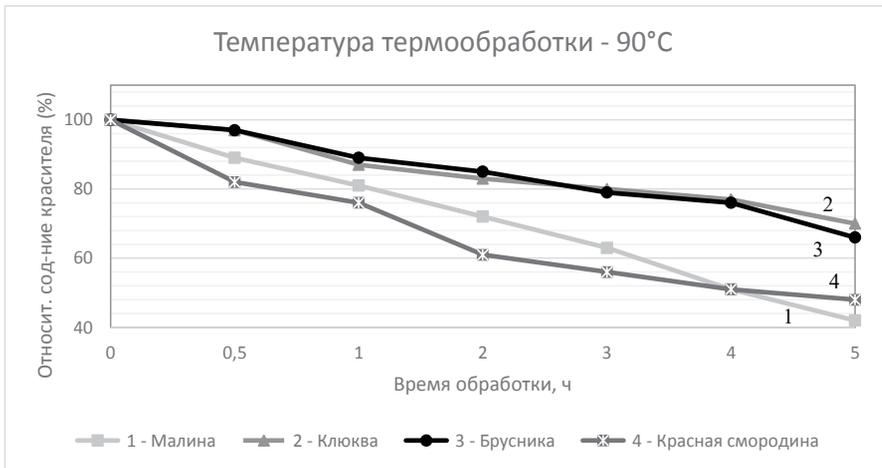
На графиках зависимости видно, что содержание антоциановых красителей в концентратах ягод уменьшается под действием температуры. Даже при кратковременном температурном воздействии происходит деградация красящих веществ, что вызвано увеличением скорости окисления и поликонденсацией полифенольных фрагментов [13]. Увеличение времени термостагирования приводит к постепенному уменьшению оптической плотности, а значит, и содержания антоциановых красителей. Повышение температуры от 80 до 100 °С при значениях рН = 2–4 (характерных для концентратов ягод клюквы, малины, брусники и красной смородины) вызывает потерю гликозильных фрагментов антоцианов путем гидролиза гликозидной связи [10]. Это провоцирует изменение антоциановой окраски.

Сравнивая представленные данные по изменению оптической плотности исследуемых концентратов ягод, можно видеть, что незначительное уменьшение оптической плотности наблюдается у концентрата ягод брусники при различном температурном воздействии, что говорит о наименьшей потери красящих веществ в концентратах этих ягод. Следует отметить, что при температуре 80 °С содержание красителей в концентратах ягод брусники и клюквы сохраняется до 80 % при

a



б



в

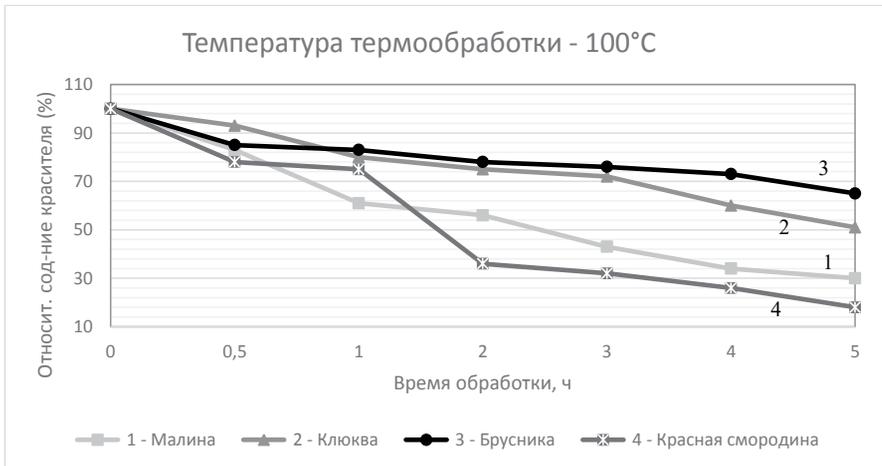


Рис. 3. График зависимости уменьшения антоциановых красителей (% от исходного значения) в концентратах ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины от времени термической обработки и температуры: *a* – 80, *б* – 90, *в* – 100 °С

термостатировании в течение 4 ч. При температуре 100 °С количество красящих веществ через 5 ч уменьшается почти в 2 раза в концентрате клюквы, в 1,4 раза – в концентрате брусники. В концентратах малины и красной смородины потери антоциановых красителей даже при низкой температуре составляют 40 %, а при более высокой (100 °С) – соответственно 70 и 82 %. Таким образом, комплекс красителей концентратов брусники и клюквы более устойчив к действию высоких температур, т.е. обладает способностью к более значительной термоустойчивости и стабильности, чем антоцианы концентрата малины и красной смородины. В то же время следует отметить, что антоциановые красители малины при кратковременном (1 ч) воздействии при температуре 80 °С остаются достаточно стабильными. Поскольку пастеризацию напитков проводят именно при 80 °С, при получении соков из ягод малины следует ожидать интенсивно окрашенный напиток, цвет которого характерен для этих ягод.

Заключение

Комплексная ферментативно-тепловая обработка ягодного сырья способствует более глубокой биоконверсии и наиболее полному извлечению природного комплекса красящих веществ. В процессе исследований установлен более высокий выход и содержание антоциановых красителей в соковых фракциях из ягод брусники и клюквы по сравнению с содержанием красителей в соке из ягод малины и красной смородины.

Кроме того, определен компонентный состав антоциановых красителей в соковых фракциях из ягод малины, брусники, клюквы и красной смородины, который во многом определяет их термостабильность: в состав антоцианового красителя ягод брусники и клюквы входит цианидин – арабинозид, который более устойчив при термической обработке, чем соответствующие галактозиды [10, 13]. Действительно, данные, полученные при изучении термической деструкции четырех антоциановых красителей в концентратах из различных ягод, свидетельствуют о том, что в результате их термостатирования в течение 5 ч наименьшая потеря окраски при максимальной температуре 100 °С наблюдалась в концентратах ягод брусники и клюквы (произошла потеря 35 и 50 % красящих веществ соответственно). Наименьшая стабильность при тех же условиях обработки выявлена у антоцианов малины и красной смородины.

Таким образом, можно рекомендовать использование всех концентратов ягодного сырья для окрашивания продуктов питания, технология получения которых предусматривает термическую обработку, однако приоритет следует отдать концентрату из ягод брусники.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Танчев С.С. Антоцианы в плодах и овощах. М.: Пищ. пром-сть, 1980. 256 с.
2. Тимофеева В.Н., Саманкова Н.В., Азаренко Ю.П. Исследование влияния тепловой и ферментативной обработки плодов аронии черноплодной на выход сока и содержание в нем антоцианов // Вестн. МГУП. 2008. № 2. С. 57–60.
3. Rhim J. Kinetics of thermal degradation of anthocyanin pigment solutions driven from red flower cabbage // Food Science and Biotechnology. 2002. Vol. 11. P. 361–364.
4. Ahmed J. Thermal degradation kinetics of anthocyanin and visual colour of plum puree // European Food Research and Technology. 2004. Vol. 218. P. 525–528.

5. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю., Зайцев Д. Применение методов математического моделирования для оптимизации условий и интенсификации переработки ягодного сырья: Сб. ст. по материалам II Всерос. науч.-практ. конф. Им. акад. РАН Ю.А. Израэля. 2017. С. 182–186.
6. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю. Выбор состава мультэкзимальной композиции для обработки многокомпонентного дикорастущего сырья : Сб. ст. по материалам II Всерос. науч.-практ. конф. им. акад. Ю.А. Израэля. 2017. С. 198–200.
7. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Куликова Н.Е., Попова О.Ю. Ферментативная соковая фракция дикорастущих ягод: получение, аналитическое изучение ингредиентного состава и перспективы его применения // Пиво и напитки: безалкогольные, алкогольные, соки, вино. 2020. № 2. С. 34–39.
8. Эллер К.И. и др. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. М.: Федер. центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 240 с.
9. Кульченко Я.Ю., Дейнека Л.А. Влияние состава антоцианового комплекса на окраску экстрактов при повышенных значениях pH // Региональные геосистемы. 2017. Т. 39, № 11 (260). С. 79–83.
10. Cabrita L., Petrov V., Pina F. On the thermal degradation of anthocyanidins: cyanidin // Roy. Soc. Chem. 2013 RSC Advances. 2013. N 9. P. 1–6.
11. Furtado P. Photochemical and thermal degradation of anthocyanidins // Journal of Photochemistry and Photobiology A. 1993. Vol. 75, N 2. P. 113–118.
12. Colorants / J.H. Elbe [et. al.] // Food Chemistry. N.Y.: Marcel Dekker Inc., 1996. P. 651–723.
13. Степанова Н.Ю. Исследование свойств и применение растительных пигментов // Изв. Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015. № 41. С. 56–64.

REFERENCES

1. Tanchev S.S. Antociany v plodah i ovoshchah = [Anthocyanins in fruits and vegetables]. М.: Pishhevaya promyshlennost, 1980. 256 p. (In Russ.).
2. Timofeeva V.N., Samankova N.V., Azarenko Yu.P. Issledovanie vliyaniya teplovoi i fermentativnoi obrabotki plodov aronii chernoplodnoi na vykhod soka i sodержanie v nem antotsianov = [Study of the effect of thermal and enzymatic treatment of aronia chokeberry fruits on juice yield and anthocyanin content]. *Vestnik MGUP*. 2008;(2):57-60. (In Russ.).
3. Rhim J. Kinetics of thermal degradation of anthocyanin pigment solutions driven from red flower cabbage. *Food Science and Biotechnology*. 2002;(11):361-364.
4. Ahmed J. Thermal degradation kinetics of anthocyanin and visual color of plum puree. *European Food Research and Technology*. 2004;(218):525-528.
5. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю., Зайцев Д. Применение методов математического моделирования для оптимизации условий и интенсификации переработки ягодного сырья = [Application of mathematical modeling methods to optimize conditions and intensify the processing of berry raw materials]. In: *Sbornik statej po materialam II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii imeni Akad. RAN Yu.A. Izraelya*, 2017;182-186 (In Russ.).
6. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Попова О.Ю. Vy'bor sostava mul'te'kzimnoi kompozitsii dlya obrabotki mnogokomponentnogo dikorastushhego syr'ya = [The choice of the composition of the multi-exim composition for the processing of multi-component wild-growing raw materials]. In: *Sbornik statej po materialam II Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii im. Akad. RAN Yu.A. Izraelya*. 2017;198-200 (In Russ.).
7. Чернобровина А.Г., Роева Н.Н., Куликова Н.Е., Попова О.Ю. Fermentativnaya sokovaya fraktsiya dikorastushchih yagod: poluchenie, analiticheskoe izuchenie ingredientnogo sostava i perspektivy' ego primeneniya = [Enzymatic juice fraction of wild berries: obtaining, analytical study of the ingredient composition and prospects for its application]. *Pivo i napitki: bezalkogol'nye, alkogol'nye soki, vino*. 2020;(2):34-39. (In Russ.).
8. Eller K.I. i dr. Rukovodstvo po metodam kontrolya kachestva i bezopasnosti biologicheskii aktivnykh dobavok k pishche = [Guidance on methods of quality control and safety of biologically active additives to food.]. М.: Federal'nyj centr gossanepidnadzora Minzdrava Rossii. 2004;240. (In Russ.).
9. Kul'chenko Ya.Yu., Dejneka L.A. Vliyanie sostava antotsianovogo kompleksa na okrasku ekstraktov pri povyshennykh znacheniyakh rN = [Influence of the composition of the anthocyanin complex on the color of extracts at elevated pH values]. *Regional'nye geosistemy*. 2017;(39):11(260):79-83. (In Russ.).
10. Cabrita L., Petrov V., Pina F. On the thermal degradation of anthocyanidins: cyaniding. *The Royal Society of Chemistry 2013 RSC Advances*. 2013;(9):1–6.

11. Furtado P. Photochemical and thermal degradation of anthocyanidins. *Journal of Photochemistry and Photobiology A*. 1993;(75(2)):113-118.
12. Von Elbe J.H. Colorants. *Food Chemistry*. Fennema O.R. (ed.). 3rd ed. 1996:651–723.
13. Stepanova N. Yu. Issledovanie svoystv i primeneniye rastitel'nykh pigmentov = [Study of properties and application of plant pigments]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2015;(41):56-64. (In Russ.).

Научная статья

УДК 552.086; 552.311

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_7

Результаты петрографических исследований раннемеловых гранитоидов Японского моря

Т.С. Якимов✉, Д.А. Ахмедов

Тимур Сергеевич Якимов

младший научный сотрудник

Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН,

Владивосток, Россия

yakimov-timur@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-1812-3274>

Дмитрий Александрович Ахмедов

инженер-исследователь

Сибирский федеральный университет, Красноярск

negleger@gmail.com

Аннотация. Проведены петрографические исследования гранитоидов раннемелового комплекса, установлены минералого-структурные и тектонические особенности. Основными методами подводных геологических экспедиционных исследований магматизма Японского моря являлись драгирование, глубоководное бурение, опробование коробчатými пробоотборниками и дночерпателями при обязательном исследовании рельефа дна и геофизических полей. В результате анализа фактического материала авторами определены морфологические типы цирконов, которые помогают исследовать этапность гранитоидного магматизма. Выделены два этапа возможного формирования гранитоидов плато Уллын: первый этап – становление гранитоидов в условиях континентальной коры, второй – подъем территории в верхнем меле и дальнейшее разрушение окраины Азии в процессе образования Японского моря в кайнозой. На первом этапе в процессе развития очагов коровой магмогенерации как результат пластических деформаций формировались разнообразные директивные текстуры, выраженные в ориентировке кварца, темноцветных минералов и полевых шпатов, сложно сочетающиеся с массивными текстурами, характерными для полностью переплавленных фаз. На втором этапе как в директивных, так и в массивных текстурах проявляются разнообразные формы катаклаза. На стадии консолидированной коры происходят процессы метасоматических преобразований и последующего возможного протрузивного течения, проявленного в виде дислокации и катаклаза.

Ключевые слова: возвышенность Гэбасс, возвышенность Криштофовича, плато Уллын, петрография, гранитоиды

Благодарности. Авторы выражают благодарность к.г.-м.н. В.Т. Съедину и д.г.-м.н. Р.Б. Шакирову за поддержку в реализации исследований. Исследование выполнено по проекту

«Геосистемы и минеральные ресурсы переходных зон «континент–океан» и открытого океана» (ГЕОМИР, рук. д.г.-м.н. Р.Б. Шакиров) в рамках Десятилетия ООН «Науки об океане в интересах устойчивого развития» (2021–2030 гг.), а также по теме госзадания ТОИ ДВО РАН «Газогеохимические поля Мирового океана, геодинамические процессы и потоки природных газов, влияющие на формирование геологических структур с залежами углеводородов и аутигенной минерализации» (0211-2021-0006), науч. рук. А.И. Обжиров, регистрационный номер 121021500055-0.

Для цитирования: Якимов Т.С., Ахмедов Д.А. Результаты петрографических исследований ранне-меловых гранитоидов Японского моря // Вестник ДВО РАН. 2022. № 2. С. 86–97. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_7.

Original article

Results of petrographic research of Early Cretaceous granitoids of the Sea of Japan

T.S. Iakimov, D.A. Akhmedov

Timur S. Iakimov

Research assistant

V.I. Il'ichev Pacific Oceanological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia

yakimov-timur@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-1812-3274>

Dmitry A. Akhmedov

Engineer-researcher

Siberian Federal University (SFU), Krasnoyarsk, Russia

negleger@gmail.com

Abstract. Petrographic research of granitoids of the Early Cretaceous complex have been carried out, mineralogical-structural and tectonic features have been established. The main stages of underwater geological studies of magmatism of the Sea of Japan were dredging, deep-water drilling, box corers and bottom-grabs sampling during obligatory investigation of bottom relief and geophysical fields. As a result of the analysis of actual material, the authors determined morphological types of zircons, which help investigating the stages of granitoid magmatism. Two stages of the possible formation of granitoids of the Ulleung Plateau are identified: the first stage - the formation of granitoids in the conditions of the continental crust and the second stage - the rise of the territory in the Upper Cretaceous and further destruction of the outskirts of Asia during the formation of the Sea of Japan in the Cenozoic. At the first stage, during the development of foci of crustal magmogenesis, as a result of plastic deformations, various directive textures were formed, expressed in the orientation of quartz, dark-colored minerals and feldspars, which are difficult to combine with massive textures typical for completely melted phases. In the second stage, various forms of cataclase appear in both directive and massive textures. At the stage of the consolidated crust, the processes of metasomatic transformations and the subsequent, possible, protrusive flow occur, manifested in the form of dislocation and cataclase.

Keywords: Gabass Rise, Kryshtofovich Rise, Ulleung Plateau, petrography, granitoids

Acknowledgments. The authors are grateful to K.G.-M.N. I will eat Vladimir Timofeevich and D.G.-M.N. Shakirov Renat Belalovich for support in the implementation of research. The study was carried out under the project “Geosystems and mineral resources of the transition zones” Continent-Ocean “and Opera” (geomir, hand Development (2021-2030), as well as on the topic of the State Property of the Federal District of the Russian Academy of Sciences “Gasogeochemical Fields of the World Ocean, Geodynamic Processes and Flows of Natural Gas, influencing the formations of hydrocarbons with deposits of hydrocarbons and auticon mineralization” (0211-2021-0006), scientific. Hands. Changov A.I., registration number 121021500055-0.

For citation: Iakimov T.S., Akhmedov D.A. Results of petrographic research of Early Cretaceous granitoids of the Sea of Japan. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(2):86-97. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_7.

Введение

В 1970–1980-е годы на многочисленных станциях драгирования в Японском море были опробованы выходы горных пород на склонах подводных гор и возвышенностей, благодаря чему составлена геологическая карта одноименного моря [1]. Гранитоиды возвышенности Гэбасс и Криштофовича рассматриваются как раннемеловой комплекс возрастом 100–110 млн лет [2]. Местоположение данных морфоструктур отражено на схеме (рис. 1).

Возвышенность Криштофовича в Японском море была открыта и исследована в 1973 г. в ходе 20-го рейса НИС «Первенец». Она была названа в честь выдающегося советского ученого-геолога, палеоботаника и ботаника Африкана Николаевича Криштофовича (1885–1953 гг.), внесшего существенный вклад в изучение геологии Дальнего Востока и Восточной Азии. В настоящее время данное название возвышенности официально не принято, и она рассматривается как плато Уллын южной части Корейского плато (принято в 2007 г. Международным подкомитетом по наименованию подводных структур (GBCOSCUFN)) [3, 4]. На западе плато отделено от Восточно-Корейской возвышенности трогом Усан, на юго-востоке – трогом Уллын от банки Оки, на северо-востоке склоны плато переходят в основание Японской глубоководной котловины, на юге – в основание Цусимской котловины. Плато Уллын представляет собой изометричный свод с хребтами и межгорными впадинами [2]. Вершины хребтов оконтурены изобатами 1100–1300 м; общий цоколь выделяется на глубине 2000 м; минимальная глубина, зафиксированная в южной части плато, около 550 м [5]. Геологический фундамент плато сложен позднеархейским–раннепротерозойским метаморфическим комплексом, включающим в себя гнейсы, граниты, мигматиты, сланцы, прорванным в ряде мест раннемеловыми гранитоидами и перекрытым окраинно-континентальными вулканитами (базальтами, трахилипаритами, игнимбритами, спекшимися туфами позднеолигоцен–раннемиоценового возраста). Осадочный чехол сложен верхнекайнозойскими породами различного генезиса – озерными и морскими туфогенно-осадочными породами [4].

Возвышенность Гэбасс в Центральной глубоководной котловине Японского моря была описана в 1977 г. в ходе 28-го и 29-го рейсов НИС «Первенец». Возвышенность Гэбасс располагается в юго-западной части котловины на приподнятом на 500–600 м относительно фундамента блоке и представляет собой вулканический хребет, вытянутый в субмеридиональном направлении. Возвышенность сложена в основном оливин-плагиоклазовыми, плагиоклазовыми базальтами, ферробазальтами, трахиандезитами и гранитоидами, слагающими ее цокольную часть [6].

Цели и задачи

Цель работы – с помощью петрографического метода уточнить условия формирования гранитоидов плато Уллын и Гэбасс в контексте ранее выделенного раннемелового комплекса в Японском море. Задача петрографических исследований – установление минерального состава пород и взаимоотношений составляющих эти породы минералов, т.е. их структуры и текстуры, что позволяет произвести диагностику пород до разновидности.

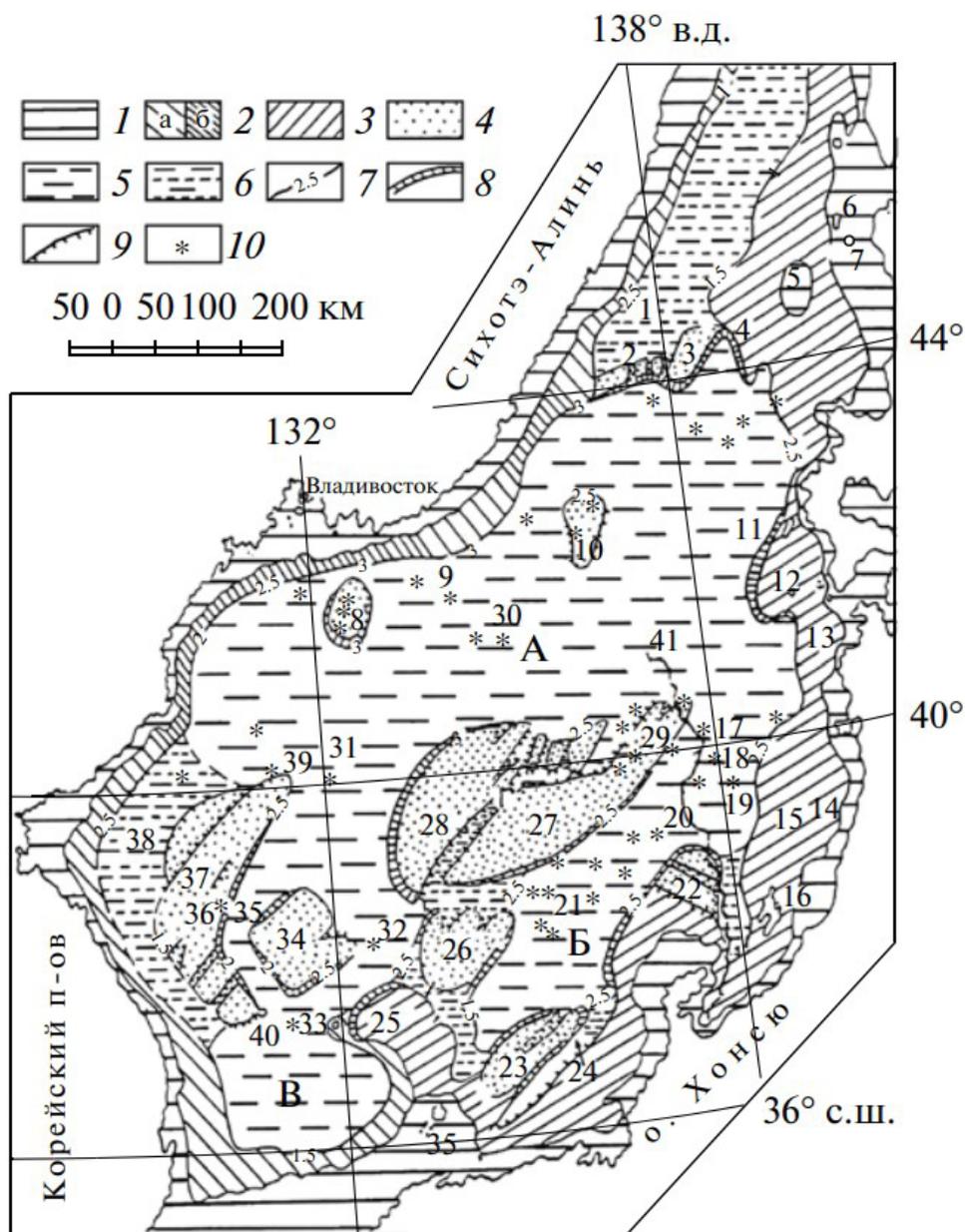


Рис. 1. Морфоструктуры Японского моря [4]: 1 – шельф, 2 – континентальный склон: а – пологий (до 10°), б – крутой, 3 – островной склон, 4 – подводные возвышенности, 5 – глубоководные бассейны, трюги, впадины, 6 – впадины глубиной менее 2 км, 7 – границы морфоструктур, их глубины, км, 8 – крутые склоны, 9 – разломы, отраженные в рельефе дна, 10 – вулканические горы и хребты. Названия морфоструктур: А – Японская котловина, Б – котловина Ямато, В – Цусимская котловина. 1 – Татарский трог, 2 – возвышенность Алпатова, 3 – хребет Витязя, 4 – хребет Окусири, 5 – бухта Мусаси, 6 – о-в Ребун, 7 – о-в Рисири, 8 – возвышенность Первенца, 9 – возвышенность Тарасова, 10 – возвышенность Богорова, 11 – о-в Окусири, 12 – плато Осима, 13 – трог Ниси-Цугару, 14 – трог Могами, 15 – хр. Садо, 16 – трог Тояма, 17 – гора Мейё-3, 18 – гора Мейё-2, 19 – гора Мацу, 20 – гора Мейё, 21 – гора Медведва, 22 – бухта Хакусан, 23 – хребет Оки, 24 – трог Оки, 25 – бухта Оки, 26 – бухта Кита-Оки, 27 – бухта Ямато, 28 – бухта Кита-Ямато, 29 – бухта Такуё, 30 – бухта Беляевского, 31 – гора Гэбасс, 32 – гора Галагана, 33 – гора Глебова, 34 – возвышенность Криштофовича, 35 – трог Криштофовича, 36 – гора Ченцова, 37 – Восточно-Корейский хребет, 38 – Восточно-Корейский (Кунсан) трог, 39 – гора Кольцо, 40 – о-в Уллындю, 41 – канал Тояма

Материалы и методы

Материал для исследований получен из коллекции ТОИ ДВО РАН. Петрографические исследования проводились с помощью микроскопа Nikon eclipse 50i с увеличением от 5х до 60х. Петрографический метод изучения магматических горных пород с применением поляризационного микроскопа остается первичным, несмотря на интенсивное развитие в последнее время аналитических методов.

Важнейшую роль в изучении геологического строения дна Японского моря выполнили экспедиционные геолого-геофизические исследования под руководством И.И. Берсенева, Е.П. Леликова, А.Н. Маляренко, И.Б. Цой, Ф.Р. Лихта, Б.Я. Карпа, Р.Г. Кулинича и других ученых ТОИ ДВО РАН, а также иных организаций, в процессе которых изучались глубинное строение, блоковая структура литосферы, тектоника, вулканизм, магматизм, геохимия и петрография магматических образований и др.

Среди методов геологического опробования лидировало драгирование коренных пород с помощью стальной скальной драги разных типов (цилиндрическая и др.). В настоящее время на смену драгированию пришли современные методы глубоководного опробования скальных пород: глубоководное бурение, гидравлические грейферы с ТВ контролем, малые глубоководные буровые установки и др.

В аналитических исследованиях поднятого каменного материала для определения типоморфизма цирконов использовался микроскоп Nikon eclipse 50i с увеличением от 5х до 60х. Кристаллы циркона, сохранившие элементы огранки, изучены с помощью широко используемой типологической диаграммы Ж.-П. Пупена [7], в которой кристаллы циркона классифицируются в соответствии с развитием в огранении индивида призматических $\{100\}$ и $\{110\}$ и пирамидальных $\{211\}$ и $\{101\}$ форм. Ж.-П. Пупен связал относительное развитие призматических граней главным образом с температурой кристаллизации, пирамидальных граней – с химизмом и степенью неоднородности среды кристаллизации (индекс агпаитности I.A.), а призматических – с температурой и водонасыщенностью материнских и дифференцированных расплавов (температурный индекс Temperature, индекс водонасыщенности I.T.). Он обратил внимание на то, что типологические параметры популяции циркона могут использоваться для описания эволюции магматической системы, и предложил несколько генетических интерпретаций диаграммы, адаптированных для изучения кристаллов циркона гранитного плутонического происхождения, эффузивных и метаморфических пород. Выделение цирконов из гранитоидов производилось по стандартной методике с использованием магнитной сепарации тяжелых жидкостей.

Результаты и обсуждение

Коллекция образцов гранитоидов плато Уллын представлена тремя типами пород: ортоклазовые, микроклиновые биотитовые граниты и гранит-порфиры, возвышенности Гэбасс – лейкократовыми гранитами.

Биотитовые граниты плато Уллын

Микроклиновые и ортоклазовые биотитовые граниты различаются только наличием или отсутствием определенного калиевого полевого шпата.

Граниты характеризуются в основном гранитовой структурой, участками пойкилитовой, катакlastической и гранобластовой (рис. 2). Количественный минеральный состав, %: кварц – 20–30; плагиоклаз – 25–35; калиевый полевой шпат (КПШ) – 20–30; биотит – 10–12; амфибол – 5–7.

Кварц распределен неравномерно, образует скопления ксеноморфных зерен размером 0,3–0,5 мм (реже больше 1 мм), часто с волнистым погасанием. Также отмечается регенерационный кварц в зонах катаклаза первой фазы (0,5–3 мм). Количество кварца возрастает пропорционально степени катаклаза пород.

Встречаются четыре морфологические разновидности: крупные (1–3 мм) и средние (0,2–0,8 мм) ксеноморфные зерна, мелкие (0,02–0,1 мм) округлые вростки в полевых шпатах, тонкозернистый (0,02–0,04 мм) агрегат в составе прожилков, зон дроблений и в межзерновом пространстве.

Микроклин образует таблитчатые или неправильной формы выделения размером до 3–4 мм. В отдельных шлифах отмечаются крупные (3–4 мм) таблитчатые зерна нерешетчатого микроклина, содержащего мелкие участки (0,08 мм) с четко проявленным микроклиновым решетчатым эффектом. Данное явление может свидетельствовать о наличии двух генераций микроклина: более упорядоченного и менее упорядоченного. Более упорядоченный микроклин, вероятно, является наложенным, т.е. более низкотемпературным, что может быть результатом автometасоматоза.

Ортоклаз образует таблитчатые и неправильной формы зерна размером до 3–5 мм, иногда наблюдается двойникование. В отдельных шлифах отмечаются крупные (3–5 мм) таблитчатые зерна, содержащие альбит (размером 0,1–0,5 мм). Часто зерна пелетизированы в процессе пертитового распада, нередко в результате образуются кристаллы с шахматной структурой. Нередко плагиоклаз обрастает ортоклазом, а на границе сред образует реакционные каймы.

Плагиоклаз образует таблитчатые кристаллы (до 3 мм). Отмечаются интенсивная серитизация и пелитизация, не дающие возможности установить анортитовую компоненту, выраженную в номере плагиоклаза. Полевые шпаты образуют на периферии зерен реакционные каймы при реакциях между собой или с кварцем.

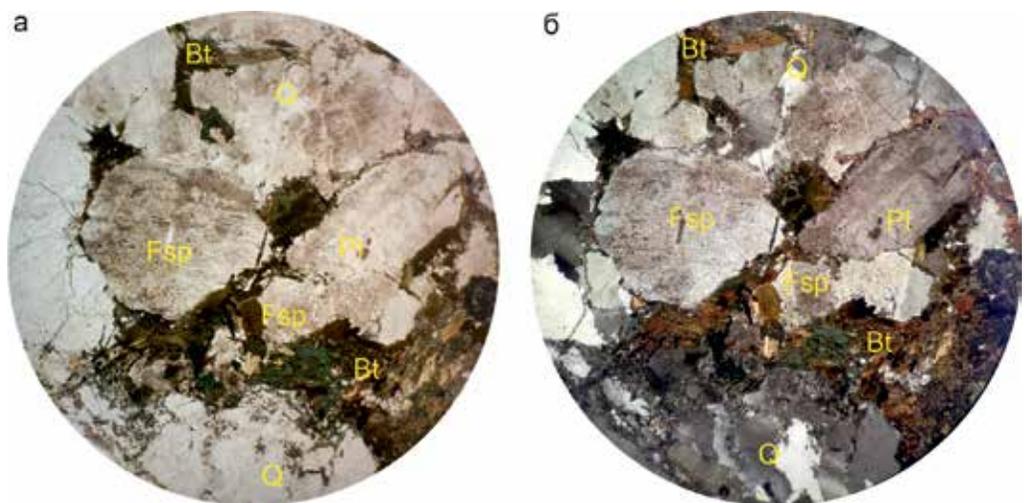


Рис. 2. Шлиф биотитового гранита плато Уллы в прямых (а) и скрещенных (б) николях. Увеличение 4-кратное. Q – кварц, F_{sp} – калиевый полевой шпат, Pl – плагиоклаз, Bt – биотит

Роговая обманка является второстепенным минералом. Образует как кристаллы до 3 мм, чаще чешуйки (0,1–0,4 мм), пространственно связанные с зонами катаклаза, так и скопления зерен с ориентировкой по трещинам. В нескольких шлифах присутствовал неизменный амфибол, формировавший как полисинтетические двойники, так и сростания. Нередко отмечаются скелетные кристаллы, переполненные гранулированными включениями кварца или же в плагиоклазовой матрице. В некоторых шлифах отмечалась слабая эпидотизация роговой обманки. Встречается также лейкоксенизированный титанистый амфибол, что, вероятно, свидетельствует о быстром остывании магмы.

Биотит образует удлиненные чешуйки (размером до 5 мм), пространственно связанные с роговой обманкой. Также наблюдается в зонах катаклаза наряду с амфиболом. Нередко зерна послойно хлоритизированы.

Акцессорные минералы представлены апатитом, цирконом, пиритом.

Апатит встречается в виде прозрачных удлиненных и короткостолбчатых призматических зерен размером до 0,1 мм.

Циркон встречается в виде идиоморфных зерен (размером 0,01–0,08 мм). Редко наблюдаются кристаллы более или менее изометричной формы. Встречаются короткопризматические кристаллы с плеохроическими двориками.

Пирит представляет собой рудную россыпь по трещинам.

Гранит-порфиры плато Уллы

Гранит-порфиры плато Уллы имеют структуру порфировую с микрографической, участками катакластическую (рис. 3) и следующий минеральный состав, %: кварц – 30–40; ортоклаз – 40–45; плагиоклаз – 10–15; биотит – 3–5.

Кварц присутствует в виде ксеноморфных зерен (размером 0,8–2 мм) и закономерных округлых вростков в ортоклазе. Количество кварца возрастает пропорционально степени катаклаза пород. Встречаются две морфологические разновидности: крупные (0,8–2 мм) и мелкие (0,08–0,8 мм) округлые вростки в полевых шпатах, тонкозернистые (0,02–0,08 мм) агрегаты в составе прожилков.

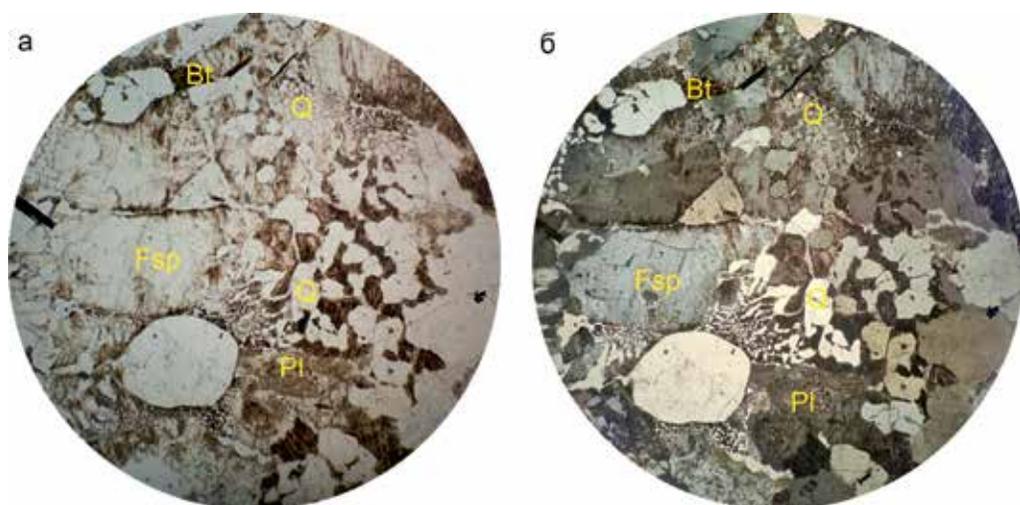


Рис. 3. Шлиф гранит-порфира плато Уллы в прямых (а) и скрещенных (б) николях. Увеличение 4-кратное. Q – кварц, F_{sp} – калиевый полевой шпат, Pl – плагиоклаз, Bt – биотит

Ортоклаз образует таблитчатые и неправильной формы зерна размером до 5 мм. Интенсивно пелитизированы, повсеместно отмечается пертитовый распад. Диагностирован по реликтам.

Плагиоклаз имеет таблитчатые кристаллы размером до 3 мм. Отмечаются интенсивная серитизация и пелитизация, что не дает возможности установить анортитовую компоненту, выраженную в номере плагиоклаза. Пластически деформирован на стадии кристаллизации.

Биотит является второстепенным минералом. Образует чешуйки (0,2–0,7 мм), в основном не изменен, реже хлоритизирован и эпидотизирован.

Акцессорные минералы представлены рутилом и цирконом.

Рутил имеет две морфологические разновидности: игольчатые (0,02–0,06 мм) и столбчатые (размером 0,01–0,02 мм). Циркон в виде идиморфных длиннопризматических зерен (размером 0,01–0,03). В одном шлифе наблюдается срастание двух кристаллов под углами 124 и 56°.

Лейкократовые граниты возвышенности Гэбасс

Отличаются от ортоклазовых и микроклиновых гранитов плато Уллын более высоким содержанием кварца, пониженным содержанием биотита и отсутствием амфибола и микроклина.

Макроскопически лейкократовые граниты представляют собой светло-розовые породы с неравномерно-зернистой текстурой.

Под микроскопом обнаруживают аллотриоморфнозернистую порфириовидную, участками гранулитовую структуру (рис. 4).

Состав, %: кварц – 40–45; ортоклаз – 25–30; плагиоклаз – 15–20; биотит – 2–3.

Кварц наблюдается в виде скоплений округлых зерен размером до 8 мм, часто с волнистым погасанием, участками образует гранулитовую структуру, которая, возможно, указывает на опережающую кристаллизацию полевых шпатов. Данный факт подтверждается наличием включений полевых шпатов (рис. 5). Отмечается вторичный кварц (0,02–0,08 мм) с характерным ему зональным погасанием.

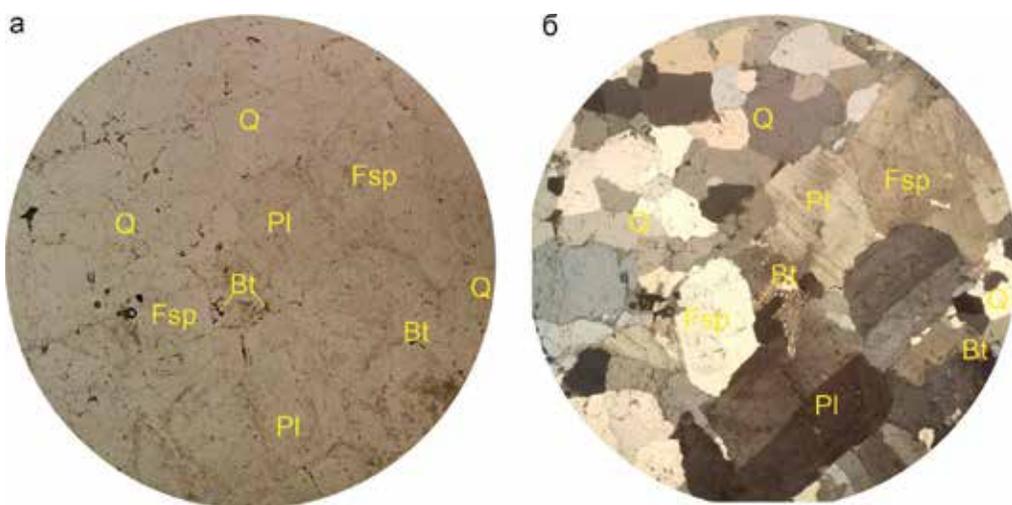


Рис. 4. Шлиф лейкогранита возвышенности Гэбасс в прямых (а) и скрещенных (б) николях. Увеличение 4-кратное. Q – кварц, F_{sp} – калиевый полевой шпат, Pl – плагиоклаз, Bt – биотит

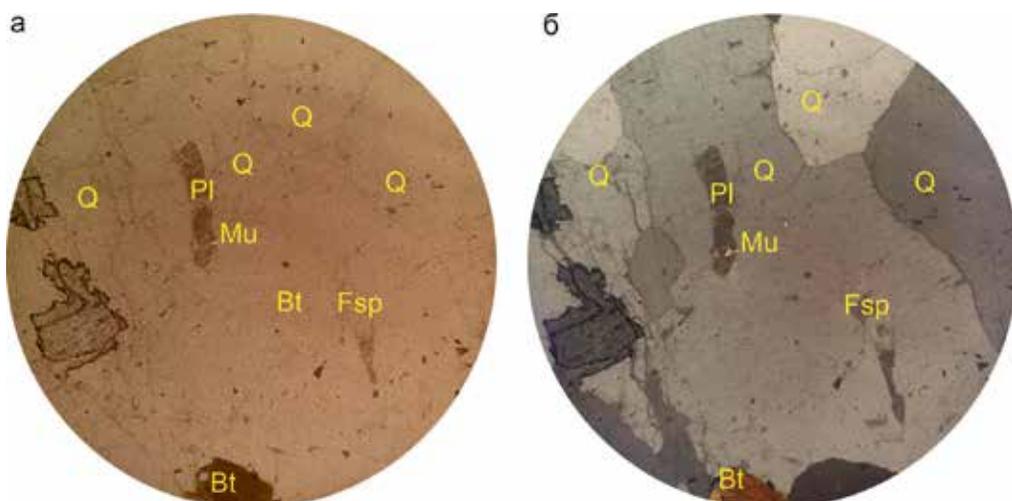


Рис. 5. Включения полевых шпатов в кварце в прямых (а) и скрещенных (б) николях. Увеличение 10-кратное. Q – кварц, F_{сп} – калиевый полевой шпат, Pl – плагиоклаз, Mu – мусковит, Bt – биотит

Ортоклаз обнаруживается в виде изоморфных зерен размером до 10 мм, реже – в виде таблитчатых зерен размером до 1 мм. Изоморфный ортоклаз пелитизирован с пертитовым распадом, таблитчатый неизменен. Некоторые кристаллы имеют плавные переходы с альбитом, образуя изоморфный ряд.

Плагиоклаз № 5–15 образует сдвойникованные таблитчатые зерна до 5 мм. Чаще слабо серитизирован, за исключением зональных кристаллов, где в результате сильной серититизации образуются мелкие чешуйки мусковита размером до 0,2 мм. На границах с ортоклазом наблюдаются мирмекиты размером до 0,6 мм. Плагиоклаз пластически деформирован на стадии кристаллизации (рис. 4).

Биотит имеет подчиненное значение, представлен двумя морфотипами: 1) чешуйки до 2 мм в виде включений в плагиоклазе; 2) чешуйки размером 0,02–0,06 мм в трещинах, чаще между зернами кварца, реже – между плагиоклазом и кварцем. Акцессорные минералы представлены цирконом и апатитом.

Апатит типичен, представляет собой прозрачные удлиненные зерна до 0,1 мм.

Циркон отмечен в виде идиоморфных зерен (размером 0,01–0,07 мм). Редко встречаются кристаллы более или менее изометричной формы.

Морфологические типы цирконов

По набору морфотипов в популяциях цирконов среди изученных гранитоидов Япономорского региона четко выделяется одна группа: мантийно-корового происхождения, кристаллизовавшиеся из высокотемпературных расплавов в гетерогенной среде при варьирующих повышенных значениях индекса агдаитности IA. I-тип гранитоидов характеризуется постмагматическими, обогащенными элементами-примесями, высокощелочными морфотипами цирконов ряда P_n, сформированных при воздействии высокотемпературных щелочных растворов глубинного происхождения. Для цирконовых популяций гранитоидов I-типа характерно также разнообразие реститовых и ксеногенных морфотипов, в частности присутствие реститовых цирконов пород различных ступеней регионального

метаморфизма, что подтверждает выводы петрологов о формировании магматических расплавов при вертикальной миграции очага [7].

Для гранитоидов плато Улын установлено несколько типов пирамид циркона с процентным содержанием: $P_1 - 60\%$, $P_2 - 22\%$, $S_9 - 8,75\%$, $P_4 - 5,5\%$, $G_1 - 3,75\%$ (рис. 6). Образование кристаллов циркона происходило в диапазоне температур $800-600^\circ\text{C}$ при повышенной щелочности минералообразующих расплавов $I.A. = 700-500$. Высокотемпературный P_4 кристаллизовался с высоким содержанием летучих компонентов ($I.T. = 600$), вероятно, это указывает на заглупление очага магмогенерации в процессе субдукции. S_9 характеризуется как ксеногенный или реститовый. P_1 является наиболее доминирующим морфотипом (60%), не исключено, что при $T = 650^\circ\text{C}$ условия кристаллизации были равновесны. Стадия образования морфотипа G_1 при температуре 600°C происходила быстро ввиду его малого содержания (3,75%). Температура кристаллизации породы по призме циркона определяется как $800-600^\circ\text{C}$, что коррелирует с двуполовшпатовым геотермометром [2] с учетом кристаллизационной дифференциации ($560-650^\circ\text{C}$).

Граниты возвышенности Гэбасс отличаются разнообразием форм цирконов: $G_1 - 29\%$, $P_1 - 29\%$, $S_{10} - 14\%$, $S_2 - 14\%$, $S_1 - 14\%$ (рис. 7). Температурный режим кристаллизации составлял $700-600^\circ\text{C}$, щелочность $I.A. - 700-600$, количество летучих компонентов $I.T. = 400-200$. G_1 и P_1 -типы незначительно преобладают над S-типами S_{10} , S_2 и S_1 , что указывает на большое количество (42%) ксеногенных и реститовых цирконов в породе.

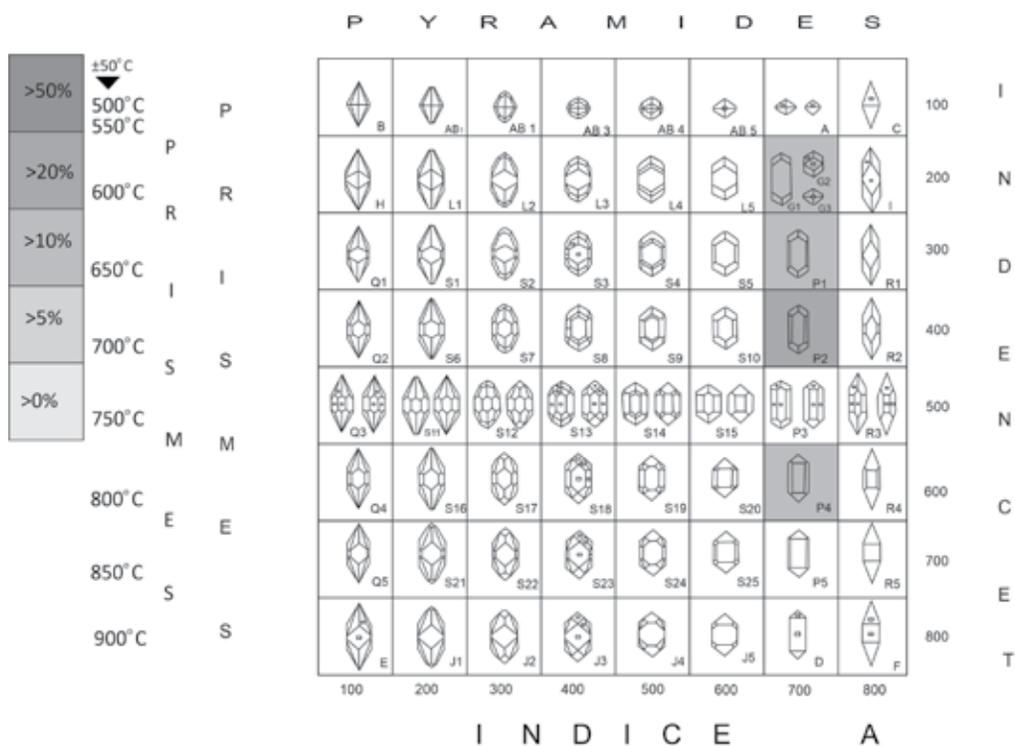


Рис. 6. Диаграмма типоморфизма циркона гранитоидов плато Улын (возвышенность Криштофовича) [7]

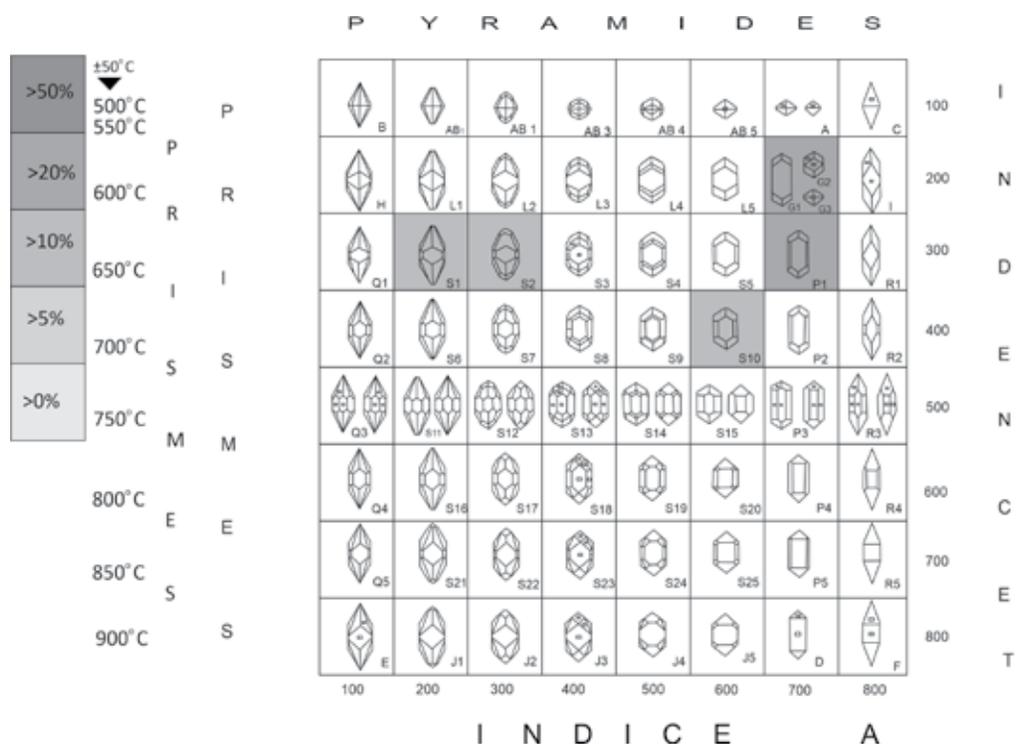


Рис. 7. Диаграмма типоморфизма циркона гранитоидов возвышенности Гэбасс [7]

Выводы

Для всех пород плато Уллын характерно следующее:

две фазы катаклаза, первая – на стадии кристаллизации, вторая – на стадии после становления гранитных массивов;

интенсивное проявление щелочного метасоматоза (пертитизация, окварцевание);

реакционные взаимоотношения между главными породообразующими минералами;

сильная изменчивость структурно-текстурных особенностей;

присутствие высокотемпературных морфологических типов цирконов P_4 ;

наличие P_n морфотипов, характерных для I-типа гранитов.

Присутствие морфотипа P_4 указывает на заглупление очага магмогенерации в субдукции, вероятно, первая фаза катаклаза происходила во время взаимодействия океанической и континентальной коры, вторая фаза – уже после становления магматического тела во время деструкции Азии.

Возвышенность Гэбасс характеризуется следующим:

пластические деформации плагиоклаза на стадии кристаллизации;

интенсивное проявление натриевого метасоматоза (пертитизация);

отсутствие изменчивости структурно-текстурных особенностей;

кварц кристаллизовался ранее, чем полевые шпаты;

P_n и S_n морфотипы характерны для I-типа гранитов.

Дислокация очага магмогенерации лейкократовых гранитов выражается двумя фактами: 1) пластические деформации, происходившие на стадии кристаллизации

плагиоклазов; 2) наличие обособленных скоплений кварца с пойкилитами полевых шпатов.

Возраст данных разностей пород морфоструктур определялся К-Аг методом по темноцветным минералам, что для возвышенности Гэбасс является достоверным результатом ввиду отсутствия вторичных изменений по темноцветам, но совершенно не подходит для гранитов плато с наличием хлоритизации и эпидотизации. В последующих работах авторы планируют провести U–Pb датирование цирконов, не зависящее от метасоматических процессов, Sm–Nd и электронно-зондовые анализы. Данные исследования позволят точно установить условия формирования гранитоидных морфоструктур Японского моря.

Таким образом, в результате петрографических исследований в совокупности с предшественниками можно сделать вывод о том, что образование гранитоидов плато Уллын проходило в два этапа: 1) формирование ассоциации как очага магмогенерации, 2) деструкция Азии с последующим опусканием во время формирования Японского моря.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Геологическая карта дна Японского моря / под ред. И.И. Берсенева, Л.И. Красного. Л.: Мингео СССР, 1988.
2. Леликов Е.П., Маляренко А.Н. Гранитоидный магматизм окраинных морей Тихого океана. Владивосток: Дальнаука, 1994. 268 с.
3. Геологическое строение западной части Японского моря и прилегающей суши / под ред. Е.П. Леликова. Владивосток: Дальнаука, 1993. 211 с.
4. Цой И.Б., Карнаух В.Н., Леликов Е.П. Наименования подводных морфоструктур Японского моря история и современные проблемы // *Океанология*. 2013. Т. 53, № 6. С. 800. DOI 10.7868/S0030157413060087.
5. Цой И.Б., Усольцева М.В. Миоценовые пресноводные диатомеи из отложений Восточного склона подводного плато Уллын (возвышенность Криштофовича) Японского моря // *Стратиграфия. Геологическая корреляция*. 2016. Т. 24, № 3. С. 62. DOI 10.7868/S0869592X16020071.
6. Леликов Е.П., Емельянова Т.А., Пугачев А.А. Вулканизм и тектоника Центральной глубоководной котловины Японского моря // *Океанология*. 2018. Т. 58, № 1. С. 129–144. DOI 10.7868/S0030157418010124.
7. Pupin J.P. Zircon and granite petrology // *Contrib. Mineral. Petrol.* 1980. Vol. 73. P. 207–220.

REFERENCES

1. Berseneva I.I., Krasnyi L.I. (eds). *Geologicheskaya karta dna Yaponskogo morya*. L.: Mingeo SSSR; 1988.
2. Lelikov E.P., Malyarenko A.N. *Granitoidnyi magmatizm okrainnyh morei Tihogo okeana*. Vladivostok: Dal'nauka; 1994. 268 p.
3. Lelikoviy E.P. (ed.) *Geologicheskoe stroenie zapadnoi chasti Yaponskogo morya i prilgayushchei суши*. Vladivostok: Dal'nauka; 1993. 211 p.
4. Tsoy I.B., Karnaukh V.N., Lelikov E.P. *Naimenovaniya podvodnyh morfostruktur Yaponskogo morya: istoriya i sovremennyye problemy*. *Oceanologiya*. 2013;53(6):715-726. DOI 10.1134/S0001437013060076.
5. Tsoy I.B., Usoltseva M.V. *Miocenovyye presnovodnyye diatomei iz otlozhenij Vostochnogo sklona podvodnogo plato Ullyn (vozvyshennost' Krishtofovicha) Yaponskogo moria*. *Stratigraphya. Geologicheskaya Correlatsiya*. 2016;24(3):276-293. DOI 10.1134/S0869593816020064.
6. Lelikov E.P., Emelyanova T.A., Pugachev A.A. *Vulcanism i tektonika Centralnoi giubokovodnoi kotloviny Yaponskogo morya*. *Oceanologiya*. 2018;58(1):116-132. DOI 10.1134/S000143701706008X.
7. Pupin J.P. *Zircon and granite petrology*. *Contrib. Mineral. Petrol.* 1980;73:207–220.

Научная статья

УДК 553.98

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_8

Горизонт 1^В Подкирмакинской свиты Продуктивной толщи месторождения Нефт Дашлары и состояние его разработки

С.М. Гахраманлы

Севиль Мастан кызы Гахраманлы

научный сотрудник

Институт нефти и газа Национальной Академии наук Азербайджана, Баку,

Азербайджан

sevila65@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5655-8893>

Аннотация. Представлены результаты применения метода комплексной площадной интерпретации геофизической и геологопромысловой информации для изучения текущего состояния разработки 1^В горизонта Подкирмакинской (ПК-1^В) свиты Продуктивной толщи (ПТ) месторождения Нефт Дашлары и использования интерпретационной системы DV-Seys Geo. Представлены трехмерные геомодели объекта, построенные по петрофизическим параметрам, результаты изучения геолого-статистическим методом взаимосвязи между скважинами, а также определение коэффициента распространения коллекторов по площади.

Даны результаты анализа выработанности объекта, информация об отборе образцов кернов из активно и пассивно включенных к разработке пропластков, а также об объеме остаточного запаса нефти по горизонту ПК-1^В ПТ.

Ключевые слова: месторождения, горизонт, интерпретация, геомодель, пористость, нефтенасыщенность, коллектор, геофизический, геологический

Для цитирования: С.М. Гахраманлы. Горизонт 1^В Подкирмакинской свиты Продуктивной толщи месторождения Нефт Дашлары и состояние его разработки // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 98–105. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_8.

The 1^v horizon of the Podkirmakinskaya formation of the Productive strata of the Oil Dashlary deposit and state of its development

S.M. GAHRAMANLI

Sevil M. GAHRAMANLI

Researcher

Institute of Oil and Gas of the National Academy of Sciences of Azerbaijan, Baku,

Azerbaijan

sevila65@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-5655-8893>

Abstract. The article presents the results of the application of the method of complex areal interpretation of geophysical and geological-field information to study the current state of development of the 1^v horizon of the Podkirmakinskaya (PK-1^v) formation of the Productive Strata (PS) of the Oil Dashlary deposit and the use of the DV-Seys Geo interpretation system. Three-dimensional geomodels of the object constructed according to petrophysical parameters, the results of studying the relationship between wells by the geological and statistical method, as well as determining the coefficient of distribution of reservoirs over the area are presented.

The results of the analysis of the depletion of the object, information on core sampling of interlayers that are actively and passively involved in the development, as well as on the amount of residual oil reserves along the horizon of PK -1^v PS are given.

Keywords: deposits, horizon, interpretation, geomodel, porosity, oil saturation, reservoir, geophysical, geological

For citation: S.M. Gahramanli. 1^v the horizon of the Podkirmaki formation of the Productive strata of the Oil Dashlary deposit and state of its development. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(2):98-105. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_8.

Введение

Месторождение Нефть Дашлары открыто в 1949 г. опробованием скважины № 1, где был получен промышленный приток нефти из Калинской свиты ПТ.

Район Нефть Дашлары представляет собой область открытого моря. Глубина моря в районе расположения структуры длиной 7 км и шириной 3 км, вытянутой с северо-запада на юго-восток и окаймляющей свод антиклинальной складки, составляет 40–60 м.

Обслуживание добывающих и нагнетательных скважин в основном осуществляется с эстакады, длина которой более 200 км.

Месторождение Нефть Дашлары имеет сложное геологическое строение. В тектоническом отношении оно представляет собой асимметричную брахиантиклиналь северо-запад-юго-восточного простирания, осложненную многочисленными разрывными нарушениями; наиболее крупные из них расчленяют ее на 6 тектонических блоков (рис. 1).

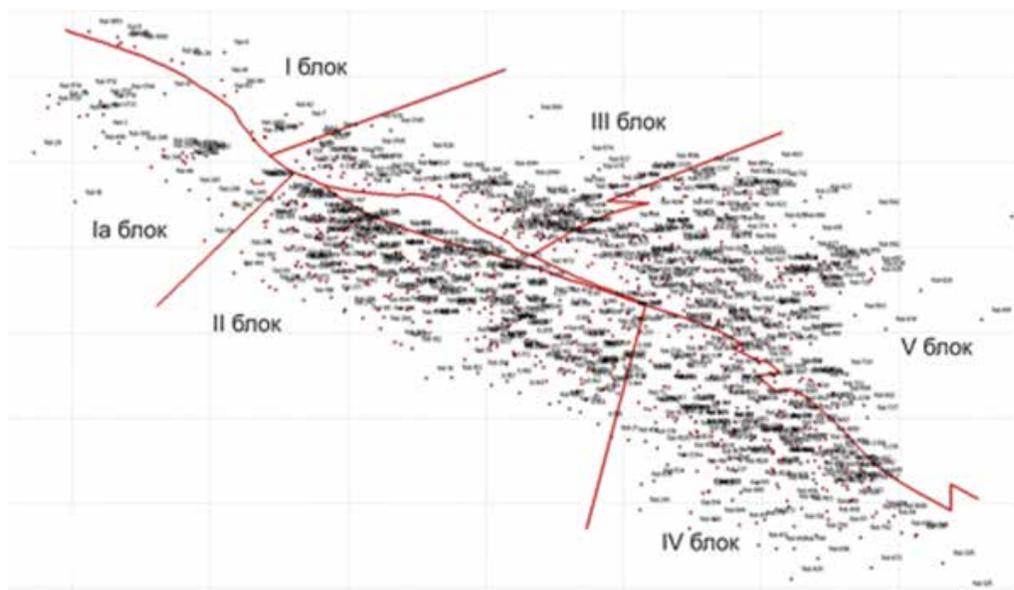


Рис. 1. Месторождение Нефть Дашлары

Нефтеносность приурочена к отложениям ПТ среднего плиоцена, из которых объектом данного исследования является горизонт ПК-1^в входящей в геологический разрез Подкирмакинской свиты [1, 2].

Изучение объекта исследования и анализ полученных результатов

Горизонт ПК-1^в литологически представлен пачкой серых песков и песчаников. Прослой глин составляют 20–25 % толщины объекта, глины сильнопесчанистые.

На кривых электрического каротажа значения кажущегося сопротивления достигают 90–100 Ом×м, в отдельных случаях – 200–250 Ом×м. Разрез характеризуется хорошо дифференцированной кривой ПС.

В разрезе ПК-1^в выделяются в основном два песчаных пласта, между ними глинистый раздел толщиной 4–9 м, иногда 16 м.

Песчаность достигает 64 %, уменьшаясь от свода к крыльям. Толщина горизонта ПК-1^в изменяется в пределах 15–35 м, в среднем составляет 30 м.

Коллекторские свойства горизонта изучены по данным исследования 220 образцов керна из 64 скважин, а также по результатам интерпретации материалов геофизических исследований 628 скважин, вскрывающих его разрез, по программе DV-Seis Geo.

В результате обобщения материалов установлено, что в составе пород более 60 % приходится на группу глинисто-алевритовых песков. Величина значения коллекторских свойств изменяется по толщине и площади. Коэффициент распространения нефтенасыщенных пропластков по простиранию составляет 65–70 %. Значения пористости – в пределах 0,16–0,28, среднее значение равно 0,22.

Проницаемость изучена 86 анализами керна, ее величина изменяется в пределах 0,001–3,920 мкм². Плотность воды 1,0092–1,0360, общая минерализация – в пределах 59,8–81,8 мг-экв.100 г.

В начале эксплуатации горизонта ПК-1^в пластовое давление составляло 8,7 МПа, в процессе разработки залежи наблюдается его снижение. Давление насыщения коллекторов составляло 8–13,4 МПа, коэффициент объемного увеличения – 1,055–1,126, в пластовых условиях плотность нефти – 0,807–0,830 г/см³, вязкость – 2,13–3,27 Па × с, содержание парафина – 0,48–1,59 %, смол – 19–22 %, пластовая температура изменяется в пределах 28–32 °С. Нефтеносность ПК-1^в установлена только во II тектоническом блоке. Результаты исследований залежи методом ИННК+ГК за последние годы показали, что этот вопрос требует дополнительного изучения для оценки нефтеносности горизонта и в других тектонических блоках.

С целью поддержания пластового давления и вытеснения нефти из пластов ПК-1^в начиная с июля 1953 г. осуществлялось преимущественно законтурное, частично очаговое заводнение коллекторов, при этом использовалась морская вода.

Для выполнения комплексной площадной интерпретации геофизических и геологопромысловых материалов с целью оценки текущего состояния разработки ПК-1^в после сбора данных проводилась обработка материалов ГИС. При этом использовали программу DV-Seys Geo с целью изучения петрофизических характеристик объекта исследований, где по кернам скважин определялись параметры пористости, эффективной толщины и нефтенасыщенности коллекторов.

Взаимосвязь между скважинами изучали геолого-статистическим методом, был определен коэффициент распространения коллекторов (K_{pk}) по площади [3].

Как видно из рис. 2, продуктивные коллекторы в пределах II тектонического блока, горизонт ПК-1^в, имеют достаточно хорошую связь между скважинами и характеризуются значением K_{pk} в пределах 0,72–0,84.

В разрезе скважин шагом квантования 1 м определены значения пористости по глубине и по площади. После обобщения результатов изучения по скважинам

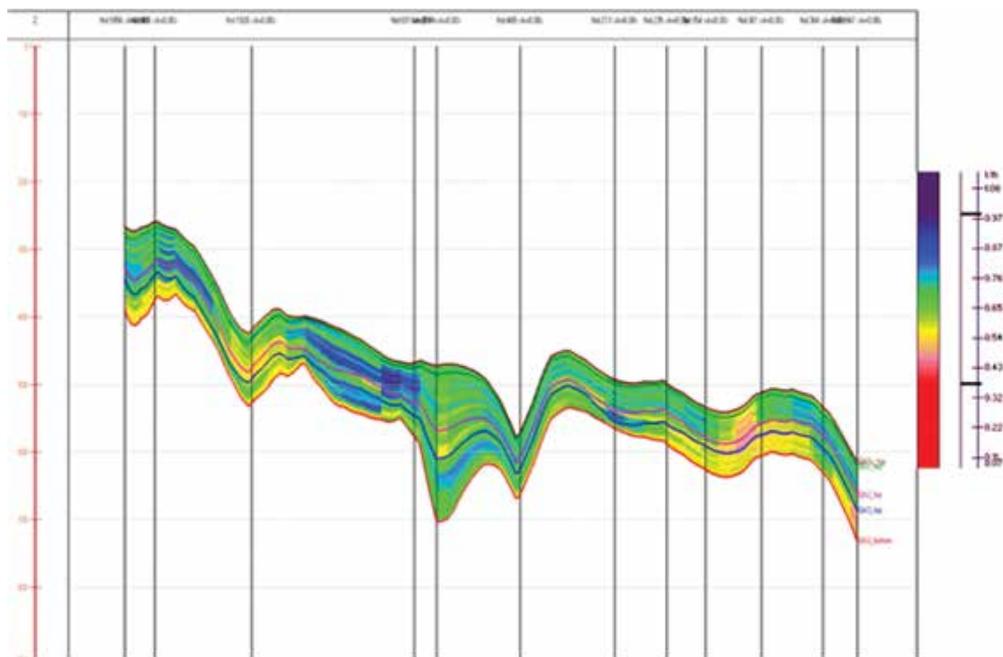


Рис. 2. Моделирование нефтенасыщенности коллекторов по результатам исследований в скважинах

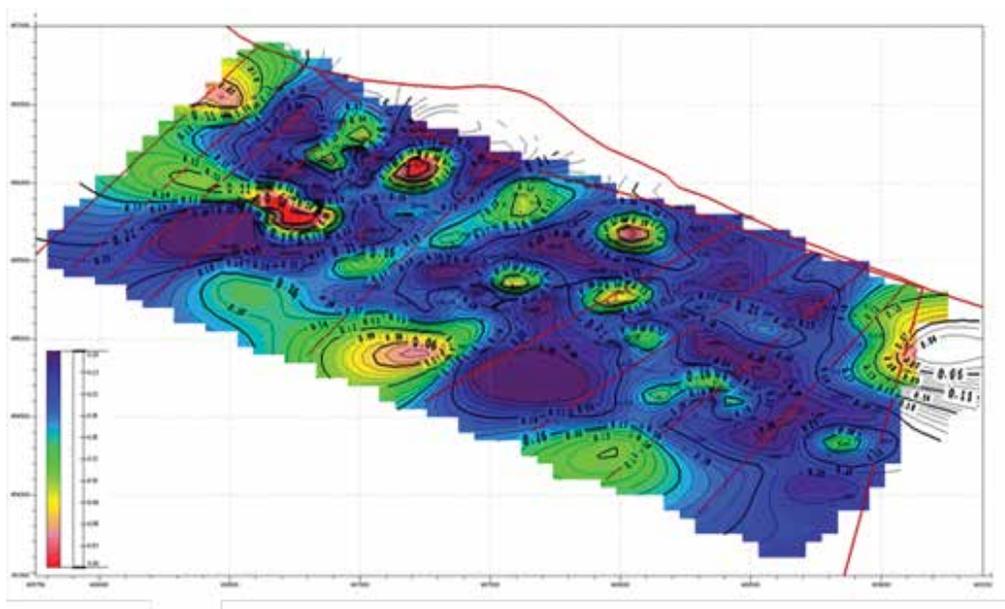


Рис. 3. Изменение значения пористости в сторону уменьшения от свода к переклинали, а также по площади залежи

впервые построена геомодель по значениям пористости ПК-1^в II тектонического блока месторождения Нефть Дашлары. На рис. 3 можно видеть изменение значения пористости в сторону уменьшения от свода к переклинали, а также по площади залежи.

Практический интерес представляют результаты изучения нефтенасыщенности коллекторов ПК-1^в, полученные после интерпретации материалов скважинных исследований по программе DV-Seys Geo. Путем обобщения результатов исследования скважин установлено изменение значений нефтенасыщенности коллекторов по разрезу объекта и по площади к моменту бурения скважин в зависимости от темпа ввода скважин в эксплуатацию и от динамики отбора нефти из объекта.

Происходящие изменения можно видеть на рис. 4, где представлены геомодели ПК-1^в, построенные по значениям нефтенасыщенности к моменту бурения скважин.

Для оценки текущего состояния разработки месторождения проводилось обобщение геологопромысловой информации по скважинам ПК-1^в, в частности сведений об отборе нефти и результатах исследований действующих и временно остановленных скважин. Геофизическими и геодинамическими методами определены профили притока в нефтяных и приемистости – в нагнетательных скважинах, а также рассчитаны значения текущего нефтенасыщения коллекторов с учетом нефтеотдачи объекта разработки.

По объекту исследования создан банк данных на основе результатов промыслово-геологических, геофизических и гидродинамических исследований скважин.

После сбора, анализа, обобщения и систематизации фактической геофизической, гидродинамической и геологопромысловой информации на основе полученных результатов были построены геомодели, характеризующие состояние текущей нефтенасыщенности горизонта ПК-1^в ПТ II тектонического блока месторождения

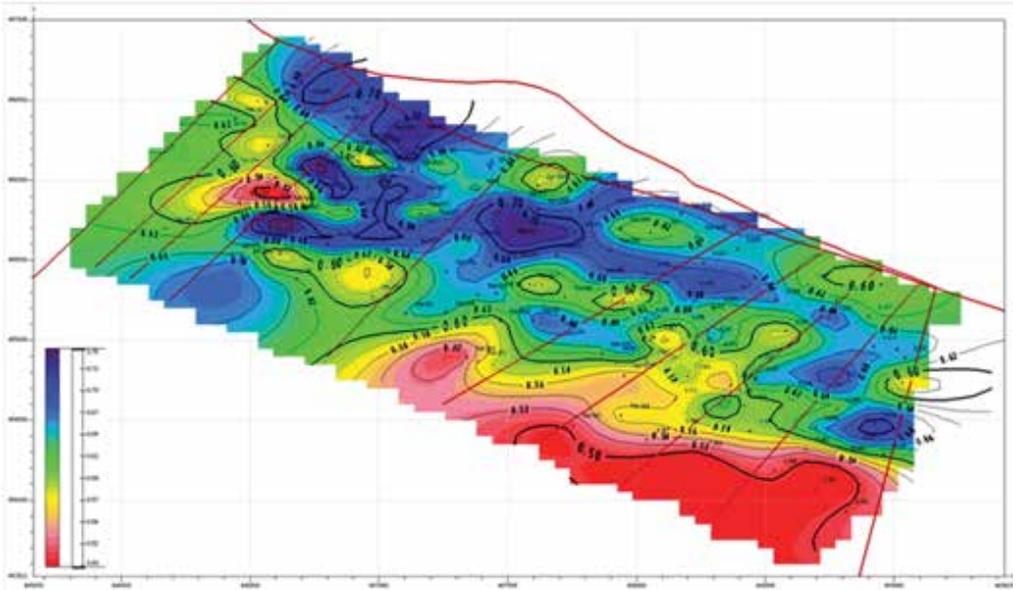


Рис. 4. Геомодели ПК-1^а, построенные по значениям нефтенасыщенности к моменту бурения скважин

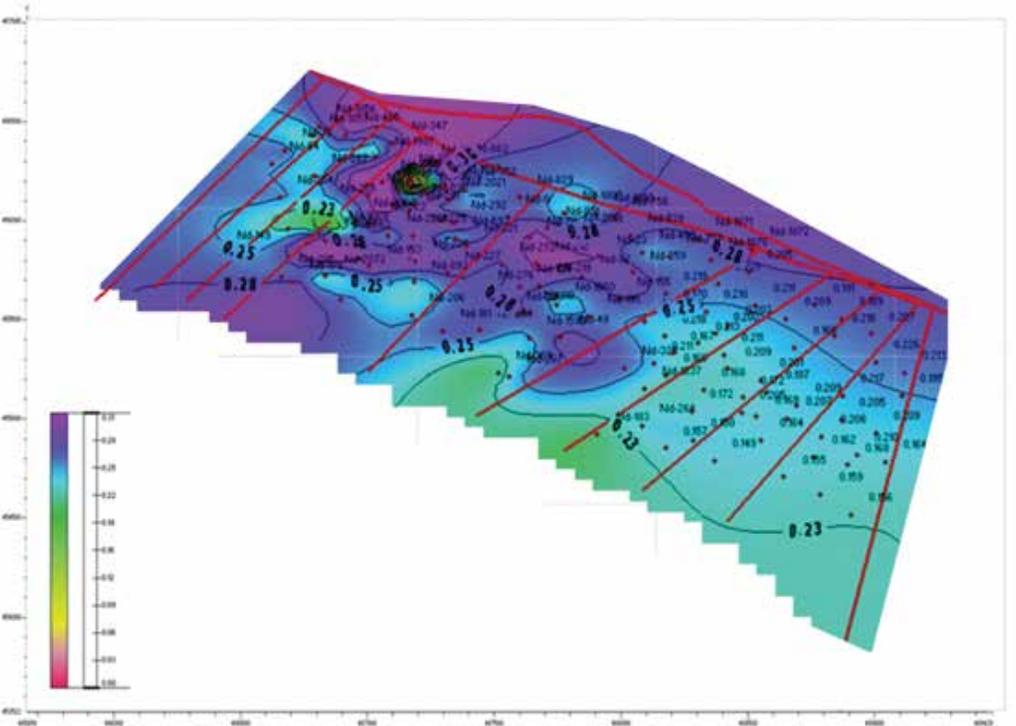


Рис. 5. Геомодели, характеризующие состояние текущей нефтенасыщенности горизонта ПК-1^а ПТ II тектонического блока месторождения Нефт Дашлары

Нефть Дашлары (рис. 5). Полученные данные по скважинам о текущей нефтенасыщенности обобщены в три группы. К первой группе отнесены коллекторы со значениями текущей нефтенасыщенности до 0,4, ко второй – от 0,401 до 0,7, к третьей – коллекторы с текущей насыщенностью более 0,7.

Результаты исследования скважин на предмет характера насыщения коллекторов, полученные методом импульсного нейтрон-нейтронного каротажа (ИННК), были сопоставлены со значениями, полученными методом комплексной площадной интерпретации (см. таблицу) [4].

Из таблицы видно, что за исключением некоторых скважин, оказавшихся в активной зоне динамического процесса от заводнения коллекторов нагнетаемой водой, выявлена хорошая сходимость значений коэффициента нефтенасыщения со значениями, установленными фактическими скважинными исследованиями методом ИННК.

Следует отметить, что исследования скважин методом ИННК в морских условиях из-за технических, технологических и экономических сложностей затруднительны, и делать упор непосредственно на определение значений текущего насыщения коллекторов этим методом невозможно. Поэтому применение комплексной площадной интерпретации геофизической и геологопромысловой информации для изучения текущего состояния нефтенасыщенности коллекторов можно считать более экономичным, имеющим хорошую информативность и представляющим практический интерес.

Обобщая результаты выполненного анализа состояния разработки представленного объекта, следует отметить, что углубленное изучение разрезов всех

Значение K_p , изученных методами ИННК и комплексной площадной интерпретации электрического каротажа скважин ПК-1^в ПТ, месторождение Нефть Дашлары

Тектонический блок	№ скважины	Дата исследования методом ИННК	Нефтенасыщенный интервал	Интенсивность, имп/мин	Нефтенасыщенность, усл. ед.	
					по ИННК	по комплексной площадной интерпретации данных ЭК
П d	108	22.04.1985	862–870	685	0,55	0,46
	141	10.07.1987	950–968	608	0,50	0,43
	1563	15.08.1984	475–968	314	0,32	0,38
	1589	23.08.1986	1041–1060	526	0,43	0,49
	2021	20.02.1984	517–523	445	0,48	0,59
	2027	10.04.1985	513–534	396	0,32	0,61
	2064	04.05.1985	886–888	375	0,37	0,43
	2067	10.07.1991	421–434	1208	0,73	0,66
П e	61	22.03.1987	59–600	1320	0,74	0,74
П f	1837	07.07.1984	1078–1085	1215	0,72	0,67
	1839	18.06.1985	935–940	1143	0,77	0,68
	1840	07.06.1984	990–1001	717	0,58	0,54
П h	2007	08.04.1984	941–949	760	0,61	0,56
П k	1832	04.11.1988	1002–1010	1791	0,81	0,74
	1833	13.09.1984	1081–1087	947	0,68	0,50
	1836	03.10.1984	560–876	1629	0,78	0,71

скважин, вскрывших продуктивный горизонт ПК-1^в ПТ, определение подсчетных петрофизических параметров методом площадной комплексной интерпретации и построение трехмерных геомodelей позволили уточнить начальный балансовый запас нефти в пределах нефтенасыщенной площади.

Таким образом, по II тектоническому блоку в ПК-1^в выявлены активно разработанные остаточные нефтенасыщенные зоны, а также представлена информация о состоянии заводнения коллекторов объекта разработки нагнетаемой водой.

Заключение

На основе комплексной площадной интерпретации данных ГИС и геологопромысловых материалов горизонта ПК-1^в ПТ месторождения Нефть Дашлары и обобщения результатов анализа состояния разработки можно сделать следующие выводы:

несмотря на длительный период разработки объекта ПК-1^в ПТ не все продуктивные интервалы вовлечены в активную разработку и не достигнуты проектные значения коэффициента конечной нефтеотдачи;

эффективность от законтурного и очагового заводнения все еще низка, охват заводнением нагнетаемой водой ниже 50 %;

по II тектоническому блоку для ПК-1^в выявлены остаточные нефтенасыщенные зоны.

Таким образом, представленный в статье методический подход рекомендуется для использования при оценке текущего состояния разработки остальных объектов на месторождении Нефть Дашлары, а также на других разрабатываемых нефтегазовых месторождениях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ализаде А.А., Салаев С.Г., Алиев А.И. Научная оценка перспектив нефтегазоносности Азербайджана и Южного Каспия и направления поисково-разведочных работ. Баку: Элм, 1985. 248 с.
2. Алиханов Э.Н. Нефтяные и газовые месторождения Каспийского моря. Баку: Азернешр, 1964. 383 с.
3. Токарев М.А. Исследования геолого-статистических моделей пласта для контроля нефтеотдачи и подсчета запасов // Нефтепромысловое дело. 1983. № 2. С. 1–2.
4. Азаров Е.С., Тарачева Е.С. Анализ применяемых методов обоснования коэффициента остаточной нефтенасыщенности объектов с трудноизвлекаемыми запасами нефти // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2021. № 1. С. 44–48.

REFERENCES

1. Alizade A.A., Salaev S.G., Aliev A.I. Nauchnaya otsenka perspectiv neftegazonosnosti Azerbaidzhana i Uzhnogo Kaspiya i napravleniia poiskovo-razvedochnykh работ. Baku: Elm; 1985. 248 s.
2. Alikhanov E.N. Neftyanye i gazovye mestorozhdeniia Kaspiiskogo moriya. Baku: Azerneshr; 1964. 383 p.
3. Tokarev M.A. Issledovaniya geologo-statisticheskikh modelei plasta dlya kontrolya nefteotdachi i podschyota zapasov. *Neftepromyslovoe delo*. 1983;2:1-2. (In Russ.).
4. Azarov E.C., Taracheva E.C. Analiz primenyaemykh metodov obosnovaniya koefficienta ostatochnoi neftenasyschennosti objectov s trudnoizvlekaemyimi zapasami nefi. *Geologiya, geofizika i razrabotka nef-tianyh I gazovyh mestorozhdeniy*. 2021;1:44-48. (In Russ.).

Научная статья

УДК 619:616.995.132.6

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_9.

Мониторинг трихинеллеза в южных субъектах Дальневосточного федерального округа

Г.А. Бондаренко[✉], И.А. Соловьева, Т.И. Трухина, Д.А. Иванов

Галина Анатольевна Бондаренко

научный сотрудник

Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,
Благовещенск, Россия

galy78@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0001-8641-2388>

Ирина Александровна Соловьева

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,
Благовещенск, Россия

sia_storm@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0003-3946-4593>

Тамара Ивановна Трухина

кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник

Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,
Благовещенск, Россия

toma.trukhina@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0003-4882-6971>

Денис Александрович Иванов

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,
Благовещенск, Россия

iva-denis@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0001-8874-5602>

Аннотация. Проведен мониторинг эпидемиологической ситуации по трихинеллезу в южных субъектах Дальневосточного федерального округа. Определены территории с высоким риском заболеваемости населения этим гельминтозом. Установлена общая тенденция к стабилизации ситуации по заболеваемости трихинеллезом. Фактором передачи инвазии населению в большинстве случаев послужило мясо медведя, дикого кабана, домашней собаки и свиней.

Ключевые слова: трихинеллез, заболеваемость населения, мясо диких животных, мониторинг, Дальний Восток

© Бондаренко Г.А., Соловьева И.А., Трухина Т.И., Иванов Д.А., 2022

Для цитирования: Бондаренко Г.А., Соловьева И.А., Трухина Т.И., Иванов Д.А. Мониторинг трихинеллеза в южных субъектах Дальневосточного Федерального округа // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 106–111. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_9.

Благодарности. Авторы выражают признательность руководителям управлений Федеральной службы Роспотребнадзора по Амурской области (О.П. Кургановой), Еврейской автономной области (П.В. Копылову), Хабаровскому краю (Т.А. Зайцевой), Приморскому краю (Т.Н. Детковской) за предоставленные материалы, использованные при подготовке статьи.

Финансирование. Средства федерального бюджета.

Original article

Monitoring of trichinosis in the southern subjects of the Far Eastern Federal District

G.A. Bondarenko✉, I.A. Solovyeva, T.I. Trukhina, D.A. Ivanov

Galina A. Bondarenko

Researcher

Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia

galy78@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0001-8641-2388>

Irina A. Solovyeva

Candidate of Sciences (Biology), leading researcher

Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia

sia_storm@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0003-3946-4593>

Tamara I. Trukhina

Candidate of Sciences (Agricultural), senior researcher

Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia

toma.trukhina@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0003-4882-6971>

Denis A. Ivanov

Candidate of Sciences (Biology), senior researcher

Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia

iva-denis@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0001-8874-5602>

Abstract. Monitoring of the epidemiological situation of trichinosis in the southern subjects of the Far Eastern Federal District was carried out. Territories with a high risk of morbidity of the population with this helminthiasis have been identified. A general trend towards stabilization of the situation in terms of the incidence of trichinosis has been established. In most cases, the meat of a bear, wild boar, domestic dog and pig served as a factor in the transmission of invasion to the population.

Keywords: trichinosis, morbidity of the population, meat of wild animals, monitoring, the Far East

For citation: Bondarenko G.A., Solovyeva I.A., Trukhina T.I., Ivanov D.A. Monitoring of trichinosis in the southern subjects of the Far Eastern Federal District. *Vestnik of the FEB RAS.* 2022;(2):106-111. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_9.

Acknowledgments. The authors express their gratitude to the heads of the Departments of the Federal Service of Rospotrebnadzor for the Amur Region (O.P. Kurganova), Jewish Autonomous Region (P.V. Kopylov), Khabarovsk Territory (T.A. Zaitseva), Primorsky Territory (T.N. Detkovskaya), for the provided materials used in the preparation of the article.

Funding: Federal budget funds.

Введение

Трихинеллез является антропозоогельминтозом и относится к группе нематодозов, вызывается нематодами рода трихинелла (*Trichinella* Railliet, 1895). Заражение человека происходит в результате употребления мяса, содержащего личинки трихинелл. Заболеваемость населения трихинеллезом на территории Российской Федерации в 2010 г. составила 0,12 на 100 тыс. населения (163 случая трихинеллеза в 23 субъектах Российской Федерации). Наибольший удельный вес заболевших трихинеллезом (83 %, 117 сл.) зарегистрирован в Сибирском, Дальневосточном федеральных округах. Заболеваемость трихинеллезом выше среднероссийских показателей отмечалась в 12 субъектах Российской Федерации, из них в 3 регионах Дальнего Востока – Хабаровском (2,07 на 100 тыс. населения), Приморском (0,25) краях и Еврейской автономной области (1,08) [1]. Наличие проблемы обусловлено существованием стойких эпидемиологически значимых природных очагов с угрозой или переходом в синантропную среду, социально-экономическими предпосылками, отягчающими ситуацию природными катаклизмами, которые дестабилизируют неустойчивую тенденцию к снижению заболеваемости трихинеллезом в регионе [2]. На территории Дальнего Востока трихинеллез носит явно выраженный природно-очаговый характер с преимущественной циркуляцией возбудителя у диких животных [3–7]. Ведущую роль в заражении трихинеллезом человека в Российской Федерации играют мясо бурых медведей и домашних собак [8], в Дальневосточном регионе – мясо диких животных и собак, которое практически не подвергается ветеринарно-санитарной экспертизе [9]. Таким образом, определена актуальность проблемы трихинеллеза на территории южных субъектов Дальневосточного федерального округа РФ.

Цель исследования – провести эпидемиологический мониторинг по трихинеллезу южных субъектов Дальневосточного федерального округа с определением роли отдельных факторов передачи инвазии населению в регионе.

Материал и методы исследований

Работа выполнена на базе отдела паразитологии и зооэкологии Дальневосточного зонального научно-исследовательского ветеринарного института (Благовещенск). Проведен ретроспективный анализ заболеваемости трихинеллезом населения по официальным данным Управления Роспотребнадзора на территории Амурской области, Еврейской автономной области, Хабаровского и Приморского краев. Анализ выполнен за период 2000–2020 гг. Обработка полученных данных проведена методами вариационной статистики с использованием

стандартных компьютерных программ STATISTICA 2010 и Microsoft Office Excel 2010.

Результаты

Анализ эпидемиологической ситуации по трихинеллезу проводился на территории Амурской области, Еврейской автономной области, Хабаровского и Приморского краев. За период 2000–2020 гг. на территории этих субъектов ДФО трихинеллезом заболело 537 чел., при этом 45 % всех выявленных случаев были зарегистрированы на территории Приморского края, 27 % – Хабаровского края, 20 % – Амурской области, 8 % – ЕАО. За последние 10 лет случаи выявления трихинеллеза среди населения регистрируются гораздо реже – в 3,8 раза – по сравнению с предыдущим десятилетием. Также необходимо отметить, что заболеваемость носит характер вспышки, часто родственной или семейной, как, например, заражение 16 чел. в 2014 г. в Амурской области при употреблении в пищу зараженного личинками трихинелл мяса медведя (табл. 1).

Таблица 1

Регистрация случаев заболевания трихинеллезом людей на территории Дальнего Востока в 2000–2020 гг. (по данным Управления Роспотребнадзора)

Субъект ДФО	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	Итого
Амурская область	18	13	4	11	3	17	5	5	6	0	0	1	5	1	16	0	0	1	1	0	0	107
ЕАО	5	6	0	4	9	2	4	3	0	0	2	3	0	1	0	0	0	1	0	0	0	40
Хабаровский край	27	17	20	6	15	6	1	5	2	5	29	2	0	0	0	1	6	0	2	4	0	148
Приморский край	21	20	73	23	34	4	4	3	22	2	5	8	2	2	3	4	7	2	0	2	1	242
Итого	71	56	97	44	61	29	14	16	30	7	36	14	7	4	19	5	13	4	3	6	1	537
Среднее	18	14	24	11	15	7	4	4	8	2	9	4	2	1	5	1	3	1	1	2	0	136

Всего в рассматриваемых южных субъектах Дальневосточного региона выявлено 11 источников заражения трихинеллезом человека (табл. 2).

Как видно из табл. 2, по ДФО в целом основными источниками заражения человека трихинеллезом является мясо бурого медведя (33,0 % случаев), дикого кабана (19,9 %), домашней собаки (19,9 %) и домашней свиньи (10,1 %). В отдельных субъектах ДФО картина немного изменяется: на территории Амурской области заражение в основном происходит через употребление мяса бурого медведя (30,8 %), домашних собак (27,1 %) и барсука (24,3 %), в Хабаровском крае – домашних собак (35,1 %), бурого медведя (18,9 %) и домашних свиней (18,9 %), в Еврейской автономной области – домашних собак (40,0 %) и домашних свиней (20,0 %), в Приморском крае – бурого медведя (46,3 %) и дикого кабана (32,2 %). Также отметим, что с уменьшением регистрации заражений людей данной инвазией на территории южных субъектов Дальнего Востока сократилось и количество источников заражения, в последние 5 лет это мясо дикого кабана, домашней собаки, вакцина Бритова; иногда фактор установить не удается (возможно, другая дичь).

**Распределение случаев заболевания людей трихинеллезом
в южных регионах Дальнего Востока за период 2000–2020 гг. по источникам заражения
(данные Управления Роспотребнадзора)**

Источник заражения	Амурская область		Хабаровский край		ЕАО		Приморский край		Юг ДФО в целом	
	всего	%	всего	%	всего	%	всего	%	всего	%
Дикий кабан	16	15,0	10	6,8	3	7,5	78	32,2	107	19,9
Медведь	33	30,8	28	18,9	4	10,0	112	46,3	177	33,0
Барсук	26	24,3	6	4,1	3	7,5	2	0,8	37	6,9
Собака домашняя	29	27,1	52	35,1	16	40,0	10	4,1	107	19,9
Свинья домашняя	1	0,9	28	18,9	8	20,0	17	7,0	54	10,1
Енот	0	0	1	0,7	5	12,5	1	0,4	7	1,3
Лось	0	0	4	2,7	0	0	0	0	4	0,7
Изюбрь	0	0	4	2,7	0	0	0	0	4	0,7
Рысь	0	0	8	5,4	0	0	0	0	8	1,5
Вакцина Бритова	0	0	3	2,0	0	0	18	7,5	21	3,9
Другая дичь, неизвестный фактор*	2*	1,9	4*	2,7	1*	2,5	4	1,7	11	2,1
Всего	107	100	148	100	40	100	242	100	537	100

Обсуждение результатов

Сходные с нашими данные о тенденции снижения заболеваемости трихинеллезом в Дальневосточном округе получены Г.Н. Пекло с соавторами [2]. В отдельных субъектах юга Дальневосточного региона имеются различия в перечне основных источников заражения, но в нем всегда числится медведь, как и в целом по Российской Федерации, что согласуется с данными А.В. Успенского с соавторами [8]. Мясо медведя, ставшее источником инвазии у человека, не подвергалось ветеринарной проверке. Из-за больших размеров этого животного заражение может распространиться на несколько десятков человек, это обстоятельство диктует обязательный характер ветеринарно-санитарной экспертизы добытого мяса. Хотя мясо домашних собак традиционно не употребляется в пищу, в настоящее время в силу сложной экономической обстановки оно стало одним из основных источников заражения среди социально незащищенных слоев населения. Такое мясо также не проходит проверку на наличие личинок трихинелл.

Заключение

Анализ полученных результатов показал общую тенденцию к стабилизации эпидемиологической ситуации по трихинеллезу. Основными источниками этого заболевания на юге Дальнего Востока является мясо бурого медведя (33,0 %), дикого кабана (19,9 %), домашних собак (19,9 %) и домашних свиней (10,1 %), не прошедшее ветеринарно-санитарную экспертизу и подвергнутое слабой термической обработке. Отмечены различия в основных источниках заражения отдельно по каждому субъекту Дальневосточного региона.

Следует отметить, что для сохранения здоровья человека необходимо усилить работу по разъяснению опасности употребления в пищу непроверенного мяса

животных, в особенности добытого на охоте, а также усилить контроль санитарно-ветеринарных служб за реализацией мяса.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. О заболеваемости трихинеллезом в Российской Федерации. – <https://fbuz19.ru/state/state-detail.php?ID=71> (дата обращения: 14.12.2021).
2. Пекло Г.Н., Степанова Т.Ф., Бакштановская И.В. Трихинеллез в Дальневосточном федеральном округе России: эпидемиологические и эпизоотологические аспекты проблемы // Важнейшие вопросы инфекционных и паразитарных болезней. Вып. 8. Тюмень: Печатник, 2020. С. 145–171.
3. Бондаренко Г.А., Соловьева И.А., Трухина Т.И., Иванов Д.А. Трихинеллез в природных условиях Амурской области // Вестн. ДВО РАН. 2021. № 3. С. 128–131. DOI: 10.37102/0869-7698_2021_217_03_21.
4. Букина Л.А. Распространение трихинеллеза на морских побережьях Чукотки // Вестн. Ульянов. ГСХА. 2011. № 4. С. 80–84.
5. Кокколова Л.М. Трихинеллез у животных Якутии // Теория и практика борьбы с паразитарными болезнями: материалы докл. науч. конф. Вып. 15. М., 2014. С. 110–113.
6. Соловьева И.А., Бондаренко Г.А., Трухина Т.И., Иванов Д.А. Зараженность трихинеллезом диких животных на территории Амурской области // Вестн. ДВО РАН. 2017. № 3. С. 68–70.
7. Файнфельд И.А. Трихинеллез. Биробиджан: Дальневост. гос. соц.-гуманитар. акад., 2009. 90 с.
8. Успенский А.В., Малахова Е.И., Шубадеров В.Я. О выполнении координационных научно-технических программ по ветеринарной паразитологии // Рос. паразитол. журн. 2016. № 2. С. 175–182.
9. Бебенина Л.А., Драгомерецкая А.Г., Твердохлебова Т.И. и др. Сероэпидемиологические аспекты ларвальных гельминтозов на Юге и Дальнем Востоке России // Дальневост. журн. инфекцион. патологии. 2020. № 39. С. 136–147.

REFERENCES

1. O zaboлеваemosti trikhinellezom v Rossiiskoi Federatsii. – <https://fbuz19.ru/state/state-detail.php?ID=71> [cited 2021 Dec 14]. (In Russ.).
2. Peklo G.N., Stepanova T.F., Bakshtanovskaya I.V. Trihinellez v Dal'nevostochnom federal'nom okruge Rossii: epidemiologicheskie i epizootologicheskie aspekty problemy. In: *Vazhneishie voprosy infektsionnykh i parazitarnykh boleznei*. Tyumen': Pechatnik, 2020;8:145-171. (In Russ.).
3. Bondarenko G.A., Solov'eva I.A., Trukhina T.I., Ivanov D.A. Trihinellez v prirodnykh usloviyakh Amurskoi oblasti. *Vestnik of the FEB RAS*. 2021;(3):128-131. DOI 10.37102/0869-7698-2021_217_03_21. (In Russ.).
4. Bukina L.A. Rasprostranenie trikhinelleza na morskikh poberezh'yakh Chukotki. *Vestnik Ul'yanovskoi GSKHA*. 2011;(4):80-84. (In Russ.).
5. Kokolova L.M. Trikhinellez u zhivotnykh Yakutii. In: *Teoriya i praktika bor'by s parazitarnymi boleznyami: materialy dokladov nauchnoy konferentsii*. 2014;15:110-113. (In Russ.).
6. Solov'eva I.A., Bondarenko G.A., Trukhina T.I., Ivanov D.A. Zarazhennost' trikhinellezom dikikh zhivotnykh na territorii Amurskoi oblasti. *Vestnik of the FEB RAS*. 2017;(3):68-70. (In Russ.).
7. Fainfeld I.A. Trikhinellez. Birobidzhan: Far Eastern State Social and Humanitarian Academy; 2009. 90 p.
8. Uspenskii A.V., Malakhova E.I., Shubaderov V.Ya. O vypolnenii koordinatsionnykh nauchno-tekhnicheskikh programm po veterinarnoi parazitologii. *Rossiiskii parazitologicheskii zhurnal*. 2016;(2):175-182. (In Russ.).
9. Bebenina L.A., Dragomeretskaya A.G., Tverdokhlebova T.I. et al. Seroepidemiologicheskie aspekty larval'nykh gel'mintozov na Yuge i Dal'nem Vostoke Rossii. *Dal'nevostochnyi zhurnal infektsionnoi patologii*. 2020;(39):136-147. (In Russ.).

Научная статья

УДК 636.084.1

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_10

Использование ламинарии и лишайников в рационе помесного молодняка крупного рогатого скота

И.Ю. Кузьмина

Ирина Юрьевна Кузьмина

старший научный сотрудник

ФГБНУ Магаданский НИИСХ, Магадан, Российская Федерация

irina.kuzmina07.10@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0003-2301-1477>

Аннотация. В условиях Магаданской области проведены исследования по использованию кормовой добавки (КД) на основе морских водорослей (ламинария *Laminaria Bullatelancelikelargekelp*, фукус *Fucosevanescens* С. Agardh) в сочетании с лишайниками (*Cladonia alpestris* и *Cetraria islandica*) в рационах кормления помесного молодняка крупного рогатого скота (КРС) герефордской и абердин-ангусской пород I поколения в возрасте 15–17 мес. Стимулирующее действие добавки на организм обусловлено содержанием в ней широкого спектра биологически активных веществ, являющихся фактором, способствующим росту и развитию сельскохозяйственных животных, оказывающих положительное влияние на их иммунную систему.

Включение в рационы молодняка на докорме компонентной кормовой добавки способствует повышению абсолютного прироста массы у опытных животных на 5,62 кг, относительного прироста – на 12,53 %, среднесуточного прироста – на 93,8 г (12,55 %) относительно бычков контрольной группы ($P \leq 0,001$). Относительная скорость роста по С. Броди выше у опытного молодняка в возрасте от рождения до 17 мес. на 1,31 % относительно контроля.

Сырье для приготовления кормовой добавки относится к дикоросам, произрастающим в природе в достаточно больших объемах. Они не требуют значительных затрат на заготовку и подготовку к скармливанию, в связи с чем применение таких добавок является более эффективной формой обогащения рационов в сравнении с доставкой в регион кормовых добавок из центральных районов страны.

Ключевые слова: помесный молодняк герефордской и абердин-ангусской пород, кормовая добавка (КД), ламинария, лишайник, вес

Для цитирования: Кузьмина И.Ю. Использование ламинарии и лишайников в рационе помесного молодняка крупного рогатого скота // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 112–120. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_10.

Финансирование. Средства федерального бюджета.

The use of kelp and lichens in the diet of mixed young cattle

I. Yu. Kuzmina

Irina Yu. Kuzmina

Senior Researcher

Magadan Research Agricultural Institute, Magadan, Russia

irina.kuzmina07.10@yandex.ru

htht://orcid.org/0000-0003-2301-1477

Abstract. In the conditions of the Magadan Region, studies were conducted on the use of a feed additive (FA) based on seaweed (*Laminaria Laminaria Bullatelancet-like large kelp*, fucus *Fucusevanescens* C. Agardh) in combination with lichens (*Cladonia alpestris* and *Cetraria islandica*) in the feeding diets of mixed young cattle of the Hereford and Aberdeen Angus breeds of the first generation aged 15 to 17 months. The stimulating effect on the body is due to the content of a wide range of biologically active substances, which are a factor stimulating the growth and development of farm animals that have a positive effect on their immune system.

The inclusion of a component feed additive in the diets of young animals on supplementary feeding contributes to an increase in the absolute growth of experienced young animals by 5.62 kg, a relative increase by 12.53 %, an average daily increase by 93.8 g (12.55 %) relative to the control group bulls ($P \leq 0.001$). The relative growth rate according to S. Brody is higher in experienced young animals aged from birth to 17 months by 1.31 % relative to the control.

Raw materials for the preparation of feed additives belong to wild plants that grow in nature in sufficiently large volumes. They do not require significant costs for harvesting and preparation for feeding, and therefore, the use of such additives is a more effective form of enriching diets in comparison with the delivery of feed additives to the region from the central regions of the country.

Keywords: mixed young Hereford and Aberdeen-Angus breeds, feed additive (FA), kelp, lichen, weight

For citation: Kuzmina I. YU. The use of kelp and lichens in the diet of crossbred young cattle. *Vestnik of the FEB RAS.* 2022;(2):112-120. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_10.

Funding. Federal budget funds.

Введение

Возможность завоза в регион небольшого по численности поголовья животных специализированных мясных пород не позволит в ближайшей перспективе быстро увеличить мясное поголовье и производство высококачественной экологически чистой говядины. Основным резервом для решения этой задачи может служить создание помесных мясных стад.

Важным источником повышения мясной продуктивности и улучшения качества мяса является скрещивание скота молочных пород с производителями скороспелых мясных пород. Самыми популярными в нашей стране мясными породами, используемыми для промышленного скрещивания, являются герефордская и абердин-ангусская. Животные обладают высокой адаптивной способностью к акклиматизации во всех зонах страны.

Обобщая данные исследований более чем за 10 лет, В.И. Левахин, Б.А. Саркенов и М.М. Поберухин [1] утверждают, что промышленное скрещивание позволяет увеличить производство мяса на 20 кг и более в расчете на 1 голову. Помесный молодняк черно-пестрого скота с абердин-ангуссами и герефордами лучше адаптируется к среде обитания. Это позволяет за счет снижения эксплуатационных издержек снизить себестоимость продукции от этих животных на 3,2–4,0 %.

Система кормления молодняка КРС на мясо определяется природно-климатическими условиями, особенностями местной кормовой базы и экономическими факторами. Обогащение рационов КД на основе региональных растительных ресурсов важный момент кормления молодняка.

Л.В. Харитонов [2] изучал влияние повышения количества всасываемых колостральных иммуноглобулинов на стимуляцию неспецифической резистентности у новорожденных телят голштинизированной черно-пестрой породы. В первые сутки использовали сухое молозиво «Кальвикол» (Швейцария), которое добавляли в молозиво матери при 1-й и 2-й выпойках. Результаты исследования подтвердили, что на 10-й день произошло повышение уровня иммуноглобулинов в крови на 30,2 %, на 20-й день – на 13–14 % в сравнении с контролем. Автор заключает, что повышение количества всасываемых иммуноглобулинов воздействует на звенья иммунной системы, повышает жизнеспособность молодняка, снижает заболеваемость и способствует увеличению прироста живой массы тела в среднем на 8,1 % за 1 мес. жизни телят.

А.Л. Аминовой совместно с И.Ф. Юмагузином и А.Б. Колесником проведены исследования по использованию водно-дисперсионной вытяжки из древесины березы и лиственницы в рационах телят, что позволило активировать обменные процессы в организме и повысить прирост живой массы телят соответственно на 20,3 и 34,5 % [3].

Интоксикация организма может быть вызвана различными причинами: содержание тяжелых металлов в кормах, вирусные инфекции, использование антибиотиков, гормонов роста, последствия окислительного стресса. Поиск новых, нетрадиционных решений привел к широкому использованию КД природного происхождения для детоксикации организма. Натуральная КД Фульват на основе гуминовых и фульвовых кислот из низинного торфа – природная замена антибиотикам, работающая на ионном и ферментативном уровнях как высокоэффективный сорбент. Проведенные В.Е. Бельдиным исследования показали, что для улучшения состояния здоровья и профилактики заболеваний у животного достаточно дозировки 0,2–0,5 % препарата Фульват от объема потребляемого корма, соответственно, 2–5 кг/т [4].

Йод – важный элемент в обмене веществ животного организма. Недостаток йода проявляется суставной патологией, патологией беременности и нарушением воспроизводительной функции. В условиях дефицита йода проблематично обеспечить здоровье животных, вопросы профилактики йоддефицитных состояний экономически значимы для промышленного животноводства. А.А. Евглевский [5] рекомендует применение в незаразной и инфекционной патологии нового йодметаболического препарата на основе йодиола и янтарной кислоты. Внутримышечное введение препарата обеспечивает высокую эффективность и нормализацию гормональной функции щитовидной железы.

Приобретение и доставка в Магаданскую область специальных витаминно-минеральных добавок и премиксов влечет дополнительные расходы. Вместе с

тем имеется возможность устранить недостатки в кормлении молодняка путем использования местных КД. Особого внимания заслуживает вопрос применения в рационах молодняка произрастающих в регионе лишайников и морских водорослей, запасами которых богаты прибрежные воды Охотского моря. Применение в кормлении коров морских водорослей (ламинария *Laminaria Bullatolancelikelargekelp*, фукус *Fucusevanescens* С. Agardh) исключает необходимость завоза минеральных и йодных препаратов из центральных районов страны. В проведенном нами опыте у коров, получавших КД из ламинарии с солями микроэлементов (кобальт хлористый, серноокислый цинк) жирность молока увеличилась на 0,21 %, затраты корма на 1 литр молока уменьшились на 0,03 к.ед. относительно контроля. Экономический эффект от применения КД составил 14,4 % при базисной жирности, равной 3,6 [6].

В составе ламинарии присутствуют антибиотические и ростостимулирующие вещества, обладающие высокой биологической активностью. Это богатый источник природных антиоксидантов; их особенностью является ингибирующая активность в отношении фермента липоксигеназы, окисляющего ненасыщенные жирные кислоты, входящие в состав злаковых растений рациона сельскохозяйственных животных и птицы¹.

Отличительная особенность водорослей заключается в наличии в них йодоаминокислот, являющихся гормональными веществами. Это моно- и дийодтиразин, дийодтиранин и дийодтироксин, у ламинариевых йод содержится и в минеральной форме [7]. Значительное содержание таких органических соединений делает чрезвычайно эффективным использование морских водорослей в качестве йодных подкормок в животноводстве [6–8]. Ранее проведенные исследования растительного сырья показали, что нетрадиционные компоненты рациона обладают антимикробными, антиоксидантными и противовоспалительными свойствами².

В состав лишайников входят витамины В₁₂ и С, необходимые для жизнедеятельности организма. При недостатке витамина В₁₂ у животных может развиваться анемия, происходит снижение продуктивности. Некоторые полисахариды, содержащиеся в лишайниках, усиливают выработку закиси азота макрофагами, изменяют уровни продукции противовоспалительных цитокинов макрофагами и дендритными клетками. В связи с высоким содержанием различных полезных биологических веществ лишайники имеют практическое применение в медицине³.

В Магаданской области с 2018 г. проводятся научно-исследовательские работы по кормлению помесного молодняка КРС герефордской и абердин-ангусской пород. На севере Дальнего Востока для животноводов имеет научный и практический интерес разработка способов повышения продуктивности КРС, а также

¹ Balina K., Romagnoli F., Blumberga D. Chemical composition and potential use of *Fucus Vesiculosus* from Gulf of Riga // Energy Procedia. 2016. N 95. P. 43–49. – <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2016.09.010> (дата обращения: 21.01.2022); Moubayed N.M.S., Jawad Al Houry H., Al Khulaifi M.M., Al Ferrari D.A. Antimicrobial, antioxidant properties and chemical composition of seaweeds collected from Saudi Arabia (Red Sea and Arabian Gulf) // Saudi Journal of Biological Sciences. 2017. N 24 (1). P. 162–169. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.05.018> (дата обращения: 21.01.2022).

² Gheisar M.M., Kim I.H. Phytochemicals in poultry and swine nutrition: a review // Ital. J. Anim. Sci. 2017. N 17. P. 92–99. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120> (дата обращения: 21.01.2022).

³ Shrestha G., Clair L.L.St., O'Neill K.L. The immunostimulating role of lichen polysaccharides: a review. Phytotherapy Research, 2015. N 29 (3). P. 317–322. <https://doi.org/10.1002/ptr.5251> (дата обращения: 21.01.2022).

общей резистентности организма животных к неблагоприятным факторам среды.

Нами проведены исследования по включению в рацион помесных бычков герфордской и абердин-ангусской пород I поколения в возрасте от 3 до 6 мес. КД, состоящей из муки ламинарии (*Laminaria*) и лишайников – кладонии альпийской (*Cladonia alpestris*) и цетрарии исландской (*Cetraria islandica*). Доказано, что применение КД влияет на рост и развитие, способствует улучшению физиологического состояния, резистентности бычков опытной группы. Установлено увеличение содержания белка в сыворотке крови бычков опытной группы на 9,8 г/л (14,37 %), гемоглобина – на 0,2 г/дл (1,86 %), лимфоцитов на 1,2 %, снижением содержания лейкоцитов на 1,02 тыс./мкл (9,57 %) относительно молодняка контрольной группы⁴.

Цели и задачи исследования

Цель исследования – разработка способа целенаправленного регулирования биосинтеза продукции, основанного на применении нетрадиционных источников кормов с целью эффективного использования генофонда КРС мясного направления продуктивности на территории Магаданской области. Выполнены следующие задачи: проведены исследования химического состава кормов и КД, определено содержание минеральных веществ кормов и КД, приготовлена кормовая добавка, изучено влияние КД на живую массу, среднесуточный прирост и скорость роста помесного молодняка.

Методика исследований

Для проведения работ использованы общепринятые методики⁵. Лабораторные исследования химического состава кормов и КД выполнены в ФГБУ САС «Магаданская» и ФГБНУ Магаданский НИИС. Результаты опытов обработаны статистически с использованием методик, приведенных в руководстве Н.А. Плохинского.

Определение содержания минерального вещества в кормах и ламинарии выполняли в лаборатории рентгеноспектрального анализа СВКНИИ ДВО РАН, по методикам, разработанным в СВКНИИ ДВО РАН. Атомный эмиссионный спектральный анализ с дуговым возбуждением (ЭКСА) проводили на атомно-эмиссионном спектрографе ДФС-13 (Россия) [9].

Научно-производственный опыт по изучению влияния КД на живую массу, среднесуточный прирост и скорость роста помесного молодняка проводился в производственных условиях КХФ «Комарова». Опытная и контрольная группы

⁴ Kuzmina I.Yu., Kuzmin A.M. Methods of correcting stress adaptation of young cattle // BIO Web of Conferences. 2021. Vol. 36 (07005). <https://doi.org/10.1051/bioconf/20213607005> (дата обращения: 21.01.2022).

⁵ Методические рекомендации по организации и проведению исследований по кормлению коров на промышленных фермах и комплексах. Дубровицы, 1983. 55 с.; Методические указания по расчету общей питательности кормов. М, 1981. 24 с.; Каталог ГОСТов, 2011. – <http://gost.ruscable.ru/cgi-bin/catalog> (дата обращения: 21.01.2022); Плохинский Н.А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 256 с.

молодняка были подобраны по методу пар-аналогов, по 10 голов в возрасте от 15 до 17 месяцев. В группы вошли помесные бычки герефордской и абердин-ангусской пород I поколения. Животные опытной и контрольной групп содержались в одинаковых условиях и получали один и тот же хозяйственный рацион. Молодняк опытной группы в добавление к основному рациону ежедневно получал КД: ламинарию в количестве 120 г/гол. с лишайниками 50 г/гол. в сутки.

Для проведения опыта подготовлено 75 кг муки из ламинарии и 30 кг муки из лишайников. Технология получения муки из растительных образцов состоит из сушки сырья в специально оборудованном складском помещении на сетчатых стеллажах и приготовления муки с крупностью фракций – 0,5–1,5 мм. Мука хранилась в крафтмешках в помещениях складского типа.

Рост и развитие молодняка изучали по показателям живой массы на основе ежемесячных взвешиваний у подопытных бычков. По результатам взвешивания были рассчитаны среднесуточный и абсолютный прирост.

Относительную скорость роста рассчитывали по формуле С. Броди:

$$B = [(W_1 - W_0) \times 100] : [(W_1 + W_0) \times 0,5],$$

где W_1 и W_0 – соответственно конечная и начальная живая масса.

Результаты исследований

По результатам анализа химического состава основных кормов сельскохозяйственного предприятия «Комарова» и КД из ламинарии в сочетании с лишайниками проведена оценка их питательной ценности (табл. 1). Состав кормов в хозяйстве является характерным для Приохотской зоны Магаданской области. Сложившийся тип кормления молодняка КРС при доращивании и откорме скота

Таблица 1

Химический состав и питательность кормов в КФХ «Комарова» и кормовой добавки (в 1 кг натуральной влажности)

Вид корма	ЭЖЕ	Обменная энергия, МДж	Сухое вещество, кг	Сырой протеин, г	Переваримый протеин, г	Сырая клетчатка, г	Сырой жир, г	Кальций, г	Фосфор, г	Натрий, г	Калий, г	Каротин, мг/кг	СТПВ, г в 1 кг
Стойловый период													
Сено дикоросов	0,73	7,25	0,92	41,2	21,84	345	11,8	5,84	1,1	0,51	1,92	2,3	467,8
Силос овсяно-гороховый	0,26	2,66	0,28	64,8	47,3	88,1	10,6	1,19	0,64	1,59	3,18	11,8	
Размол	0,7	6,99	0,76	102,6	67,72	42,5	27,8	0,9	0,6	0,3	4,2	0,25	478,74
Кормовая добавка	0,88	8,76	0,93	68,2	50,47	263	66,4	2,1	1,11	0,48	3,9	2,4	476,28

на мясо в осенне-зимний период в КФХ «Комарова» – силосно-концентратный. В структуре кормления молодняка концентраты составляют 31,84 %, силос – 66,42 % по питательности. Основной рацион молодняка состоял из силоса (овес, горох) и размола (ячмень, кукуруза, горох), рацион содержал 91,51 % от нормы энергетических кормовых единиц, 90,22 % сухого вещества, 84,13 % переваримого протеина, 99,81 % сырой клетчатки. В рационе не хватало сахаров.

Данные, представленные в табл. 2, подтверждают положительное влияние введения в рацион КД при выращивании помесного молодняка в период доращивания на показатели роста.

Таблица 2

Динамика живой массы и среднесуточный прирост помесных бычков

Возраст, мес.	Помеси (½ герефордская × ½ абердин-ангусская)	
	Контрольная группа	Опытная группа
Живая масса на конец периода, кг		
15	384,10 ± 1,83	383,90 ± 1,55
16	406,37 ± 1,83	407,85 ± 1,59*
17	428,96 ± 1,87	434,38 ± 1,63**
Абсолютный прирост, кг	44,86	50,48
Среднесуточный прирост, г		
От 15 до 16 мес.	742,10 ± 3,34	798,40 ± 4,01*
От 16 до 17 мес.	752,90 ± 3,53	883,80 ± 4,38**
За период опыта	747,60 ± 2,64	841,40 ± 3,60**
Относительная скорость роста, %		
От 15 до 16 мес.	5,67 ± 0,05	6,03 ± 0,02**
От 16 до 17 мес.	5,41 ± 0,05	6,30 ± 0,03**
За период опыта	11,03 ± 0,06	12,34 ± 0,06**

*P ≤ 0,01 , **P ≤ 0,001.

За период опыта (с 15- до 17-месячного возраста) у помесного молодняка, получавшего дополнительно с рационом КД, повысились показатели абсолютного прироста на 5,62 кг, относительного прироста – на 12,53 %, среднесуточного прироста – на 93,8 г (12,55 %) (P ≤ 0,001) относительно аналогов контроля. Относительная скорость роста по С. Броди у опытного молодняка на 1,31 % выше относительно молодняка контрольной группы.

Таблица 3

Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию ввода кормовой добавки на вес помесного молодняка генотипа 1/2 герефорд × 1/2 абердин-ангусс

Разнообразие	Дисперсии С (суммы квадратов)	Числа степеней свободы v	Вариансы (средние квадраты) σ ²	η ² x
Факториальное (межгрупповое) Sx	158	1	158,20	
Случайное (внутригрупповое) Cz	7	18	0,36	
Общее Су	165	19	8,67	

Для установления степени влияния КД на скорость роста животных проведен однофакторный дисперсионный анализ, результаты которого отражены в табл. 3.

Исследуемыми вариантами в выборках является абсолютный прирост живой массы животных за период опыта. В опытной группе молодняка влияние КД составило 96 % абсолютного прироста при $P < 0,05$.

Заключение

За период проведения опыта (60 дней) абсолютный прирост животных, получавших КД, превысил аналогичный показатель бычков контрольных групп на 5,62 кг (12,53 %), среднесуточный прирост – на 93,8 г (12,55 %). Относительная скорость роста по С. Броди у опытного молодняка в возрасте от рождения до 17 мес. на 1,31 % выше относительно контроля.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что введение КД из ламинарии и лишайников в рацион помесного молодняка герефордской и абердин-ангусской пород I поколения при выращивании на мясо положительно влияет на скорость роста животных.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Левахин В.И., Саркенов Б.А., Поберухин М.М. Адаптационные способности и продуктивность чистопородных и помесных бычков при различных технологиях выращивания // Молочное и мясное скотоводство. 2015. № 4. С. 5–8.
2. Харитонов Л.В., Харитонова О.В., Софронова О.В. Повышение колострального иммунитета телят // Молочное и мясное скотоводство. 2016. № 7. С. 30–32.
3. Аминова А.Л., Юмагузин И.Ф., Колесник А.Б. Особенности роста телят в молочный период при использовании фитопрепаратов // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 4. С. 39–42.
4. Бельдин В.Е. Гуминовые кормовые добавки как природная замена антибиотиков // Молочное и мясное скотоводство. 2021. № 4. С. 43–46.
5. Евглевский А.А., Скира В.Н., Рыжкова Г.Ф., Михайлова И.И. Обоснование нового подхода к профилактике йодной недостаточности и коррекции метаболизма // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 2. С. 67–70.
6. Кузьмина И.Ю. Ламинария в кормлении крупного рогатого скота // Геология, география, биологическое разнообразие и ресурсы Северо-Востока России: материалы Дальневосточной региональной конференции, посвященной памяти А.П. Васьковского и в честь его 100-летия (Магадан, 22–24 ноября 2011 г.). Магадан: СВНЦ ДВО РАН, 2011. С. 187–188.
7. Пи Ниваль Колен [и др.]. Морские водоросли – прогресс в создании новых кормовых добавок // Птица и птицепродукты. 2014. № 3. С. 40–42.
8. Вишневская Т.И. Аминина Н.М., Гурулева О.Н. Разработка технологии получения йодсодержащих продуктов из ламинарии японской // Изв. ТИНРО. Биология и биотехнология гидробионтов. 2001. Т. 129. С. 163–169.
9. Приставко В.А. О геохимических исследованиях в лаборатории геохимии СВКНИИ // Колымские вести. 2000. № 8. С. 47–51.

REFERENCES

1. Levakhin V.I., Sarkenov B.A., Poberukhin M.M. Adaptatsionnye sposobnosti i produktivnost' chistoporodnykh i pomesykh bychkov pri razlichnykh tekhnologiyakh vyrashchivaniya. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2015;4:5-8.
2. Kharitonov L.V., Kharitonova O.V., Sofronova O.V. Povyshenie kolostral'nogo immuniteta telyat. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2016;(7):30-32.

3. Aminova A.L., Yumaguzin I.F., Kolesnik A.B. Osobennosti rosta telyat v molochnyi period pri ispol'zovanii fitopreparatov. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2021;4:39-42.
4. Bel'din V.E. Guminovye kormovye dobavki kak prirodnyaya zamena antibiotikov. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*. 2021;4:43-46.
5. Evglevskii A.A., Skira V.N., Ryzhkova G.F., Mikhailova I.I. Obosnovanie novogo podkhoda k profilaktike iodnoi nedostatochnosti i korrektsii metabolizma. *Vestnik Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi nauki*. 2019;2:67-70.
6. Kuz'mina I.YU. Laminariya v kormlenii krupnogo rogatogo skota. In: *Geologiya, geografiya, biologicheskoe raznoobrazie i resursy Severo-Vostoka Rossii: Materialy Dal'nevostochnoi regional'noi konferentsii, posvyashchennoi pamyati A.P. Vas'kovskogo i v chest' ego 100-letiya* (Magadan, 22-24 noyabrya 2011 g.). Magadan: SVNTS DVO RAN; 2011. P. 187-188.
7. Pi Nival' Kolen [i dr.] Morskie vodorosli – progress v sozdanii novykh kormovykh dobavok. *Ptitsa i ptitseprodukty*. 2014;3:40-42.
8. Vishnevskaya T.I. Aminina N.M., Guruleva O.N. Razrabotka tekhnologii polucheniya iodsoderzhashchikh produktov iz laminarii yaponskoi. *Izvestiya TINRO. Biologiya i biotekhnologiya gidrobiontov*: 2001;129:163-169.
9. Prstavko V.A. O geokhimicheskikh issledovaniyakh v laboratorii geokhimii SVKNII. *Kolymskie vesti*. 2000;8:47-51.

Научная статья
УДК 619:579.842.17
DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_11

Особенности энтеробиоценоза новорожденных телят при массовых желудочно-кишечных заболеваниях

М.Е. Остякова, И.С. Шульга✉

Марина Евгеньевна Остякова
доктор биологических наук
доцент
Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,
Благовещенск, Россия
dalznividv@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2996-0991>

Ирина Станиславовна Шульга
кандидат биологических наук
ведущий научный сотрудник
Дальневосточный зональный научно-исследовательский ветеринарный институт,
Благовещенск, Россия
dalznivilabmicro@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2514-3879>

Аннотация. Острой проблемой для хозяйств, занимающихся разведением и выращиванием крупного рогатого скота, является заболеваемость и гибель молодняка. Основной ущерб животноводству наносят инфекционные болезни, возбудителями которых являются условно-патогенные микроорганизмы. Состав и чувствительность микрофлоры к антибиотикам влияет на выбор эмпирической антибактериальной терапии в начале лечения. В связи с этим в условиях животноводческого хозяйства Тамбовского района Амурской области в период с 2016 по 2020 г. изучена этиологическая структура патогенных микроорганизмов и их ассоциаций, вызывающих массовые желудочно-кишечные заболевания новорожденных телят, и их резистентность к антимикробным препаратам. Проведен анализ антибиотикорезистентности при ассоциативном течении массовых желудочно-кишечных заболеваний, вызванных *Escherichia coli* и *Proteus mirabilis*, на наличие совместимости по отношению к антимикробным препаратам.

Результаты исследования крови новорожденных телят с клиническими признаками заболеваний пищеварительной системы показали наличие у них вторичных иммунодефицитов. Необходим иной подход к терапии дисбактериозов пищеварительной системы животных: выявление иммунодефицитных состояний, их коррекция и профилактика.

Ключевые слова: новорожденные телята, энтеробактерии, микробные ассоциации, антибиотико-чувствительность, резистентность

Для цитирования: Остякова М.Е., Шульга И.С. Особенности энтеробиоценоза новорожденных телят при массовых желудочно-кишечных заболеваниях // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 121–130. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_11.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания.

Original article

Peculiarities of enterobiocenosis of newborn calves in the case of mass gastrointestinal diseases

M.E. Ostyakova, I.S. Shul'ga

Marina E. Ostyakova

Doctor of Biological Sciences

Associate Professor

Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia

dalznividv@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-2996-0991>

Irina S. Shul'ga

Candidate of Biological Sciences

Senior Researcher

Far East Zone Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk, Russia

dalznivilabmicro@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-2514-3879>

Abstract. An acute problem for farms engaged in breeding and rearing cattle is the morbidity and death of young animals. The main damage to animal husbandry is caused by infectious diseases, the causative agents of which are conditionally pathogenic microorganisms. The composition and sensitivity of microflora to antibiotics affect the choice of empiric antibacterial therapy at the beginning of treatment. The etiologic structure of pathogenic microorganisms and their associations in the cases of mass gastrointestinal diseases in newborn calves and their resistance to antimicrobial drugs was studied on a cattle farm of the Tambov District of the Amur Region in 2016–2020. The authors analyzed antibiotic resistance in calves with the associative course of mass gastrointestinal diseases, caused by *Escherichia coli* and *Proteus mirabilis*, for compatibility with antimicrobial agents.

The blood tests results of the study of newborn calves with clinical signs of the digestive system revealed the presence of secondary immunodeficiency disorders. Another approach to the treatment of dysbacteriosis of the animal digestive system is the detection of immune deficiency states, their correction, and prevention.

Keywords: newborn calves, enterobacteria, microbial associations, antibiotic susceptibility, resistance

For citation: Ostyakova M.E., Shul'ga I.S. Peculiarities of enterobiocenosis of newborn calves in the case of mass gastrointestinal diseases. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(2):121–130. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_11.

Funding. The study was conducted according to the state assignment.

Наиболее острой проблемой для хозяйств, занимающихся разведением и выращиванием крупного рогатого скота, является заболеваемость и гибель молодняка. Причиной заболеваемости молодняка являются вирусные и бактериальные инфекции, а также их ассоциации. На первом месте в структуре болезней новорожденных телят (в возрасте от 1 до 30 дней) стоят нарушения работы желудочно-кишечного тракта (50–100 % телят). Смертность при этом может достигать 55 %. Основной ущерб животноводству наносят факторные инфекционные болезни [1], возбудителями которых являются условно-патогенные микроорганизмы [2–5], обладающие факторами персистенции, обеспечивающими «иммунорезистентность» и выживание возбудителя при контакте с гуморальными и клеточными эффекторами антибактериальной защиты макроорганизма [6].

Согласно различным исследованиям в ходе мониторинга этиологической структуры желудочно-кишечных болезней молодняка крупного рогатого скота из биоматериала, полученного от заболевших животных, выделяют различные микроорганизмы: бактерии *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris*, *Citrobacter* spp., *Enterobacter* spp., *Klebsiella* spp., *Pseudomonas aeruginosa*, *Staphylococcus* spp., грибы рода *Candida*, *Streptococcus* spp. В большинстве случаев циркулируют и выделяются примерно одни и те же возбудители, и чаще всего заболевания имеют полиэтиологичную природу [7, 8].

Проявление и распространение инфекционных болезней в период новорожденности у телят связаны с особенностями формирования иммунитета, низкой активностью компонентов врожденного и приобретенного иммунитета, повышенной проницаемостью анатомических барьеров (кожи и слизистых оболочек) для инфекционных агентов. Иммунодефициты новорожденных телят могут быть следствием перинатальной гипоксии и стресса, недостаточным или несвоевременным поступлением с молозивом защитных факторов, низким качеством молозива, недостаточном усвоении иммуноглобулинов [7, 9].

Для терапии желудочно-кишечных заболеваний животных наряду с симптоматическим лечением используют антибиотики, но за многие десятилетия патогенные и условно-патогенные микроорганизмы адаптировались к препаратам, и применение антибиотиков становится менее эффективным [5, 8, 10]. Постоянная циркуляция патогенных и условно-патогенных бактерий в условиях животноводческих хозяйств указывает на их потенциальную опасность. Необходим контроль за распространением штаммов микроорганизмов и их чувствительностью к антимикробным препаратам.

Цель исследования: определить этиологическую структуру патогенных микроорганизмов и их ассоциаций при массовых желудочно-кишечных болезнях новорожденных телят и их резистентность к антимикробным препаратам в условиях животноводческого хозяйства Тамбовского района Амурской области.

Материалы и методы

Материал отбирали в условиях животноводческого хозяйства Тамбовского района Амурской области. Исследования проведены в период с 2016 по 2020 г.

Исследовали пробы биоматериала из прямой кишки и кровь новорожденных телят с клиническими признаками острых кишечных расстройств. Использованы общепринятые в микробиологии методы. Морфологические свойства выделенных культур микроорганизмов изучали посредством световой микроскопии.

Культуральные свойства определяли по результатам посевов на обычные, специальные и дифференциально-диагностические среды. Наличие или отсутствие подвижности устанавливали с использованием питательной среды, предназначенной для идентификации микробов по маркеру подвижности. Биохимические свойства культур проверяли на способность сбраживать глюкозу, лактозу, мальтозу, манит, сахарозу, дульцит, использовать цитраты, синтезировать фенилаланиндезаминазу, сероводород, индол, каталазу, оксидазу. Идентифицировали выделенные микроорганизмы при помощи справочника «Определитель бактерий Берджи» [11].

Серологическую идентификацию бактерий *E. coli* проводили с использованием диагностических сывороток и в соответствии с Инструкцией по применению сывороток О-коли агглютинирующих (ФПК «Армавирская биофабрика»).

Чувствительность микроорганизмов к антимикробным препаратам определяли методом диффузии в агар с применением стандартных индикаторных дисков, затем оценивали антибиотикорезистентность.

Патогенность культур микроорганизмов устанавливали путем постановки биологической пробы на белых беспородных мышках по наступлению их гибели.

Биохимические и иммунологические исследования сыворотки крови проводили на биохимическом фотометре Stat Fax 1904+R с биохимическими реактивами SPINREACT.

Естественную резистентность телят оценивали по методике П.А. Емельяненко [12]. Статистическую обработку результатов исследований проводили по И.А. Ойвину [13].

Результаты исследования

Бактериологические исследования показали, что из биоматериала кишечника новорожденных телят были выделены следующие бактерии: *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris* и *P. mirabilis*, *Enterobacter aerogenes* и *E. cloacae*, *Yersinia enterocolitica*, *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* и *C. diversus*, *Pseudomonas aeruginosa* (рис. 1).

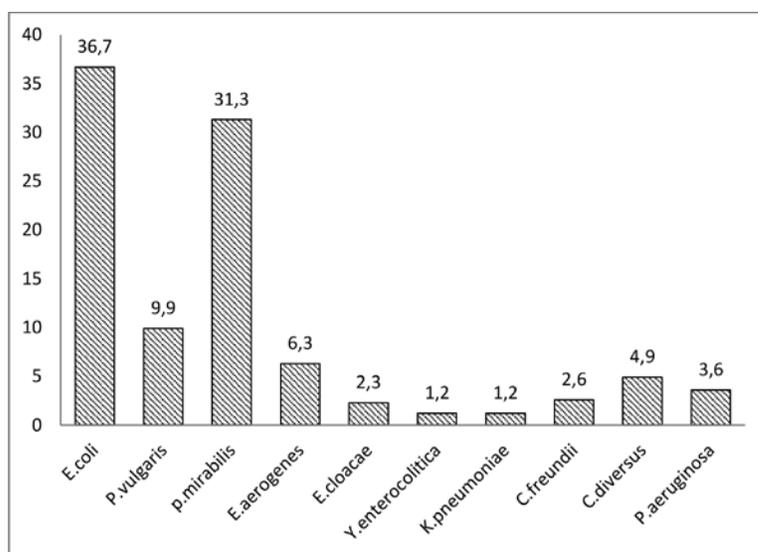


Рис. 1. Доля (%) видов условно-патогенных микроорганизмов в общем количестве выделенных культур

Среди выделенных бактерий чаще всего встречается *Escherichia coli* (кишечная палочка) – 36,7 %. При нормальном физиологическом состоянии макроорганизма эшерихия выполняет ряд полезных функций, в том числе антогониста патогенных кишечных бактерий (выделяет колицины), гнилостных бактерий, грибов рода *Candida*, принимает участие в синтезе витаминов группы В, Е, К₂, стимулирует иммунитет, частично расщепляет клетчатку, однако при снижении иммунных сил организма способна вызвать дисбактериозы кишечника и различные гнойно-воспалительные заболевания за пределами пищеварительного тракта: пневмонии, нагноения ран и полостей, циститы, отиты, менингиты, сепсис [14]. Были выделены энтеропатогенные серотипы кишечной палочки O15, O18, O26, O86, O137, вызывающие энзоотические вспышки колиинфекции у телят. В хозяйстве обнаруживали 1–2, реже 3–4 энтеропатогенных серотипа.

Вторым по частоте встречаемости является *Proteus mirabilis* (протей) – 31,3 %.

Из биологического материала микроорганизмы чаще выделяли в виде ассоциаций из 2–3 культур (рис. 2), наиболее обычны: *Escherichia coli* + *Proteus mirabilis* (30,8 %), *Escherichia coli* + *Enterobacter aerogenes* (15,4 %), *Escherichia coli* + *Proteus vulgaris* (12,8 %).

Так как кишечные инфекции в большинстве случаев представлены ассоциациями микроорганизмов, для результативного лечения необходимы точно подобранные лекарственные средства. Бесконтрольное применение антибактериальных препаратов приводит к повышению антибиотикорезистентности патогенной и условно-патогенной микрофлоры кишечника, что увеличивает сроки персистенции и повышает колонизационную активность. Необходим мониторинг антибиотикочувствительности энтеробактерий при назначении больным животным антибиотикотерапии.

Результаты антибиотикочувствительности *E. coli*, выделенных из биоматериала от новорожденных телят, показали, что бактерия резистентна к ципрофлоксацину, эритромицину, офлоксацину, бензилпенициллину (рис. 3). Наиболее чувствительны эшерихии были к полимиксину (91,7 %), цефазолину (70,6 %), стрептомицину (65,5 %), амоксициллину в сочетании с клавуналовой кислотой (62,5 %).

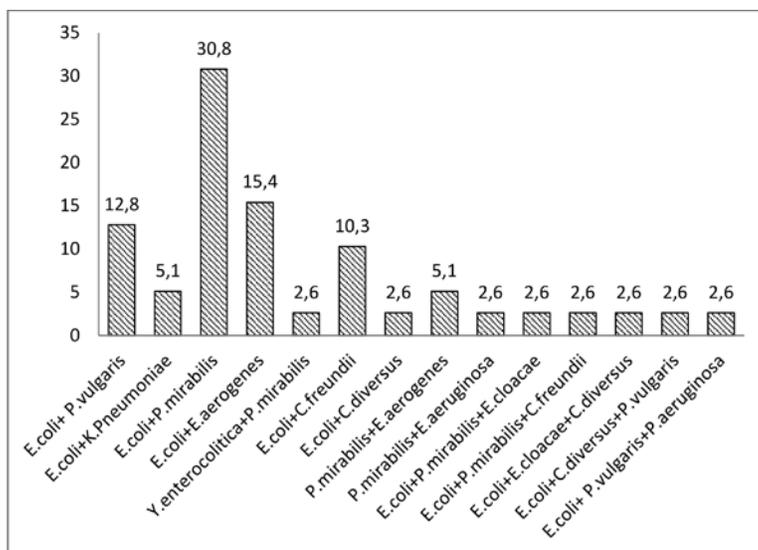


Рис. 2. Встречаемость ассоциаций патогенных энтеробактерий новорожденных телят, %

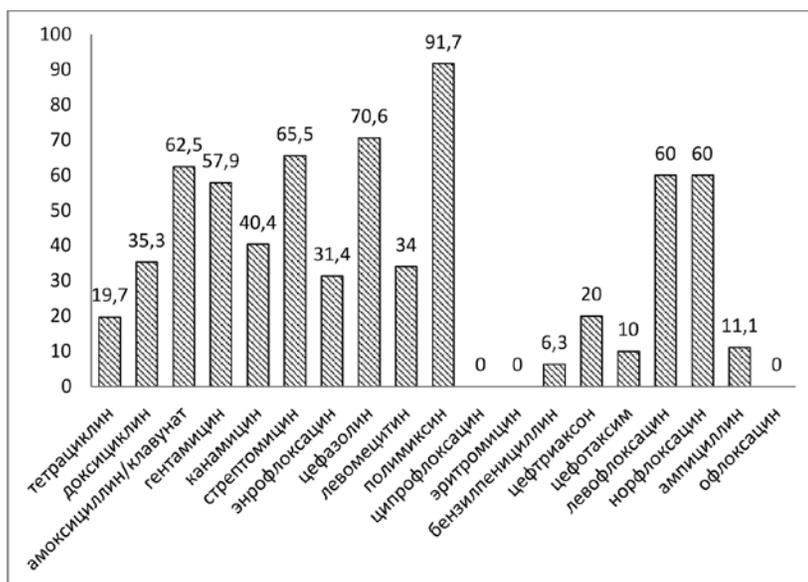


Рис. 3. Антибиотикочувствительность *E. coli*, %

Результаты исследования антибиотикочувствительности *Proteus mirabilis* из биоматериала кишечника телят показали, что бактерия практически резистентна к норфлоксацину, бензилпенициллину, тетрациклину, ампициллину (рис. 4). Наиболее чувствительна к цефазолину (75%), офлоксацину (62,5%), цефтриаксону (50%).

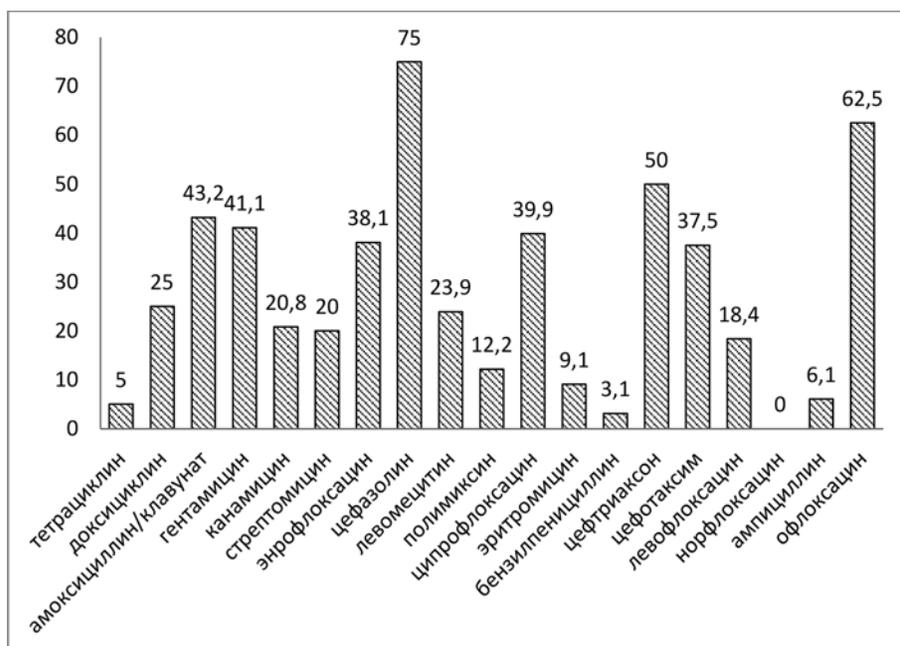


Рис. 4. Антибиотикочувствительность *P. mirabilis*, %

Анализ антибиотикорезистентности *E. coli* и *P. mirabilis* показал, оба вида чувствительны к следующим антибиотикам: цефазолину, амоксициллину, гентамицину, цефтриаксону и устойчивы к тетрациклину, канамицину, левомецитину, эритромицину, бензилпеницилину и ампициллину (рис. 5).

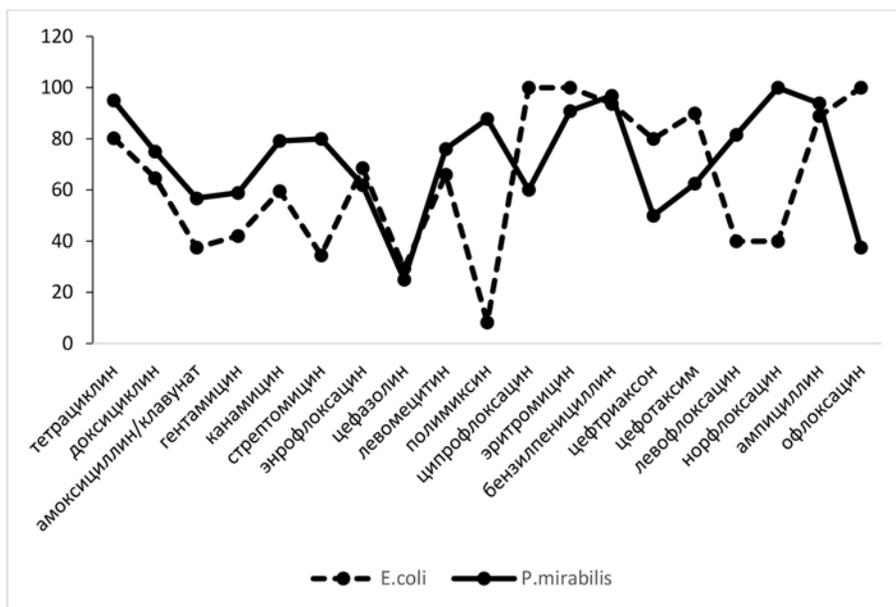


Рис. 5. Анализ совместимости антибиотикорезистентности *E. coli* и *P. mirabilis*, %

В остальных случаях в ассоциации у *E. coli* + *P. mirabilis* не одинаковая чувствительность к антибиотикам. С одной стороны, *E. coli* чувствительна к стрептомицину, полимиксину, левофлоксацину, норфлоксацину, а *P. mirabilis* к данным антибиотикам мало чувствителен или резистентен. С другой стороны, *Proteus mirabilis* чувствителен к ципрофлоксацину, цефтриаксону, офлоксацину при резистентности *Escherichia coli* к данным антибиотикам. Поэтому при терапии смешанной кишечной инфекции телят рекомендуем сочетанное назначение двух антимикробных или комплексных препаратов для направленного действия на ассоциации микроорганизмов.

Применение антибиотиков при лечении желудочно-кишечной патологии сопровождается селекцией антибиотикоустойчивых штаммов микроорганизмов, а также приводит к подавлению развития нормальной микрофлоры кишечника новорожденных телят. Поэтому необходим иной подход к терапии дисбактериозов пищеварительной системы животных: выявление иммунодефицитных состояний, их коррекция и профилактика.

Анализ крови новорожденных телят с клиническим проявлением заболеваний пищеварительной системы показал наличие у них вторичных иммунодефицитов.

У телят в 1-й день после рождения был выявлен низкий уровень гамма-глобулинов ($23,5 \pm 2,29\%$), что указывало на возрастной иммунодефицит. Он связан с недостаточным или несвоевременным поступлением с молозивом защитных факторов, недостаточным количеством выпаиваемого молозива или низким его качеством, что наблюдается при неполноценном кормлении матерей, недостаточном

усвоении иммуноглобулинов вследствие морфофункциональной незрелости новорожденных, выпаивании молозива от больных маститом коров.

На 7-й день после рождения было зафиксировано значительное снижение всех трех классов иммуноглобулинов: Ig M в 14,8 раза, Ig G в 11,7 раза, Ig A в 14,6 раза, что связано с возрастным иммунодефицитом, обусловленным распадом колостральных иммуноглобулинов.

Гуморальная иммунная недостаточность новорожденных телят компенсировалась усилением клеточного иммунитета – в крови животных в 1,5 раза увеличивалось количество сегментоядерных нейтрофилов ($42,1 \pm 5,14$ %), а их фагоцитарная активность была выше нормы у 100 % животных ($79,8 \pm 2,59$ %).

На фоне заболеваний бактериальной этиологии и воспаления желудочно-кишечного тракта у новорожденных телят отмечалась анемия, следовательно, гипоксия и нарушение обмена веществ.

Заключение

Из биоматериала кишечника новорожденных телят выделены следующие бактерии: *Escherichia coli*, *Proteus vulgaris* и *P. mirabilis*, *Enterobacter aerogenes* и *E. cloacae*, *Yersenia enterocolitica*, *Klebsiella pneumoniae*, *Citrobacter freundii* и *C. diversus*, *Pseudomonas aeruginosa*. Среди выделенных бактерий наиболее часто встречаются *E. coli* (36,7 %) и *P. mirabilis* (31,3 %). Культуры различных микроорганизмов выделяются чаще в ассоциациях, из которых наиболее обычна *E. coli* + *P. mirabilis* (30,8 % случаев). Анализ антибиотикорезистентности *E. coli* и *P. mirabilis* показал наличие у обоих видов совместимости по чувствительности к амоксициллину, гентамицину, цефазолину, цефтриаксону и по устойчивости к тетрациклину, канамицину, левомецитину, эритромицину, бензилпеницилину и ампициллину. Полученные данные рекомендованы для использования при назначении антибактериальных средств до получения информации о конкретном возбудителе. При отсутствии совместимости для терапии смешанной кишечной инфекции телят возможно сочетанное применение двух антимикробных или комплексных препаратов для их направленного действия на микроорганизмы.

Нерациональное использование антибиотиков широкого спектра действия до получения результата посева и чувствительности к антибиотикам при лечении желудочно-кишечной патологии приводит к подавлению нормальной микрофлоры кишечника новорожденных телят. Следовательно, необходимо изменить подход к терапии дисбактериозов пищеварительной системы животных: выявление иммунодефицитных состояний, их коррекция и профилактика.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ефанова Л.И., Манжурина О.А., Моргунова В.И., Адодина М.И. Иммунный статус телят и качество молозива при факторных инфекциях // Ветеринария. 2012. № 10. С. 28–31.
2. Долгополов В.Н., Александров Д.Е., Мигаеш В.С., Мелешкина С.Р. Роль персистентной микрофлоры в патогенезе эндогенных инфекций птиц // Вестн. Воронеж. гос. аграр. ун-та. 2012. № 2. С. 187–188.
3. Исакова М.Н., Ряпосова М.В., Безбородова Н.А., Брицина О.А. Микробиологический фон при воспалении молочной железы у высокопродуктивных коров // Рос. журн. Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии. 2017. № 2. С. 63–67.

4. Портянко А.В., Лыско С.Б., Красиков А.П., Гофман А.А. Энтеромикробиоценоз цыплят-бройлеров при ассоциативной кишечной инфекции // *Вестн. Омск. гос. аграр. ун-та*. 2018. № 1. С. 85–91.
5. Безбородова Н.А., Ким Н.А. Сравнение лабораторных методов диагностики инфекций, вызываемых патогенными и условно-патогенными микроорганизмами // *Эффективное животноводство*. 2018. № 2. С. 46–47.
6. Гриценко В.А., Иванов Ю.Б. Роль персистентных свойств микроорганизмов в патогенезе эндогенных бактериальных инфекций // *Вестн. Урал. мед. акад. науки*. 2009. № 2. С. 35–39.
7. Пудовкин Д.Н., Щепеткина С.В., Карпенко Л.Ю., Ришко О.А. Болезни молодняка крупного рогатого скота: практ. рекомендации. Изд. 2, доп. СПб.: Изд-во СПб. гос. акад. вет. медицины, 2019. 204 с.
8. Горковенко Н.Е., Жолобова И.С. Микрофлора энтеробиоценоза новорожденных телят с желудочно-кишечной патологией // *Научное обеспечение агропромышленного комплекса: сб. тез. по материалам Всерос. (нац.) конф. Краснодар: Кубан. гос. аграр. ун-т им. И.Т. Турбилина*, 2019. С. 438–439.
9. Белкин Б.Л., Малахова Н.А., Комаров В.Ю., Прудников В.С. Общая и специфическая профилактика инфекционных болезней молодняка крупного рогатого скота // *Вестн. аграр. науки*. 2019. № 5. С. 45–49. – <http://dx.doi.org/10.15217/48484> (дата обращения: 1.03.2022 г.).
10. Пашаян С.А. Экологическое обоснование профилактики и лечения респираторных заболеваний животных // *Экологическое чтение – 2019: X Нац. науч.-практ. конф. (с междунар. участием)*. Омск: Омск. гос. аграр. ун-т им. П.А. Столыпина, 2019. С. 282–286.
11. Определитель бактерий Берджи: справ. по микробиологии. Т. 1. М.: Мир, 1997. 432 с.
12. Емельяненко П.А. Методические указания по тестированию естественной резистентности телят / ВАСХНИЛ, отд-ние ветеринарии, Моск. вет. акад. им. К.И. Скрябина. М., 1980. 64 с.
13. Ойвин И.А. Статистическая обработка результатов экспериментальных исследований // *Патол. физиол. и эксп. терапия*. 1960. № 4. С. 76–85.
14. Алешкевич В.Н., Вербицкий А. А., Корочкин Р. Б. и др. Энтеробактерии в патологии сельскохозяйственных животных: учеб.-метод. пособие. Витебск: Витебск. гос. акад. вет. медицины, 2017. 88 с. ISBN 978-985-512-958-6.

REFERENCES

1. Efinova L.I., Manzhyrina O.A., Morgunova V.I., Adodina M.I. Immunnyi status telyat i kachestvo moloziva pri faktornykh infektsiyakh. *J. Veterinariya*. 2012;(10):28-31. (In Russ.).
2. Dolgopolov V.N., Alexandrov D.E., Migaesh V.S., Meleshkina S.R. Rol' persistentnoi mikroflory v patogeneze endogennykh infektsii ptits. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2012;(2):187-188. (In Russ.).
3. Isakova M.N., Ryaposova M.V., Bezborodova N.A., Britsina O.A. Mikrobiologicheskii fon pri vospalenii molochnoi zhelezy u vysokoproduktivnykh korov = [Microbiological background in highly-productive cows with inflammation of lacteous glands]. *Rus. J. "Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology"*. 2017;(2):63-67. (In Russ.).
4. Portyanko A.V., Lysko S.B., Krasikov A.P., Gofman A.A. Enteromikrobiotsenoz tsyplyat-broilev pri assotsiativnoi kischechnoi infektsii. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2018;(1):85-91. (In Russ.).
5. Bezborodova N.A., Kim N.A. Sravnenie laboratornykh metodov diagnostiki infektsii, vyzyvamykh patogennymi i uslovno-patogennymi mikroorganizmami. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2018;(2):46-47. (In Russ.).
6. Gritsenko V.A., Ivanov Y.B. Rol' persistentnykh svoistv mikroorganizmov v patogeneze endogennykh bakterial'nykh infektsii. *J. Ural Medical Academic Science*. 2009;(2):35-39. (In Russ.).
7. Pudovkin D.N., Shchepetkina S.V., Karpenko L.Y., Rishko O.A. Bolezni molodnyaka krupnogo rogatogo skota: prakticheskie rekomendatsii. 2nd ed. St. Petersburg: St. Petersburg State University of Veterinary Medicine; 2019. 204 p. ISBN 978-5-86983-921-3. (In Russ.).
8. Gorkovenko N.E., Zholobova I.S. Mikroflora enterobiotsenoza novorozhdennykh telyat s zheludochno-kischechnoi patologiei. In: *Nauchnoe obespechenie agropromyshlennogo kompleksa*. Krasnodar: Kubanskiy State Agrarian Univ. named after I.T. Turbilin; 2019. 438-439 p. (In Russ.).

9. Belkin B.L., Malakhova N.A., Komarov V.Y., Prudnikov V.S. Obshchaya i spetsificheskaya profilaktika infektsionnykh boleznei molodnyaka krupnogo rogatogo skota. *Bull. Agrarian Sci.* 2019;(5):45-49. <http://dx.doi.org/10.15217/48484>. (In Russ.).

10. Pashayan S.A. Ekologicheskoe obosnovanie profilaktiki i lecheniya respiratornykh zabolevaniy zhivotnykh. In: *Ekologicheskie chteniya – 2019: X Nat. Sci.-Practical Conf.* (with international participants). Omsk: Omsk State Agrarian Univ.; 2019. 282-286 p. (In Russ.).

11. *Opredelitel' bakterii Berdzhi* = [Bergey's Manual of Determinative Bacteriology]. Vol. 1. Moscow: Mir; 1997. 432 p. (In Russ.).

12. Emeliyanenko P.A. Metodicheskie ukazaniya po testirovaniyu estestvennoi rezistentnosti telyat. Moscow: VASHNIL, Veterinary department. Moscow Veterinary Academy named after K.I. Skryabin; 1980. 64 p. (In Russ.).

13. Oivin I.A. Statisticheskaya obrabotka rezul'tatov eksperimental'nykh issledovaniy. *Pathological Physiology and Experimental Therapy.* 1960;(4):76-85. (In Russ.).

14. Aleshkevich V.N., Verbitskiy A.A., Korochkin R.B., et al. *Enterobakterii v patologii sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh.* Vitebsk: Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine, 2017. 88 p. ISBN 978-985-512-958-6. (In Russ.).

Научная статья
УДК 635.21:631.527
DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_12

Оценка исходного материала картофеля по хозяйственно ценным признакам (Камчатский край)

Т.П. Шерстюкова✉, А.Д. Иващенко

Тамара Петровна Шерстюкова

старший научный сотрудник

Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, пос. Сосновка,
Елизовский район, Камчатский край, Россия

Khasbiullina@kamniish.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7368-0244>

Анна Дмитриевна Иващенко

научный сотрудник

Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, пос. Сосновка,
Елизовский район, Камчатский край, Россия

ivashchenkoanna@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4714-4565>

Аннотация. В 2019–2020 гг. изучены продуктивность, содержание крахмала и витамина С у 99 сортов мировой коллекции и 11 межвидовых гибридов картофеля селекции ВИР. Представлены результаты гибридизации с использованием сортов-источников с комплексом хозяйственно ценных признаков и ДНК-маркеров, контролирующих устойчивость картофеля к патогенам. Проведены скрещивания по 230 гибридным комбинациям, получено 343 ягоды по 80 гибридным комбинациям. Завязываемость ягод составила от 12 до 100 %.

Ключевые слова: картофель, сорт, гибрид, продуктивность, гибридизация, устойчивость к золотистой картофельной нематоде.

Для цитирования: Шерстюкова Т.П., Иващенко А.Д. Оценка исходного материала картофеля по хозяйственно ценным признакам (Камчатский край) // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 3. С. 131–136. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_12.

Финансирование. Оценка исходного материала картофеля в условиях Камчатского края выполнена в соответствии с планом НИР ФГБНУ Камчатский НИИСХ в рамках Государственного задания на 2018–2021 гг.

The assessment of the raw material of potatoes on economically valuable characteristics (Kamchatka Krai)

T.P. Sherstyukova, A.D. Ivashchenko

Tamara P. Sherstyukova

Senior Researcher

Kamchatka Research Institute of Agriculture, village of Sosnovka, Elizovsky District,
Kamchatka Krai, Russia

Khasbiullina@kamniish.ru

<https://orcid.org/0000-0001-7368-0244>

Anna D. Ivashchenko

Researcher

Kamchatka Research Institute of Agriculture, village of Sosnovka, Elizovsky District,
Kamchatka Krai, Russia

ivashchenkoanna@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0003-4714-4565>

Abstract. 99 varieties of the world collection and 11 interspecific hybrids of potatoes of the Institute of Plant Industry (IPI) selection were studied in 2019–2020 in terms of productivity, starch and vitamin C content. The results of hybridization using varieties – sources with a complex of economically valuable traits and DNA markers that control potato resistance to pathogens – are presented. Crosses were carried out in 230 hybrid combinations, hybrid berries in the amount of 343 were obtained in 80 hybrid combinations. The percentage of berry setting ranged from 12 to 100%.

Keywords: potato, variety, hybrid, productivity, hybridization, resistance to the golden potato nematode

For citation: Sherstyukova T.P., Ivashchenko A.D. The assessment of the raw material of potatoes on economically valuable characteristics (Kamchatka Krai). *Vestnik of the FEB RAS.* 2022;(3):131–136. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_12.

Funding. The assessment of the potato raw material in the terms and conditions of the Kamchatka Krai was done in accordance with the research plan of FSBSI Kamchatka SRIA, within the State task for the 2018–2021.

Введение

Картофель – одна из важнейших продовольственных культур на Камчатке, занимающая ключевую позицию среди самых потребляемых продуктов питания. В его клубнях содержатся все необходимые для человека питательные вещества (углеводы, белок, витамины, органические кислоты, минеральные вещества). Биохимический состав клубней зависит от многих факторов: сорта, почвенных и погодных условий, технологии возделывания и др. [1, 2]. Сортность в картофелеводстве выступает как самостоятельный фактор повышения урожайности и

качества клубней, имеет определяющее значение для получения высоких урожаев культуры картофеля [3]. При создании высокоурожайных, пластичных сортов картофеля необходимы всестороннее изучение исходного материала в конкретных почвенно-климатических условиях и тщательный подбор родительских пар для гибридизации [4]. Актуальность выведения новых высокопродуктивных сортов, устойчивых к болезням и вредителям, обусловлена также значительным сокращением посевных площадей в Камчатском крае при внедрении прогрессивных технологий на сельскохозяйственных предприятиях [5].

Успех в селекционной работе зависит, прежде всего, от наличия обширного и разнообразного исходного материала, его генетической изученности, методов гибридизации, оценки и отбора перспективных гибридов. Поэтому цель наших исследований – выделить сорта картофеля с повышенной продуктивностью в условиях Камчатского края, обладающие комплексом хозяйственно ценных признаков, подобрать родительские пары для гибридизации, создать новые гибридные комбинации для испытания по полной схеме селекционного процесса.

Материалы и методика

Работа проведена в ФГБНУ Камчатский научно-исследовательский институт сельского хозяйства в 2019–2020 гг. Объектом исследований являлись сорта картофеля отечественной и зарубежной селекции, а также 11 межвидовых гибридов, созданных в ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова» с использованием ДНК-маркеров генов устойчивости к наиболее вредоносным патогенам.

Основной метод селекции – гибридизация с использованием межвидовых гибридов с последующим отбором и испытанием гибридов в питомниках. Селекционная работа проведена традиционными методами: подбор исходных форм из мирового сортимента, гибридизация и отбор, изучение гибридного материала по полной схеме селекционного процесса в соответствии с методиками ВНИИКС им. А.Г. Лорха [6] и ВИР им Н.И. Вавилова [7].

Температурно-влажностный режим вегетационных периодов в 2019–2020 гг. сложился в целом благоприятно для выращивания картофеля и проведения скрещивания родительских форм.

Результаты исследований

В условиях Камчатского края в 2019–2020 гг. изучено 99 сортов из коллекционного питомника и 11 межвидовых гибридов. Основным хозяйственно ценным признаком при отборе образцов является продуктивность. В наших условиях среди сортов коллекционного питомника наблюдались значительные различия по этому показателю: от 400 до 1320 г/куст. Стабильно высокая продуктивность (более 1000 г/куст) отмечена у сортов: Amaliya, Alvara, Алый местный, Арктика, Гейзер, Елизавета, Impala, Пензенская скороспелка, Proventa, Sante, Сибирячка, Солнышко, Fresko, Чарит, Evolyushen, Югана. Повышенную продуктивность (700–970 г/куст) и товарность клубней 88–97 % имели сорта Аврора, Adretta, Apis, Astilla, Anosta, Artemis, Arizona, Avgustin, Aksamit, Bridzh, Bellarozа, Вулкан, Varmas, Gala , Жуковский ранний, Zekura, Karina, Колымский, Камчатка,

Космос, Latona, Lileya belorusskaya, Лазарь, Метеор, Madeline, Mona-Liza, Masai, Mustang, Nikola, Ольский, Отрада, Радонежский, Ресурс, Раннеспелый, Skarlet, Сигнал, Safo, Тетерев, Фермер, Fiyesta, Чайка, Юбилей Жукова, гибриды (ВИР) 8-3-2004, 99-6-6, 117-2, 134-2-2006.

По результатам анализов выделены сорта и гибриды с повышенным содержанием крахмала (13,0–17,8 %): Alvara, Василёк, Du-nun, Детскосельский, Камчатка, Каменский, Лазарь, Отрада, Памяти Рогачёва, Пушкинец, Рябинушка, Росинка, Тетерев, Юбиляр, Югана, 8-1-2004, 8-3-2004, 8-5-2004, 94-5, 99-10-1. Сухого вещества в этих же сортах и гибридах было 18,1–22,9 %. Наиболее высокое содержание витамина С в клубнях (11,0–22,8 мг%) отмечено у сортов Adretta, Apis, Алый местный, Aksamit, Вулкан, Gala, Дарик, Жуковский ранний, Жемчужина, Zenimaru, Каменский, Кетский, Крокус, Latona, Monaliza, Сигнал, Тёма и гибридов 8-1-2004, 8-5-2004, 94-5, 99-6-5, 99-6-6, 99-10-1, 134-2-2006, 135-5-2005. Абсолютное большинство изучаемых сортов имели хорошие и отличные (7–9 баллов) вкусовые качества.

Продуктивность сельскохозяйственных культур во многом определяется устойчивостью к заболеваниям и вредителям. К числу наиболее опасных болезней картофеля относится глободероз, вызываемый золотистой картофельной нематодой *Globodera rostochiensis* (ЗКН). В системе мер борьбы с глободерозом большая роль отводится использованию нематоустойчивых сортов, создание которых является актуальным направлением в селекции картофеля. В гибридизацию включались сорта и гибриды, выделившиеся по комплексу хозяйственно ценных признаков и устойчивостью к золотистой картофельной нематоды.

В качестве отцовских форм в процесс гибридизации вовлечены сорта, имеющие фертильную пыльцу и склонные к раннему клубнеобразованию: Алёна, Bellarozza, Вулкан, Гейзер, Солнышко, Колымский, Камчатка, Zekuga, а также межвидовой гибрид 99-6-6 (ВИР). Как материнские формы использованы сорта Алый местный, Anosta, Арктика, Вулкан, Ирбитский, Кетский, Маяк, Метеор, Отрада, Ольский, Памяти Рогачёва, Петербургский, Роко, Рауа, Рябинушка, Солнышко, Юбиляр, Фермер, Чародей, а также межвидовые гибриды ФИЦ генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова: 94-5, 99-10-1, 99-6-6, 8-1-2004, 8-3-2004, 8-5-2004, 134-2-2006, 135-5-2005, устойчивые к вредным организмам. Процент завязываемости ягод был довольно высоким – от 12 до 100.

Широкое использование гибридов в нашей работе обусловлено необходимостью вовлекать в селекцию дикие и новые культурные виды, которые являются носителями генов устойчивости к патогенам и экстремальным факторам среды [8]. В родословной этих гибридов присутствуют виды *Solanum acaule*, *S. chacoense*. Наибольший интерес представляют гибриды, несущие гены устойчивости к ЗКН (патотип R₀₁) и Y-вирусу картофеля: 8-1-2004, 8-5-2004, 135-3-2005, 135-5-2005, 94-5, 99-10-1, 99-6-6, 8-3-2004. Ценность включенных в гибридизацию сортов и ДНК-маркеров определяется способностью проявлять свои положительные свойства в гибридном потомстве.

В результате гибридизации было опылено 2608 цветков (80 гибридных комбинаций), получено 343 ягоды, доля удачных скрещиваний составила 13,2 %.

Получен гибридный материал от комбинаций, в которых один или оба родителя устойчивы к ЗКН: Алый местный × Вулкан, Anosta × Гейзер, Арктика × Вулкан, Вулкан × Солнышко, Вулкан × Алёна, Ирбитский × Вулкан, Ирбитский × Солнышко, Кетский × Вулкан, Маяк × Солнышко, Маяк × Bellarozza, Метеор ×

× Вулкан, Метеор × Солнышко, Отрада × Солнышко, Отрада × Вулкан, Памяти Рогачёва × Вулкан, Roko × Солнышко, Roko × Гейзер, Рябинушка × 9-6-6, Солнышко × Вулкан, Солнышко × Bellarozza, 94-5 × Вулкан, 94-5 × Солнышко, 99-6-6 × Вулкан, 8-1-2004 × Солнышко, 8-3-2004 × Вулкан, 8-3-2004 × Солнышко, 8-5-2004 × Bellarozza, 134-2-2006 × Алена, 134-2-2006 × Bellarozza, 135-5-2005 × Вулкан, 135-5-2005 × Солнышко, Фермер × Вулкан, Фермер × Солнышко, Raya × Колымский.

Дальнейший отбор и оценка гибридных комбинаций по морфологическим и хозяйственным признакам, основными из которых являются компактность гнезда, длина столонов, форма клубня, продуктивность, товарность, крахмалистость, способность формирования раннего товарного урожая, полевая устойчивость к грибным и вирусным болезням, будут проведены в полевых питомниках по схеме селекционного процесса. Гибриды, показавшие лучшие результаты, будут переведены в конкурсное испытание как перспективные для создания нового сорта картофеля.

Заключение

В ФГБНУ Камчатский НИИСХ в 2019–2020 гг. в лаборатории биотехнологии полевых культур и селекции картофеля проведена оценка, выделен и получен перспективный исходный материал для дальнейшей работы по созданию новых сортов картофеля, ранних и среднеранних групп спелости, с урожайностью 25–30 т/га, устойчивых к основным болезням и вредителям, с высокими качественными характеристиками клубней в условиях Камчатского края.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Бирюкова В.А., Шмыглы И.В., Жарова В.А. Маркер-вспомогательная селекция на устойчивость к фитопатогенам // Селекция и семеноводство картофеля / ВНИИ картофельного хоз-ва им. А.Г. Лорха. Чебоксары, 2020. С. 55–61.
2. Шерстюкова Т.П., Гамолина М.Л. Новый нематодоустойчивый сорт картофеля Северянин // Дальневост. аграр. вестн. 2019. № 1. С. 27–31.
3. Шерстюкова Т.П., Иващенко А.Д. Результаты комплексной оценки коллекционных сортов картофеля в условиях Камчатского края // Дальневост. аграр. вестн. 2019. № 3. С. 64–68.
4. Шерстюкова Т.П., Иващенко А.Д. Оценка исходного материала для использования в селекции картофеля в Камчатском крае // Дальневост. аграр. вестн. 2020. № 4. С. 48–53.
5. Ряховская Н.И., Гайнатулина В.В., Власенко Г.П. Агробиологическое обоснование возделывания семенного картофеля в условиях Камчатского края. Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс, 2016. 240 с.
6. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля / сост. Е.А. Симаков, Н.П. Склярова, И.М. Яшина. М: Достижения науки и техники АПК, 2006 (Люберцы (Моск. обл.): ПИК ВИНТИ). 70 с.
7. Киру С.Д., Костина Л.И., Трускинов Э.В. и др. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. СПб.: ВИР, 2010. 30 с.
8. Будин К.З. Генетические основы создания доноров картофеля. СПб.: ВИР, 1997. 40 с.

REFERENCES

1. Biryukova V.A., Shmyglya I.V., Zharova V.A. Marker-vspomogatel'naya selektsiya na ustoichivost' k fitopatogenam. In: *Selektsiya i semenovodstvo kartofelya*. Cheboksary: FGBNU NIIKH; 2020. P. 55–61. (In Russ.).
2. Sherstyukova T.P., Gamolina M.L. Novyi nematodoustoichivyi sort kartofelya Severyanin. *Far Eastern Agrarian Bull.* 2019;(1):27–31. (In Russ.).
3. Sherstyukova T.P., Ivaschenko A.D. Rezul'taty kompleksnoi otsenki kollektsonnykh sortov kartofelya v usloviyakh Kamchatskogo kraya. *Far Eastern Agrarian Herald.* 2019;(3):64–68. (In Russ.).
4. Sherstyukova T.P., Ivaschenko A.D. Otsenka iskhodnogo materiala dlya ispol'zovaniya v selektsii kartofelya v Kamchatskom krae. *Far Eastern Agrarian Herald.* 2020;(4):48–53. (In Russ.).
5. Ryakhovskaya N.I., Gainatulina V.V., Vlasenko G.P. Agrobiologicheskoe obosnovanie vozdeleyvaniya semennogo kartofelya v usloviyakh Kamchatskogo kraya. Petropavlovsk-Kamchatsky: Kamchatpress; 2016. 240 p. (In Russ.).
6. Simakov E.A., Sklyarova N.P., Yashin I.M. (comp.). Metodicheskie ukazaniya po tekhnologii selektsionnogo protsessa kartofelya. Moscow: Achievements of science and technology of the APK; 2006 (Lyubertsy (Moscow region): PIK VINITI). 70 p. (In Russ.).
7. Kiru S.D., Kostina L.I., Truskinov E.V. et al. Metodicheskie ukazaniya po podderzhaniyu i izucheniyu mirovoi kolleksii kartofelya. Saint Petersburg: VIR; 2010. 30 p. (In Russ.).
8. Budin K.Z. Geneticheskie osnovy sozdaniya donorov kartofelya. Saint Petersburg: VIR; 1997. 40 p. (In Russ.).

Научная статья

УДК 91 (092)

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_222_02_13

В.К. Арсеньев и его ботанические интересы

А.А. Хисамутдинов

Посвящается 150-летию со дня рождения
известного ученого и путешественника В.К. Арсеньева

Амир Александрович Хисамутдинов

доктор исторических наук, заведующий отделом научно-исследовательских работ

Центральная научная библиотека ДВО РАН, Владивосток, Россия

khisamut@yahoo.com

<http://orcid.org/0000-0002-8228-7513>

Аннотация. Показаны ботанические интересы, научные и личные связи Владимира Клавдиевича Арсеньева (1872–1930) с российскими ботаниками (Н.А. Пальчевский, И.В. Палибин, Д.И. Литвинов, П.В. Сюзев, А.А. Строгий, Н.И. Вавилов, В.Ф. Овсянников, Н.А. Десулави, В.Л. Комаров, В.М. и И.Н. Савич, И.К. Шишкин, Г.И. Гайл, А.Д. Восейков, Б.В. Скворцов и др.). Используются книжное и архивное собрания ученого, хранящиеся в Обществе изучения Амурского края во Владивостоке. Особое внимание обращено на еще неизданные путевые дневники, которые ученый вел с 1906 по 1927 г.

Ключевые слова: В.К. Арсеньев, Дальневосточная ботаника, геоботаника, флора, история науки, собиране коллекций, полевые исследования

Для цитирования: Хисамутдинов А.А. В.К. Арсеньев и его ботанические интересы // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 2. С. 137–149. https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_13.

Благодарности. Автор благодарит Елену Борисовну Волынец (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН) за высказанные замечания.

Original article

V.K. Arseniev and his botanical interests

A.A. Khisamutdinov

Amir A. Khisamutdinov

Doctor of Historical Sciences, Head of the Research Department

Central Scientific Library, FEB RAS, Vladivostok, Russia

khisamut@yahoo.com

<http://orcid.org/0000-0002-8228-7513>

Abstract. The article describes the botanical interests of the famous scientist and traveler Vladimir Klavdievich Arsenyev (1872–1930), as well as his scientific and personal connections with Russian botanists (N.A. Palchevsky, I.V. Palibin, D.I. Litvinov, P.V. Syuzev, A. A. Strogii, N.I. Vavilov, V. F. Ovsyannikov, N. A. Desulavi, V. L. Komarov, V. M. Savich and I.N. Savich, I. K. Shishkin, G. I. Gail, A.D. Voeikov, B.V. Skvortsov and others). The publication is based on the book and archival collection of the scholar, stored in the Society for the Study of the Amur Territory (OIAK) in Vladivostok. Particular attention is paid to the still unpublished travel diaries that the scientist kept from 1906 to 1927 with breaks.

Keywords: V.K. Arseniev, Far Eastern botany, geobotany, flora, history of science, collections, field research

For citation: Khisamutdinov A.A. V.K. Arseniev and his botanical interests. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(2):137–149. (In Russ.). https://doi.org/10.37102/0869-7698_2022_222_02_13.

Acknowledgments. The author is grateful to Elena Borisovna Volynets (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS).

Введение

Владимир Клавдиевич Арсеньев – ученый, который, не ограничиваясь одной специальностью, был настоящим энциклопедистом, интересующимся многими направлениями естествознания. В их числе была и ботаника. Ученик В.К. Арсеньева д.б.н. Николай Евгеньевич Кабанов писал: «Не будучи специалистом-ботаником, Арсеньев в то же время довольно тонко разбирался в географическом распространении отдельных растений и важнейших для Приморья типов лесов. Он собирал коллекции растений, которые передавал затем для обработки специалистам и, наконец, содействовал ботаникам принимать участие в его экспедициях» [1, с. 53].



В.К. Арсеньев. Экспедиция 1926 г. Автор неизвестен. АОИАК. Ф. 14. Оп. 1. Д. 30

В настоящей публикации использовано личное собрание В.К. Арсеньева (около 900 изданий), хранящееся в фондах библиотеки Общества изучения Амурского края, Владивосток (ОИАК). Характерной особенностью работы Владимира Клавдиевича над любой литературой являлось то, что он на полях или по тексту делал краткие комментарии, подчеркивания или исправления. Среди книг Арсеньева немало литературы по ботанике.

Арсеньев обращал большое внимание на книжный обмен с коллегами и краеведами, пополнение научных библиотек России и зарубежных

стран. Свидетельством этого является его Записная книга, в которой отмечены 236 адресатов из России и зарубежья (Архив ОИАК, далее АОИАК. Ф. 14. Оп. 2. Д. 12. 23 л.). Арсеньев имел специальную картотеку со списком книг, которые отправлял организациям и заинтересованным лицам, включая ботаников. В ней всего 75 карточек (АОИАК. Ф. 14. Оп. 2. Д. 10. 71 л.; Д. 11. 29 л.). Много об этой стороне деятельности Арсеньева можно почерпнуть из библиографического справочника, подготовленного специалистами Приморской краевой публичной библиотеки им. А.М. Горького [2].

Самым важным источником по изучению ботанических интересов В.К. Арсеньева являются его еще не изданные путевые дневники, которые он постоянно и тщательно вел во время экспедиций (1906–1927), особо отмечая ботанические наблюдения и находки.

Знакомство с ботанической литературой

Ф.Ф. Аристов, первый биограф Владимира Клавдиевича, писал, что еще в детстве «В.К. Арсеньев знал большинство пород деревьев, кустарников, знал цветковые растения и умел в них разбираться – все, конечно, в русской терминологии. Известны ему также были все сорта грибов» [3, с. 210]. Также об увлечении природой вспоминала его первая жена Анна Константиновна Арсеньева: «Леса Дальнего Востока. Володя учил леса восточной России. О них много говорил, если начинал, то оживлялся, молодец, ходил по комнате. „Слов не хватает, чтобы о них рассказать“. Кажется, он видел тайгу перед собой. Я бы сказала, что Володя был „фанатик леса“. В 1902 году примерно Володя ушел с солдатами в лес и Волю взял с собой „на подножный корм“. Такой был термин для военных разведчиков, то есть жить без помощи со стороны. Потом я поехала к мужу в тайгу, как живет там мой ребенок? Там Володя потащил меня в горы, сверху показал на море, на город. Смотри! Действительно, красота была, я поняла его чувства» [4, с. 305].

Не имея высшего образования, В.К. Арсеньев всю жизнь занимался самообразованием. В одном из путевых дневников Арсеньев составил себе расписание по изучению литературы. Отдельно выделена «Ботаника»: в феврале он занимался этим предметом 7 дней, в апреле – 5 дней, в мае – 6 дней, в июне – 8 дней (АОИАК. Ф. 14. Оп. 1. Д. 28. Л. 37–37об.). Владимир Клавдиевич составил большой библиографический список для детального изучения. В нем имелись «Учебник ботаники для высших учебных заведений», составленный Э. Страсбургером и другими (издание 1904 г. Библиотека ОИАК, далее БОИАК. № 17126), и «Руководство к собиранию растений для гербария», составленное В. Федченко и А. Флеровым (издание 1902 г. БОИАК. № 17534). Множество примечаний путешественника имеется в «Путеводителе по Ботаническому саду» (издание 1928 г. БОИАК. №. 17527).

Наиболее близким другом, учителем и соратником Арсеньева стал лесничий и краевед-ботаник Николай Александрович Пальчевский (1862–1909), вице-председатель Общества изучения Амурского края, человек с непростым характером, у которого была цель организовать при музее первую на Тихом океане морскую биологическую станцию. Первая встреча с ним будущему путешественнику запомнилась на всю жизнь. Когда в 1903 г. поручик Арсеньев пришел в музей и обратился к Пальчевскому за помощью в изучении края, тот, взглянув на посетителя,

предложил ему сначала вытереть пыль с музейных экспонатов. Удивленный Арсеньев молча снял китель и принялся за уборку. Уже потом они разговорились, и Пальчевский признался, что хотел проверить энтузиазм нового гостя. Будучи настоящим энциклопедистом, он взял Арсеньева под свою опеку. Вдвоем они часто совершали продолжительные прогулки, и Николай Александрович с удовольствием делился своими обширными познаниями [1, с. 13].

Путевые дневники

Уже во время проведения первой комплексной экспедиции 1906 г. (от ст. Шмаковка Уссурийской железной дороги по рекам Уссури, Улахе, Ли-Фудзин через хр. Сихотэ-Алинь к зал. Святой Ольги и оттуда на север по побережью моря до бухты Терней, затем вверх по р. Санхобе снова через главный водораздел на р. Иман и по этой последней до ее устья) В.К. Арсеньев вел подробные



Pinus koraiensis (кедр корейский). Владивосток, долина р. Лянчихе. 7 апреля 1929 г. Фото А. Проценко. Собрание В.К. Арсеньева. АОИАК. Ф. 14. Оп. 4. Д. 84

растения именно вдоль дороги, так как они, обсыхая, сами отпадают и произрастают вдоль дороги» (АОИАК. Ф. 14. Оп. 1. Д. 2. Л. 34–35 об.).

В дневнике 1907 г. (от бухты Рында на север по побережью моря до р. Нахтоху, а затем по р. Кусуну через водораздельный хребет Сихотэ-Алинь на р. Бикин) появляется раздел «Флора страны. Растительные сообщества. Лес. Кустарниковая и травяная растительность. Паразиты. Коллектирование» (АОИАК. Ф. 14. Оп. 1. Д. 7. Л. 20–30). В дневнике 1908 г. путешественник писал: «Ботаника. По реке Анюю растительное царство в полном смысле слова Маньчжурская флора. Лес лиственный, смешанный. Представители: ясень, ольха, дуб, осина, ильм, липа, клен, береза, бархат, волошский орех, ель, кедр, пихта. Подлесье заросло таволгой. На берегах проток в изобилии растет *Impatiens noli-tangere*. По берегам реки и протоков растет в изобилии смородина и кусты сирени, черемухи и особенно тальники, образующие местами совершенно непроницаемую чашу» (АОИАК. Ф. 14. Оп. 1. Д. 3. Л. 71). Затем Арсеньев дает подробную характеристику кедровников, лиственниц, отдельно останавливаясь на лесах в водоемах р. Горбили и других.

Второй дневник (юбилейная экспедиция в память присоединения Приамурского края к России. Маршруты: по берегу моря от зал. Де-Кастри до р. Самарга и по рекам Онюю, Хуту, Тумнину, Аай (Яай), Самарга, Хор, Мухень, Мыному, Копи, Амур и Хунгари) начинается с раздела Ботаника (АОИАК. Ф. 14. Оп. 1. Д. 11. Л. 1).

Ботанические публикации

Первой комплексной работой по изучению юга российского Дальнего Востока для В.К. Арсеньева стал «Военно-географический и военно-статистический очерк», который подвел итоги первых исследований. Владимир Клавдиевич писал: «Если мы проведем кривую линию от устья р. Тудура через низовья Хунгари, среднее течение Анюя, перережем р. Самарги пополам и остановимся у мыса Олимпиады, – то эта линия будет идеальной границей двух флор. К северу и к востоку от нее будут охотская флора, а к югу и к западу – маньчжурская. Та и другая характеризуется своими типичными представителями. Не будь водораздела в виде хребта Сихотэ-Алинь, эта граница была бы именно такою, какою показана она выше. Но так как Сихотэ-Алинь со всеми своими вершинами и седловинами в среднем имеет высоту до 1200 метров и занимает такое положение, что прикрывает бассейн Уссури от влияния моря, – то эта граница двух флор будет для каждого вида растения всякий раз своя особенная в зависимости от того, насколько приспособилось то или другое растение к температуре и влаге по ту и другую сторону водораздела» [5, с. 121].

Описывая население в районах проведения экспедиций, В.К. Арсеньев обязательно делал анализ природной среды. Так, в «Китайцах Уссурийского края» он писал: «Тайга Южно-Уссурийского края чрезвычайно разнообразна и имеет красивый декоративный вид. Наблюдателя поражает смесь южных форм с северными породами. Колючий *Dimorphanthus mandshuricus* Maxim. и *Kalopanax ricinifolius* Miq. растут рядом с белой березой. Около бархата (*Phellodendron amurense* Burp.) приютилась маленькая елочка. Тут же поблизости на камнях выросли *Aralia mandshurica* Rupr. et Maxim. и *Spiraea amurensis* Maxim. По склонам гор – дубняк (*Quercus mongolica* Fish. ex Ledeb.) и клен (*Acer mono* Maxim.), в долинах ясень,

тополь и орех (*Juglans mandshurica* Maxim.). В тени леса пышно разрослись: колючий *Eleutherococcus senticosus* Maxim. – родственник женьшеня и папоротники *Aspidium*, *Osmunda* и *Struthiopteris germanica* Wild., вай которых превышают рост человека; и все это заросло и перепуталось лианами (*Schisandra chinensis* Bail.) и виноградниками (*Vitis amurensis* Rupr.)» [6, с. 116].

В советское время В.К. Арсеньев подготовил несколько пояснительных и аналитических записок для руководства региона, и каждый раз он делал комплексное описание растительности (АОИАК. Ф. 14. Оп. 1. Д. 49. Л. 14–18). Летом 1926 г. он совершил экспедицию по обследованию Анюйского района, а на следующий год прошел маршрутом Советская Гавань – Хабаровск. И в этих отчетах также имелось подробное описание растительности.

Коллеги-ботаники

Многие российские ботаники и другие деятели науки выражали В.К. Арсеньеву признательность за бескорыстные консультации и бесценные материалы, присланные из Владивостока или Хабаровска. Владимир Клавдиевич отмечал, что он передавал ботанические коллекции через Н.А. Десулави в «Императорскую академию наук Литвинову и в Ботанический сад Палибину» [7, с. 261]. К сожалению, переписка с Дмитрием Ивановичем Литвиновым (1854–1929) не сохранилась, но в книжном собрании путешественника имеется его «Библиография флоры Сибири» (издание 1909 г. БОИАК. № 17603). Сотрудник Ботанического сада Иван Владимирович Палибин (1872–1949) совершил экспедиции в Монголию, Китай и Корею. Вероятно, тогда же близко познакомился с дальневосточными исследователями, которых постоянно консультировал. Среди них был и В.К. Арсеньев, который получил от ботаника «Общие указания относительно сбора ботанических коллекций» (издание 1911 г. БОИАК. № 17080).

Тесные связи Арсеньев поддерживал с Павлом Васильевичем Сюзевым (1867–1928), который во время службы собирал гербарные коллекции в Приморье и Маньчжурии (1905). Артиллерист Сюзев находился вместе с полевой батареей в районе Никольска-Уссурийского. В это же время штабс-капитан Арсеньев являлся начальником общей конноохотничьей команды Владивостокской крепости и проводил рекогносцировку в окрестностях Владивостока. Это позволяет предположить, что они тогда и познакомились. Позднее Сюзев подарил с теплыми автографами Арсеньеву две статьи «Из путешествия по Японии: (Заметки ботаника)» (издание 1906 г. БОИАК. № 17289) и «Наблюдения над весенней флорой Уссурийского края» (издание 1907. БОИАК. № 17289).

По пути в Японию во Владивосток в 1929 г. заехал Николай Иванович Вавилов (1887–1943), который посетил Южно-Уссурийское географическое общество в Никольск-Уссурийском. Очевидцы отметили: «Вавилов считал, что там сплошная халтура, но они могут „подметки на ходу срезать“, поэтому надо это учреждение реорганизовать или закрыть. На собрании студентов университета во Владивостоке Н.И. Вавилов сделал доклад по растениеводству и мобилизации сортовых богатств мира. Известный исследователь и писатель В.К. Арсеньев провел экскурсию по музею» [8, с. 580]. Тогда же Н.И. Вавилов подарил Арсеньеву свою книгу «Земледельческий Афганистан» с автографом «Многоуважаемому проф. В.К. Арсеньеву от Н. Вавилова» (БОИАК № 17629). Многие годы поддерживал



Вероятно, Гавриил Иванович Карев (1904–1974) – ученик В.К. Арсеньева, геоботаник. Горный дубняк. Шмаковка. Год и автор неизвестны. Собрание В.К. Арсеньева. АОИАК. Ф. 14. Оп. 4. Д. 843.

тесные связи с Владимиром Клавдиевичем Арсеньевым академик Владимир Леонтьевич Комаров (1869–1945), неоднократно приезжавший во Владивосток [9]. Среди активных членов Южно-Уссурийского отделения Русского географического общества была флорист-систематик и геоботаник Евгения Николаевна Алисова-Клобукова (1889–1962). Окончив Высшие женские Бестужевские курсы (1915), она занималась на кафедре адъюнкта Академии наук В.Л. Комарова. В Никольск-Уссурийский она приехала в конце 1917 г. Став деятелем Южно-Уссурийского отдела Русского географического общества, Алисова-Клобукова организовала в нем ботанический кабинет по изучению флоры Дальнего Востока, избирали ее и заместителем директора отдела А.З. Федорова. В 1919 г. она подготовила первую серьезную работу, продолжив затем описание дальневосточной флоры в других публикациях, наиболее важной из которых является «Определитель растений Дальневосточного края», подготовленный в соавторстве с Комаровым. В личном собрании В.К. Арсеньева имеется книга ботаника Алисовой-Клобуковой «Малый определитель растений Дальне-Восточного края», подготовленный с В.Л. Комаровым (издание 1925 г. БОИАК. № 17242). Известно, что после развода с первой женой Анной Константиновной Арсеньев предложил Евгении Николаевне выйти за него замуж, но она отказалась. В 1934 г. ботаник уехала с Дальнего Востока из-за болезни, в последние годы работала в Почвенно-ботаническом бюро в Уфе.

Во время Гражданской войны Владимир Федорович Овсянников (1876 – после 1935), выпускник Лесного института в Санкт-Петербурге, появился во

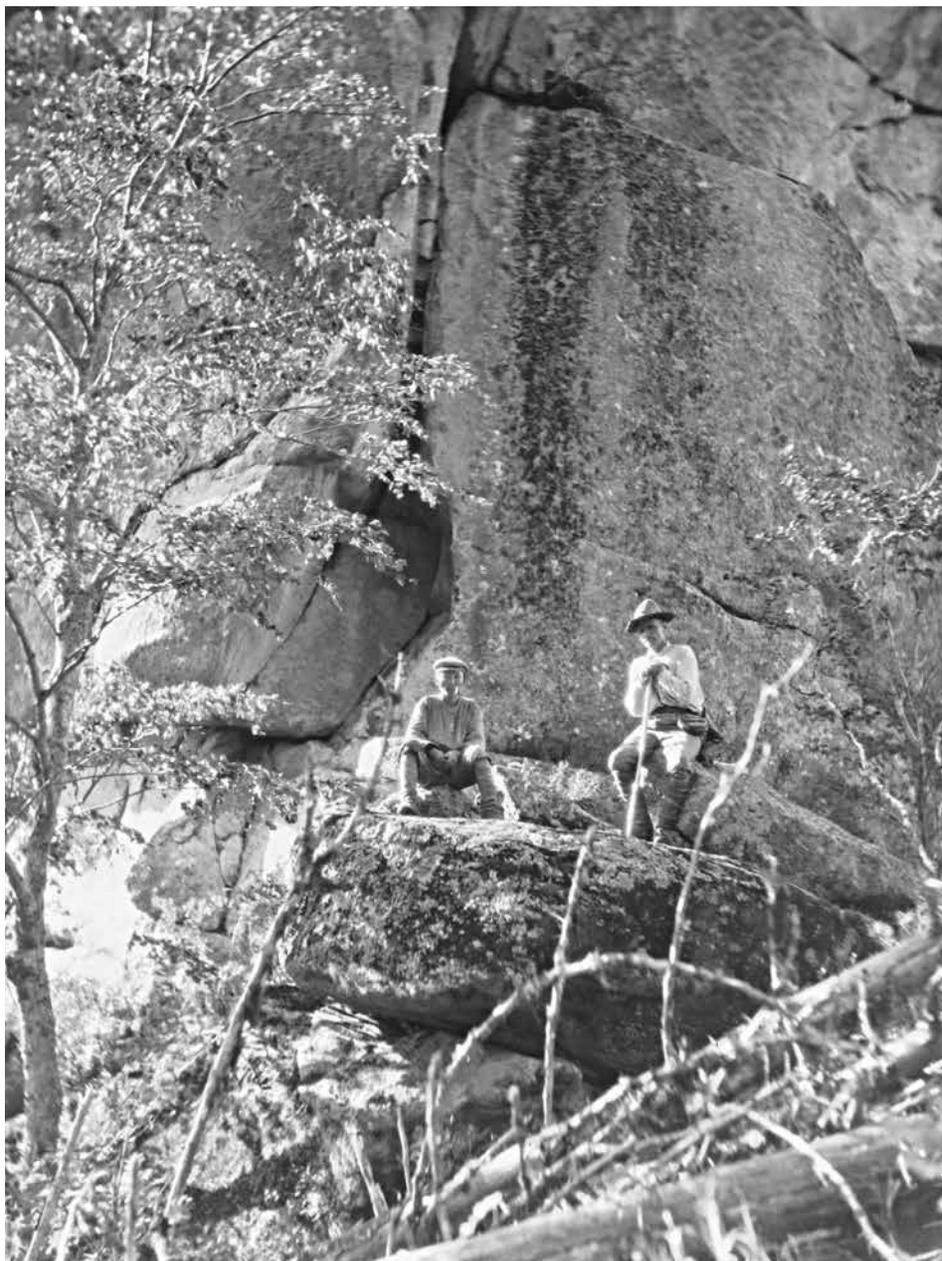
Владивостоке с беженцами. В 1919 г. он стал исполняющим обязанности профессора, затем проректором (с 1920) Владивостокского политехнического института, заведовал кафедрой ботаники. С основанием Государственного Дальневосточного университета (ГДУ) Овсянников подружился с В.К. Арсеньевым. В 1921 г. он подарил Арсеньеву очерк «Основы учения о жизни» (БОИАК. № 17675). Это работа произвела большое впечатление на Владимира Клавдиевича. Свидетельством этого являются его многочисленные пометы на полях этой брошюры. Позднее ботаник передал Арсеньеву с автографами «Искусственное разведение и акклиматизация древесных пород Дальнего Востока» (издание 1925 г. БОИАК. № 17323), «Очерк наблюдений японских лесных метеорологических станций» (издание 1926 г. БОИАК. № 17473), монографию «Леса Японии» (издание 1926 г. БОИАК. № 17496).

Одним из основателей дальневосточной школы лесоведения является Александр Александрович Строгий (1874–1943), окончивший Санкт-Петербургский лесной институт в 1898 г. На Дальний Восток он приехал в 1913 г., став лесным ревизором Приморской области. Тогда же познакомился с В.К. Арсеньевым. В личном собрании Арсеньева имеются подаренные лесоведом издания: «Маньчжурский орех, его природа, свойства и значение» (издание 1928 г. БОИАК. № 17264), «Несколько слов о *Lespedeza bicolor* Juro» (издание 1928 г. БОИАК. № 17246), «К вопросу о культуре Дальневосточных лещин» (издание 1928 г. БОИАК. № 17247) и «Лесоочистные работы в условиях Южно – Уссурийского края: По результатам опытных работ в Майхинском Учебно-опытном лесничестве Дальневост. гос. ун-т» (в соавторстве с П.Н. Вашкулат. Издание 1929 г. БОИАК. № 17412).

«Если во время путешествий я и достиг хороших результатов, то этим я в значительной степени обязан своим спутникам...» – писал В.К. Арсеньев, отмечая среди них и Нуму Августовича Десулави (1860–1933), принимавшего участие в экспедициях путешественника в 1907, 1908 и 1911 гг. Это имя часто встречается на страницах его популярной книги [10, с. 433, 435, 443, 448, 453, 459]. Н.А. Десулави не ужился с советской властью и в 1929 г. уехал в Южную Маньчжурию. Не последнюю роль сыграла возможность продолжить исследования в неведомом для натуралиста крае. В 1931–1933 гг. он собирал коллекции в Корее, где в основном жил на заимке Янковских.



Андрей Иванович Кардаков (1891–1938; зоолог и ботаник, фотограф, участник экспедиции В.К. Арсеньева в 1927 г.) держит ствол лианы *Actinidia arguta*. Приморский край, Кедровая Падь. 1924 г. Автор неизвестен. АОИАК. Ф. 14. Оп. 4. Д. 84



В.К. Арсеньев (справа) и проводник Сунцай Геонка. Экспедиция 1927 г. Автор неизвестен.
АОИАК. Ф. 14. Оп. 4. Д. 35.6.

Владимир Клавдиевич и его вторая жена Маргарита Николаевна дружили с ботаниками Владимиром Михайловичем (1885–1965) и Ириной Николаевной (1890–1938) Савич. Мужчины совершали совместные экспедиции, а жены работали в Дальневосточном филиале Академии наук. После Гражданской войны В.М. Савич заведовал кафедрой ботаники Читинского университета, осенью 1923 г. переехал во Владивосток, став профессором ГДУ, основал Ботанический сад. Если первые два года были посвящены организационным делам, то на третий

год существования Ботанического сада Савич решил вплотную заняться научной работой, составив детальный и перспективный план. Часть исследований была посвящена соевым бобам, которыми занималась его жена Ирина Николаевна. В 1927 г. В.М. Савич участвовал в экспедиции В.К. Арсеньева в Советскую Гавань. Позднее Владимира Михайловича приговорили к 10 годам лагерей, а его жену расстреляли.

В 1919 г. Иван Кузьмич Шишкин (1897–1934) переехал на Дальний Восток и с апреля работал лаборантом Ботанического кабинета Южно-Уссурийского отделения Русского Географического общества в Никольске-Уссурийском, занимаясь флорой Дальневосточного края. Тогда же познакомился с Арсеньевым. Став помощником В.М. Савича, с ноября 1931 г. Шишкин работал старшим ботаником Ботанического сада во Владивостоке. Его имя сохранилось в названии некоторых растений, а в личном собрании путешественника имеется отпечаток статьи «К флоре Приморья: Заметки из записной книжки Уссурийского флориста» (БОИАК. № 17664) с теплым автографом.

В.К. Арсеньев познакомился с Гарри Ивановичем Гайлом (Гайлисом) (1895–1950) в 1915–1916 гг., когда тот студентом приезжал на Дальний Восток, вероятно, в составе экспедиции. Владимир Клавдиевич дал ему отличную характеристику, которая позволила молодому ученому осенью 1927 г. вновь приехать во Владивосток. Он стал работать в Ботаническом саду под руководством директора сада В.М. Савича. Появление нового сотрудника позволило запланировать начало научной деятельности, тем более что Гайл хорошо знал работу Берлинского ботанического сада. Вероятно, это был большой энтузиаст науки.

На первый взгляд, научные интересы Александра Дмитриевича Воейкова (1879–1944) и В.К. Арсеньева были разными: один занимался садоводством, а другой – населением, но их объединяла любовь к российскому Дальнему Востоку. В 1919 г. Воейкова отправили через Владивосток на стажировку в США, но обстановка быстро изменилась, и поездка не состоялась. В 1920 г. садоводу предложили читать лекции в Государственном Дальневосточном педагогическом институте им. К.Д. Ушинского [11, с. 14], где он подружился с Арсеньевым. В 1921 г. в должности доцента по кафедре агрономии он вел занятия в ГДУ – по ботанике, агрономии, метеорологии и климатологии на втором и третьем курсах естественного отделения факультета математических и естественных наук. В 1922 г. он стал заведовать Опытным полем КВЖД на ст. Эхо в 360 км от Харбина и в 1922–1925 гг. опубликовал несколько работ. Брошюру «Льняные посевы в Северной Маньчжурии и их вероятные районы» (издание 1924 г. БОИАК. № 17409) отправил Арсеньеву с автографом. К сожалению, переписка В.К. Арсеньева и А.Д. Воейкова, которая помогла бы раскрыть детали их отношений, не сохранилась.

Близким сподвижником А.Д. Воейкова был ботаник Борис Васильевич Скворцов (1896–1980), который познакомился с В.К. Арсеньевым в Никольске-Уссурийском в апреле 1922 г., когда проходил Первый съезд по изучению Уссурийского края в естественно-историческом отношении. Почти сразу же он выслал Владимиру Клавдиевичу свои книги: «Кормовые растения Маньчжурии и Русского Дальнего Востока. Монгольская экспедиция по заготовке мяса для действующих армий: Материалы к отчету о деятельности с 1915 по 1918 гг.» (издание 1920 г. БОИАК. № 17241) и «Фауна и флора Маньчжурии и русского Дальнего Востока» (издание 1922 г. БОИАК. № 17408). Это был талантливый и разносторонний ученый, который большую часть своей жизни прожил в Маньчжурии и считался

знатоком ее флоры, описавшим некоторые новые виды растений [12]. Успешные ботанические исследования Б.В. Скворцов продолжил в Южной Америке.

Заклучение

В память об Арсеньеве названы род травянистых растений арсеньевия (*Arsenjevina* Starod.) из семейства лютиковые, включающий пять видов, и один вид – мятлик Арсеньева (*Poa arsenjevii* Prob.), найденный в 1984 г. в верховьях ключа Белый (бассейн р. Рудная) возле пос. Краснореченский Дальнегорского района Приморского края. Однако сейчас эти названия растений признаны синонимами: так, все представители рода арсеньевия относят к роду *Anemonoides*².

Мало кто из читателей произведений В.К. Арсеньева обращает внимание на обилие в них ботанической информации. Эти сведения очень ценны и сегодня, так как позволяют проследить экологические изменения в природе.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кабанов Н.Е. Владимир Клавдиевич Арсеньев. 1872–1930. М.: Изд-во Моск. о-ва испытателей природы, 1947. 95 с.
2. Арсеньев В.К. 1872–1930 гг.: библиогр. указ. / Примор. краев. б-ка им. А.М. Горького; сост. Н.С. Иванцова, Т.А. Самойленко и др. Владивосток: Валентин, 2018. 289 с.
3. Аристов Ф.Ф. Владимир Клавдиевич Арсеньев (Уссурийский) // Землеведение. М., 1930. Т. 32, вып. 3/4. С. 208–243.
4. Арсеньева А. Мой муж – Володя Арсеньев: Воспоминания // Рубеж: Тихоокеан. альманах, 2006. № 6. С. 281–333.
5. Арсеньев В.К. Военно-географический и военно-статистический очерк Уссурийского края 1901–1911 гг. Хабаровск: Изд. штаба Приамур. воен. округа, 1911. 324 с.; 2 л., табл.; прил. 38 карт.
6. Арсеньев В.К. Китайцы в Уссурийском крае: Очерк историческо-этнографический. Хабаровск: Тип. канц. Приамур. генерал-губернатора, 1914. 203 с.
7. Сведения об экспедициях капитана Арсеньева (В.К.): (Путешествия по Уссурийскому Краю 1900–1910 гг.) // Арсеньев В.К. Полн. собр. соч. Владивосток: Рубеж, 2020. Т. 3, кн. 1. С. 260–295.
8. Клеткина О.О., Синеговская В.Т. Николай Иванович Вавилов на Амурской областной сельскохозяйственной станции // Вавилов. журн. генетики и селекции. 2014. Т. 18, № 3. С. 578–584.
9. Богатов В.В., Урмина И.А. Академик Комаров и его время (к 150-летию со дня рождения академика В.Л. Комарова). Владивосток: Дальнаука, 2020. 464 с.
10. Арсеньев В.К. По Уссурийском краю. Владивосток: Рубеж, 2020. 910 с.
11. Ежегодник Дальневосточного педагогического института, 1921–1922 гг. Владивосток, 1922. 84 с.
12. Жернаков В.Н. Памяти Бориса Васильевича Скворцова: [Некролог] // Рус. жизнь. Сан-Франциско, 1980. 21 авг.

REFERENCES

1. Kabanov N.E. Vladimir Klavdievich Arsen'ev. 1872–1930. Moscow: Moscow Society of Naturalists, 1947. 95 p. (In Russ.).
2. N.S. Ivancova, T.A. Samojlenko et al. (eds). Arsen'ev V.K. 1872-1930 gg.: bibliogr. ukazatel'. Vladivostok: Valentin, 2018. 289 p. (In Russ.).

² <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:925223-1;>
<https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:77079588-1>

3. Aristov F.F. Vladimir Klavdievich Arsen'ev (Ussuriiskii). *Zemlevedenie*. 1930;32(3/4):208-243. (In Russ.).
4. Arsen'eva A. Moi muzh – Volodya Arsen'ev: Vospominaniya. *Rubezh: Tihookeanskij al'manah*. 2006;(6):281-333. (In Russ.).
5. Arsen'ev V.K. Voенно-geograficheskii i voенно-statisticheskii oчерk Ussurijskogo kraya 1901-1911 gg. Khabarovsk: Printing house of the headquarters of the Amur Military District, 1911. 324 p.; 2 l., tabl.; pril. 38 kart. (In Russ.).
6. Arsen'ev V.K. Kitajtsy v Ussuriiskom krae: Oчерk istorichesko-etnograficheskii. Khabarovsk: Printing House of the Office of the Amur Governor-General, 1914. 203 p. (In Russ.).
7. Svedeniya ob ekspeditsiyah kapitana Arsen'eva (V.K.) (Puteshestviya po Ussurijskomu krayu 1900-1910 gg.) In: *Arsen'ev V.K. Polnoe sobranie sochinenij*. Vladivostok: Rubezh, 2020. Vol. 3, b. 1. P. 260-295. (In Russ.).
8. Kletkina O.O., Sinegovskaya V.T. Nikolaj Ivanovich Vavilov na Amurskoj oblastnoj sel'skohozyajstvennoj stancii. *Vavilovskij zhurnal genetiki i selekcii*. 2014;18(3):578-584. (In Russ.).
9. Bogatov V.V., Urmina I.A. Akademik Komarov i ego vremya (k 150-letiyu so dnya rozhdeniya akademika V.L. Komarova). Vladivostok: Dal'nauka, 2020. 464 p. (In Russ.).
10. Arsen'ev V.K. Po Ussuriiskomu krayu. Vladivostok: Rubezh, 2020. 910 p. (In Russ.).
11. Ezhegodnik Dal'nevostochnogo pedagogicheskogo instituta, 1921-1922 gg. Vladivostok, 1922. 84 p. (In Russ.).
12. Zhernakov V.N. Pamyati Borisa Vasil'evicha Skvortsova: (Nekrolog). *Russkaya zhizn'*. San-Francisko, 1980. 21 Aug. (In Russ.).

Правила для авторов (с изменениями)

Журнал «Вестник ДВО РАН» входит в рекомендованный Высшей аттестационной комиссией перечень ведущих российских рецензируемых научных журналов и изданий, в которых могут быть опубликованы значимые результаты диссертаций по следующим направлениям: 02.00.00 – химические науки; 25.00.00 – науки о Земле, 03.02.00 – общая биология (конкретные специальности по отраслям науки см.: распоряжение Минобрнауки России от 22 декабря 2020 г. № 443-р).

Журнал индексируется в Российском индексе научного цитирования (РИНЦ), размещается в базах данных на платформе EBSCO Publishing Inc. (Massachusetts, USA).

Журнал печатает ранее не публиковавшиеся проблемные, обзорные, дискуссионные статьи и оригинальные научные исследования, а также рецензии, хронику научной жизни, персоналии и др. В числе приоритетных – материалы о Дальнем Востоке.

Рецензирование статей. Представленную автором рукопись редакция направляет по профилю научного исследования или по тематике рассматриваемых в рукописи вопросов на рецензию ученым и специалистам в данной области (доктору наук, кандидату наук). Срок рецензирования – до 1,5 месяца. В случае получения отрицательной рецензии или рецензии, содержащей рекомендацию по доработке статьи, она направляется авторам для принятия соответствующего решения. Имя рецензента не разглашается.

После устранения недостатков, указанных рецензентом, переработанная статья, направленная в редакцию, регистрируется как вновь полученная, исправления согласуются с рецензентом.

Если автор не согласен с мнением рецензента, рукопись направляется на повторную экспертизу другому специалисту. При получении второго отрицательного отзыва редакция прекращает работу над статьей.

Участники процесса подготовки рукописи к изданию обязаны сообщать редакции о наличии потенциальных причин для возникновения конфликта интересов. Авторы имеют право указать в сопроводительном письме имена 4–6 потенциальных рецензентов своей работы (из другого учреждения, региона, страны), а также имена тех специалистов, кому, по их мнению, не следует направлять рукопись на рецензию в связи с возможным, как правило профессиональным, конфликтом интересов. Данная информация является строго конфиденциальной и принимается во внимание редакцией при организации рецензирования.

Рецензии хранятся в редакции не менее 5 лет.

При поступлении в редакцию соответствующего запроса копии рецензий направляются в Министерство науки и образования Российской Федерации.

Оформление статей. Текст набирается в программе Word любой версии, объем должен составлять до 18 страниц, обзорных статей – до 30 (включая список литературы, таблицы и рисунки с подрисуночными подписями, резюме). Шрифт 12 Times New Roman, интервал 1,5. Все поля, кроме левого, шириной 2 см, левое – 3 см. Страницы должны быть пронумерованы.

Структура основного файла

1. **Индекс УДК** по таблицам Универсальной десятичной классификации, имеющимся в библиотеках, или с помощью интернет-ресурса <http://teacode.com/online/udc/>

2. **Заглавие.** Короткое, емкое, по возможности без общих слов, научных жаргонизмов и аббревиатур. В идеале все слова названия могут служить ключевыми при научном поиске.

3. **Инициалы и фамилия авторов.**

4. **Сведения об авторах:**

Имя, отчество, фамилия(и) автора(ов) полностью.

Ученая степень, звание.

Наименование и адрес (город, страна) организации (учреждения), где работает или учится автор (без обозначения организационно-правовой формы), электронный адрес автора (e-mail), открытый идентификатор ученого (Open Researcher and Contributor ID – ORCID).

Электронный адрес автора приводят без слова “e-mail”, после электронного адреса точку не ставят. ORCID приводят в форме электронного адреса в сети «Интернет». В конце ORCID точку не ставят. Одного из авторов указывают на первой полосе статьи в качестве автора, ответственного за переписку (помечают значком конверта).

Сведения об авторе (авторах) повторяют на английском языке после заглавия статьи на английском языке. Имя и фамилию автора (авторов) приводят в транслитерированной форме на латинице полностью, отчество сокращают до одной буквы (в отдельных случаях, обусловленных особенностями транслитерации, – до двух букв).

5. **Аннотация (резюме) – Abstract.** Аннотация пишется для представления статьи в реферативных журналах и базах данных; аннотацию читают до прочтения статьи и из нее делают вывод о необходимости обращения к статье. Если в аннотации будут изложены полностью, дословно и исчерпывающе цель, методы, результаты и выводы, интересная статья может остаться без читателя, поскольку пропадает необходимость ее прочтения. Вместе с тем, если в аннотации не будут отражены основные результаты и/или выводы, автор также рискует остаться без читателя, поскольку не будет понятна научная новизна и ценность статьи. Другими словами, основное назначение аннотации – анонсировать статью и заинтересовать потенциального читателя, простимулировать его к прочтению самой статьи.

6. **Ключевые слова – Keywords** (не более 10). После ключевых слов точку не ставят.

7. **Для цитирования – For citation** (библиографическая запись на статью для дальнейшего цитирования). Библиографическую запись на статью на английском языке для дальнейшего цитирования составляют согласно Vancouver Style.

8. **Благодарности – Acknowledgments** (слова благодарности организациям (учреждениям), научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в подготовке статьи).

9. **Финансирование – Funding** или **Financial Support** (сведения о финансировании исследования).

10. **Знак охраны авторского права** приводят внизу первой полосы статьи с указанием фамилий и инициалов авторов и года публикации статьи.

Структура статьи. Материал статьи должен быть изложен кратко, в научно-информационном стиле, данные таблиц и рисунков не должны повторяться в тексте. Статья должна быть четко структурирована. Структура оригинальных статей должна соответствовать формату IMRAD (Introduction, Methods, Results and Discussion): введение, отражающее состояние вопроса к моменту написания статьи; цели и задачи настоящего исследования; материал и методы; результаты; обсуждение; выводы по пунктам или заключение (по желанию авторов).

Иллюстративные материалы представляются в форматах: для фото, рисунков – .tif или .jpg (300 dpi для черно-белых и 600 dpi для цветных); графики, диаграммы, схемы и т.п. – excel, cdr. Если электронное графическое изображение создано в приложении Microsoft Office (Word, Power Point, Excel), то его следует представлять по принципу «как есть» в том же формате, чтобы обеспечить возможность внесения изменений. Цветные изображения представляются только по согласованию с редакцией.

Иллюстрации не должны превышать размеров полосы набора (135 x 225 мм). Иллюстрации могут размещаться по тексту, но обязательно прилагаются в виде отдельных файлов. Подрисовочные подписи даются отдельным списком, в конце статьи, они должны содержать исчерпывающий комментарий к изображению; не допускается воспроизведение небуквенных и нецифровых знаков (квадраты, кружки и т.д.). Если рисунок состоит из нескольких частей (например, а, б, в), у них должен быть общий заголовок и отдельные поясняющие подписи для каждой части. В тексте все иллюстрации (фотографии, схемы, диаграммы, графики и т.д.) именуется рисунками. На все рисунки в тексте должны быть даны ссылки. Рисунки должны располагаться непосредственно после текста, в котором они упоминаются впервые.

Список источников. В оригинальных статьях желательно цитировать не более 20–25 источников, в обзорных – до 50, при этом не менее 30 % из них должны быть новыми, т.е. опубликованными за 5 последних лет; самоцитирование (ссылки на работы авторов и соавторов статьи) не должно превышать 15 %. Ссылки на интернет-источники должны быть надежными. Как минимум следует давать полный URL-адрес и дату, когда ссылка была доступной. Ссылки должны быть проверяемыми.

Не следует без особой необходимости ссылаться на учебники, диссертации, а также авторефераты диссертаций. Если цитируемым источником являются документы (приказы, ГОСТы, патенты, медико-санитарные правила, методические указания, положения, постановления, санитарно-эпидемиологические правила, нормативы, федеральные законы), а также архивные материалы, их нужно указывать не в списках, а давать в виде подстрочных сносок в тексте.

Авторы несут ответственность за правильность данных, приведенных в Списке источников.

Библиографические записи в Списке источников составляют по ГОСТ Р 7.0.5, нумеруют и располагают в порядке цитирования источников в тексте. Приводятся полное наименование книги или статьи, место издания, издательство, год, количественная характеристика источников (для книги – общее количество страниц, для статьи или главы – страницы, на которых они помещены). При ссылке в тексте указывается порядковый номер источника в квадратных скобках.

Дополнительно приводится список источников на латинице (**References**) согласно Vancouver Style. Нумерация источников в References должна соответствовать нумерации в авторском оригинале на русском языке. Для обеспечения понимания библиографического списка иностранными читателями, а также для обеспечения учета цитирования источников в международных базах данных по возможности предоставляется информация о переводе основных элементов библиографической записи на английский язык. К каждой библиографической записи необходимо найти официальный (используемый автором цитируемого источника) перевод названия статьи и названия журнала. Его следует искать на сайте журнала, в базах данных, в том числе – в eLibrary. Если в официальных источниках название публикации на латинице не приведено – следует выполнить перевод на английский язык самостоятельно (парафраз). В этом случае парафраз необходимо заключить в квадратные скобки.

Библиографическая ссылка на русскоязычный источник в References состоит из следующих элементов:

- авторы (транслитерация); если нет автора, то транслитерируется ФИО редактора, которые берутся из сведений об ответственности, размещенных за одной косой чертой;
- заглавие статьи в транслитерации и (или) на английском языке;
- название русскоязычного источника (транслитерация или, если есть официальное название на английском языке, приводится последнее) – курсивом;
- выходные данные с обозначением на английском языке (название издательства транслитерируется);
- (In Russ.).

ПРИМЕР

В Списке источников:

1. Кузищин В.И. Древние Олимпийские игры как миротворческий фактор // Вопросы истории. 2000. № 8. С. 119–135.

В References:

2. Kuzishchin V.I. Drevnie Olimpiiskie igry kak mirotvorcheskii faktor = [Ancient Olympic games as a peacemaking factor]. *Voprosy istorii*. 2000;(8):119-135. (In Russ.).

Для перевода русского текста на латиницу используются правила British Standart Institution. Транслитерация производится с помощью автоматического транслитератора (Формат BSI), например, <http://transliteration.pro/bsi>. Важно использовать системы автоматического перевода кириллицы в романский алфавит, не делать транслитерацию вручную. Это позволит избежать ошибок транслитерации.

Форма подачи рукописи. Материалы статей представляются по электронной почте на адрес vestnikdvo@hq.febras.ru (телефон редакции (8-423)222-25-88), а сопроводительные документы с оригинальными подписями прикрепляются к письму в формате PDF или JPG.

Сопроводительные документы. Сопроводительное письмо, подписанное всеми авторами статьи с указанием **ФИО каждого автора и контактного телефона**, которое должно содержать следующий текст:

Настоящим письмом гарантируем, что опубликование статьи [ФИО авторов. «НАЗВАНИЕ СТАТЬИ»] в журнале «Вестник ДВО РАН» не нарушает ничьих авторских прав. Автор (авторы) передает на неограниченный срок учредителю журнала неисключительные права на использование данной научной статьи путем ее воспроизведения в любой материальной форме и распространения на любой территории.

Автор (авторы) несет ответственность за неправомерное использование в научной статье объектов интеллектуальной собственности, объектов авторского права в полном объеме в соответствии с действующим законодательством РФ.

Автор (авторы) подтверждает, что направляемая статья нигде ранее не была опубликована и не направлялась для опубликования в другие научные издания.

Автор (авторы) согласен на обработку в соответствии со ст. 6 Федерального закона «О персональных данных» от 27.07.2006 г. № 152-ФЗ своих персональных данных, а именно: фамилия, имя, отчество, ученая степень, ученое звание, должность, место(а) работы и/или обучения, контактная информация по месту работы и/или обучения, в целях опубликования представленной статьи в научном журнале.

Также удостоверяем, что автор (авторы) согласен с правилами подготовки рукописи к изданию, принятыми в редакции журнала, опубликованными и размещенными на официальном сайте журнала.

В необходимых случаях к письму прилагается Акт экспертизы о возможности опубликования материала в открытой печати.

Рукописи, не отвечающие установленным требованиям, не регистрируются. Заказные и ценные письма и бандероли редакция не получает.

Авторский экземпляр журнала можно получить в Центральной научной библиотеке ДВО РАН или в редакции.

Публикация статей бесплатная.

Схема первой полосы статьи

Научная статья

УДК -//-/-

DOI: -//-/-

Название статьи

В.П. Иванов✉, Н.Ю. Шилов, В.И. Блохина

Виктор Петрович Иванов

доктор химических наук, профессор
Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия
ivanov@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Николай Юрьевич Шилов

доктор химических наук, профессор
Институт химии ДВО РАН, Владивосток, Россия
shilov@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Вера Ивановна Блохина

доктор биологических наук, профессор
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
blochina@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Аннотация. Текст. Не более 300 слов.

Ключевые слова: ключевое слово 1, ключевое слово 2, ключевое слово 3...

Для цитирования: Иванов В.П., Шилов Н.Ю., Блохина В.И. Название статьи // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 0. С. 00–00. <http://dx.doi.org/.....>

Благодарности (если есть).

Финансирование.

Original article

Название статьи на англ. яз.

V.P. Ivanov, N.Yu. Shilov, V.I. Blochina

Victor P. Ivanov

Doctor of Science (Chemistry), Professor
Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, Russia
ivanov@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Nikolai Yu. Shilov
Doctor of Science (Chemistry), Professor
Institute of Chemistry, FEB RAS, Vladivostok, Russia
shilov@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Vera I. Blochina
Doctor of Science (Biology), Professor
Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
blochina@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0000-0000-0000>

Abstract. Text. Не более 300 слов.

Keywords: ключевые слова на англ. языке

For citation: Ivanov V.P., Shilov N.Yu., Blochina V.I. Название статьи на англ. яз. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(2):00–00. (In Russ.). <http://dx.doi.org/.....>

Acknowledgments. Благодарности на англ. яз.

Funding. Сведения о финансировании на англ. яз.

ТЕКСТ СТАТЬИ

© Иванов В.П., Шилов Н.Ю., Блохина В.И., 2022

Подписка на журнал «Вестник Дальневосточного отделения РАН» принимается с любого номера Агентством подписки и доставки периодических изданий Урал-Пресс (www.ural-press.ru).

Подписной индекс 70193 в Каталоге периодических изданий «Газеты и журналы» Урал-Пресс.

*Полнотекстовые варианты статей можно найти в Интернете:
<http://elibrary.ru/issues.asp?id=2774>*

Ответственный за номер Р.Б. Шакиров
Номер подготовили к печати В.С. Жердев,
С.А. Машкин, Л.А. Русова, В.Е. Старовойтова
Компьютерный набор Г.А. Вернцовой
Компьютерная верстка И.В. Миромановой
Корректор Л.И. Горбулина
Переводчик П.Э. Кирпичев

Издатели:

ФГБУ Дальневосточное отделение РАН
690091 Владивосток, ул. Светланская, 50.
Тел. +7(423)222-25-28

ФГБУНО Центральная научная библиотека ДВО РАН
690022 Владивосток, просп. 100-летия Владивостока, 159.
Тел. +7(423)231-78-38

Адрес редакции:
690091 Владивосток,
ул. Светланская, 50, к. 51.
Тел. (423)222-25-88
E-mail: vestnikdvo@hq.febras.ru
<http://www.vestnikdvo.ru>

ООО «Дальнаука», 690106, г. Владивосток,
пр-кт Красного Знамени, д. 10–20
Тел. +79242630160
E-mail: naukadv2000@mail.ru

Отпечатано в ООО «ПСП95»
г. Владивосток, ул. Русская, 65, корпус 10

Выход в свет 27.04.2022 г.
Формат 70 × 108/16
Печать офсетная
Усл. печ. л. 13,7
Уч.-изд. л. 12,11
Тираж 300 экз.
Заказ ИВ 220487
Цена свободная