

ВЕСТНИК

ISSN 0869–7698

ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО
ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ
АКАДЕМИИ
НАУК

5
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

5 (225). 2022

СОДЕРЖАНИЕ

Федеральному научному центру биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН (правопреемник Биолого-почвенного института ДВО РАН) – 60 лет

Н.Н. НИТЯГОВСКИЙ, А.П. ТЮНИН, Н.М. САНИНА. Биотехнологии для создания растений, устойчивых к вирусам	5
Г.Н. ВЕРЕМЕЙЧИК, О.А. ТИХОНОВА. Устойчивость к холодному стрессу растений <i>Nicotiana tabacum</i> , трансформированных геном <i>AtCPK1 Arabidopsis thaliana</i>	17
Ж.Л. ЦЫДЕНЕШИЕВА, А.И. ДЕГТЯРЕНКО, Ю.А. ЮГАЙ, Т.В. РУСАПЕТОВА, Ю.Н. ШКРЫЛЬ. Экзосомальные наночастицы растений: свойства и применение в биомедицине	25
Е.В. БУГДАЕВА, В.С. МАРКЕВИЧ, Е.Б. ВОЛЫНЕЦ. Появление и ранняя эволюция покрытосеменных Забайкалья и Приморья	45
Т.П. ОРЕХОВА. Характеристика деревьев и качества семян сосны корейской (<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc.) на Верхнеуссурийском лесном стационаре	60
Р.З. АЛЛАГУВАТОВА, А.Ю. НИКУЛИН, В.Б. БАГМЕТ, Ш.Р. АБДУЛЛИН. Биоразнообразие цианобактерий и водорослей пирокластических отложений и почв вулканов юга Камчатки	75

Науки о Земле и окружающей среде

А.И. ХАНЧУК, Г.И. АРХИПОВ, В.В. ИВАНОВ. Проблемы минерально-сырьевой базы вольфрамовой промышленности российского Дальнего Востока	88
--	----

Биологические науки

А.А. АРТЕМОВ. Антибиотическая активность метаболитов <i>Bacillus thuringiensis</i> в отношении бактерий и грибов	102
--	-----

Сельскохозяйственные науки

Л.В. САМУТЕНКО. Итоги долголетних наблюдений за агрофизическими параметрами аллювиальной луговой почвы острова Сахалин	111
--	-----

Из истории науки

В.В. БОГАТОВ. Ликвидация Дальневосточного филиала АН СССР в 1939 г.	123
--	-----

Юбилей

А.А. ХИСАМУТДИНОВ. Центральной научной библиотеке ДВО РАН – 90 лет	141
Журналу «Вестник ДВО РАН» – 90 лет. В.С. ЖЕРДЕВ	155

Главный редактор 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 |
| 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 |
| акад. 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 | – вице-президент РАН, председатель 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 |
| чл.-корр. РАН 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 |
| чл.-корр. РАН 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

5 (225). 2022

CONTENTS

60th anniversary of the Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS (successor of the Institute of Biology and Soil Science FEB RUS)

N.N. NITYAGOVSKY, A.P. TYUNIN, N.M. SANINA. Biotechnologies for the development of virus-resistant plants	5
G.N. VEREMEICHIK, O.A. TIKHONOVA. Cold stress tolerance of <i>Nicotiana tabacum</i> plants transformed with the <i>AtCPK1</i> gene of <i>Arabidopsis thaliana</i>	17
Zh.L. TSYNDENESHIEVA, A.I. DEGTYARENKO, Yu.A. YUGAY, T.V. RUSAPETOVA, Yu.N. SHKRYL. Exosomal plant nanoparticles: properties and applications in biomedicine	25
E.V. BUGDCAEVA, V.S. MARKEVICH, E.B. VOLYNETS. Appearance and early evolution of angiosperms of Transbaikalia and Primorye Region	45
T.P. OREKHOVA. The characteristics of the trees and seed's viability of Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i> Sieb. et Zucc.) at Verkhneussuriysky Forest Station	60
R.Z. ALLAGUVATOVA, A.Yu. NIKULIN, V.B. BAGMET, Sh.R. ABDULLIN. Cyanobacteria and algae biodiversity of grounds and soils from south Kamchatka volcanoes	75

Earth and environment sciences

A.I. KHANCHUK, G.I. ARKHIPOV, V.V. IVANOV. Problems of the mineral resource base that stand before the tungsten industry of the Russian Far East	88
--	----

Biological sciences

A.A. ARTEMOV. Antibiotic activity of <i>Bacillus thuringiensis</i> metabolites against intestinal bacteria and fungi	102
---	-----

Agricultural sciences

L.V. SAMUTENKO. Results of long-term observations of agrophysical parameters of alluvial meadow soil of the Sakhalin Island	111
---	-----

From the history of science

V.V. BOGATOV. Liquidation of the Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences in 1939	123
---	-----

Anniversaries

A.A. KHISAMUTDINOV. 90th anniversary of the Central Scientific Library of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences	141
90 th anniversaries to the scientific journal «Vestnik of the Far East Branch». <i>V.S. ZHERDEV</i>	155

Chief Editor V. I. SERGIENKO, Academician

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 |
| 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, Academician 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 | – Vice-President of RAS, Chairman of the 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, Corresponding Member of RAS | – 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, Corresponding Member of RAS | – 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 573.6/578

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_1

Биотехнологии для создания растений, устойчивых к вирусам

Н.Н. Нитяговский✉, А.П. Тюнин, Н.М. Санина

Николай Николаевич Нитяговский

аспирант

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия

nityagovskii@biosoil.ru

<http://orcid.org/0000-0001-5029-1975>

Алексей Петрович Тюнин

кандидат биологических наук

ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия

tyunin@biosoil.ru

<http://orcid.org/0000-0002-6467-8596>

Нина Михайловна Санина

доктор биологических наук, профессор

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

sanina.nm@dvfu.ru

<http://orcid.org/0000-0001-5838-691X>

Аннотация. Культурные растения во всем мире подвергаются вредному воздействию вирусных заболеваний, что ежегодно наносит существенный экономический ущерб сельскому хозяйству. РНК-интерференция является одним из естественных механизмов борьбы растений с вирусной инфекцией. В данном обзоре рассмотрены примеры применения биотехнологических методов для индукции механизма РНК-интерференции в растениях, которые могут быть применены для создания сельскохозяйственных растений, устойчивых к различным вирусным заболеваниям.

Ключевые слова: растения, РНК-интерференция, двуцепочечные РНК, искусственные микроРНК, устойчивость к вирусам, трансформация, внешняя обработка двуцепочечной РНК

Для цитирования: Нитяговский Н.Н., Тюнин А.П., Санина Н.М. Биотехнологии для создания растений, устойчивых к вирусам // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 5–16. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_1.

Biotechnologies for the development of virus-resistant plants

N.N. Nityagovsky✉, A.P. Tyunin, N.M. Sanina

Nikolai N. Nityagovsky

PhD student

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

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

nityagovskii@biosoil.ru

<http://orcid.org/0000-0001-5029-1975>

Aleksei P. Tyunin

Candidate of Sciences in Biology

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

tyunin@biosoil.ru

<http://orcid.org/0000-0002-6467-8596>

Nina M. Sanina

Doctor of Science in Biology, Professor

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

sanina.nm@dvfu.ru

<http://orcid.org/0000-0001-5838-691X>

Abstract. Cultivated plants all over the world are exposed to harmful effects from viral diseases, which annually causes significant economic damage to agriculture. RNA interference is one of the natural mechanisms of controlling viral infections by plants. In this review, examples of biotechnologies application for RNA interference induction that can be applied in the creation of agriculturally valuable plants that are resistant to various viral diseases are discussed.

Keywords: plants, RNA interference, double-stranded RNA, artificial microRNA, resistance to viruses, transformation, double-stranded RNA external treatment

For citation: Nityagovsky N.N., Tyunin A.P., Sanina N.M. Biotechnologies for the development of virus-resistant plants. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(5):5-16. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_1.

Введение

Вирусы наносят серьезный ущерб урожаю сельскохозяйственных растений во всем мире. Вызванные вирусными заболеваниями мировые экономические потери ежегодно оцениваются более чем в 30 млрд долл. США [1]. Согласно национальному докладу о карантинном фитосанитарном состоянии на территории Российской Федерации в 2020 г. в 19 субъектах установлена фитосанитарная зона суммарно на 10 726 га из-за вируса оспы сливы (PPV – Plum pox virus) (Patatavirales: Potyviridae, *Potyvirus*), являющегося пагубным вирусным заболеванием, которое поражает культурные растения персиков, абрикосов, слив и других представителей рода *Prunus*. Также в докладе высказываются опасения по поводу вирусов коричневой морщинистости плодов томата (ToBRFV – Tomato brown rugose

fruit virus) (Martellivirales: Virgaviridae, *Tobamovirus*), мозаики дынной груши (PerMV – Pepino mosaic virus) (Tymovirales: Alphaflexiviridae, *Potexvirus*) и пятнистого увядания томатов (TSWV – Tomato spotted wilt virus) (Bunyavirales: Tospoviridae, *Orthotospovirus*), которые активно распространяются по всему миру и представляют серьезную угрозу для сельского хозяйства России, поскольку вызывают большие потери урожая у таких культур, как томат, перец, салат, картофель, виноград, табак и др. Например, при заражении вирусом коричневой морщинистости плодов томата от 5 до 25 % площадей предприятий, занимающихся промышленным производством плодов томата в Российской Федерации, расчет потенциального экономического ущерба составляет от 1,77 до 9,40 млрд руб. [2].

Большую опасность вирусные заболевания сельскохозяйственных растений представляют для Дальнего Востока России. Наши коллеги из лаборатории вирусологии ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН провели эколого-вирусологический мониторинг фитовирусов на юге российского Дальнего Востока (на территории Амурской области, Приморского и Хабаровского краев, Еврейской автономной области). Были выявлены 16 фитовирусов, которые поражают овощные и бахчевые сельскохозяйственные культуры, среди которых наибольшую эпифитотическую опасность для агроценозов представляют вирус огуречной мозаики (CMV – Cucumber mosaic virus) (Martellivirales: Bromoviridae, *Cucumovirus*) и вирус томатной мозаики (ToMV – Tomato mosaic virus) (Martellivirales: Virgaviridae, *Tobamovirus*), снижающие массу и товарный вид плодов у пораженных растений [3]. Среди злаковых были найдены 10 фитовирусов, наиболее распространенным среди которых является вирус штриховатой мозаики ячменя (BSMV – Barley stripe mosaic virus) (Martellivirales: Virgaviridae, *Hordeivirus*), вызывающий задержку роста у инфицированных культур [4]. 18 вирусов были обнаружены на растениях семейства бобовые, в частности у сои, которая является основной культурой в структуре сельского хозяйства на Дальнем Востоке. Среди них вирус мозаики сои (SMV – Soybean mosaic virus) (Patavirales: Potyviridae, *Potyvirus*) считается наиболее вредоносным за способность в 2–3 раза снижать урожайность пораженных растений и ухудшать качество семян [5].

Механизм РНК-интерференции растений в контексте противовирусной защиты

После проникновения вируса в клетку в ней запускается ответная реакция со стороны растения, основным компонентом которой является механизм РНК-интерференции, упрощенная схема которого представлена на рис. 1. Главным индуктором запуска этого механизма является появление в цитоплазме клетки двуцепочечной РНК. Эти двуцепочечные РНК образуются в результате репликации вируса (для РНК-вирусов), двунаправленной транскрипции вирусного генома (для ДНК-вирусов), образования двуцепочечных дуплексов вирусной РНК и биосинтеза эндогенными РНК-зависимыми РНК-полимеразами. Далее двуцепочечная РНК нарезается Dicer-подобными белками (DCL) на короткие, длиной от 20 до 24 пар нуклеотидов, двуцепочечные фрагменты (дуплексы). Большинство растений имеют в своем геноме до четырех генов, кодирующих белки семейства DCL, но основными участниками в противовирусной защите считаются ферменты DCL2 и DCL4, инактивация которых в *Arabidopsis thaliana* была необходимой и достаточной для восстановления системной вирусной инфекции у дефектного вируса [6]. После гидролиза РНК-полимеров ферментами DCL смысловые и антисмысловые цепочки этих коротких дуплексов, называемые «малыми интерферирующими РНК (миРНК)», входят в состав сложного белкового комплекса, который называется «РНК-индуцированный комплекс замолкания» (RNA-inducing silencing complex, RISC). Ключевым компонентом этого комплекса являются белки-эндонуклеазы семейства ARGONAUT (AGO). Так, в геноме *A. thaliana* имеется 10 генов этого семейства, среди которых AGO1 и AGO2 являются наиболее важными в защите от вирусов [7]. Белки AGO используют нуклеотидные

последовательности миРНК в качестве молекул узнавания вирусных последовательностей, с помощью которых они связываются с ними по принципу комплементарности и разрезают их, что приводит к деградации вирусной рибонуклеиновой кислоты.

Помимо защиты от вирусов РНК-интерференция участвует в процессах регуляции роста и развития растения с помощью закодированных в геноме малых РНК длиной 21–22 нуклеотида, которые формируются из предшественников длиной ~80–250 нуклеотидов. Этот тип малых РНК получил название «микроРНК». В процессе «созревания» молекул микроРНК участвуют те же представители семейства ферментов, описанные ранее, основными из которых являются DCL1 и AGO1. Подробно роль микроРНК в регуляции процессов жизнедеятельности растений описана в обзоре [8]. Применение микроРНК в биотехнологии растений рассматривается в разделе «Формирование устойчивости к вирусам с помощью трансформации конструкцией искусственной микроРНК».

В процессе коэволюции с растениями фитовирусы получили широкий спектр белков-супрессоров, направленных против отдельных компонентов РНК-интерференции. Например, один из наиболее изученных белков-супрессоров – белок 2b из вируса огуречной мозаики ингибирует механизм РНК-интерференции, связываясь с двуцепочечной РНК и белками AGO1, AGO4 и AGO6 [9]. Другие примеры противодействия вирусов РНК-интерференции растений описаны в работе [10]. Таким образом, с помощью белков-супрессоров фитовирусные агенты подавляют защитные механизмы растений на молекулярном уровне, что упрощает дальнейшее распространение вирусных частиц в растительных тканях (рис. 1).

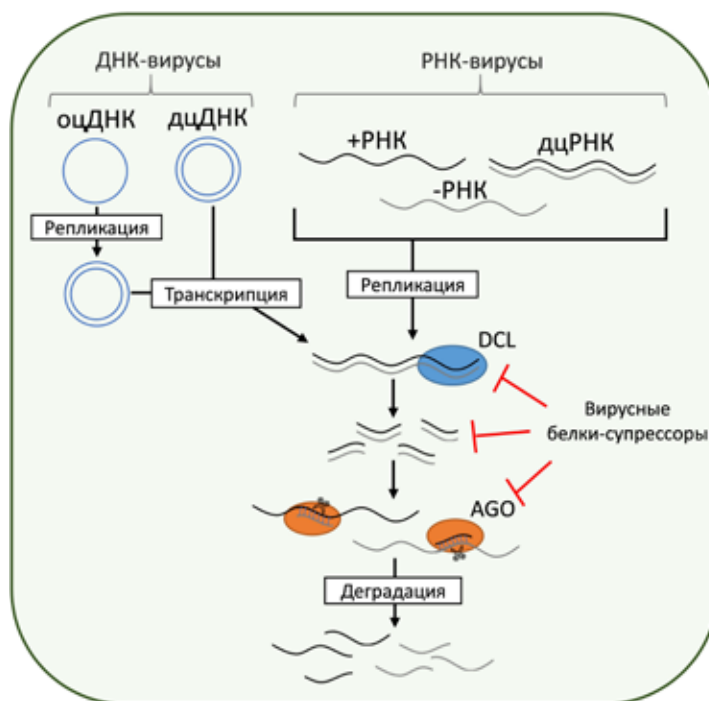


Рис. 1. Механизм РНК-интерференции в растениях (упрощенно). оцДНК – одноцепочечная ДНК; дцДНК – двуцепочечная ДНК; +РНК – смысловая цепь РНК; -РНК – антисмысловая цепь РНК; дцРНК – двуцепочечная РНК

Биотехнологические методы для индукции РНК-интерференции растений

Повысить уровень антивирусной защиты могут методы, направленные на активацию ключевых компонентов механизма РНК-интерференции растения и обращения

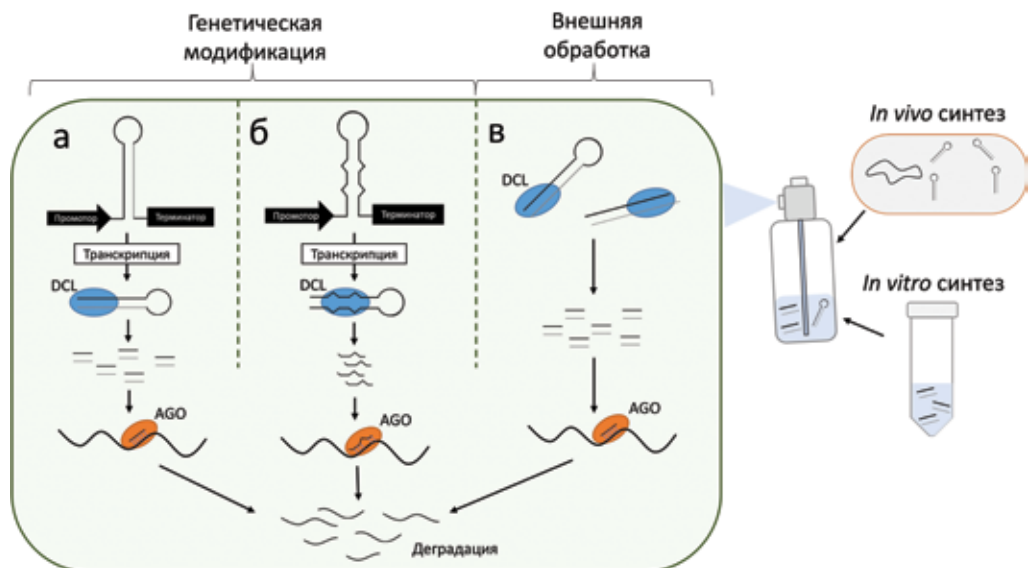


Рис. 2. Биотехнологии для индукции РНК-интерференции: *а* – трансформация растений двуцепочечной РНК; *б* – трансформация растений предшественником искусственной микроРНК; *в* – внешняя обработка растений раствором синтезированной двуцепочечной РНК *in vitro* или *in vivo*

их против нуклеотидных последовательностей инвазивных нуклеиновых кислот патогенов. Одним из наиболее распространенных подходов на этом пути является генетическая трансформация растений конструкциями, содержащими смысловые или антисмысловые нуклеотидные последовательности, которые копируют нуклеотидные последовательности вирусного генома. Транскрипты таких конструкций могут принимать форму двуцепочечной РНК, способной к формированию вторичной структуры типа «шпилька», где комплементарные последовательности соединены между собой интроном или другим «спейсером» (рис. 2, *а*), или форму предшественника микроРНК (рис. 2, *б*). Другим подходом является обработка растений *in vitro* или *in vivo* растворами искусственно синтезированной двуцепочечной РНК, которая содержит нуклеотидные последовательности патогена (рис. 2, *в*). Оба метода индуцируют процессы РНК-интерференции, что селективно увеличивает устойчивость растения к определенным штаммам, ингибируя развитие вирусной инфекции.

Данные подходы по усилению РНК-интерференции нашли успешное применение в создании устойчивых к вирусам ценных с точки зрения сельского хозяйства растений, таких как картофель, рис, пшеница, томат, соя и др.

Формирование устойчивости к вирусам с помощью трансформации конструкцией двуцепочечной РНК

Трансформация растений конструкциями двуцепочечной РНК, содержащими нуклеотидные последовательности патогенной природы, является эффективным способом придания устойчивости к вирусам у различных культурных растений. Как правило, для придания устойчивости к определенным штаммам вирусов в качестве мишеней выбираются нуклеотидные последовательности, кодирующие вирусные белки-супрессоры или белки, которые отвечают за проникновение в клетку, деление и/или распространение вируса. Затем с помощью ПЦР и методов молекулярной инженерии формируется вектор, кодирующий двуцепочечную РНК, которая состоит из вирусных нуклеотидных фрагментов, под контролем промотора. Затем производится генетическая трансформация растений

данной конструкции с последующим отбором трансгенных линий. В результате в полученных трансгенных растениях с высокой частотой транскрибируется двуцепочечная РНК, из которой формируются миРНК, а полученные миРНК используются механизмом РНК-интерференции в борьбе с вирусной инфекцией.

Например, агробактериальная трансформация культуры коммерческой сливы (*Prunus domestica* L. cv. Startovaya) конструкцией двуцепочечной РНК, содержащей нуклеотидные фрагменты гена белка оболочки из вируса оспы сливы, обеспечила устойчивость к данному штамму у трансгенных растений. К 5 независимым молодым трансгенным растениям были привиты почки, зараженные вирусом оспы сливы штамма Marcus. По данным ОТ-ПЦР, DAS-ELISA, вестерн-блота, ImmunoStrip-теста и визуальных наблюдений деревья трансгенной сливы оставались незараженными в течение 9 лет, в то время как зараженные ветви, развившиеся из привитых почек, проявляли явные симптомы болезни в течение многих лет и поддерживали высокий уровень накопления вируса [11]. В другом исследовании были получены трансгенные растения томата, транскрибирующие двуцепочечную РНК, которая состоит из консервативных последовательностей 3 изолятов вируса мозаики дынной груши. Из 14 полученных линий 2 линии, обладающие наибольшей аккумуляцией миРНК, при проверке показали устойчивость к 6 изолятам вируса [12]. Высокий уровень устойчивости к вирусу черной полосатой карликовости риса (RBSDV – Rice black-streaked dwarf virus) (Reovirales: Reoviridae, *Fijivirus*) у риса в полевых условиях был получен в результате трансформации двуцепочечной РНК, в качестве мишеней которой были использованы транскрипты генов *S7-2* и *S8*, кодирующие белки, которые участвуют во взаимодействии растения и вируса [13].

Пример успешного создания устойчивости к множественной вирусной инфекции показан в исследовании [14]. Вирусы X-вирус картофеля (PVX – Potato virus X) (Tymovirales: Alphaflexiviridae, *Potexvirus*), S-вирус картофеля (PVS – Potato virus S) (Tymovirales: Betaflexiviridae, *Carlavirus*) и Y-вирус картофеля (PVY – Potato virus Y) (Patatavirales: Potyviridae, *Potyvirus*) являются причиной серьезных потерь урожая картофеля. Фрагменты кодирующих последовательностей белка оболочки каждого из вирусов были объединены в единой конструкции двуцепочечной РНК. Полученной конструкцией под контролем конститутивного промотора были трансформированы экспланты картофеля, которые затем были регенерированы в молодые растения. Полученные 12 трансгенных линий растений показали высокую устойчивость к 3 штаммам вируса по отдельности и при множественной инфекции [14].

Таким образом, трансформация конструкцией двуцепочечной РНК может использоваться как для создания устойчивости у растений к одному вирусу, так и против множественной инфекции. Однако конструкции могут сильно варьировать по эффективности придания устойчивости вирусам. Так, китайские ученые из Национального центра улучшения сои разработали конструкцию в виде «шпильки» на основе фрагмента гена белка-супрессора HC-Pro из вируса мозаики сои штамма SC3, вызывающего тяжелые заболевания у растений сои. Были получены 1059 трансгенных растений поколения T₁, содержащих конструкцию, из которых 41,6 % обладали высокой устойчивостью, а 16,1 % были восприимчивы к вирусу. Остальные растения обладали умеренной или отсроченной устойчивостью [15]. В другом исследовании растения табака были трансформированы конструкцией двуцепочечной РНК, содержащей фрагменты генов белка оболочки из Y-вируса картофеля, вируса табачной мозаики (TMV – Tobacco mosaic virus) (Martellivirales: Virgaviridae, *Tobamovirus*) и вируса огуречной мозаики, которые широко распространены и вызывают серьезные заболевания у растений семейства Пасленовые. Из 1018 полученных трансгенных растений иммунитетом к 3 штаммам вируса обладали 18 % [16].

Одной из причин вариабельности уровня устойчивости среди трансгенных линий растений может быть различный уровень аккумуляции у них миРНК, направленных против нуклеотидных последовательностей экзогенных нуклеиновых кислот патогенов. В рамках исследования по созданию устойчивости к болезни бурой пятнистости у

Маниока съедобного (кассавы) *Manihot esculenta* международная группа ученых изучила влияние уровня аккумуляции миРНК в трансгенных растениях этого вида, которые содержат конструкцию двуцепочечной РНК, созданной на основе фрагментов генов белка оболочки из вируса коричневой полосатости маниоки (CBSD – Cassava brown streak virus) (Patatavirales: Potyviridae, *Ipomovirus*) и угандийского вируса коричневой полосатости маниоки (UCBSD – Ugandan cassava brown streak virus) (Patatavirales: Potyviridae, *Ipomovirus*), которые являются причиной этого заболевания. Нозерн-блот-анализ 169 независимых трансгенных линий выявил, что 57 линий (34 %) не показали обнаруживаемого накопления миРНК, 40 линий (24 %) показали относительно низкий уровень их содержания и 71 (42 %) линия трансгенных растений накапливала средний или высокий уровень миРНК по сравнению с контролем. Линии с низким уровнем накопления миРНК против вирусов были восприимчивы к обоим штаммам вирусов, тогда как среднее или высокое накопление миРНК у трансгенных линий кассавы придавало им высокий уровень устойчивости к фитопатогенам. Авторы исследования отмечают, что устойчивость кассавы к болезни бурой пятнистости в значительной мере растет с накоплением миРНК против вирусов, вызывающих эту болезнь [17].

Другой причиной различной устойчивости к вирусу может быть использование при создании конструкции в качестве мишени некритичной для жизнедеятельности вируса нуклеотидной последовательности. Так, исследователи из Японии трансформировали растения риса конструкциями двуцепочечной РНК против тениювируса полосатости риса (RSTV – Rice stripe tenuivirus) (Bunyavirales: Phenuiviridae, *Tenuivirus*), являющегося причиной серых некротических поражений у растения. В своей работе они применили несколько конструкций, направленных против различных участков генома этого вируса. В результате трансгенные растения, которые несут специфичную конструкцию против гена белка капсида (*pC3*) или гена белка передвижения (*pC4*) были устойчивыми к вирусной инфекции, в то время как трансгенные растения, которые содержат конструкции против генов *pC2* или *p4*, кодирующие гликопротеин неизвестной функции и крупный неструктурный белок неизвестной функции, соответственно, не показали устойчивости к вирусу [18].

Еще одним потенциальным недостатком подхода по индукции РНК-интерференции с помощью двуцепочечной РНК является феномен деградации нецелевых транскриптов. В результате транскрипции отдельных конструкций двуцепочечной РНК образуется множество малых интерферирующих РНК, которые помимо основной мишени потенциально могут поражать некоторые транскрипты генов самого растения, даже несмотря на неполную комплементарность. Например, растения томата (*Solanum lycopersicum* cv. Campbell-28), которые были трансформированы конструкцией двуцепочечной РНК против гена *Cl* из вируса скручивания желтых листьев томата (TYLCV – Tomato yellow leaf curl virus) (Geplafuvirales: Geminiviridae, *Begomovirus*), показали устойчивость к вирусу, но имели незначительные фенотипические отклонения и аномалии в развитии. При сравнении транскриптомов трансгенных растений и растений дикого (нетрансформированного) типа было выявлено 70 дифференциально транскрибируемых генов, большинство из которых участвуют в процессах биологической регуляции, ответа на стимулы, а также в метаболических и клеточных процессах. Авторы связывают аномалии у трансгенных растений с феноменом деградации нецелевых транскриптов вследствие ненаправленного действия образующихся миРНК, однако это требует дополнительных исследований [19].

Формирование устойчивости к вирусам с помощью трансформации конструкцией искусственной микроРНК

Другим эффективным способом придания устойчивости к вирусам является трансформация растений конструкциями, содержащими предшественник искусственной

микроРНК, процесс создания которых подробно описан в работе [20]. В отличие от конструкций, продуцирующих миРНК, конструкции микроРНК продуцируют одну малую РНК длиной 21 нуклеотид с четко определенной нуклеотидной последовательностью, что обеспечивает сверхспецифичную деградацию целевого транскрипта в консервативном регионе. Конструкции микроРНК при правильном выборе мишени могут придавать устойчивость к вирусу, а также они менее подвержены эффекту неспецифической деградации, что потенциально делает данную конструкцию более биологически безопасной. Как и в случае трансформации конструкцией двуцепочечной РНК, конструкции на основе микроРНК можно использовать для создания устойчивости к одному или нескольким вирусам.

Например, растения томата, трансформированные искусственной микроРНК против гена *AC1* из вируса скручивания листьев томата Нью-Дели (ToLCNDV – Tomato leaf curl New Delhi virus) (Geplafuvirales: Geminiviridae, *Begomovirus*), демонстрировали высокий уровень устойчивости к этому вирусу [21]. В другом исследовании ученые из Китая применили данную технологию для придания устойчивости к Y-вирусу картофеля и X-вирусу картофеля у *Nicotiana tabacum*. В качестве мишеней были выбраны нуклеотидные последовательности белков-супрессоров этих вирусов, а именно *HC-Pro* у Y-вируса картофеля и *p25* у X-вируса картофеля. Трансгенные растения, транскрибирующие предшественник искусственной микроРНК против гена *HC-Pro* или *p25*, были устойчивы к заражению PVY или PVX, соответственно, тогда как растения, которые были трансформированы димерной конструкцией, показали устойчивость к обоим вирусам. Однако восприимчивость к вирусам наблюдалась у трансгенных растений при заражении штаммами вирусов, в которых содержались мутации в местах гибридизации искусственной микроРНК и вирусной РНК [22].

Помимо мутаций некоторые вторичные структуры нуклеотидных последовательностей вирусов делают их недоступными для белков РНК-интерференции. В работе Duan и коллег растения *A. thaliana* были трансформированы конструкциями микроРНК, направленными на высококонсервативную 3'-нетранслируемую область из вируса огуречной мозаики. Известно, что в этой области находится тРНК-подобная структура. В этой работе авторы показали, что конструкции микроРНК, не нацеленные на эту структуру, обеспечивали устойчивость к вирусу у *A. thaliana* [23].

Избежать вышеуказанных недостатков можно путем применения многокомпонентных конструкций, в которых используются несколько мишеней, относящихся к консервативным доменам вируса. Ученые из Австралии трансформировали пшеницу конструкцией, содержащей 5 предшественников искусственных микроРНК, мишенями которых являлись консервативные домены вируса полосатой мозаики пшеницы (WSMV – Wheat streak mosaic virus) (Patatavirales: Potyviridae, *Tritimovirus*), вызывающего тяжелые поражения у растений пшеницы. В результате данного подхода были получены трансгенные линии пшеницы, обладающие высоким уровнем устойчивости к вирусу [24].

Формирование устойчивости к вирусам с помощью обработки растений двуцепочечной РНК

Преимущество создания трансгенных растений заключается в том, что их устойчивость сохраняется на протяжении жизни и может наследоваться. Однако получение трансгенных растений является долгим процессом. Внешняя обработка синтезированной *in vitro* или *in vivo* двуцепочечной РНК может стать альтернативным способом предотвращения развития вирусных заболеваний у растений.

Например, обработка синтезированной *in vitro* двуцепочечной РНК против вируса пятнистого увядания томатов может быть эффективным подходом для придания растениям табака устойчивости к этому вирусу [25]. Авторы данной работы обрабатывали растения *Nicotiana benthamiana* и томата двумя конструкциями двуцепочечной РНК, синтезированной на основе гена нуклеокапсида (*N*) или гена белка передвижения (*NSm*).

Большинство растений, обработанных двуцепочечной РНК против гена *N*, не проявляли симптомов вирусного заболевания в течение всего эксперимента (40 дней после инфекции у *N. benthamiana*, 63 дня у томата). Однако обработка конструкцией против гена *NSm* не приводила к устойчивости, хотя растения показывали более слабые симптомы по сравнению с необработанными растениями. Таким образом, как и в случае трансформации конструкцией двуцепочечной РНК или микроРНК, при внешней обработке двуцепочечной РНК выбор «мишени» у вируса является решающим для создания устойчивости к вирусам.

Одним из недостатков внешней обработки двуцепочечной РНК является короткий срок длительности эффекта устойчивости к вирусам, в результате чего повторное вирусное заражение может «пробить» защиту растения. Так, обработка двуцепочечной РНК против гена репликазы из вируса мягкой пятнистости перца (РММoV – Pepper mild mottle virus) (Martellivirales: Virgaviridae, *Tobamovirus*) обеспечивает устойчивость к вирусу у гороха. Однако повторная инфекция вирусом через 20 дней после обработки приводит к появлению симптомов [26]. Данный недостаток обусловлен деградацией двуцепочечной РНК и может быть компенсирован применением различных модификаций в обработке. Например, загрузка двуцепочечной РНК в наночастицы на основе слоистого двойного гидроксида (BioClay) значительно повышает эффективность обработки, приводя к отсутствию симптомов у гороха при повторной инфекции вирусом мягкой пятнистости перца через 20 дней после обработки. Нозерн-блот-анализ показывает, что BioClay защищает двуцепочечную РНК от деградации РНКазой [26].

Ключевым недостатком обработки *in vitro* синтезированной двуцепочечной РНК является ее дороговизна. Цена синтеза 1 мг двуцепочечной РНК при помощи коммерчески доступных наборов реактивов для лабораторных исследований достигает 50 тыс. руб., что экономически нецелесообразно для придания устойчивости к вирусам в полях. Альтернативой *in vitro* синтеза является биосинтез двуцепочечной РНК *in vivo*. Например, двуцепочечная РНК может нарабатываться в больших количествах в бактериях *Escherichia coli* штамма HT115, в котором подавлена транскрипция гена РНКазы. Обработка растений табака *N. benthamiana* экстрактами из *E. coli* HT115, транскрибирующей «шпилечную» конструкцию двуцепочечной РНК против вируса мягкой пятнистости перца или вируса оспы сливы, обеспечивает устойчивость табака к соответствующим вирусам [27].

Заключение

Вирусы являются причиной существенных потерь урожая сельскохозяйственных культур растений во всем мире. Биотехнологии, направленные на повышение устойчивости растений посредством индукции РНК-интерференции, показали себя перспективными инструментами для борьбы с различными вирусами растений и требуют дальнейшего изучения. В настоящее время на базе лабораторий биотехнологии и вирусологии в ФНИЦ Биоразнообразия ДВО РАН зарождается направление по исследованию механизма РНК-интерференции и применению подходов по ее индукции для создания ценных культурных растений, устойчивых к вирусным заболеваниям, которые представляют угрозу для Дальнего Востока России. Создание культур, устойчивых к вирусным инфекциям, является одной из задач для перехода к высокопродуктивному и экологически чистому агрохозяйству.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Jones R.A.C. Global plant virus disease pandemics and epidemics: 2. // Plants. 2021. Vol. 10, № 2. P. 233.
2. Федеральная служба по ветеринарному и фитосанитарному надзору. Национальный доклад о карантинном фитосанитарном состоянии территории Российской Федерации в 2020 году. Министерство сельского

хозяйства Российской Федерации. – <https://fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/usefulinf/files/nd2021.pdf> (дата обращения: 11.04.2022).

3. Толкач В.Ф., Какарека Н.Н., Волков Ю.Г., Козловская З.Н., Сапоцкий М.В., Плешакова Т.И., Дьяконов К.П., Щелканов М.Ю. Вирусные болезни овощных и бахчевых сельскохозяйственных культур на юге Дальнего Востока // Юг России: экология, развитие. 2019. Т. 14, № 4. С. 121–133.
4. Какарека Н.Н., Волков Ю.Г., Сапоцкий М.В., Толкач В.Ф., Щелканов М.Ю. Вирусы злаковых культур и их переносчики на юге российского Дальнего Востока // Сельскохозяйственная биология. 2020. Т. 55, № 3. С. 439–450.
5. Какарека Н.Н., Волков Ю.Г., Толкач В.Ф., Табакаева Т.В., Белов Ю.А., Муратов А.А., Щелканов М.Ю. Вирусные болезни бобовых культур на юге российского Дальнего Востока // Юг России: экология, развитие. 2021. Т. 16, № 4. С. 71–85.
6. Deleris A., Gallego-Bartolome J., Bao J., Kasschau K.D., Carrington J.C., Voinnet O. Hierarchical action and inhibition of plant Dicer-Like Proteins in antiviral defense // Science. 2006. Vol. 313, N 5783. P. 68–71.
7. Carbonell A., Carrington J.C. Antiviral roles of plant ARGONAUTES // Current Opinion in Plant Biology. 2015. Vol. 27. P. 111–117.
8. Zhang B., Pan X., Cobb G.P., Anderson T.A. Plant microRNA: A small regulatory molecule with big impact // Developmental Biology. 2006. Vol. 289, N 1. P. 3–16.
9. Duan C.G., Fang Y.Y., Zhou B.J., Zhao J.H., Hou W.N., Zhu H., Ding S.W., Guo H.S. Suppression of *Arabidopsis* ARGONAUTE1-mediated slicing, transgene-induced RNA silencing, and DNA methylation by distinct domains of the *Cucumber mosaic virus* 2b protein // The Plant Cell. 2012. Vol. 24, N 1. P. 259–274.
10. Li F., Wang A. RNA-targeted antiviral immunity: more than just RNA silencing // Trends in Microbiology. 2019. Vol. 27, № 9. P. 792–805.
11. Sidorova T., Mikhailov R., Pushin A., Miroshnichenko D., Dolgov S. Agrobacterium-mediated transformation of Russian commercial plum cv. “Startovaya” (*Prunus domestica* L.) with virus-derived hairpin RNA construct confers durable resistance to PPV infection in mature plants // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10. P. 286.
12. Leibman D., Ortega-Parra N., Wolf D., Shterkman M., Hanssen I., Gal-On A. A transgenic RNAi approach for developing tomato plants immune to *Pepino mosaic virus* // Plant Pathology. 2021. Vol. 70, N 4. P. 1003–1012.
13. Ahmed M.M.S., Bian S., Wang M., Zhao J., Zhang B., Liu Q., Zhang C., Tang S., Gu M., Yu H. RNAi-mediated resistance to *Rice black-streaked dwarf virus* in transgenic rice // Transgenic Research. 2017. Vol. 26, N 2. P. 197–207.
14. Hameed A., Tahir M.N., Asad S., Bilal R., Eck J.V., Jander G., Mansoor S. RNAi-mediated simultaneous resistance against three RNA viruses in potato // Molecular Biotechnology. 2017. Vol. 59, N 2–3. P. 73–83.
15. Gao L., Ding X., Li K., Liao W., Zhong Y., Ren R., Liu Z., Adhimooolam K., Zhi H. Characterization of *Soybean mosaic virus* resistance derived from inverted repeat-SMV-HC-Pro genes in multiple soybean cultivars // Theoretical and Applied Genetics. 2015. Vol. 128, N 8. P. 1489–1505.
16. Zhu C.X., Song Y.Z., Yin G.H., Wen F.J. Induction of RNA-mediated multiple virus resistance to *Potato virus Y*, *Tobacco mosaic virus* and *Cucumber mosaic virus* // Journ. of Phytopathology. 2009. Vol. 157, N 2. P. 101–107.
17. Beyene G., Chauhan R.D., Ilyas M., Wagaba H., Fauquet C.M., Miano D., Alicai T., Taylor N.J. A Virus-derived stacked RNA construct confers robust resistance to cassava brown streak disease // Frontiers in Plant Science. 2017. Vol. 7. P. 2052.
18. Shimizu T., Nakazono-Nagaoka E., Uehara-Ichiki T., Sasaya T., Omura T. Targeting specific genes for RNA interference is crucial to the development of strong resistance to *Rice stripe virus* // Plant Biotechnology Journal. 2011. Vol. 9, N 4. P. 503–512.
19. Fuentes A., Carlos N., Ruiz Y., Callard D., Sanchez Y., Ochagavia M.E., Seguin J., Malpica-Lopez N., Hohn T., Lecca M.R., Pérez R., Doreste V., Rehrauer H., Farinelli L., Pujol M., Pooggin M.M. Field trial and molecular characterization of RNAi-transgenic tomato plants that exhibit resistance to *Tomato yellow leaf curl geminivirus* // Molecular Plant-Microbe Interactions. 2016. Vol. 29, N 3. P. 197–209.
20. Ossowski S., Schwab R., Weigel D. Gene silencing in plants using artificial microRNAs and other small RNAs // The Plant Journal. 2008. Vol. 53, N 4. P. 674–690.
21. Sharma N., Prasad M. Silencing *AC1* of *Tomato leaf curl virus* using artificial microRNA confers resistance to leaf curl disease in transgenic tomato // Plant Cell Reports. 2020. Vol. 39, N 11. P. 1565–1579.
22. Ai T., Zhang L., Gao Z., Zhu C.X., Guo X. Highly efficient virus resistance mediated by artificial microRNAs that target the suppressor of PVX and PVY in plants // Plant Biology. 2011. Vol. 13, N 2. P. 304–316.
23. Duan C.G., Wang C.H., Fang R.X., Guo H.S. Artificial microRNAs highly accessible to targets confer efficient virus resistance in plants // Journ. of Virology. 2008. Vol. 82, N 22. P. 11084–11095.
24. Fahim M., Millar A.A., Wood C.C., Larkin P.J. Resistance to *Wheat streak mosaic virus* generated by expression of an artificial polycistronic microRNA in wheat // Plant Biotechnology Journal. 2012. Vol. 10, N 2. P. 150–163.
25. Tabein S., Jansen M., Noris E., Vaira A.M., Marian D., Behjatnia S.A.A., Accotto G.P., Miozzi L. The induction of an effective dsRNA-mediated resistance against *Tomato spotted wilt virus* by exogenous application of double-stranded RNA largely depends on the selection of the viral RNA target region // Frontiers in Plant Science. 2020. Vol. 11. P. 533338.
26. Mitter N., Worrall E.A., Robinson K.E., Li P., Jain R.G., Taochy C., Fletcher S.J., Carroll B.J., Lu G.Q., Xu Z.P. Clay nanosheets for topical delivery of RNAi for sustained protection against plant viruses // Nature Plants. 2017. Vol. 3, N 2. P. 16207.

27. Tenllado F., Martinez-Garcia B., Vargas M., Diaz-Ruiz J. Crude extracts of bacterially expressed dsRNA can be used to protect plants against virus infections // BMC Biotechnology. 2003. Vol. 3. P. 3.

REFERENCES

1. Jones R.A.C. Global plant virus disease pandemics and epidemics. *Plants*. 2021;10(2):233.
2. Federal Service for Veterinary and Phytosanitary Surveillance. Natsional'nyi doklad o karantinnom fitosanitar-nom sostoyanii territorii Rossiiskoi Federatsii v 2020 godu = [National report on the quarantine phytosanitary status of the territory of the Russian Federation in 2020]. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. (In Russ.). Available from: <https://fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/usefulinf/files/nd2021.pdf>.
3. Tolkach V.F., Kakareka N.N., Volkov Y.G., Kozlovskaya Z.N., Sapotskiy M.V., Pleshakova T.I., D'yakov K.P., Shchelkanov M.Y. Virus diseases of vegetable and melon crops in the south of the Russian Far East. *South of Russia: ecology, development*. 2019;14(4):121-133. (In Russ.).
4. Kakareka N.N., Volkov Y.G., Sapotskiy M.V., Tolkach V.F., Shchelkanov M.Y. Viruses of cereal crops and their vectors in the south of the Russian Far East (review). *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya = [Agricultural Biology]*. 2020;55(3):439-450. (In Russ.).
5. Kakareka N.N., Volkov Y.G., Tolkach V.F., Tabakaeva T.V., Belov Y.A., Muratov A.A., Shchelkanov M.Y. Viral diseases of legumes in the south of the Russian Far East. *South of Russia: ecology, development*. 2021;16(4):71-85. (In Russ.).
6. Deleris A., Gallego-Bartolome J., Bao J., Kasschau K.D., Carrington J.C., Voinnet O. Hierarchical action and inhibition of plant Dicer-Like Proteins in antiviral defense. *Science*. 2006;313(5783):68-71.
7. Carbonell A., Carrington J.C. Antiviral roles of plant ARGONAUTES. *Current Opinion in Plant Biology*. 2015;27:111-117.
8. Zhang B., Pan X., Cobb G.P., Anderson T.A. Plant microRNA: A small regulatory molecule with big impact. *Developmental Biology*. 2006;289(1):3-16.
9. Duan C.G., Fang Y.Y., Zhou B.J., Zhao J.H., Hou W.N., Zhu H., Ding S.W., Guo H.S. Suppression of *Arabidopsis* ARGONAUTE1-mediated slicing, transgene-induced RNA silencing, and DNA methylation by distinct domains of the *Cucumber mosaic virus 2b* protein. *The Plant Cell*. 2012;24(1):259-274.
10. Li F., Wang A. RNA-targeted antiviral immunity: more than just RNA silencing. *Trends in Microbiology*. 2019;27(9):792-805.
11. Sidorova T., Mikhailov R., Pushin A., Miroshnichenko D., Dolgov S. Agrobacterium-mediated transformation of Russian commercial plum cv. "Startovaya" (*Prunus domestica* L.) with virus-derived hairpin RNA construct confers durable resistance to PPV infection in mature plants. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:286.
12. Leibman D., Ortega-Parra N., Wolf D., Shterkman M., Hanssen I., Gal-On A. A transgenic RNAi approach for developing tomato plants immune to *Pepino mosaic virus*. *Plant Pathology*. 2021;70(4):1003-1012.
13. Ahmed M.M.S., Bian S., Wang M., Zhao J., Zhang B., Liu Q., Zhang C., Tang S., Gu M., Yu H. RNAi-mediated resistance to *Rice black-streaked dwarf virus* in transgenic rice. *Transgenic Research*. 2017;26(2):197-207.
14. Hameed A., Tahir M.N., Asad S., Bilal R., Eck J.V., Jander G., Mansoor S. RNAi-mediated simultaneous resistance against three RNA viruses in potato. *Molecular Biotechnology*. 2017;59(2-3):73-83.
15. Gao L., Ding X., Li K., Liao W., Zhong Y., Ren R., Liu Z., Adhimoalam K., Zhi H. Characterization of *Soybean mosaic virus* resistance derived from inverted repeat-SMV-HC-Pro genes in multiple soybean cultivars. *Theoretical and Applied Genetics*. 2015;128(8):1489-1505.
16. Zhu C.X., Song Y.Z., Yin G.H., Wen F.J. Induction of RNA-mediated multiple virus resistance to *Potato virus Y*, *Tobacco mosaic virus* and *Cucumber mosaic virus*. *Journal of Phytopathology*. 2009;157(2):101-107.
17. Beyene G., Chauhan R.D., Ilyas M., Wagaba H., Fauquet C.M., Miano D., Alicai T., Taylor N.J. A virus-derived stacked RNA construct confers robust resistance to Cassava brown streak disease. *Frontiers in Plant Science*. 2017;7:2052.
18. Shimizu T., Nakazono-Nagaoka E., Uehara-Ichiki T., Sasaya T., Omura T. Targeting specific genes for RNA interference is crucial to the development of strong resistance to *Rice stripe virus*. *Plant Biotechnology Journal*. 2011;9(4):503-512.
19. Fuentes A., Carlos N., Ruiz Y., Callard D., Sanchez Y., Ochagavia M.E., Seguin J., Malpica-Lopez N., Hohn T., Lecca M.R., Perez R., Doreste V., Rehrauer H., Farinelli L., Pujol M., Pooggin M.M. Field trial and molecular characterization of RNAi-transgenic tomato plants that exhibit resistance to *Tomato yellow leaf curl geminivirus*. *Molecular Plant-Microbe Interactions*. 2016;29(3):197-209.
20. Ossowski S., Schwab R., Weigel D. Gene silencing in plants using artificial microRNAs and other small RNAs. *The Plant Journal*. 2008;53(4):674-690.
21. Sharma N., Prasad M. Silencing *AC1* of *Tomato leaf curl virus* using artificial microRNA confers resistance to leaf curl disease in transgenic tomato. *Plant Cell Reports*. 2020;39(11):1565-1579.
22. Ai T., Zhang L., Gao Z., Zhu C.X., Guo X. Highly efficient virus resistance mediated by artificial microRNAs that target the suppressor of PVX and PVY in plants. *Plant Biology*. 2011;13(2):304-316.

23. Duan C.G., Wang C.H., Fang R.X., Guo H.S. Artificial microRNAs highly accessible to targets confer efficient virus resistance in plants. *Journal of Virology*. 2008;82(22):11084-11095.
24. Fahim M., Millar A.A., Wood C.C., Larkin P.J. Resistance to *Wheat streak mosaic virus* generated by expression of an artificial polycistronic microRNA in wheat. *Plant Biotechnology Journal*. 2012;10(2):150-163.
25. Tabein S., Jansen M., Noris E., Vaira A.M., Marian D., Behjatnia S.A.A., Accotto G.P., Miozzi L. The induction of an effective dsRNA-mediated resistance against *Tomato spotted wilt virus* by exogenous application of double-stranded RNA largely depends on the selection of the viral RNA target region. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:533338.
26. Mitter N., Worrall E.A., Robinson K.E., Li P., Jain R.G., Taochy C., Fletcher S.J., Carroll B.J., Lu G.Q., Xu Z.P. Clay nanosheets for topical delivery of RNAi for sustained protection against plant viruses. *Nature Plants*. 2017;3(2):16207.
27. Tenllado F., Martinez-Garcia B., Vargas M., Diaz-Ruiz J. Crude extracts of bacterially expressed dsRNA can be used to protect plants against virus infections. *BMC Biotechnology*. 2003;3:3.

Научная статья
УДК 577.21:57.045
DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_2

Устойчивость к холодовому стрессу растений *Nicotiana tabacum*, трансформированных геном *AtCPK1 Arabidopsis thaliana*

Г.Н. Веремейчик✉, О.А. Тихонова

Галина Николаевна Веремейчик
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия
gala-vera@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0549-2801>

Ольга Андреевна Тихонова
студент
Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия
olga.tikhonova.kam@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6794-7085>

Аннотация. Исследован эффект избыточной экспрессии одного из важнейших сенсоров кальция – кальций-зависимой протеинкиназы (CDPK) на устойчивость к холодовому стрессу растений *Nicotiana tabacum* L. В работе использован ген *AtCPK1* арабидопсиса – одной из наиболее изученных изоформ растительных CDPK. Помимо нативной формы гена *AtCPK1* использованы полученные ранее мутантные формы: неактивная (изоформа Na, мутация КJM4) и постоянно-активная кальций-независимая (изоформа Ci, мутация КJM23). Данными формами гена методом агробактериальной трансформации были трансформированы растения табака. Нами показано, что экспрессия нативной формы гена приводит к значительному увеличению устойчивости трансгенных растений как к длительному воздействию холода, так и к воздействию холода при прорастивании семян по сравнению с контрольными растениями. Мутация КJM23 усиливает этот эффект, мутация КJM4 полностью его нивелирует.

Ключевые слова: кальций-зависимая протеинкиназа, *Nicotiana tabacum*, *Arabidopsis thaliana*, абиотический стресс, холодовой стресс, *AtCPK1*

Для цитирования: Веремейчик Г.Н., Тихонова О.А. Устойчивость к холодовому стрессу растений *Nicotiana tabacum*, трансформированных геном *AtCPK1 Arabidopsis thaliana* // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 17–24. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_2.

Благодарности. Авторы выражают благодарность руководителю лаборатории биоинженерии члену-корреспонденту РАН, доктору биологических наук В.П. Булгакову за поддержку и наставничество.

Финансирование. Грант РФФ, № 20-16-00016 (Булгаков В.П.).

© Веремейчик Г.Н., Тихонова О.А., 2022

Cold stress tolerance of *Nicotiana tabacum* plants transformed with the *AtCPK1* gene of *Arabidopsis thaliana*

G.N. Veremeichik, O.A. Tikhonova

Galina N. Veremeichik

Candidate of Sciences in Biology, senior researcher
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok, Russia
gala-vera@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0549-2801>

Olga A. Tikhonova

Student
Far-East State University, Vladivostok, Russia
olga.tikhonova.kam@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6794-7085>

Abstract. We studied the effect of an over expression of one of the important calcium sensors, calcium-dependent protein kinase (CDPK), on cold stress tolerance in *Nicotiana tabacum* L. plants. In this work, we used *AtCPK1* gene of *Arabidopsis thaliana* – one of the most studied isoform of CDPK plant. In addition to the native form of the *AtCPK1* gene, its mutant forms, inactive (Na isoform, KJM4 mutation) and regularly active, independent of the presence of calcium ions (Ci isoform, KJM23 mutation), were used. Those gene forms transformed tobacco plants by agrobacterial transformation method. We have shown that the expression of the native form of the gene leads to a significant increase in resistance of the transgene plants both to prolonged exposure of cold and to exposure of cold during germination of seeds as compared to the control plants has been greatly increased. A mutation of KJM23, increases this effect, a mutation of KJM4 completely eliminates this effect.

Keywords: calcium-dependent protein kinase, *Nicotiana tabacum*, *Arabidopsis thaliana*, abiotic stress, cold stress, *AtCPK1*

For citation: Veremeichik G.N., Tikhonova O.A. Cold stress tolerance of *Nicotiana tabacum* plants transformed with the *AtCPK1* gene of *Arabidopsis thaliana*. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(5):17–24. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_2.

Acknowledgments. The authors are grateful to the Head of the Laboratory of Bioengineering, RAS corresponding member, Doctor of Biological Sciences V.P. Bulgakov for support and mentorship.

Funding. Financial support was provided by the Russian Science Foundation, RSF grant No. 20-16-00016 (V.P. Bulgakov).

Введение

Повышение устойчивости растений к холоду – важное направление в селекции и генетической инженерии растений. В растениеводстве для повышения холодоустойчивости растений применяют прививание теплолюбивых растений на более холодоустойчивые, внесение калийных удобрений в почву при заморозках, а также процедуру закаливания растений, когда проросшие семена перед посевом

выдерживают при чередующихся через 12 ч низких (1–5 °С) и более высоких (10–20 °С) температурах.

Основным инструментом генетической инженерии растений является трансформация каким-либо геном, экспрессия которого улучшает свойства растения. Одним из примеров таких регуляторных элементов являются гены кальций-зависимых протеинкиназ (CDPK). Изменение токов ионов кальция в растительной клетке является одним из основных сигналов стрессового внешнего воздействия. Увеличение внутриклеточной концентрации кальция приводит к инактивации аутоингибиторного домена CDPK, что обеспечивает фосфорилирующую способность фермента [1]. За счет фосфорилирования CDPK активирует активность других ферментов, запуская реакцию на негативное внешнее воздействие. Таким образом, CDPK передают сигнал о внешнем воздействии с помощью фосфорилирования белковых мишеней, например, мембранных каналов, НАДФН-оксидаз, транскрипционных факторов. Эти ферменты вовлечены в регуляцию защитного ответа растений на биотический и абиотический стресс, вызванный действием окружающей среды [2, 3].

В настоящей работе использовался ген протеинкиназы *Arabidopsis thaliana AtCPK1*. Данный фермент локализуется в масляных тельцах и пероксисомах и играет потенциальную роль в регуляции пероксисомных функций, таких как метаболизм липидов и окислительный стресс [4]. Являясь регулятором врожденной иммунной системы у арабидопсиса, *AtCPK1* участвует в зависимом от салициловой кислоты сигнальном пути и модулирует экспрессию генов защиты и устойчивости к болезням [5]. Клетки *Rubia cordifolia* и *Vitis amurensis*, модифицированные *AtCPK1*, имели повышенную продукцию вторичных метаболитов, таких как резвератрол или антрахиноны [6, 7].

Ранее были получены [8] мутантные формы *AtCPK1*, которые в данной работе использовались для изучения роли *AtCPK1* в устойчивости растений к холоду. Помимо нативной формы гена *AtCPK1* (Ак, от англ. «*Arabidopsis kinase*»), растения были трансформированы неактивной формой (мутация КJM4, изоформа Na, от англ. «*Notactive*») и независимой от присутствия ионов кальция постоянно активной формой (мутация КJM23, изоформа Ci, от англ. «*Calcium independent*»). Ранее мы показали, что экспрессия нативной изоформы Ак в растениях *Nicotiana tabacum* L. приводит к значительному повышению устойчивости к солевому стрессу как при прорастании семян, так и при длительном выращивании трансгенных растений-микрорклонов [9]. При этом экспрессия мутантной формы Ci усиливает устойчивость, в то время как растения, трансформированные формой Na, не отличаются от контрольных по уровню устойчивости к солевому стрессу.

Материалы и методы

В работе использовались 4 линии растений табака *N. tabacum*: Nt – не-трансгенная линия; Na – растения табака, трансформированные неактивной мутантной формой (мутация КJM4, изоформа Na, *Notactive*); Ак – трансформированные нативной формой гена *AtCPK1*; Ci – трансформированные независимой от присутствия ионов кальция постоянно активной мутантной формой (мутация КJM23, изоформа Ci, *Calcium independent*). Растения выращивали методом микрорклонального размножения *in vitro* на среде MS/2, а также использовали гомозиготные семена контрольного и трансгенных растений 3-го поколения.

Повышение устойчивости растений к холоду при трансформации геном *AtCPK1* арабидопсиса оценивалось двумя методами. При исследовании первым методом двухнедельные растения-микрклоны, выращенные *in vitro* на среде MS/2, подвергались действию холодового стресса в климатостате в течение 30 дней при следующих параметрах культивирования: фотопериод 16/8 ч, освещенность днем 3000–5000 люкс, температура 12 °С, влажность 70 %. Контрольные растения росли в идентичных условиях, но при температуре 24 °С. После 30 дней пребывания в климатической камере растения фотографировали и взвешивали для оценки прироста биомассы. При оценке вторым методом семена табака проращивали в течение 10 дней на влажной фильтровальной бумаге в 24-луночных планшетах (Corning) при холодовом стрессе (12 °С) и комфортной температуре (24 °С) в климатостате (КС-200, Россия) со следующими параметрами: фотопериод 16/8 ч, освещенность днем 3000–5000 люкс, влажность 70 %. Оценивали процент проросших семян от их общего количества и длину проростков.

Эксперименты повторяли три раза, в каждом из них использовали 20 биологических повторностей. Полученные данные были обработаны в программе Statistica 10.0 (StatSoftInc., США) и представлены как среднее \pm стандартная ошибка среднего; межгрупповой анализ проводили в ANOVA, при $P < 0,05$ различия считали достоверными.

Результаты и обсуждение

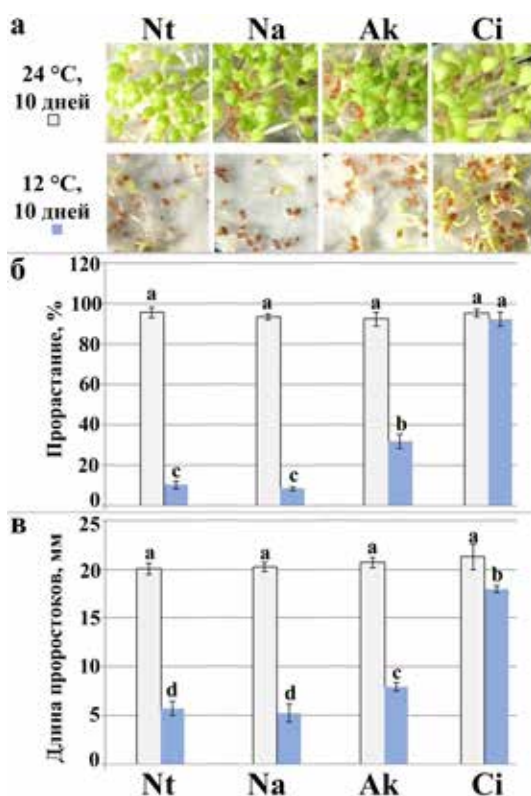
Целью работы было исследование влияния избыточной экспрессии гена *AtCPK1* на устойчивость к холодовому стрессу трансгенных растений и семян *N. tabacum*, а также выявление эффекта мутаций в аутоингибиторном домене *AtCPK1* неактивной (Na) и постоянно активной (Ci) изоформ гена в сравнении с диким типом (Ak).

Влияние холодового стресса на прорастание семян табака

Устойчивость табака к холодовому стрессу при исследовании данным методом выражалась в прорастании наибольшего числа семян при температуре 12 °С, они сравнивались с контрольными семенами, прорастающими при 24 °С. На рис. 1 можно видеть разницу между семенами, прорастающими в холодовом стрессе или при комфортной температуре. Под действием холодового стресса не изменилось прорастание только у семян, трансформированных изоформой Ci; у не-трансгенных и трансформированных изоформой Na семян значительно снизилось количество проросших, а для семян табака с нативной формой гена отмечается их снижение примерно наполовину. Также визуально можно заметить уменьшение длины проростков в сравнении с семенами, проращиваемыми при температуре 24 °С. На рис. 1, б показано влияние холода на процент прорастания семян. При температуре 24 °С разницы между контрольными и модифицированными различными изоформами гена *AtCPK1* растениями табака не обнаружено. Под действием холодового стресса процент проросших семян снижается на 90 % для линий Nt и Na, на 60 % – для линии Ak, в то время как для линии Ci снижения не наблюдается.

Также было выполнено измерение и сравнение длин проростков семян табака при проращивании в контрольных условиях и холодовом стрессе (рис. 1, в).

Рис. 1. Влияние холодого стресса (12 °С в течение 10 дней) на прорастание семян контрольной и трансгенных линий табака: *a* – репрезентативный вид; *б* – влияние холода на процент прорастания семян; *в* – влияние холода на длину проростков. Nt – семена контрольной нетрансгенной линии *N. tabacum*; Na – семена трансгенной линии, трансформированной мутантной неактивной формой *AtCPK1*; Ak – семена трансгенной линии, трансформированной нативной формой гена *AtCPK1*; Ci – семена трансгенной линии, трансформированной мутантной постоянно-активной формой гена *AtCPK1*. Эксперимент повторен 3 раза, данные представлены как среднее \pm стандартная ошибка среднего; буквы над планками погрешностей обозначают статистически достоверную разницу ($P < 0,05$, LSD Фишера)



Уменьшение длины семядолей имеет сходную с прорастанием закономерность: растение табака с неактивной протеинкиназой *AtCPK1* не отличается от нетрансгенного растения и имеет наиболее сильное уменьшение длины проростка, а растение табака, модифицированное геном фермента с постоянной активностью, меньше всех подвержено действию холодого стресса.

Влияние холодого стресса на рост двухнедельных растений табака

Проверка взрослых растений на устойчивость к холодому стрессу также проводилась в климатостате при следующих параметрах: фотопериод 16/8 ч; освещенность днем 3000–5000 люкс; температура 12 °С или 24 °С, влажность 70 %. В таких условиях визуально оценивали длину побега и толщину стеблей, размер листьев по прошествии 30 дней, а также взвешивали растения до начала эксперимента и по его окончании.

Внешне растения, подверженные действию холодого стресса в течение 30 дней, заметно отличаются от контрольных растений, выращенных при температуре 24 °С, которые имеют более вытянутые стебли и черенки, а также листья большего размера (рис. 2, *а, б*). Кроме того, было показано, что прирост биомассы растений Nt и Na снижен более чем в 4 раза при воздействии холода, в то время как рост растений Ak и Ci при холодом стрессе достоверно выше (рис. 2, *в*).

Таким образом, мы показали, что избыточная экспрессия нативной формы гена *AtCPK1* арабидопсиса в растениях табака значительно увеличивает устойчивость к холодому стрессу по сравнению с контрольными растениями. При этом неактивная изоформа *AtCPK1*-Na полностью нивелирует данный эффект,

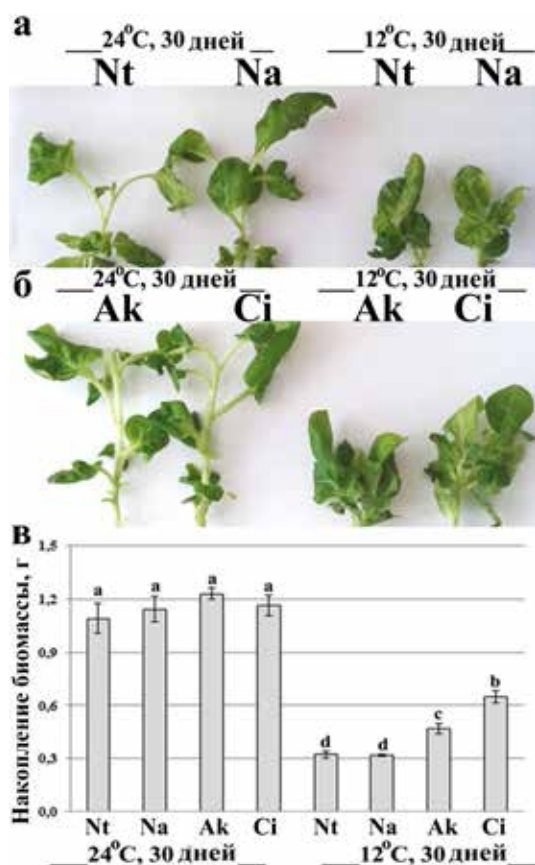


Рис. 2. Влияние холодового стресса (12 °С в течение 30 дней) на микроклоны контрольной и трансгенных линий табака: а, б – репрезентативный вид; в – влияние холода на накопление биомассы. Nt – растения-микроклоны контрольной нетрансгенной линии *N. tabacum*; Na – растения-микроклоны трансгенной линии, трансформированной мутантной неактивной формой *AtCPK1*; Ак – растения-микроклоны трансгенной линии, трансформированной нативной формой гена *AtCPK1*; Сі – растения-микроклоны трансгенной линии, трансформированной мутантной постоянно-активной формой гена *AtCPK1*. Эксперимент повторен 3 раза, данные представлены как среднее ± стандартная ошибка среднего; буквы над планками погрешностей обозначают статистически достоверную разницу ($P < 0,05$, LSD Фишера)

устойчивость к холодовому воздействию растений табака, трансформированных изоформой Na, не отличается от таковой у контрольных растений как при длительном культивировании, так и при проращивании семян. Мутация изоформы Сі обеспечивает трансгенным растениям повышенную устойчивость к холоду, при которой растения имеют прирост биомассы и процент проросших семян, близкие к таковым у контрольных растений, не подверженных действию холода.

Выводы

В ходе работы было исследовано действие холодового стресса на накопление биомассы при длительном выращивании растений и прорастание семян *N. tabacum* дикого типа и модифицированных нативным геном *AtCPK1* и его мутантными формами – неактивной и постоянно активной. Показано, что избыточная экспрессия данного гена оказывает воздействие на устойчивость растений к холодовому стрессу, в особенности при их трансформации мутантной постоянно-активной изоформой *AtCPK1-Ci*.

Повышение устойчивости сельскохозяйственных растений к абиотическим стрессам (засухе, засоленности почв, заморозкам) – важная для современного растениеводства задача, и показанный в данной работе эффект может быть одним из путей ее решения. Не менее важны исследования молекулярного механизма, обеспечивающего устойчивость растений при избыточной экспрессии генов CDPK растений. Как показано ранее [9, 10], устойчивость к солевому и холодовому

стрессам модулируется через систему метаболизма активных форм кислорода при непосредственном участии CDPK.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Harmon AC, Yoo B-C, McCaffery C. Pseudosubstrate inhibition of CDPK, a protein kinase with a calmodulin-like domain // *Biochemistry*. 1994. N 33. P. 7278–7287. <https://doi.org/10.1021/bi00189a032>.
2. Schulz P, Herde M., Romeis T. Calcium-dependent protein kinases: hubs in plant stress signaling and development // *Plant Physiology*. 2013. N 163. P. 523–530.
3. Boudsocq M., Sheen J. CDPKs in immune and stress signaling // *Trends Plant Sci*. 2013. N 18. P. 30–40.
4. Dammann C., Ichida A., Hong B., Romanowsky S.M., Hrabak E.M., Harmon A.C., Pickard B.G., Harper J.F. Subcellular targeting of nine calcium-dependent protein kinase isoforms from *Arabidopsis* 1 // *Plant Physiology*. 2003. N 132. P. 1840–1848.
5. Coca M., Segundo B.S. AtCPK1 calcium-dependent protein kinase mediates pathogen resistance in *Arabidopsis* // *The plant journal*. 2010. N 63. P. 526–540.
6. Veremeichik G.N., Grigorchuk V.P., Shkryl Y.N., Bulgakov D.V., Silantieva S.A., Bulgakov V.P. Induction of resveratrol biosynthesis in *Vitis amurensis* cells by heterologous expression of the *Arabidopsis* constitutively active, Ca²⁺-independent form of the *AtCPK1* gene // *Process Biochemistry*. 2017. N 54. P. 144–155.
7. Shkryl Y.N., Veremeichik G.N., Makhazen D.S., Silantieva S.A., Mishchenko N.P., Vasileva E.A., Fedoreyev S.A., Bulgakov V.P. Increase of anthraquinone content in *Rubia Cordifolia* cells transformed by native and constitutively active forms of the *AtCPK1* gene // *Plant Cell Reports*. 2016. N 35. P. 1907–1916.
8. Harper J.F, Huang J.F, Lloyd S.J. Genetic identification of an autoinhibitor in CDPK, a protein kinase with a calmodulin-like domain // *Biochemistry*. 1994. N 33. P. 7267–7277. <https://doi.org/10.1021/bi00189a031>
9. Veremeichik G.N., Shkryl Y.N., Silantieva S.A., Gorpenchenko T.Y., Brodovskaya E.V., Yatsunskaya M. S., Bulgakov V.P. Managing activity and Ca²⁺ dependence through mutation in the Junction of the AtCPK1 coordinates the salt tolerance in transgenic tobacco plants // *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021. N 165. P. 104–113.
10. Dong H, Wu C, Luo C, Wei M, Qu S, Wang S. Overexpression of MdCPK1a gene, a calcium dependent protein kinase in apple, increase tobacco cold tolerance via scavenging ROS accumulation // *PLoS One*. 2020. N 19;15(11):e0242139.

REFERENCES

1. Harmon AC, Yoo B-C, McCaffery C. Pseudosubstrate inhibition of CDPK, a protein kinase with a calmodulin-like domain. *Biochemistry*. 1994;(33):7278-7287. <https://doi.org/10.1021/bi00189a032>.
2. Schulz P, Herde M., Romeis T. Calcium-dependent protein kinases: hubs in plant stress signaling and development. *Plant Physiology*. 2013;(163):523-530.
3. Boudsocq M., Sheen J. CDPKs in immune and stress signaling. *Trends Plant Sci*. 2013;(18):30-40.
4. Dammann C., Ichida A., Hong B., Romanowsky S.M., Hrabak E.M., Harmon A.C., Pickard B.G., Harper J.F. Subcellular targeting of nine calcium-dependent protein kinase isoforms from *Arabidopsis* 1. *Plant Physiology*. 2003;(132):1840-1848.
5. Coca M., Segundo B.S. AtCPK1 calcium-dependent protein kinase mediates pathogen resistance in *Arabidopsis*. *The plant journ*. 2010;(63):526-540.
6. Veremeichik G.N., Grigorchuk V.P., Shkryl Y.N., Bulgakov D.V., Silantieva S.A., Bulgakov V.P. Induction of resveratrol biosynthesis in *Vitisamurensis* cells by heterologous expression of the *Arabidopsis* constitutively active, Ca²⁺-independent form of the *AtCPK1* gene. *Proc. Biochemistry*. 2017;(54):144-155.
7. Shkryl Y.N., Veremeichik G.N., Makhazen D.S., Silantieva S.A., Mishchenko N.P., Vasileva E.A., Fedoreyev S.A., Bulgakov V.P. Increase of anthraquinone content in *Rubia Cordifolia* cells transformed by native and constitutively active forms of the *AtCPK1* gene. *Plant Cell Reports*. 2016;(35):1907-1916.
8. Harper J.F, Huang J.F, Lloyd S.J. Genetic identification of an autoinhibitor in CDPK, a protein kinase with a calmodulin-like domain. *Biochemistry*. 1994;(33):7267-7277. <https://doi.org/10.1021/bi00189a031>.

9. Veremeichik G.N., Shkryl Y.N., Silantieva S.A., Gorpenchenko T.Y., Brodovskaya E.V., Yatsunskaya M.S., Bulgakov V.P. Managing activity and Ca²⁺ dependence through mutation in the Junction of the AtCPK1 coordinates the salt tolerance in transgenic tobacco plants. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021;(165):104-113.


10. Dong H, Wu C, Luo C, Wei M, Qu S, Wang S. Overexpression of MdCPK1a gene, a calcium dependent protein kinase in apple, increase tobacco cold tolerance via scavenging ROS accumulation. *PLoS One*. 2020;(19;15(11)):e0242139.

Научная статья

УДК 577.29

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_3

Экзосомальные наночастицы растений: свойства и применение в биомедицине

Ж.Л. Цыденешиева, А.И. Дегтяренко, Ю.А. Югай,
Т.В. Русапетова, Ю.Н. Шкрыль 

Жаргалма Лудуповна Цыденешиева

студент

Дальневосточный федеральный университет, Институт наук о жизни и биомедицины,
Владивосток, Россия

старший лаборант

ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия

zargalma2509@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0003-3154-5209>

Антон Игоревич Дегтяренко

аспирант, младший научный сотрудник

ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия

77sat7@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0003-1819-9639>

Юлия Анатолиевна Югай

кандидат биологических наук, младший научный сотрудник

ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия

yuua1992@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-0385-6504>

Татьяна Викторовна Русапетова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник

ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия

avramenko.dvo@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0002-3527-164X>

Юрий Николаевич Шкрыль

кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник

ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия

yn80@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-3657-6058>

Аннотация. Экзосомальные наночастицы представляют собой мембранные везикулы, выделяемые разнообразными типами клеток и являющиеся консервативным механизмом межклеточной и межвидовой коммуникации в про- и эукариотических организмах. Осуществляя транспорт специфических белков, нуклеиновых кислот и низкомолекулярных метаболитов, экзосомы участвуют в регуляции процессов развития, активации иммунной системы, развитии защитного ответа на стрессовые воздействия. В последнее время большое внимание исследователей привлекают нановезикулы растений, которые являются экономичным и доступным источником таких веществ. Являясь природной транспортной системой, экзосомы растений представляют перспективную для биомедицины платформу доставки молекул как эндогенного, так и экзогенного происхождения. В обзоре представлены современные работы, посвященные изучению биогенеза растительных экзосом, их состава, а также понимания механизмов их загрузки различными терапевтическими соединениями, что является одним из определяющих факторов их возможного практического использования. Мы считаем, что дальнейшие исследования в этой области позволят существенно расширить потенциал таргетной терапии за счет применения растительных нановезикул в клинической практике.

Ключевые слова: экзосомы, адресная доставка лекарственных средств, мультивезикулярные тельца, мембранный транспорт

Для цитирования: Цыденешиева Ж.Л., Дегтяренко А.И., Югай Ю.А., Русапетова Т.В., Шкрый Ю.Н. Экзосомальные наночастицы растений: свойства и применение в биомедицине // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 25–44. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_3.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-24-00091).

Original article

Exosomal plant nanoparticles: properties and applications in biomedicine

Zh.L. Tsydeneshieva, A.I. Degtyarenko, Yu.A. Yugay,
T.V. Rusapetova, Yu.N. Shkryl

Zhargalma L. Tsydeneshieva

Student

Institute of Life Sciences and Biomedicine FEFU, Vladivostok, Russia

Senior Assistant

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

zargalma2509@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0003-3154-5209>

Anton I. Degtyarenko

Postgraduate, Junior Researcher

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

77sat7@gmail.com

<http://orcid.org/0000-0003-1819-9639>

Yulia A. Yugay
Candidate of Sciences in Biology, Junior Researcher
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok,
Russia
yuya1992@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-0385-6504>

Tatiana V. Rusapetova
Candidate of Sciences in Biology, Senior Researcher
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok,
Russia
avramenko.dvo@gmail.com
<http://orcid.org/0000-0002-3527-164X>

Yury N. Shkryl
Candidate of Sciences in Biology, Leading Researcher
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok,
Russia
yn80@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-3657-6058>

Abstract. Exosomal nanoparticles are biogenic membrane vesicles secreted by various cell types and represent a conservative mechanism of intercellular and interspecies communication in pro- and eukaryotic organisms. By transporting specific proteins, nucleic acids, and low molecular weight metabolites, exosomes are involved in the regulation of developmental processes, activation of the immune system, and the development of a protective response to stress. Recently, much attention of researchers has been attracted by plant nanovesicles, which are an economical and affordable source of their production. Being a natural transport system, plant exosomes represent a promising platform in biomedicine for the delivery of molecules of both endogenous and exogenous origin. This review presents recent publications devoted to the study of the biogenesis of plant exosomes, their composition, as well as mechanisms of loading with various therapeutic compounds, which is one of the determining factors for their possible practical use. We believe that further research in this area will significantly expand the potential of targeted therapy by using of plant nanovesicles in clinical practice.

Keywords: exosomes, targeted drug delivery, multivesicular bodies, membrane transport

For citation: Tsydeneshieva Zh.L., Degtyarenko A.I., Yugay Yu.A., Rusapetova T.V., Shkryl Yu.N. Exosomal plant nanoparticles: properties and applications in biomedicine. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(5):25-44. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_3.

Funding. Financial support was provided by the Russian Science Foundation, Grant no. 22-24-00091.

В последние два десятилетия наблюдался экспоненциальный рост количества исследований, посвященных биологической характеристике нановезикул – важнейших переносчиков биологической информации, однако значительный интерес к нановезикулам растительного происхождения появился только в последние годы. Эндогенный характер образования растительных нановезикул является их натуральным и уникальным преимуществом для осуществления межклеточной коммуникации и реализации широкого спектра биологической активности. Нановезикулы могут селективно поглощаться как близлежащими, так и отдаленными клетками, перепрограммируя их своим биологически активным содержимым, в первую очередь за счет белков и рибонуклеиновые кислот.

В обзоре представлены современные работы, посвященные изучению биогенеза растительных экзосом, их состава, а также понимания механизмов их загрузки различными терапевтическими соединениями, что является одним из определяющих факторов их возможного практического использования.

Общая характеристика нановезикул

Мембранные нановезикулы (экзосомы) представляют собой биогенные образования с характерным размером от 30 до 200 нм, которые высвобождаются из клетки путем слияния мультивезикулярного тельца с плазматической мембраной [1]. Известны и другие разновидности внеклеточных мембранных структур, происхождение которых отличается от экзосом. Например, частицы с размерами от 200 до 1000 нм, образующиеся путем почкования плазматической мембраны, относят уже к микровезикулам, а структуры от 1000 нм и более – к апоптотическим тельцам (продуктам распада клеток в результате программируемой клеточной гибели) [2]. Существование нановезикул у растений долгое время подвергалось сомнению, однако в последнее десятилетие были проведены исследования, доказывающие их наличие во всех органах растения [3]. Морфологически растительные нановезикулы имеют округлую форму, образованную фосфолипидным бислоем со средней толщиной 5,3 нм [4]. Липидная мембрана экзосом защищает их содержимое как от ферментативной деградации внутренней среды растения, так и негативного воздействия окружающей среды [5]. Источником для выделения нановезикул могут служить любые части растений, но чаще всего для этих целей используют листья, плоды или апопластотическую жидкость. При этом нужно отметить, что различные органы растения продуцируют неодинаковое количество нановезикул, к тому же различающихся по своему составу и свойствам, что может быть связано с их специализацией в межклеточной коммуникации [6].

Механизм образования нановезикул

Механизм образования нановезикул у растений лишь частично изучен и, по имеющимся на сегодняшний день данным, схож с биогенезом экзосом млекопитающих (рис. 1). Формирование экзосом неразрывно связано с мембранным транспортом клетки и инициируется формированием ранней эндосомы посредством инвагинации плазматической мембраны с участием регуляторных компонентов транссети аппарата Гольджи [7]. Ранняя эндосома претерпевает созревание, сопровождающееся впячиванием эндосомальной мембраны с формированием интралюминальных везикул, которые избирательно накапливают различные внутриклеточные биомолекулы. Этот процесс контролируется специальным эндосомальным сортировочным комплексом, состоящим из четырех белков ESCRT (от англ. endosomal sorting complex required for transport) и АТФазы [7]. При этом определенная часть везикул образуется и по так называемому ESCRT-независимому пути [8]. В результате этих процессов формируется мультивезикулярное тельце (МВТ), представляющее собой позднюю стадию развития эндосом. На следующем этапе биогенеза происходит слияние МВТ с плазматической мембраной или с лизосомами. В случае слияния с плазматической мембраной во внеклеточное пространство высвобождаются экзосомы [9]. Этот процесс регулируется

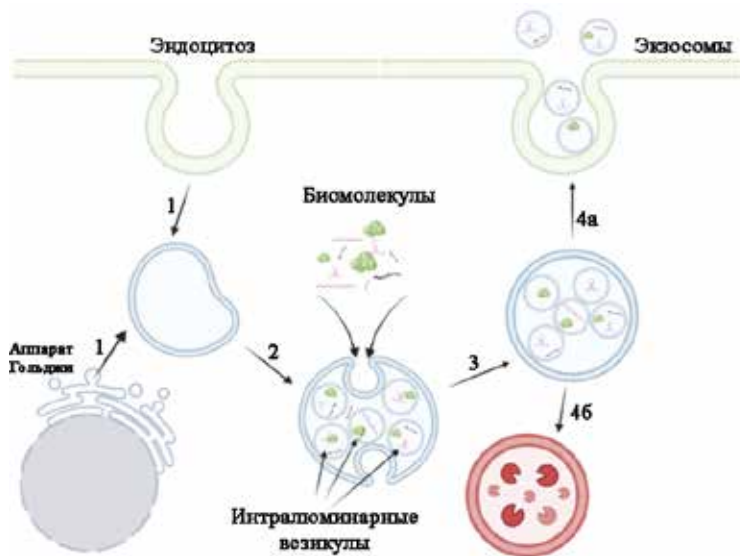


Рис. 1. Механизм образования нановезикул: 1 – формирование ранней эндосомы, 2 – созревание эндосомы, 3 – образование поздней эндосомы, или мультивезикулярного тельца (МВТ), 4а – слияние с плазматической мембраной, сопровождающееся высвобождением экзосом, 4б – слияние с лизосомой и дальнейшая деградация

комплексами белков из семейства Rab-ГТФаз и SNARE (от англ. soluble NSF attachment receptor), которые локализуются на внешней мембране МВТ и после слияния остаются на ней для участия в следующем цикле [10]. При слиянии с лизосомой происходит ферментативное разложение МВТ [11]. Образование экзосом связано с защитой растения от патогенов, поэтому неудивительно, что наиболее интенсивно нановезикулы образуются вблизи внеклеточных защитных структур, которые блокируют проникновение патогенов в клетку [12].

Биохимическая характеристика нановезикул

Состав нановезикул варьирует в зависимости от объекта, из которого их получают. Однако все из них содержат специфические липиды, белки, матричную РНК (мРНК), микроРНК и другие некодирующие РНК, а также низкомолекулярные соединения (рис. 2).

Нановезикулы содержат две основные группы липидов – фосфолипиды и гликолипиды, которые входят в состав мембраны и необходимы для их правильного формирования, высвобождения и адресной доставки. Во многих нановезикулах содержится фосфатидная кислота, которая модулирует деление и слияние мембран [13]. Растительные нановезикулы в большом количестве содержат трансмембранные белки, такие как тетраспанины ТЕТ (от англ. tetraspanins), участвующие в транспорте и узнавании нановезикул. Кроме того, ТЕТ являются аналогами животных белков-маркеров экзосом С93 [14] и могут служить для специфической загрузки нановезикул слитых с ними химерных белков [13]. Также в нановезикулах присутствуют специфичные для растений белки PEN (от англ. penetration; синоним SYP121, синтаксин). Белки PEN и ГТФазы Rab образуют в



Рис. 2. Молекулярный состав нановезикул

экзосомах комплексы, стимулирующие слияние мембраны и регулирующие их транспорт [15]. Часто в составе везикул обнаруживают белки, связанные с защитной системой растения, такие как хитиназы, пероксидазы, β -глюкозидазы и др. [16]. Интересно, что при этом в нановезикулах был также обнаружен RPM1-взаимодействующий протеин-4 (RPM1-interacting protein RIN4), который является отрицательным регулятором иммунитета у растений и ингибирует развитие ответа клеток на воздействие патоген-ассоциированных молекулярных паттернов (PAMP, от англ. pathogen associated molecular patterns) [12]. Кроме вышеперечисленных, в экзосомах обнаруживают и большое количество других белков, трудно поддающихся классификации и, возможно, попавших в них случайно. Например, в нановезикулах из растения резуховидка Таля было идентифицировано более 200 белков, однако большая часть из них была представлена в очень незначительном количестве [13]. Некоторые распространенные примеры идентифицированных экзосомальных белков приведены в табл. 1. Очевидно, что свое влияние на состав могут оказывать вид и орган исследуемого растения, его возраст, физиологическое состояние и другие факторы, приводящие к высокой вариативности

Таблица 1

Примеры белковых компонентов нановезикул растений

Источник	Наименование	Функции	Ссылка
Резуховидка Таля (<i>Arabidopsis thaliana</i>)	Белок семейства транспортеров АВС-типа	Защитные реакции, трансмембранный транспорт, транспорт ионов	[13]
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>), кратеростигма (<i>Craterostigma plantagineum</i>), апельсин (<i>Citrus sinensis</i>), лимон (<i>C. limon</i>), грейпфрут (<i>C. paradise</i>), померанец (<i>C. aurantium</i>)	Тетраспанин-8	Сигнальные системы, защитный ответ на бактерии	[13, 18, 19, 20]

Источник	Наименование	Функции	Ссылка
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>), кратеростигма (<i>C. plantagineum</i>), апельсин (<i>Citrus sinensis</i>), лимон (<i>C. limon</i>), грейпфрут (<i>C. paradise</i>), померанец (<i>C. aurantium</i>)	Аннексины D1 и D5	Транспорт ионов каль- ция и фосфолипидов	[13, 18, 20]
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>)	RPM1- взаимодействующий белок 4	Защитные реакции, регу- ляция реакции гиперчув- ствительности	[13]
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>), кратеростигма (<i>C. plantagineum</i>), апельсин (<i>Citrus sinensis</i>), лимон (<i>C. limon</i>), грейпфрут (<i>C. paradise</i>), померанец (<i>C. aurantium</i>)	Пателлины 1 и 3	Клеточный цикл и деление	[13, 18, 20]
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>)	Синтаксин-122	Защитные реакции, экзо- цитоз, внутриклеточный транспорт белка, слия- ние везикул	[13]
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>), апельсин (<i>Citrus sinensis</i>), лимон (<i>C. limon</i>), грейпфрут (<i>C. paradise</i>), померанец (<i>C. aurantium</i>)	H(+)-АТФаза 1 и 10	Ионный трансмембран- ный транспорт, регуля- ция внутриклеточного pH	[13, 20]
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>), апельсин (<i>Citrus sinensis</i>), лимон (<i>C. limon</i>), грейпфрут (<i>C. paradise</i>), померанец (<i>C. aurantium</i>)	Фосфолипаза Dα1 и Dδ	Сигнальный путь абсци- зовой кислоты, про- граммируемая клеточная гибель	[13, 20]
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>)	GDSL эстераза/ липаза	Катаболизм глюкозино- латов и липидов	[13]
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>)	Белок семейства NRT1 / PTR	Транспорт глюкозино- латов	[13]
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>), кратеростигма (<i>C. plantagineum</i>), апельсин (<i>Citrus sinensis</i>), лимон (<i>C. limon</i>), грейпфрут (<i>C. paradise</i>), померанец (<i>C. aurantium</i>)	Белок теплового шока 3, 70 кДа	Шаперон-зависимый рефолдинг белка, акти- вация при стрессе	[13, 18, 20]
Резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>)	L-аскорбат пероксидаза 1	Ответ на окислительный стресс, биосинтез лиг- нина и фенилпропаноидов	[13]
Кратеростигма (<i>C. plantagineum</i>)	Бета-галактозидаза 3	Участие в углеводном обмене растений	[18]
Кратеростигма (<i>C. plantagineum</i>)	Пептидил-пролил- изомераза	Шаперон-зависимый рефолдинг белка	[18]
Кратеростигма (<i>C. plantagineum</i>), апельсин (<i>Citrus sinensis</i>), лимон (<i>C. limon</i>), грейпфрут (<i>C. paradise</i>), померанец (<i>C. aurantium</i>)	Субъединицы белкового комплекса коатомера (α1, β1, β2, γ)	Мембранный транспорт в транссети аппарата Гольджи	[18, 20]

Примеры микроРНК растительных нановезикул

Источник	Название	Функции	Ссылка
Резуховидка Таля (<i>Arabidopsis thaliana</i>)	<i>miR396</i>	Снижает плотность устьиц, регулирует развитие листьев и цветков	[23]
	<i>miR156</i>	Повышает накопление антоцианов	[24]
	<i>miR398</i>	Регулирует экспрессию супероксиддисмутаза	[25]
Жимолость (<i>Lonicera xylosteum</i>), резуховидка Таля (<i>A. thaliana</i>)	<i>miR2911</i>	Подавляет некоторые вирусные инфекции	[26]
Имбирь (<i>Zingiber officinale</i>)	<i>miR1078</i>	Действует на ген лептина, который связан с липополисахарид-индуцированной экспрессией <i>IL-6</i>	[27]
	<i>miR7267</i>	Подавляет экспрессию монооксигеназы <i>Lactobacillus rhamnosus</i> в микробиоме кишечника, тем самым модулируя иммунитет	[28]
Имбирь (<i>Z. officinale</i>), грейпфрут (<i>Citrus paradisi</i>)	<i>miR-2911</i>	Подавляет инфекцию вируса гриппа (H5N1), способен подавлять репликацию вируса <i>SARS-CoV-2</i>	[28]
Капуста (<i>Brassica oleracea</i>)	<i>miR172</i>	Способствует цветению, подавляя функцию генов семейства <i>APETALA2</i>	[29]
Грейпфрут (<i>C. paradisi</i>)	<i>miR17</i>	Подавляет экспрессию комплекса гистосовместимости, тем самым ингибирует рост опухоли	[30]
Черника (<i>Vaccinium</i> spp.), кокос (<i>Cocos nucifera</i>), имбирь (<i>Z. officinale</i>), грейпфрут (<i>C. paradisi</i>), дыня (<i>Cucumis melo</i>), киви (<i>Actinidia chinensis</i>), апельсин (<i>Citrus reticulata</i>), груша (<i>Pyrus</i> spp.), соя (<i>Glycine max</i>), томат (<i>Solanum lycopersicum</i>)	<i>miR168</i>	Регулирует функции связанного с ней белкового комплекса <i>AGO2</i>	[24, 31]
	<i>miR319</i>	Действует на фактор транскрипции TCP, контролирующий развитие листа	[24]
Соя (<i>G. max</i>), имбирь (<i>Z. officinale</i>), грейпфрут (<i>C. paradisi</i>), томат (<i>S. lycopersicum</i>), груша (<i>Pyrus</i> spp.)	<i>miR530</i>	Участвует в защитных реакциях, циркадном ритме и вторичном метаболизме	[32]
Арбуз (<i>Citrullus lanatus</i>), грецкий орех (<i>Juglans regia</i>)	<i>miR156</i>	Регулирует сигнальный путь TNF- α млекопитающих в адипоцитах; обнаружена в крови человека после перорального приема	[32, 33]

полученных данных. На белковый состав нановезикул влияет и способ их выделения. Известно, что высокоочищенные фракции экзосом из плаценты человека содержат относительно небольшое количество основных белков, тогда как большая часть других, скорее, является примесями, связанными с особенностями пробоподготовки [17]. Учитывая, что изучение растительных экзосом находится,

по сути, на начальном этапе, количество обнаруживаемых белков в них может быть также сильно преувеличено.

Нановезикулы растений также содержат значительное количество генетического материала, представленного главным образом малыми РНК. Особый интерес представляют микроРНК, которые являются важными эпигенетическими регуляторами клеточных процессов, способными специфически подавлять работу генов за счет разрушения мРНК-мишеней [1, 21]. МикроРНК часто обнаруживают во внеклеточных жидкостях растения (как в свободной форме, так и составе комплексов белок-микроРНК) по причине пассивной диффузии или активной секреции [22]. Тем не менее свободные молекулы микроРНК нестабильны и подвержены деструктивным воздействиям, тогда как упаковка внутри нановезикул позволяет избежать этих последствий и даже транспортировать их во внешнюю среду. В настоящее время известно несколько сотен представителей экзосомальных микроРНК из различных видов растений. Как и с белками, среди них можно выделить как типичные, которые обнаруживаются чаще других, так и менее распространенные микроРНК, состав которых меняется в зависимости от условий. Примеры некоторых микроРНК, обнаруженных в нановезикулах из различных растений, приведены в табл. 2.

Состав вторичных метаболитов в нановезикулах растительного происхождения все еще недостаточно изучен, но предполагается, что их наличие может быть связано с гидрофобностью самих везикул [34]. В зависимости от биохимических особенностей источника в них присутствуют флавоноиды, такие как нарингин и нарингенин, аскорбиновая кислота и другие соединения [35]. Кроме того, в нановезикулах идентифицировано несколько белков, чья функция связана со вторичным метаболизмом растений (табл. 1). Также нановезикулы содержат углеводы (глюкоза, фруктоза, сахароза и др.) и аминокислоты (аланин, аспарагин, изолейцин, треонин, лейцин и др.), концентрация которых также зависит от источника выделения [7].

Функции растительных нановезикул

Нановезикулы растений чаще рассматривают с точки зрения их защитной роли в системе взаимодействий растение–патоген. Для выживания растений важна быстрая реакция на различные патогены. Перестройка межклеточных органелл и структурное изменение цитоскелета, а также повышенный синтез соединений приводят к формированию физического и биохимического барьера, противостоящего заражению [36]. Подобные изменения могут осуществляться посредством быстрой и целенаправленной доставки необходимых молекул везикулами. Грибковая инфекция усиливает накопление везикул между плазматической мембраной и клеточной стенкой в клетках растений, что указывает на их важную роль в иммунном ответе [12, 37]. Например, везикулярные структуры, содержащие фенольные соединения и пероксид водорода, препятствовали заражению листьев ячменя мучнистой росой *Blumeria graminis*. При заражении арабидопсиса мучнистой росой *Golovinomyces orontii* белки PEN1 и PEN3 транспортируются экзосомами и включаются в состав клеточной стенки, выступая в качестве защитного барьера [38]. Перенос микроРНК от растения-хозяина к патогену, вызывающий сайленсинг генов вирулентности, описан и в других патосистемах, в частности: хлопчатник – *Verticillium dahliae*, пшеница – *Fusarium graminearum* [30,

31]. При этом патогены также могут транспортировать в заражаемый организм собственные микроРНК, способствуя подавлению иммунного ответа и защитных систем растения [15]. Возбудитель желтой ржавчины зерновых *Puccinia striiformis* продуцирует микроРНК-подобную РНК, ослабляющую экспрессию защитных генов [39]. Перенос специфических микроРНК *Hyaloperonospora arabidopsidis* и *Botrytis cinerea* в клетки арабидопсиса нарушает экспрессию белка AGO1 и, таким образом, нагрузку растительных нановезикул защитными микроРНК [40].

Способы загрузки нановезикул

Долгое время оставался нерешенным вопрос о наличии в клетках растений молекулярного механизма, регулирующего специфический состав экзосом. Было установлено, что профиль микроРНК нановезикул разительно отличается от профиля всех микроРНК клетки [19], что указывает на селективный характер их транспорта. Оказалось, что в белковой фракции ассоциированных с нановезикулами белками TET содержится несколько РНК-связывающих белков: AGO1 (от англ. argonaute), хеликазы и аннексины. Причем AGO1 – единственный представитель данного семейства белков, который секретируется нановезикулами и связывается именно с экзосомальными, а не клеточными микроРНК [41]. Аннексины, напротив, демонстрируют неспецифическое связывание с микроРНК, но играют важную роль в их стабилизации в составе экзосом. Комплекс ESCRT одновременно участвует в загрузке интралюминальных везикул как убиквитинилированными белками, которые в дальнейшем разрушаются лизосомами (рис. 1, 4б), так и секретируемыми в составе экзосом (рис. 1, 4а), однако точный механизм отбора белков для того или иного пути до сих пор остается не до конца изучен [8]. ESCRT-независимый путь транспортировки пока описан для относительно небольшого количества белков и, вероятно, может быть задействован в определенных узкоспециализированных процессах [9].



Рис. 3. Способы загрузки нановезикул. Прямоугольниками обозначены общие стратегии и подходы, овалами – механизмы транспортировки молекул в экзосомы (ссылки см. в тексте)

В настоящее время наибольшее число исследований посвящено использованию нативных экзосом, содержащих присущие данному виду растения биомолекулы: белки, микроРНК, вторичные метаболиты [35]. При этом терапевтический потенциал нативных нановезикул определяется главным образом видом растения [7]. Стоит отметить, что в литературе пока отсутствуют сведения о какой-либо нежелательной реакции со стороны организма-реципиента, индуцированной введением растительных нановезикул, что указывает на их безопасность и биосовместимость.

Состав экзосом также может быть искусственно изменен за счет введения как высоко-, так и низкомолекулярных целевых молекул (рис. 3). Выделяют два основных способа загрузки нановезикул: активный и пассивный. Активная загрузка включает такие методы, как обработка ультразвуком, экструзия и циклы замораживания и оттаивания, которые временно разрушают мембрану нановезикул, позволяя различным соединениям диффундировать внутрь, после чего мембрана восстанавливается [42]. Пассивная загрузка представляет собой инкубацию, в течение которой происходит загрузка экзосом лекарственными препаратами. На сегодняшний день существует 2 основных метода: инкубация нановезикул с терапевтическим соединением [43] и инкубация с клетками-донорами целевых молекул [44].

Терапевтические эффекты растительных нановезикул

В последнее десятилетие внимание исследователей привлекает возможность использования экзосом растений в качестве системы доставки лекарств. Растительное происхождение и высокая биосовместимость, а также универсальный терапевтический потенциал экзосом дает им преимущество перед синтетическими липосомами, используемыми как наноносители.

В настоящее время известно четыре основных способа введения нановезикул в организм: пероральный, трансдермальный, интраназальный и внутривенный. Выбор конкретного способа зависит от цели терапии, вводимого вещества, а также целевого органа пациента.

Пероральный способ является наиболее простым. Так как нановезикулы не подвергаются расщеплению пищевыми ферментами, они могут долго сохраняться в организме реципиента. Преимущественно этот способ выбирают при терапии желудка, толстой кишки, верхней подвздошной кишки и печени [45].

Трансдермальный способ используют в основном для доставки в кожные покровы и кровеносную систему. Существует два пути проникновения нановезикул при трансдермальном применении: физические каналы кожи с достаточным микрометровым диаметром для прохода к сосудам, а также через роговой слой. Предполагается, что после нанесения нановезикул на кожу происходит их проникновение через поверхность богатых липидами каналов на волосяных фолликулах. Нановезикулы могут достигать волосяных стержней, попадая в клетки волосяного матрикса и продвигаясь дальше путем дифференцировки клеток или путем прямого проникновения в волосяные стержни с кончика волоса. Другой путь проникновения в дерму – через роговой слой. Нановезикулы способны проникать в кожу по трансфолликулярным путям, так как их поверхность имеет бислойную гибкую структуру [46].

Интраназальная доставка требует меньших доз и приводит к более быстрому эффекту за счет всасывания терапевтического средства через слизистую носа, создает высокую концентрацию нановезикул в системном кровотоке и позволяет избежать эффекта первого прохождения препарата через печень, что, в свою очередь, позволяет использовать меньшие концентрации вещества [47]. Этот способ введения преимущественно выбирают для таргетной терапии легких и головного мозга.

Наименее распространенным способом введения нановезикул является внутривенный. Он позволяет максимально быстро создать необходимую концентрацию лекарственного препарата в крови и в органе, на который необходимо воздействовать, но при этом имеется определенный риск возникновения побочных эффектов [48].

Было обнаружено, что экзосомы растений обладают выраженным противовоспалительным действием, участвуя в регуляции иммунного ответа. Благодаря способности экзосом к межвидовой транслокализации содержащиеся в них молекулы регулируют взаимодействие между кишечной микробиотой и иммунной системой хозяина, что приводит к гомеостатическому балансу [49]. При рецидивирующих воспалительных заболеваниях кишечника, таких как колит, кишечные макрофаги теряют свои толерогенные свойства. В. Wang с соавторами показали, что экзосомы, выделенные из грейпфрута, оказывают благотворное влияние на иммунный гомеостаз кишечника, усиливая противовоспалительную способность кишечных макрофагов, что в конечном итоге облегчает колит у мышей. После успешного захвата экзосом кишечными макрофагами, в них активировалась экспрессия гемоксигеназы-1 и интерлейкина (IL)-10, но в то же время подавлялась транскрипционная активность IL-6, IL-1b и фактора некроза опухоли [30]. Кроме того, нановезикулы осуществляли доставку нарингина, ключевого флаванона грейпфрута. При высвобождении из экзосом нарингин гидролизует кишечной микробиотой в его активный метаболит нарингенин, который оказывает противоопухолевое действие на модели колита у мышей, вызванного декстраном сульфата натрия [50]. Также сообщалось, что микроРНК экзосом из имбиря и грейпфрута способны специфически подавлять экспрессию генов кишечного пробиотика *Lactobacillus rhamnosus* у мышей [45].

Значительное количество исследований посвящено нановезикулам, выделенным из имбиря. Например, при загрузке их доксорубицином с целью его доставки в опухолевые клетки толстой кишки нановезикулы эффективно внедрялись в клетки опухолевой модели толстой кишки и подавляли их рост. Предположительно, нановезикулы высвобождают доксорубицин при кислом pH внеклеточной микросреды опухолей и уменьшают побочные эффекты доксорубицина [48]. Более того, экзосомы имбиря показали многообещающие результаты в сокращении колоректального онкогенеза мышей за счет уменьшения уровня провоспалительных цитокинов, а также подавления пролиферации и апоптоза эпителиальных клеток кишечника посредством снижения экспрессии циклина D1, который является маркером на ранних стадиях развития рака [51]. Наряду с вышеперечисленными эффектами экзосом имбиря известно успешное подавление ими роста опухоли за счет снижения уровня экспрессии гена сурвивина путем внутривенной нановезикулярной доставки микроРНК [52].

Противоопухолевое действие проявляют также нановезикулы из винограда. Эффект достигался за счет увеличения экспрессии генов *Lgr5*, *BM11*, служащих

маркерами стволовых клеток кишечника, и генов, регулирующих рост и пролиферацию стволовых клеток [53]. Кроме того, было установлено, что нановезикулы из лимонного сока способны ингибировать пролиферацию клеток линий карциномы легких человека A549, хронического миелоидного лейкоза LAMA84 и колоректальной аденокарциномы человека, активируя апоптотическую гибель клеток [54].

Стоит отметить, что помимо противоопухолевого действия известно об использовании экзосом растений в регенеративной медицине. Было показано, что нановезикулы винограда способны проникать в стволовые клетки кишечника, индуцировать их пролиферацию и тем самым способствовать регенерации эпителиальной ткани посредством регуляции экспрессии генов *SOX2*, *Oct4* и *Klf4*, ответственных за плюрипотентность [55]. Нановезикулы имбиря проявляли гепатопротекторную активность, снижая генерацию активных форм кислорода в поврежденной алкоголем печени мышей. Благодаря биоактивным компонентам они могут повлиять на активацию ядерного фактора NRF2. Как известно, стимуляция NRF2 приводит к экспрессии генов детоксикации печени и антиоксидантов, что в совокупности способствует гепатопротекции [48]. Также в аналогичном исследовании было показано, что нановезикулы, выделенные из брокколи, оказывают профилактическое и терапевтическое действие на острый и хронический колит, повышая уровень противовоспалительных цитокинов, а также сохраняют кишечную среду с минимальными побочными реакциями за счет регуляции АМФ-активированной киназы, контролирующей энергетический баланс клетки [49]. Нановезикулы из корней женьшеня оказывали антивозрастное и антипигментационное воздействие на дермальные фибробласты человека, обработанные ультрафиолетовым излучением, путем подавления активности β -галактозидазы, а также белков меланогенеза [55]. Нановезикулы были выделены и из пшеницы с целью изучения их влияния на регенерацию кожи на примере первичной линии клеток дермальных фибробластов человека HDF, линии клеток кератиноцитов человека HaCaT и эндотелиальных клеток пупочной вены человека HUVEC в исследованиях *in vitro*. Было показано повышение уровня экспрессии коллагена 1-го типа. Помимо пролиферативных и миграционных эффектов нановезикулы являются проангиогенными по своей природе, вызывая образование трубчатой структуры в линии HUVEC человека, предположительно, они обладают способностью индуцировать образование сосудов при заживлении ран [56].

На примере нановезикул из грейпфрута, нагруженных метотрексатом, исследованы иммунологические реакции организма. При пероральном введении таких везикул они эффективно таргетируют мышинные макрофаги F4/80, локализованные в кишечнике, посредством микропиноцитоза и клатрин-зависимых клеточных путей поглощения. После введения нановезикул приостановилось уменьшение веса и сокращение длины толстой кишки. Наряду с очевидной противовоспалительной реакцией также снизилась продукция провоспалительных цитокинов TNF- α , IL-1 β и IL-6. Побочные эффекты при применении метотрексата в составе нановезикул значительно уменьшались [30]. Кроме того, микроРНК в нановезикулах, полученных из имбиря и грейпфрута, нацеленная на гены кишечного пробиотика *Lactobacillus rhamnosus*, увеличивает его рост в кишечнике мышей и стимулирует антимикробный иммунитет, обеспечивая благополучие микрофлоры кишечника [57]. Известны аналогичные исследования с использованием нановезикул из брокколи, винограда и моркови, что подтверждает значительный

потенциал нановезикул в модуляции иммунологических реакций [45]. Некоторые примеры терапевтического воздействия растительных нановезикул приведены в табл. 3.

Таблица 3

Терапевтические эффекты нановезикул из растений

Источник	Характеристика	Терапевтические эффекты	Ссылка
Лимон (<i>Citrus limon</i>)	Размеры от 50 до 80 нм, содержат белки HSP70 и HSP80	Противоопухолевая активность	[54]
Грейпфрут (<i>Citrus paradisi</i>)	Размер 82,7 нм, заряд -13,9 мВ	Таргетная доставка микроРНК, анти-микробная активность	[30]
Имбирь (<i>Zingiber officinale</i>)	Размер 189,5 нм, заряд -18,1 мВ	Способность к таргетной доставке, противоопухолевая, гепатопротекторная и антимикробная активность	[58]
Виноград (<i>Vitis vinifera</i>)	Размер 37,47 нм, заряд в диапазоне от -69,6 мВ до +2,52 мВ	Противоопухолевая, антимикробная и регенеративная активность, индукция пролиферации стволовых клеток	[53]
Морковь (<i>Daucus carota</i>)	Размер 150 нм, заряд -10,2 мВ	Стимуляция антиоксидантной системы, активация регенерации кишечного эпителия и антимикробная активность	[45]
Пшеница (<i>Triticum aestivum</i>)	Размеры от 40 до 100 нм, содержат белок HSP70	Индукция заживления ран	[56]
Брокколи (<i>Brassica oleracea</i>)	Размеры от 18,3 до 118,2 нм, заряд -17,1 мВ	Профилактическое и терапевтическое действие на острый и хронический колит	[49]
Женьшень (<i>Panax ginseng</i>)	Размер 92,04 нм	Антивозрастное и антипигментационное действие на дермальные фибробласты человека и меланоциты человека	[55]

Заключение

Регулируемое образование нановезикул, придание им специфической биологической активности и клеточной таргетированности, а также возможность масштабирования производства нановезикул растений представляет значительный интерес для практического использования. Наряду с тем, что использование экзосом человека в отдельных случаях по своей эффективности стоит в одном ряду с терапией стволовыми клетками, уже сегодня существует ряд успешных примеров медицинского применения нановезикул растений. Однако, поскольку свойства и состав нановезикул из многих видов растений остаются не полностью изученными, требуются дальнейшие исследования, направленные на стандартизацию протоколов их выделения и характеристики, разработку технологий хранения, эффективной нагрузки и улучшения таргетированности по отношению к определенным типам клеток. Открытым для исследования остается вопрос о количественной роли экзосом у организмов, их продуцирующих, как переносчиков активных веществ и биологической информации в естественных условиях.

На данный момент требуются новые знания о биогенезе экзосом растительно-го происхождения ввиду относительной малоизученности процессов, лежащих в основе их образования у разных видов. Более глубокое понимание механизмов формирования нановезикул у растений, а также факторов окружающей среды, влияющих на их количество и содержание в них биологически активных молекул, необходимо для оптимизации производства препаратов на основе экзосом растений. Дальнейшее изучение регуляции свойств растительных нановезикул с помощью методов метаболической и генетической инженерии растений-продуцентов имеет особую актуальность ввиду возможности управления количеством и составом таких естественных компонентов экзосом, как низкомолекулярные биологически активные вещества и малые РНК. Пероральное применение препаратов экзосом будет требовать макроскопических количеств очищенного препарата и, следовательно, технология производства различных типов экзосом должна быть максимально оптимизирована. По этим же причинам крайне важно будет подтвердить в многочисленных экспериментах стабильность и безопасность естественных нановезикул при использовании в качестве средств доставки в различных матрицах пищевых продуктов.

В целом растительные везикулы характеризуются низкой иммуногенностью, отсутствием цитотоксичности, естественной противовоспалительной активностью и высокой биосовместимостью. Совместно эти качества позволят им внести важный вклад в разработку терапевтических препаратов для наномедицины.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Yang M., Liu X., Luo Q., Xu L., Chen F. An efficient method to isolate lemon derived extracellular vesicles for gastric cancer therapy // *J. Nanobiotechnology*. 2020. Vol. 18, N 1. Article number: 100.
2. György B., Szabó T.G., Pásztói M. et al. Membrane vesicles, current state-of-the-art: Emerging role of extracellular vesicles // *Cell. Mol. Life Sci.* 2011. Vol. 68, N 16. P. 2667–2688.
3. An Q., Bel A.J.E. van Hückelhoven R. Do plant cells secrete exosomes derived from multivesicular bodies? // *Plant Signal. Behav.* 2007. Vol. 2, N 1. P. 4–7.
4. Garaeva L., Kamyshinsky R., Kil Y. et al. Delivery of functional exogenous proteins by plant-derived vesicles to human cells *in vitro* // *Sci. Rep.* 2021. Vol. 11, N 1. Article number: 6489.
5. Pérez-Bermúdez P., Blesa J., Soriano J.M., Marcella A. Extracellular vesicles in food: Experimental evidence of their secretion in grape fruits // *Eur. J. Pharm. Sci.* 2017. Vol. 98. P. 40–50.
6. Li X., Bao H., Wang Z. et al. Biogenesis and function of multivesicular bodies in plant immunity // *Front. Plant Sci.* 2018. Vol. 9. Article number: 979.
7. Hessvik N.P., Llorente A. Current knowledge on exosome biogenesis and release // *Cell. Mol. Life Sci.* 2018. Vol. 75, N 2. P. 193–208.
8. Stuffers S., Sem Wegner C., Stenmark H., Brech A. Multivesicular endosome biogenesis in the absence of ESCRTs // *Traffic*. 2009. Vol. 10, N 7. P. 925–937.
9. Niel G. van D'Angelo G., Raposo G. Shedding light on the cell biology of extracellular vesicles // *Nat. Rev. Mol. Cell Biol.* 2018. Vol. 19, N 4. P. 213–228.
10. Cui Y., Gao J., He Y., Jiang L. Plant extracellular vesicles // *Protoplasma*. 2020. Vol. 257, N 1. P. 3–12.
11. Kalluri R., LeBleu V.S. The biology, function, and biomedical applications of exosomes // *Science*. 2020. Vol. 367, N 6478. Article number: eaau6977.
12. An Q., Ehlers K., Kogel K.-H., Van Bel A.J.E., Hückelhoven R. Multivesicular compartments proliferate in susceptible and resistant *MLA12*-barley leaves in response to infection by the biotrophic powdery mildew fungus // *New Phytol.* 2006. Vol. 172, N 3. P. 563–576.
13. Rutter B.D., Innes R.W. Extracellular vesicles isolated from the leaf apoplast carry stress-response proteins // *Plant Physiol.* 2017. Vol. 173, N 1. P. 728–741.

14. Akuma P., Okagu O.D., Udenigwe C.C. Naturally occurring exosome vesicles as potential delivery vehicle for bioactive compounds // *Front. Sustain. Food Syst.* 2019. Vol. 3. Article number: 23.
15. Cai Q., He B., Wang S. et al. Message in a bubble: shuttling small RNAs and proteins between cells and interacting organisms using extracellular vesicles // *Annu. Rev. Plant Biol.* 2021. Vol. 72. P. 497–524.
16. Samuel M., Bleackley M., Anderson M., Mathivanan S. Extracellular vesicles including exosomes in cross kingdom regulation: a viewpoint from plant-fungal interactions // *Front. Plant Sci.* 2015. Vol. 6. Article number: 766.
17. Burkova E.E., Grigor'eva A.E., Bulgakov D.V. et al. Extra purified exosomes from human placenta contain an unpredictable small number of different major proteins // *Int. J. Mol. Sci.* 2019. Vol. 20, N 10. Article number: 2434.
18. Woith E., Guerriero G., Hausman J.-F. et al. Plant extracellular vesicles and nanovesicles: Focus on secondary metabolites, proteins and lipids with perspectives on their potential and sources // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22, N 7. Article number: 3719.
19. Cai Q., Qiao L., Wang M. et al. Plants send small RNAs in extracellular vesicles to fungal pathogen to silence virulence genes // *Science.* 2018. Vol. 360, N 6393. P. 1126–1129.
20. Pocsfalvi G., Turiák L., Ambrosone A. et al. Protein biocargo of citrus fruit-derived vesicles reveals heterogeneous transport and extracellular vesicle populations // *J. Plant Physiol.* 2018. Vol. 229. P. 111–121.
21. Jimenez-Jimenez S., Hashimoto K., Santana O. et al. Emerging roles of tetraspanins in plant inter-cellular and inter-kingdom communication // *Plant Signal. Behav.* 2019. Vol. 14, N 4. Article number: e1581559.
22. Caillaud M.-C., Wirthmueller L., Sklenar J. et al. The plasmodesmal protein PDL1 localises to haustoria-associated membranes during downy mildew infection and regulates callose deposition // *PLoS Pathog.* 2014. Vol. 10, N 10. Article number: e1004496.
23. Liu D., Song Y., Chen Z., Yu D. Ectopic expression of miR396 suppresses *GRF* target gene expression and alters leaf growth in *Arabidopsis* // *Physiol. Plant.* 2009. Vol. 136, N 2. P. 223–236.
24. Xiao J., Feng S., Wang X. et al. Identification of exosome-like nanoparticle-derived microRNAs from 11 edible fruits and vegetables // *PeerJ.* 2018. Vol. 6. Article number: e5186.
25. Jones-Rhoades M.W., Bartel D.P. Computational identification of plant microRNAs and their targets, including a stress-induced miRNA // *Mol. Cell.* 2004. Vol. 14, N 6. P. 787–799.
26. Zhou Z., Li X., Liu J. et al. Honeysuckle-encoded atypical microRNA2911 directly targets influenza A viruses // *Cell Res.* 2015. Vol. 25, N 1. P. 39–49.
27. Fairfax B.P., Vannberg F.O., Radhakrishnan J. et al. An integrated expression phenotype mapping approach defines common variants in *LEP*, *ALOX15* and *CAPNS1* associated with induction of IL-6 // *Hum. Mol. Genet.* 2010. Vol. 19, N 4. P. 720–730.
28. Kalarikkal S.P., Sundaram G.M. Edible plant-derived exosomal microRNAs: exploiting a cross-kingdom regulatory mechanism for targeting SARS-CoV-2 // *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2021. Vol. 414. Article number: 115425.
29. Liang G., Zhu Y., Sun B. et al. Assessing the survival of exogenous plant microRNA in mice // *Food Sci. Nutr.* 2014. Vol. 2, N 4. P. 380–388.
30. Wang B., Zhuang X., Deng Z.B. et al. Targeted drug delivery to intestinal macrophages by bioactive nanovesicles released from grapefruit // *Mol. Ther.* 2014. Vol. 22, N 3. P. 522–534.
31. Campo S., Peris-Peris C., Sire C. et al. Identification of a novel microRNA (miRNA) from rice that targets an alternatively spliced transcript of the *Nramp6* (*natural resistance-associated macrophage protein 6*) gene involved in pathogen resistance // *New Phytol.* 2013. Vol. 199, N 1. P. 212–227.
32. Kalarikkal S.P., Sundaram G.M. Inter-kingdom regulation of human transcriptome by dietary microRNAs: emerging bioactives from edible plants to treat human diseases? // *Trends Food Sci. Technol.* 2021. Vol. 118, pt A. P. 723–734.
33. Liang H., Zhang S., Fu Z. et al. Effective detection and quantification of dietetically absorbed plant microRNAs in human plasma // *J. Nutr. Biochem.* 2015. Vol. 26, N 5. P. 505–512.
34. Hansen L.L., Nielsen M.E. Plant exosomes: using an unconventional exit to prevent pathogen entry? // *J. Exp. Bot.* 2017. Vol. 69, N 1. P. 59–68.
35. Dad H.A., Gu T.W., Zhu A.Q. et al. Plant exosome-like nanovesicles: emerging therapeutics and drug delivery nanoplatfroms // *Mol. Ther.* 2021. Vol. 29, N 1. P. 13–31.
36. Frey N.F. dit, Robatzek S. Trafficking vesicles: pro or contra pathogens? // *Curr. Opin. Plant Biol.* 2009. Vol. 12, N 4. P. 437–443.
37. Wang F., Shang Y., Fan B. et al. *Arabidopsis* LIP5, a positive regulator of multivesicular body biogenesis, is a critical target of pathogen-responsive MAPK cascade in plant basal defense // *PLoS Pathog.* 2014. Vol. 10, N 7. Article number: e1004243.

38. Meyer D., Pajonk S., Micali C. et al. Extracellular transport and integration of plant secretory proteins into pathogen-induced cell wall compartments // *Plant J.* 2009. Vol. 57, N 6. P. 986–999.
39. Wang B., Sun Y., Song N. et al. *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* microRNA-like RNA 1 (*Pst-milR1*), an important pathogenicity factor of *Pst*, impairs wheat resistance to *Pst* by suppressing the wheat pathogenesis-related 2 gene // *New Phytol.* 2017. Vol. 215, N 1. P. 338–350.
40. Weiberg A., Wang M., Lin F.M. et al. Fungal small RNAs suppress plant immunity by hijacking host RNA interference pathways // *Science.* 2013. Vol. 342, N 6154. P. 118–123.
41. He B., Cai Q., Qiao L. et al. RNA-binding proteins contribute to small RNA loading in plant extracellular vesicles // *Nat. Plants.* 2021. Vol. 7. P. 342–352.
42. Fuhrmann G., Serio A., Mazo M., Nair R., Stevens M.M. Active loading into extracellular vesicles significantly improves the cellular uptake and photodynamic effect of porphyrins // *J. Control. Release.* 2015. Vol. 205. P. 35–44.
43. Vashisht M., Rani P., Onteru S.K., Singh D. Curcumin encapsulated in milk exosomes resists human digestion and possesses enhanced intestinal permeability *in vitro* // *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2017. Vol. 183. P. 993–1007.
44. Luan X., Sansanaphongpricha K., Myers I. et al. Engineering exosomes as refined biological nanoplatforams for drug delivery // *Acta Pharmacol. Sin.* 2017. Vol. 38. P. 754–763.
45. Mu J., Zhuang X., Wang Q. et al. Interspecies communication between plant and mouse gut host cells through edible plant derived exosome-like nanoparticles // *Mol. Nutr. Food Res.* 2014. Vol. 58, N 7. P. 1561–1573.
46. Gu T.W., Wang M.Z., Niu J. et al. Outer membrane vesicles derived from *E. coli* as novel vehicles for transdermal and tumor targeting delivery // *Nanoscale.* 2020. Vol. 12, N 36. P. 18965–18977.
47. Moss L.D., Sode D., Patel R., Lui A., Hudson C., Patel N.A., Bickford P.C. Intranasal delivery of exosomes from human adipose derived stem cells at forty-eight hours post injury reduces motor and cognitive impairments following traumatic brain injury // *Neurochem Int.* 2021. Vol. 150. Article number: 105173.
48. Zhuang X., Deng Z.B., Mu J. et al. Ginger-derived nanoparticles protect against alcohol-induced liver damage // *J. Extracell. Vesicles.* 2015. Vol. 4, N 1. Article number: 28713.
49. Deng Z., Rong Y., Teng Y. et al. Broccoli-derived nanoparticle inhibits mouse colitis by activating dendritic cell amp-activated protein kinase // *Mol. Ther.* 2017. Vol. 25, N 7. P. 1641–1654.
50. Inês Amaro M., Rocha J., Vila-Real H. et al. Anti-inflammatory activity of naringin and the biosynthesised naringenin by naringinase immobilized in microstructured materials in a model of DSS-induced colitis in mice // *Food Res. Int.* 2009. Vol. 42, N 8. P. 1010–1017.
51. Zhang M., Viennois E., Prasad M. et al. Edible ginger-derived nanoparticles: a novel therapeutic approach for the prevention and treatment of inflammatory bowel disease and colitis-associated cancer // *Biomaterials.* 2016. Vol. 101. P. 321–340.
52. Li Z., Wang H., Yin H. et al. Arrowtail RNA for ligand display on ginger exosome-like nanovesicles to systemic deliver siRNA for cancer suppression // *Sci. Rep.* 2018. Vol. 8, N 1. Article number: 14644.
53. Ju S., Mu J., Dokland T. et al. Grape exosome-like nanoparticles induce intestinal stem cells and protect mice from DSS-induced colitis // *Mol. Ther.* 2013. Vol. 21, N 7. P. 1345–1357.
54. Raimondo S., Naselli F., Fontana S. et al. *Citrus limon*-derived nanovesicles inhibit cancer cell proliferation and suppress CML xenograft growth by inducing TRAIL-mediated cell death // *Oncotarget.* 2015. Vol. 6, N 23. P. 19514–19527.
55. Cho E.G., Choi S.Y., Kim H. et al. *Panax ginseng*-derived extracellular vesicles facilitate anti-senescence effects in human skin cells: an eco-friendly and sustainable way to use ginseng substances // *Cells.* 2021. Vol. 10, N 3. Article number: 486.
56. Şahin F., Koçak P., Güneş M.Y. et al. *In vitro* wound healing activity of wheat-derived nanovesicles // *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2019. Vol. 188, N 2. P. 381–394.
57. Suharta S., Barlian A., Hidajah A.C. et al. Plant-derived exosome-like nanoparticles: a concise review on its extraction methods, content, bioactivities, and potential as functional food ingredient // *J. Food Sci.* 2021. Vol. 86, N 7. P. 2838–2850.
58. Lin Y., Lu Y., Li X. Biological characteristics of exosomes and genetically engineered exosomes for the targeted delivery of therapeutic agents // *J. Drug Target.* 2020. Vol. 28, N 2. P. 129–141.

REFERENCES

1. Yang M., Liu X., Luo Q., Xu L., Chen F. An efficient method to isolate lemon derived extracellular vesicles for gastric cancer therapy. *J. Nanobiotechnology*. 2020;18(1):100.
2. György B., Szabó T.G., Pásztói M. et al. Membrane vesicles, current state-of-the-art: Emerging role of extracellular vesicles. *Cell. Mol. Life Sci*. 2011;68(16):2667-2688.
3. An Q., Bel A.J.E. van, Hüchelhoven R. Do plant cells secrete exosomes derived from multivesicular bodies? *Plant Signal. Behav*. 2007;2(1):4-7.
4. Garaeva L., Kamyshinsky R., Kil Y. et al. Delivery of functional exogenous proteins by plant-derived vesicles to human cells *in vitro*. *Sci. Rep*. 2021;11(1):6489.
5. Pérez-Bermúdez P., Blesa J., Soriano J.M., Marcilla A. Extracellular vesicles in food: Experimental evidence of their secretion in grape fruits. *Eur. J. Pharm. Sci*. 2017;98:40-50.
6. Li X., Bao H, Wang Z. et al. Biogenesis and function of multivesicular bodies in plant immunity. *Front. Plant Sci*. 2018;9:979.
7. Hessvik N.P., Llorente A. Current knowledge on exosome biogenesis and release. *Cell. Mol. Life Sci*. 2018;75(2):193-208.
8. Stuffers S., Sem Wegner C., Stenmark H., Brech A. Multivesicular endosome biogenesis in the absence of ESCRTs. *Traffic*. 2009;10(7):925-937.
9. Niel G. van D'Angelo G., Raposo G. Shedding light on the cell biology of extracellular vesicles. *Nat. Rev. Mol. Cell Biol*. 2018;19(4):213-228.
10. Cui Y., Gao J., He Y., Jiang L. Plant extracellular vesicles. *Protoplasma*. 2020;257(1):3-12.
11. Kalluri R., LeBleu V.S. The biology, function, and biomedical applications of exosomes. *Science*. 2020;367:eaau6977.
12. An Q., Ehlers K., Kogel K.-H., Van Bel A.J.E., Hüchelhoven R. Multivesicular compartments proliferate in susceptible and resistant *MLA12*-barley leaves in response to infection by the biotrophic powdery mildew fungus. *New Phytol*. 2006;172(3):563-576.
13. Rutter B.D., Innes R.W. Extracellular vesicles isolated from the leaf apoplast carry stress-response proteins. *Plant Physiol*. 2017;173(1):728-741.
14. Akuma P., Okagu O.D., Udenigwe C.C. Naturally occurring exosome vesicles as potential delivery vehicle for bioactive compounds. *Front. Sustain. Food Syst*. 2019;3:23.
15. Cai Q., He B., Wang S. et al. Message in a bubble: shuttling small RNAs and proteins between cells and interacting organisms using extracellular vesicles. *Annu. Rev. Plant Biol*. 2021;72:497-524.
16. Samuel M., Bleackley M., Anderson M., Mathivanan S. Extracellular vesicles including exosomes in cross kingdom regulation: a viewpoint from plant-fungal interactions. *Front. Plant Sci*. 2015;6:766.
17. Burkova E.E., Grigor'eva A.E., Bulgakov D.V. et al. Extra purified exosomes from human placenta contain an unpredictable small number of different major proteins. *Int. J. Mol. Sci*. 2019;20(10):2434.
18. Woith E., Guerriero G., Hausman J.-F. et al. Plant extracellular vesicles and nanovesicles: Focus on secondary metabolites, proteins and lipids with perspectives on their potential and sources. *Int. J. Mol. Sci*. 2021;22(7):3719.
19. Cai Q., Qiao L., Wang M. et al. Plants send small RNAs in extracellular vesicles to fungal pathogen to silence virulence genes. *Science*. 2018;360(6393):1126-1129.
20. Pocsfalvi G., Turiák L., Ambrosone A. et al. Protein biocargo of citrus fruit-derived vesicles reveals heterogeneous transport and extracellular vesicle populations. *J. Plant Physiol*. 2018;229:111-121.
21. Jimenez-Jimenez S., Hashimoto K., Santana O., Aguirre J., Kuchitsu K. Emerging roles of tetraspansins in plant inter-cellular and inter-kingdom communication. *Plant Signal. Behav*. 2019;14(4):e1581559.
22. Caillaud M.-C., Wirthmueller L., Sklenar J. et al. The plasmodesmal protein PDLP1 localises to haustoria-associated membranes during downy mildew infection and regulates callose deposition. *PLoS Pathog*. 2014;10(10):e1004496.
23. Liu D., Song Y., Chen Z., Yu D. Ectopic expression of miR396 suppresses *GRF* target gene expression and alters leaf growth in *Arabidopsis*. *Physiol. Plant*. 2009;136(2):223-236.
24. Xiao J., Feng S., Wang X. et al. Identification of exosome-like nanoparticle-derived microRNAs from 11 edible fruits and vegetables. *Peer J*. 2018;6:e5186.
25. Jones-Rhoades M.W., Bartel D.P. Computational identification of plant microRNAs and their targets, including a stress-induced miRNA. *Mol. Cell*. 2004;14(6):787-799.
26. Zhou Z., Li X., Liu J. et al. Honeysuckle-encoded atypical microRNA2911 directly targets influenza A viruses. *Cell Res*. 2015;25(1):39-49.

27. Fairfax B.P., Vannberg F.O., Radhakrishnan J. et al. An integrated expression phenotype mapping approach defines common variants in *LEP*, *ALOX15* and *CAPNS1* associated with induction of IL-6. *Hum. Mol. Genet.* 2010;19(4):720-730.
28. Kalarikkal S.P., Sundaram G.M. Edible plant-derived exosomal microRNAs: exploiting a cross-kingdom regulatory mechanism for targeting SARS-CoV-2. *Toxicol. Appl. Pharmacol.* 2021;414:115425.
29. Liang G., Zhu Y., Sun B. et al. Assessing the survival of exogenous plant microRNA in mice. *Food Sci. Nutr.* 2014;2(4):380-388.
30. Wang B., Zhuang X., Deng Z.B. et al. Targeted drug delivery to intestinal macrophages by bioactive nanovesicles released from grapefruit. *Mol. Ther.* 2014;22(3):522-534.
31. Campo S., Peris-Peris C., Sire C. et al. Identification of a novel microRNA (miRNA) from rice that targets an alternatively spliced transcript of the *Nramp6* (natural resistance-associated macrophage protein 6) gene involved in pathogen resistance. *New Phytol.* 2013;199(1):212-227.
32. Kalarikkal S.P., Sundaram G.M. Inter-kingdom regulation of human transcriptome by dietary microRNAs: emerging bioactives from edible plants to treat human diseases? *Trends Food Sci. Technol.* 2021;118(A):723-734.
33. Liang H., Zhang S., Fu Z. et al. Effective detection and quantification of dietetically absorbed plant microRNAs in human plasma. *J. Nutr. Biochem.* 2015;26(5):505-512.
34. Hansen L.L., Nielsen M.E. Plant exosomes: using an unconventional exit to prevent pathogen entry? *J. Exp. Bot.* 2017;69(1):59-68.
35. Dad H.A., Gu T.W., Zhu A.Q. et al. Plant exosome-like nanovesicles: emerging therapeutics and drug delivery nanoplateforms. *Mol. Ther.* 2021;29(1):13-31.
36. Frey N.F. dit, Robatzek S. Trafficking vesicles: pro or contra pathogens? *Curr. Opin. Plant Biol.* 2009;12(4):437-443.
37. Wang F., Shang Y., Fan B. et al. Arabidopsis LIP5, a positive regulator of multivesicular body biogenesis, is a critical target of pathogen-responsive MAPK cascade in plant basal defense. *PLoS Pathog.* 2014;10(7):e1004243.
38. Meyer D., Pajonk S., Micali C. et al. Extracellular transport and integration of plant secretory proteins into pathogen-induced cell wall compartments. *Plant J.* 2009;57(6):986-999.
39. Wang B., Sun Y., Song N. et al. *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* microRNA-like RNA 1 (*Pst-milR1*), an important pathogenicity factor of *Pst*, impairs wheat resistance to *Pst* by suppressing the wheat pathogenesis-related 2 gene. *New Phytol.* 2017;215(1):338-350.
40. Weiberg A., Wang, M., Lin, F.M. et al. Fungal small RNAs suppress plant immunity by hijacking host RNA interference pathways. *Science.* 2013;342(6154):118-123.
41. He B., Cai Q., Qiao L. et al. RNA-binding proteins contribute to small RNA loading in plant extracellular vesicles. *Nat. Plants.* 2021;7:342-352.
42. Fuhrmann G., Serio A., Mazo M., Nair R., Stevens M.M. Active loading into extracellular vesicles significantly improves the cellular uptake and photodynamic effect of porphyrins. *J. Control. Release.* 2015;205:35-44.
43. Vashisht M., Rani P., Onteru S.K., Singh D. Curcumin encapsulated in milk exosomes resists human digestion and possesses enhanced intestinal permeability *in vitro*. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2017;183:993-1007.
44. Luan X., Sansanaphongpricha K., Myers I. et al. Engineering exosomes as refined biological nanoplateforms for drug delivery. *Acta Pharmacol. Sin.* 2017;38:754-763.
45. Mu J., Zhuang X., Wang Q. et al. Interspecies communication between plant and mouse gut host cells through edible plant derived exosome-like nanoparticles. *Mol. Nutr. Food Res.* 2014;58(7):1561-1573.
46. Gu T.W., Wang M.Z., Niu J. et al. Outer membrane vesicles derived from: *E. coli* as novel vehicles for transdermal and tumor targeting delivery. *Nanoscale.* 2020;12(36):18965-18977.
47. Moss L.D., Sode D., Patel R., Lui A., Hudson C., Patel N.A., Bickford P.C. Intranasal delivery of exosomes from human adipose derived stem cells at forty-eight hours post injury reduces motor and cognitive impairments following traumatic brain injury. *Neurochem Int.* 2021;150:105173.
48. Zhuang X., Deng Z.B., Mu J. et al. Ginger-derived nanoparticles protect against alcohol-induced liver damage. *J. Extracell. Vesicles.* 2015;4(1):28713.
49. Deng Z., Rong Y., Teng Y. et al. Broccoli-derived nanoparticle inhibits mouse colitis by activating dendritic cell amp-activated protein kinase. *Mol. Ther.* 2017;25(7):1641-1654.
50. Inês Amaro M., Rocha J., Vila-Real H. et al. Anti-inflammatory activity of naringin and the biosynthesised naringenin by naringinase immobilized in microstructured materials in a model of DSS-induced colitis in mice. *Food Res. Int.* 2009;42(8):1010-1017.

51. Zhang M., Viennois E., Prasad M. et al. Edible ginger-derived nanoparticles: a novel therapeutic approach for the prevention and treatment of inflammatory bowel disease and colitis-associated cancer. *Biomaterials*. 2016;101:321-340.
52. Li Z., Wang H., Yin H. et al. Arrowtail RNA for ligand display on ginger exosome-like nanovesicles to systemic deliver sirna for cancer suppression. *Sci. Rep.* 2018;8(1):14644.
53. Ju S., Mu J., Dokland T. et al. Grape exosome-like nanoparticles induce intestinal stem cells and protect mice from DSS-induced colitis. *Mol. Ther.* 2013;21(7):1345-1357.
54. Raimondo S., Naselli F., Fontana S. et al. *Citrus limon*-derived nanovesicles inhibit cancer cell proliferation and suppress CML xenograft growth by inducing TRAIL-mediated cell death. *Oncotarget*. 2015;6(23):19514-19527.
55. Cho E.G., Choi S.Y., Kim H. et al. *Panax ginseng*-derived extracellular vesicles facilitate anti-senescence effects in human skin cells: an eco-friendly and sustainable way to use ginseng substances. *Cells*. 2021;10(3):486.
56. Şahin F., Koçak P., Güneş M.Y. et al. *In vitro* wound healing activity of wheat-derived nanovesicles. *Appl. Biochem. Biotechnol.* 2019;188(2):381-394.
57. Suharta S., Barlian A., Hidajah A.C. et al. Plant-derived exosome-like nanoparticles: a concise review on its extraction methods, content, bioactivities, and potential as functional food ingredient. *J. Food Sci.* 2021;86(7):2838-2850.
58. Lin Y., Lu Y., Li X. Biological characteristics of exosomes and genetically engineered exosomes for the targeted delivery of therapeutic agents. *J. Drug Target.* 2020;28(2):129-141.

Научная статья
УДК 582.5/.9:575.86(571)
DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_4

Появление и ранняя эволюция покрытосеменных Забайкалья и Приморья

Е.В. Бугдаева✉, В.С. Маркевич, Е.Б. Волынец

Евгения Васильевна Бугдаева

кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник
ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия
bugdaeva@biosoil.ru
2<https://orcid.org/0000-0001-6919-9722>

Валентина Саввична Маркевич

доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник
ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия
markevich@biosoil.ru

Елена Борисовна Волынец

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник
ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия
volynets@biosoil.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7168-154X>

Аннотация. В середине мелового периода (около 125–100 млн л.н.) по всему миру возникают представители самого молодого высшего таксона растений – покрытосеменных. Это биотическое событие Чарльз Дарвин назвал «отвратительной тайной», поскольку внезапное их появление бросало безответный вызов эволюционизму. Один из выдающихся естествознателей современности, В.А. Красилов, много лет посвятил разработке проблем высших таксонов, изучая в том числе и процесс становления столь обширной и разветвленной группы, как цветковые, пути и механизмы формирования новых форм жизни. Опираясь на палеоботанические доказательства, он показал сложность и многослойность филогенетических процессов. В.А. Красилов начинал свой путь в науке, работая с ранне-меловой флорой Приморья и позднее значительно расширил географию исследований. В.С. Маркевич сопоставила последовательность развития палинофлоры цветковых на азиатском побережье Тихого океана и в других частях света. Обширный палинологический материал позволил ей разработать схему эволюции морфологии пыльцы покрытосеменных. Выявилась высокая степень синхронности развития этих палиноморф по всему Северному полушарию, что придает им ценность в стратиграфической корреляции. В настоящее время сотрудники лаборатории палеоботаники ФНЦ Биоразнообразия

ДВО РАН продолжают работать по проблеме ранних покрытосеменных. Достигнуты значительные успехи в датировке флороносных толщ (и соответственно, установлен возраст биотических событий) Приморья, реконструкции среды обитания, жизненных форм и таксономического состава первых цветковых.

Ключевые слова: покрытосеменные, меловой период, эволюция, Забайкалье, Приморье

Для цитирования: Бугдаева Е.В., Маркевич В.С., Волынец Е.Б. Появление и ранняя эволюция покрытосеменных Забайкалья и Приморья // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 45–59. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_4.

Благодарности. Авторы благодарны своему учителю и наставнику проф. В.А. Красилову, сформировавшему наше мировоззрение и много сделавшему для нашего становления.

Финансирование. Исследования поддержаны РФФИ (гранты №№ 19-04-00943 и 20-04-00355). Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031500274-4).

Original article

Appearance and early evolution of angiosperms of Transbaikalia and Primorye Region

E.V. Bugdaeva, V.S. Markevich, E.B. Volynets

Eugenia V. Bugdaeva

Candidate of Sciences in Geology and Mineralogy, Leading Researcher
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok,
Russia

bugdaeva@biosoil.ru

<https://orcid.org/0000-0001-6919-9722>

Valentina S. Markevich

Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy, Chief Researcher
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok,
Russia

markevich@biosoil.ru

Elena B. Volynets

Candidate of Sciences in Geology, Senior Researcher
Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS, Vladivostok,
Russia

volynets@biosoil.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7168-154X>

Abstract. In the middle of the Cretaceous period (about 125–100 million years ago), the angiosperms, representatives of the latest higher taxon, appeared all over the world. Charles Darwin called this biotic event “an abominable mystery” because their sudden appearance posed an unanswered challenge to evolutionism. One of the outstanding natural scientists of our time, V.A. Krasilov, devoted many years to solving the problems of higher taxa, studying, among other things,

the process of the formation of such an extensive and branched group as flowering plants, ways and mechanisms of the formation of new life forms. Based on paleobotanical evidences, he showed the complexity and layering of phylogenetic processes. V.A. Krassilov began his career in science, working with the Early Cretaceous flora of Primorye Region, and later significantly expanded the geography of research. V.S. Markevich compared the sequence of development of palynoflora of flowering plants on the Asian coast of the Pacific Ocean and other parts of the world. Extensive palynological material allowed her to develop a scheme for the evolution of angiosperm pollen morphology. A high degree of synchronism in the development of these palynomorphs throughout the Northern Hemisphere was revealed, which makes them valuable in stratigraphic correlation. At present, the staff of the Laboratory of Paleobotany of the Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS continues to work on the problem of early angiosperms. Significant progress has been made in dating the plant-bearing beds (and, accordingly, the age of biotic events) of Primorye Region, the reconstruction of the habitat, life forms and taxonomic composition of the first flowering plants.

Keywords: angiosperms, Cretaceous, evolution, Transbaikalia, Primorye Region

For citation: Bugdaeva E.V., Markevich V.S., Volynets E.B. Appearance and early evolution of angiosperms of Transbaikalia and Primorye Region. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(5):45-59. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_4.

Acknowledgments. The authors are grateful to their teacher and mentor Prof. V.A. Krassilov, who shaped our worldview and did a lot for our development.

Funding. Our research was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grants nos. 19-04-00943, 20-04-00355). The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 121031500274-4).

Введение

Цветковые, или покрытосеменные (Magnoliophyta, или Angiospermae), – это отдел высших растений, важнейшей особенностью которых является наличие специализированного генеративного органа – цветка, выполняющего функции полового размножения. У таких растений семязачатки (семяпочки) заключены в полость завязи, образованной срастанием плодолистика, откуда и произошло название «покрытосеменные растения» (от древнегреческих слов ἀγγύειον – сосуд, σπέρμα – семя). Стенки завязи после оплодотворения разрастаются и видоизменяются, образуя плод. Еще одной существенной особенностью цветковых растений является двойное оплодотворение. В другой группе семенных растений, у голосеменных (Pinophyta, или Gymnospermae), семязачаток не скрыт от опыления, а семена не заключены в истинный плод, но иногда семя могут покрывать мясистые структуры, например у представителей рода *Taxus* (тис).

Цветковые – наиболее многочисленная и разнообразная группа высших растений, доминирующая в большинстве наземных экосистем. По числу видов они превосходят все остальные группы высших растений, их число оценивается примерно в 352 000, по данным Angiosperm Phylogeny Website на февраль 2010 г. Именно к цветковым относятся основные культивируемые растения, от которых в конечном счете зависит существование человечества. Поэтому разработка системы, отражающей историческое развитие цветковых и позволяющей предсказать свойства многих тысяч малоизученных и вновь открываемых видов, имеет не только теоретическое, но и практическое значение.

Система цветковых растений, разработанная на основе морфологического подхода отдельными выдающимися учеными, была выдвинута А. Кронквистом в 1981 г., Р.Ф. Торном в 1992 г. и А.Л. Тахтаджяном в 1997 г. С 1990-х годов стали известны молекулярные данные, проанализированные с помощью кладистических методов, что позволило прояснить представления об отношениях одних групп растений и заставило радикально пересмотреть – других. Три международных группы ботаников-систематиков (Angiosperm Phylogeny Group – APG) разрабатывали консенсусную систему классификации цветковых, построенную в первую очередь на основе молекулярного анализа ДНК. Классификация APG в гораздо большей мере соответствует целям филогенетической систематики, состоящим в том, что классификация растений должна отражать данные о родственных отношениях. В отличие от прежних научных систем классификации, разрабатывавшихся одним-двумя учеными, системы классификации APG были подготовлены многочисленными коллективами, обработавшими обширные материалы по молекулярной филогении покрытосеменных. В результате цветковые растения стали первой крупной таксономической группой, система которой была значительно переработана преимущественно на основе молекулярных характеристик. Эта система должна была преодолеть недостатки других систем классификации покрытосеменных. Успехи молекулярных исследований поставили вопрос о их корреляции с палеоботаническими находками – доказательствами появления и эволюции покрытосеменных в далеком прошлом.

Еще Чарльз Дарвин говорил об «отвратительной тайне» происхождения цветковых, имея в виду их кажущееся внезапным появление в геологической летописи в середине мелового периода (около 125–100 млн л.н.) по всему миру и невозможность распознать предковые формы. Это биотическое событие – возникновение представителей самого последнего высшего таксона растений, произошедшее внезапно, бросало безответный вызов эволюционизму (отсутствие предков, отсутствие развития от низших форм к высшим и т.д.).

Большое влияние на естествознание XIX–XX вв. оказала работа знаменитого немецкого поэта и ученого И.В. Гете «Опыт объяснения метаморфоза растений», опубликованная в 1790 г. Он не только ввел в науку понятие «морфология», но и дал образцы блестящих сравнительно-морфологических исследований. Гете объяснил природу основных растительных образований, таких как клубни и плети (столоны), почки (зачаточные побеги) и самое главное – бутоны и цветки. Его гениальной догадкой было объяснение природы плодолистика как видоизмененного листа. Гете считал, что существовало некое «первобытное растение» (*die Urpflanze*), давшее начало всем цветковым. Однако, при всей интенсивности палеоботанических исследований в XIX–XX вв., найти его не удалось. Тайна происхождения покрытосеменных оставалась «отвратительной» и нерешенной.

С 80-х годов XX в. начинаются поразительные палеоботанические открытия, в основном связанные с именами Э.-М. Фриис, К. Педерсена, П. Крейна и др. Различными методами они извлекают из меловых отложений Северной Америки и Европы остатки цветков с сохранившейся пыльцой. Уже не остается места для измышлений и фантазий, потому что великолепная сохранность фитофоссилий позволяет определить их несомненную систематическую принадлежность.

Исследования эволюции покрытосеменных в БПИ / ФНЦ Биоразнообразия

Одним из тех, кто интенсивно работал над разгадкой «отвратительной тайны», был выдающийся ученый-эволюционист с мировым именем, заведующий лабораторией палеоботаники Биолого-почвенного института ДВНЦ АН СССР (ныне Федеральный научный центр Биоразнообразия ДВО РАН) профессор Валентин Абрамович Красилов. Свои выводы и открытия он изложил в многочисленных статьях и монографиях. Великим предшественником Красилова был академик А.Н. Криштофович, впервые обнаруживший в нижнемеловых слоях Южного Приморья остатки листьев покрытосеменных, описанных им как *Aralia lucifera* Kryshtofovich и *Pandanophyllum ahnertii* Kryshtofovich (рис. 1, а, б) [1, 2].

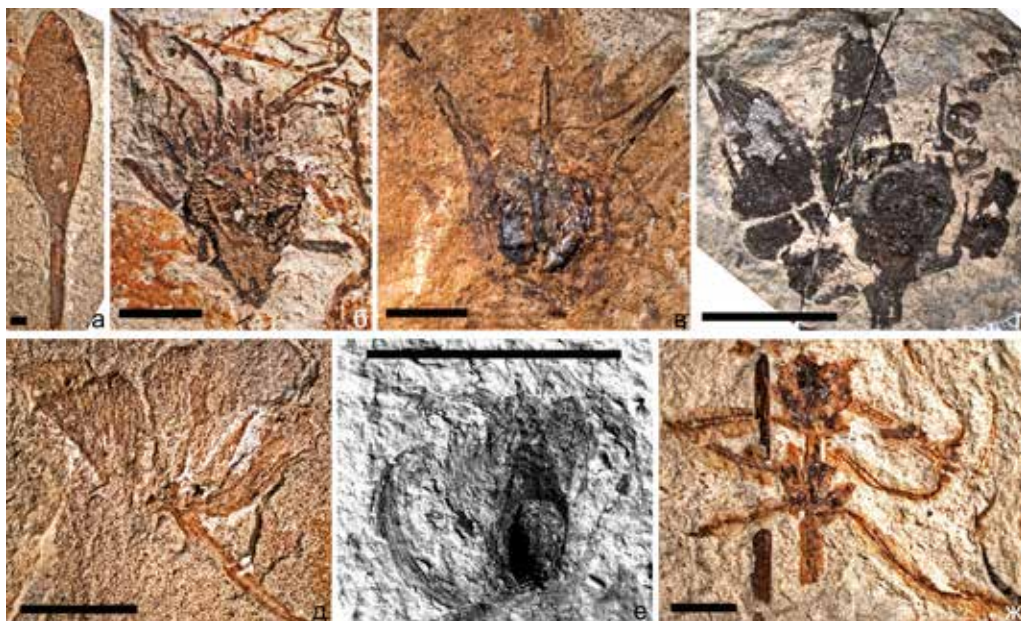
Красилов был не только так называемым кабинетным ученым, но и великолепным полевым исследователем. Каждый год он выезжал в экспедиции по Дальнему Востоку, Забайкалью, Прибайкалью, где собирал многочисленные палеоботанические материалы. С середины 1980-х годов у него появилась возможность выезжать в Австралию, Европу, Монголию, Индию, на Ближний Восток. Им были получены факты, позволившие приблизиться к тайне происхождения покрытосеменных, лучше понять биотические и абиотические события, изменившие облик планеты в меловом периоде. Собранные фитофоссилии, относящиеся к древнейшим цветковым, изучались Красиловым с помощью современных методов. В результате им сформулирован ряд эволюционных гипотез, относящихся к факторам и механизмам становления цветковых растений [3–6].

По его мнению, древнейшие покрытосеменные появляются в средних широтах Северного и Южного полушарий 120–115 млн л.н. В древнейших слоях, относящихся к этому периоду, найдены пыльцевые зерна с сетчатой структурой экзины и другими признаками репродуктивной самонесовместимости, характерными для покрытосеменных. В более молодых отложениях уже обнаруживаются крупномерные остатки: листья, цветки, плоды, причем первые листья, как правило, очень мелкие, с «дезорганизованным» сетчатым жилкованием, цветки невзрачные, собранные в соцветия, плоды также мелкие, нередко снабженные хохолками или зацепками для распространения животными.

Красилов выявил, что местонахождения древнейших покрытосеменных встречаются главным образом в переходной полосе между тропической и умеренной зонами, которая в меловом периоде находилась приблизительно вдоль параллелей 50° с.ш. и 40° ю.ш. При этом сходные биотические события происходили одновременно в нескольких регионах, т.е. существовало несколько крупных центров параллельного развития цветковых растений. Среди них стоит особо выделить байкальско-гобийский центр. О его существовании можно было догадываться по известным ранее единичным находкам пыльцевых зерен *Asteropollis asteroides* Hedlund et Norris и листьев *Dicotylophyllum pussilum* Vachrameev (рис. 2, а) в нижнемеловых отложениях местонахождения Байса в верховьях р. Витим в Забайкалье [7]. Нам удалось значительно пополнить подобные находки в Забайкалье [8–11], были обнаружены новые местонахождения древнейших покрытосеменных в Монголии. Здесь впервые появляются травянистые формы, а также, судя по остаткам плодов, растения с признаками семейства ореховых – одного из наиболее древних среди современных покрытосеменных. Подобные плоды недавно обнаружены также в нижнемеловых отложениях Махтеш-Рамона в южном



- Рис. 1. Раннемеловые покрытосеменные Раздольненского и Партизанского бассейнов Приморья.
- a* – *Pandanites ahnertii* (Kryshstofovich) Golovneva: Центральный научно-исследовательский геологоразведочный музей (ЦНГРМ), экз. 3013/5, правый берег р. Раздольная, дер. Константиновка, Раздольненский бассейн, апт (коллекция А.Н. Криштофовича);
- б* – *Araliaephyllum luciferum* (Kryshstofovich) Golovneva: ЦНГРМ, экз. 3013/15, левый берег р. Постышевка, г. Партизанск, Партизанский бассейн, поздний апт (коллекция А.Н. Криштофовича);
- в* – *Cercidiphyllum sujfunense* Krassilov: Федеральный научный центр биоразнообразия ДВО РАН (ФНЦБ), экз. 11/134, правый берег р. Раздольная, дер. Константиновка, Раздольненский бассейн, ранний-средний альб (коллекция В.А. Красиловой);
- г* – *Monocotyledones* sp. indet.: ФНЦБ, экз. 26/5-1, бухта Бражникова, восточное побережье Амурского залива, г. Владивосток, Раздольненский бассейн, апт (коллекция Е.Б. Вольнец);
- д* – *Laurophyllum* sp.: ФНЦБ, экз. 11/131, правый берег р. Раздольная, дер. Константиновка, Раздольненский бассейн, ранний-средний альб (коллекция В.А. Красиловой);
- е* – *Araliaephyllum vittenburgii* Volynets et Golovneva: ФНЦБ, экз. 41/1-1, ручей Дачный, восточное побережье Амурского залива, г. Владивосток, Раздольненский бассейн, ранний-средний альб (коллекция Е.Б. Вольнец);
- ж* – *Sapindopsis* sp.: ФНЦБ, экз. 325/16, р. 3-я Каменка, правый приток р. Постышевка, г. Партизанск, Партизанский бассейн, ранний-средний альб (коллекция Е.Б. Вольнец);
- з* – *Asiatifolium elegans* Sun, Guo et Zheng emend. Sun et Dilcher: ФНЦБ, экз. 320/8, бухта Большой Кувшин, г. Большой Камень, восточный берег Уссурийского залива, ранний-средний альб (коллекция Е.Б. Вольнец);
- и* – *Asiatifolium elegans* Sun, Guo et Zheng emend. Sun et Dilcher: ФНЦБ, экз. 320/551, бухта Большой Кувшин, г. Большой Камень, восточный берег Уссурийского залива, ранний-средний альб (коллекция Е.Б. Вольнец).
- Масштаб: *a–e, з, и* – 5 мм, *ж* – 10 мм



- Рис. 2. Раннемеловые покрытосеменные и проангиоспермы из местонахождения Байса Забайкалья (образцы на фотографии *a–д* и *ж* хранятся в Палеонтологическом институте РАН, г. Москва; образец на фотографии *е* – в Федеральном научном центре Биоразнообразия ДВО РАН, г. Владивосток).
- a* – *Dicotylophyllum pussillum* Vachrameev, экз. 4745/22; *б* – *Eoantha zherikhinii* Krassilov, экз. 31-511; *в* – *Eoantha ornata* Krassilov, экз. 4745/31-1; *г* – *Preflosella nathania* Krassilov, экз. 745/31-1; *д* – *Vittmantha crypta* Krassilov et Bugdaeva, экз. 31-243; *е* – *Baisia hirsuta* Krassilov, экз. 3Б31/209; *ж* – *Prognonetella minuta* Krassilov et Bugdaeva, экз. 4745/31-2.
- Масштаб: *a, г, д, е* – 5 мм, *б, в, ж* – 2 мм

Израиле. Там они встречаются в вулканических отложениях, что позволяет достаточно точно определить их возраст. Таким образом, можно считать доказанным существование и ближневосточного центра происхождения древнейших цветковых растений, причем, несмотря на географическую удаленность, эволюционные события в обоих центрах развивались одновременно.

Еще более удивителен параллелизм ранней истории цветковых растений на Азиатском и Австралийском континентах, установленный Красиловым. На юге последнего (в штате Виктория) был крупный независимый центр происхождения цветковых растений Кунварра. Наиболее примечательными оказались находки плодов с признаками цератофилловых – обособленного по морфологическим и биохимическим признакам современного семейства водных цветковых. При этом в одновозрастных отложениях Забайкалья были найдены остатки цветковых, морфологически очень близкие австралийским.

Очень важна палеоэкологическая особенность этих местонахождений с древними покрытосеменными, подмеченная Красиловым: они приурочены к отложениям древних рифтовых долин (рифт – зона растяжения земной коры, где между двумя расходящимися плитами появляется трещина, из которой изливается магма), расположенных как на территории Забайкалья и Монголии, так и Израиля (пустыня Негев) и на юге Австралии (бассейн Джипсленд). По предположению Красилова, древнейшие покрытосеменные возникли в рифтовых долинах, по которым и происходило их первоначальное расселение. В древних рифтах, вероятно, отмечались исключительно высокое биологическое разнообразие и продуктивность наземных и водных экосистем. Можно предположить, что вулканизм, неоднородность геологического субстрата, геохимических и микроклиматических условий создавали тенденцию к ускорению развития, которая отчетливо выражена у примитивных покрытосеменных, и способствовали эволюционным преобразованиям.

Известно, что еще одним важным эволюционным фактором становления цветковых растений было взаимодействие с животными, которые способствовали распространению плодов и участвовали в опылении цветковых растений. Красилову удалось обнаружить хорошо сохранившуюся пыльцу в желудках ископаемых насекомых различного геологического возраста. Юрские кузнечиковые и близкие к ним крупные насекомые, достигавшие 15 см в размахе крыльев, питались преимущественно пыльцой *Classopollis*, у которой впервые развиваются сложные проростковые структуры, характерные для цветковых [12]. Это были первые конкретные доказательства взаимодействия растений и насекомых в геологическом прошлом. Дальнейшее накопление подобных данных может пролить свет на роль сопряженной эволюции в становлении крупных групп растительного и животного мира.

Во всех изученных Красиловым центрах происхождения древнейшим покрытосеменным сопутствуют растения, которые формально не относятся к этой группе, но обладают важнейшими характерными для нее признаками – листьями с многопорядковым сетчатым жилкованием, пыльцевыми зернами с разнообразными проростковыми щелями и порами, цветкоподобными и плодообразными структурами, семенами, заключенными в купулы, которые аналогичны, а в ряде случаев, может быть, и гомологичны завязи. Красилов назвал такие растения проангиоспермами. Признаки, свойственные покрытосеменным, настоящим ангиоспермам, у них еще не получили полного развития и к тому же проявлялись разрозненно, не образуя устойчивых сочетаний.

К проангиоспермам относятся также вымершие формы гнетовых [11, 13]. Сходство гнетовых с покрытосеменными (проявляющееся не только в морфологических признаках, но и в развитии зародышевого мешка и оплодотворении, предваряющем двойное оплодотворение покрытосеменных) не ускользнуло от внимания морфологов и в свое время даже послужило основой для «эфедровой» теории происхождения цветковых. Однако высокая специализация современных форм гнетовых, представленных тремя морфологически далеко разошедшимися родами (*Welwitschia* Hook. F., *Gnetum* L., *Ephedra* L.), и отсутствие каких-либо сведений о геологическом прошлом этой группы растений не позволяли считать их возможными предками покрытосеменных. Для серьезного исследования эволюционной роли гнетовых просто было недостаточно данных. Изучение ископаемых гнетовых началось с открытия Красиловым нового рода – *Eoantha* – в нижнемеловых отложениях Забайкалья, где он встречается вместе с древнейшими покрытосеменными [13]. Всего описано два вида – *Eoantha zherikhinii* Krassilov и *E. ornata* Krassilov (рис. 2, б, в) [11, 13]. За этой находкой последовали новые, свидетельствующие о заметной роли гнетовых в мезозойской растительности и их значительном морфологическом разнообразии. В тех же растительных сообществах заметную роль играли и другие проангиоспермы, например *Preflosella nathania* Krassilov, *Vitimantha crypta* Krassilov et Bugdaeva, *Prognatella minuta* Krassilov et Bugdaeva (рис. 2, г, д, ж). Также в местонахождении Байса встречены своеобразные околоводные растения *Baisia hirsuta* Krassilov (рис. 2, е), произошедшие от мезозойских беннеттитов [8]. Их органы размножения – купулы с пучками длинных волосков напоминали семянки пушицы и других осоковых. В местонахождении Махтеш-Рамон (Израиль) первым покрытосеменным сопутствуют кейтониевые – еще одна широко распространенная группа проангиоспермов.

Разнообразные проангиоспермы входили в состав одних и тех же растительных сообществ и подвергались давлению одних и тех же факторов среды. Некоторые из них оказались в эволюционном плане более перспективными, чем другие. Однако нельзя утверждать, что лишь какая-то одна линия проангиоспермов дала начало всем покрытосеменным. По мнению Красилова, признаки различных групп покрытосеменных появляются не в одной, а в нескольких линиях проангиоспермов. Так, у изученных им чекановские семена развивались в двустворчатых купулах с краевыми рыльцевыми гребнями, характерными для наиболее примитивных магнолиецветных [5]. В то же время кейтониевые демонстрируют возможность параллельного возникновения иного типа завязи с многочисленными базальными семяпочками. Уже упоминавшаяся байсия имела купулы с единственной прямой семяпочкой, развивавшейся на верхушке цветоложа, как у злаков и близких к ним однодольных [8].

Род *Eoantha* стал одним из существенных палеоботанических открытий Красилова. Он детально изучил морфологию этого растения, сравнив листья его и родственных ему гнетофитов, которые по внешней морфологии и анатомическим признакам соответствуют листьям злаков. Принимая во внимание также существенное сходство репродуктивных структур, можно теперь с известной долей уверенности говорить о филогенетической близости гнетовых и злаков – самой важной для человека группой цветковых растений.

Учитывая большое морфологическое разнообразие проангиоспермов и то, что вегетативные и продуктивные структуры, которые могли быть прототипами соответствующих структур разных групп цветковых растений, появились в разных эволюционных линиях, нельзя утверждать, например, что злаки произошли от

магнолиевых или другой стволовой группы двудольных. Палеонтологическая летопись свидетельствует о независимом возникновении основных эволюционных линий покрытосеменных от разных проангиоспермов, которые, в свою очередь, происходят от птеридоспермов, беннеттитов и других древних голосеменных. В генетическом плане цветковые, таким образом, унаследовали значительную часть развивавшегося в течение многих миллионов лет генофонда семенных растений. В этом основа их исключительно высокого биологического разнообразия и больших эволюционных потенций.

С 50-х годов прошлого столетия меловую палинофлору Дальнего Востока успешно и плодотворно исследует д.г.-м.н. Валентина Саввична Маркевич, уделяя наибольшее внимание Приморью [14, 15]. Ею выявлен разнообразный систематический состав спор мохообразных, плаунов, папоротников, пыльцы голосеменных и покрытосеменных. Всего она установила 7 палинозон для меловых отложений Приморья. В четвертой палинозоне *Rouseisporites laevigatus* – *Gleicheniidites*, имеющей аптский возраст, найдены самые первые единичные пыльцевые зерна цветковых. В липовецкой свите в Ильичевском и Алексее-Никольском угольных месторождениях Раздольненского бассейна обнаружены *Tricolpites micromunus* (Groot and Penny) Burger, *T. vulgaris* (Pierce) Srivastava, *Tricolpites* spp., *Clavatipollenites hughesii* Couper, *Quercites sparsus* (Mart.) Samoil., *Retitricolpites georgiensis* Brenn. [16, 17]. В Партизанском бассейне выявлена пентахомокольчатая пыльца *Asteropollis asteroides*, таксона, сближаемого с семейством Chloranthaceae.

Пятая палинозона *Coptospora paradoxa* – *Tricolpites*, раннеальбского возраста, включает нижние части галенковской и френцевской свит. В их палинокомплексах пыльца покрытосеменных встречается редко, но постоянно и представлена *Tricolpites* spp., *Retitricolpites* sp. и *Clavatipollenites incisus* Chlonova.

Шестая палинозона *Rouseisporites reticulatus* – *Asteropollis asteroides*, среднеальбского возраста, включает верхние части галенковской и френцевской свит. Пыльца покрытосеменных становится более разнообразной и многочисленной. Она представлена *Asteropollis asteroides*, *Tricolpites* spp., *Retitricolpites vulgaris* Pierce и *Clavatipollenites hughesii*.

Таким образом, в геологической летописи Приморья зафиксировано появление и начальное распространение пыльцы цветковых. Выявлено, что это биотическое событие имеет сходство и различия с таковым в Северной Америке и Европе. В последнее время слои с находками покрытосеменных в этих регионах исследователи начинают считать более молодыми [18, 19]. Выяснилось, что у нижнемеловых отложений периатлантических местонахождений, в отличие от приморских, отсутствует строго доказанная стратиграфическая основа. Маркевич сопоставила последовательность развития палинофлоры цветковых на азиатском побережье Тихого океана и других частей света. Обширный палинологический материал позволил ей разработать схему эволюции морфологии пыльцы покрытосеменных. Выявилась высокая степень синхронности развития этих палиноморф по всему Северному полушарию, что придает им ценность в стратиграфической корреляции.

Одним из последних открытий стало выявление времени появления настоящих двудольных, продуцировавших трикольпатную пыльцу [20, 21]. В Северной Америке и Европе они возникают в основном в альбе, в то время как в Южной Америке и Азии – в апте. Не исключено, что такое биотическое событие было обусловлено более ранним развитием гумидного климата в Азии, на северном побережье океана Тетис климат стал более влажным с альбского века.



Рис. 3. Ранне-среднеальбские покрытосеменные, восточный берег Уссурийского залива, бухта Большой Кувшин, г. Большой Камень.

a – *Jixia pinnatipartita* Guo et Sun emend. Sun et Dilcher: ФНЦБ, экз. 320/57 (коллекция Е.В. Бугдаевой); *б* – *Achaenocarpites capitellatus* Krassilov et Volynets: ФНЦБ, экз. 320/120; *в* – *Achaenocarpites capitellatus* Krassilov et Volynets: ФНЦБ, экз. 320/46с; *г* – *Ternaricarpites floribundus* Krassilov et Volynets: ФНЦБ, экз. 320/10; *д* – *Dicotylorphyllum* sp.: ФНЦБ, экз. 320/137 (коллекция Е.Б. Вольнец).

Масштаб: *a*, *б*, *г* – 5 мм, *в* – 2 мм, *д* – 10 м

С отъездом Красилова сначала в Москву, а потом в Израиль связи сотрудников лаборатории с ним не прервались. На основе собранного Е.Б. Вольнец ископаемого материала из альбского местонахождения в окрестностях г. Большой Камень в Партизанском бассейне была подготовлена и опубликована совместная статья [20]. В ней описаны два новых рода и вида покрытосеменных: *Achaenocarpites capitellatus* Krassilov et Volynets (рис. 3, б, в) и *Ternaricarpites floribundus* Krassilov et Volynets (рис. 3, г). Эти крошечные покрытосеменные растения сравниваются с современными Ranunculaceae и родственными семействами (ranunculids). Находки вносят свой вклад в среднемеловое разнообразие ранункулид – предположительно, одной из основных групп ранних покрытосеменных. Тафономия местонахождения позволяет сделать вывод о пионерном характере растительного сообщества папоротников и цветковых, колонизовавшего субстраты выпавшего вулканического пепла. Описанные растения имеют «сорняковый» облик, вероятно, в силу того что они заселяли новообразованные поверхности.

Местонахождение возле г. Большой Камень выглядело очень многообещающим и перспективным, требовалось его дальнейшее изучение. С 2017 г. Е.В. Бугдаева и Е.Б. Вольнец активно сотрудничают с палеоботаниками Ботанического института РАН (Санкт-Петербург). Совместной командой под руководством д.б.н. Л.Б. Головневой были предприняты тщательные раскопки флороносных слоев и изучение прилегающих территорий. В результате найдено большое количество растительных остатков, в том числе покрытосеменных (рис. 1, 3). Огромное значение для стратиграфической корреляции и выявления флористических связей в прошлом имело открытие цветковых, ранее описанных китайскими и американскими коллегами из формации Ченцзихэ провинции Хейлунцзян Китая, – *Asiatifolium elegans* Sun, Guo et Zheng emend. Sun et Dilcher (рис. 1, з, и) и *Jixia pinnatipartita* Guo et Sun emend. Sun et Dilcher (рис. 3, а). Возраст формации Ченцзихэ считался авторами этих таксонов более древним (валанжин-готерив) [21], но в 2018 г. абсолютным датированием был установлен альбский возраст [22]. Таким образом, можно сделать вывод, что растения *Asiatifolium* и *Jixia* имели широкое региональное распространение в узком временном диапазоне.

Предпринятое абсолютное датирование флороносных слоев Партизанского и Раздольненского бассейнов Приморья показало, что возраст верхней части липовцевой свиты – $118 \pm 1,4$ млн лет, что соответствует позднему апту, верхней части френцевской свиты – 109 ± 1 млн лет (ранний альб). Точный возраст позволяет установить время основных биотических событий середины мела. Переизучение ранних покрытосеменных выявило первое появление среди этой группы растений Laurales, Ranunculales, Platanaceae и, вероятно, Cercidiphyllaceae. Описаны новая комбинация *Pandanites ahnertii* (Krysht.) Golovneva и новый вид *Araliaephyllum vittenburgii* Golovneva et Volynets. Доказан автохтонный характер захоронения местонахождения Большой Кувшин вблизи г. Большой Камень. Проведены реконструкции палеообстановок, в которых обитали травянистые покрытосеменные этого местонахождения [23, 24].

Тем не менее, несмотря на проведенные довольно результативные исследования, предстоит еще сделать много работы по поиску, сборам и изучению древних цветковых.

Заключение

Сотрудники лаборатории палеоботаники ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН внесли большой вклад в познание возникновения в середине мелового периода (около 125–100 млн л.н.) самого молодого высшего таксона высших растений – покрытосеменных. Один из выдающихся ученых современности, В.А. Красилов, много лет посвятил разработке этой проблемы, изучая в том числе и процесс становления столь обширной и разветвленной группы, как цветковые, путей и механизмов формирования новых форм жизни. Опираясь на палеоботанические доказательства, он показал сложность и многослойность филогенетических процессов. В.С. Маркевич сопоставила последовательность развития палинофлоры цветковых на азиатском побережье Тихого океана и других частей света. На обширном палинологическом материале разработана схема эволюции морфологии пыльцы покрытосеменных, выявлена высокая степень синхронности развития этих палиноморф по всему Северному полушарию. В настоящее время сотрудники лаборатории палеоботаники продолжают работать с ранними покрытосеменными. Достигнуты значительные успехи в датировке флороносных толщ (соответственно, установлен возраст биотических событий) Приморья, реконструкции среды обитания, жизненных форм и таксономического состава первых цветковых.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Криштофович А.Н. Открытие древнейших двудольных покрытосеменных и эквивалентов потамакских слоев на Сучане в Уссурийском крае // Изв. Геол. ком. 1929. Т. 48, № 9. С. 113–145.
2. Криштофович А.Н., Павлов М.А. Открытие аптских слоев, охарактеризованных флорой двудольных, в Сучанском районе // Вестн. Геол. ком. 1928. Т. 3, № 8. С. 6–9.
3. Красилов В.А. Раннемеловая флора Южного Приморья и ее значение для стратиграфии. М.: Наука, 1967. 264 с.
4. Krassilov V.A. Mesozoic plants and the problem of angiosperm ancestry // *Lethaia*. 1973. Vol. 6, iss. 2. P. 163–178.
5. Красилов В.А. Происхождение и ранняя эволюция покрытосеменных. М.: Наука, 1989. 263 с.
6. Krassilov V.A. Angiosperm origins: morphological and ecological aspects. Sofia: Pensoft, 1997. 270 p.
7. Вахрамеев В.А., Котова И.З. Древние покрытосеменные и сопутствующие им растения из нижнемеловых отложений Забайкалья // Палеонтол. журн. 1977. № 4. С. 101–109.
8. Krassilov V.A., Bugdaeva E.V. Achene-like fossils from the Lower Cretaceous of the Lake Baikal area // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 1982. Vol. 36. P. 279–295.
9. Krassilov V.A., Bugdaeva E.V. *Meeusella* and the origin of stamens // *Lethaia*. 1988. Vol. 21, iss. 4. P. 425–431.
10. Krassilov V.A., Bugdaeva E.V. An angiosperm cradle community and new proangiosperm taxa // *Acta Palaeobot.* 1999. Suppl. 2. Proc. 5th EPPC, Cracow, Poland. P. 111–127.
11. Krassilov V.A., Bugdaeva E.V. Gnetophyte assemblage from the Early Cretaceous of Transbaikalia // *Palacontographica*. B. 2000. Vol. 253, N 4–6. P. 139–151.
12. Krassilov V.A., Rasnitsyn A.P. Plant-arthropod interactions in the early angiosperm history. Evidence from the Cretaceous of Israel. Sofia; Moscow: Pensoft, 2008. 224 p.
13. Krassilov V.A. New floral structure from the Lower Cretaceous of Lake Baikal area // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 1986. Vol. 47. P. 9–16.
14. Маркевич В.С. Меловая палинофлора севера Восточной Азии. Владивосток: Дальнаука, 1995. 200 p.
15. Markevich V.S. Palynological zonation of the continental Cretaceous and lower Tertiary of eastern Russia // *Cretaceous Res.* 1994. Vol. 15. P. 165–177.

16. Ковалева Т.А., Маркевич В.С., Бугдаева Е.В., Волынец Е.Б., Афонин М.А. Новые данные по палиностратиграфии липовецкой свиты Раздольненского бассейна (Южное Приморье) // Тихоокеан. геология. 2016. Т. 35, №. 1. С. 54–65.
17. Маркевич В.С., Ковалева Т.А., Бугдаева Е.В., Волынец Е.Б., Афонин М.А. Новые данные по липовецкой флоре Раздольненского бассейна южного Приморья // Вестн. ДВО РАН. 2016. № 5. С. 69–77.
18. Heimhofer U., Hochuli P.A., Burla S., Dinis J.M.L., Weissert H. Timing of Early Cretaceous angiosperm diversification and possible links to major paleoenvironmental change // *Geology*. 2005. Vol. 33, N 2. P. 141–144.
19. Hochuli P.A., Heimhofer U., Weissert H. Timing of early angiosperm radiation: recalibrating the classical succession // *J. Geol. Soc. London*. 2006. Vol. 163. P. 587–594.
20. Krassilov V., Volynets Y. Weedy Albian angiosperms // *Acta Palaeobotanica*. 2008. Vol. 48, iss. 2. P. 151–169.
21. Sun G., Dilcher D.L. Early angiosperms from the Lower Cretaceous of Jixi, eastern Heilongjiang, China // *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2002. Vol. 121. P. 91–112.
22. Chen D., Zhang F., Tian Y., Zhou Z., Dilek Y., Chen H., Zhang K., Zhao X. Timing of the late Jehol Biota: New geochronometric constraints from the Jixi Basin, NE China // *Palaeogeog., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2018. Vol. 492. P. 41–49.
23. Golovneva L., Alekseev P., Bugdaeva E., Volynets E. An angiosperm dominated herbaceous community from the early–middle Albian of Primorye, Far East of Russia // *Fossil Imprint*. 2018. Vol. 74. P. 165–178.
24. Golovneva L., Bugdaeva E., Volynets E., Sun Y., Zolina A. Angiosperm diversification in the Early Cretaceous of Primorye, Far East of Russia // *Fossil Imprint*. 2021. Vol. 77, iss. 2. P. 231–255.

REFERENCES

1. Kryshtofovich A.N. Otkrytie drevneishikh dvudolnykh pokrytosemennykh i ekvivalentov potomaskikh sloev na Suchane i v Ussuriiskom krae = [The discovery of the oldest dicot angiosperms and equivalents of the Potomac beds on Suchan in the Ussuri region]. *Izvestiya Geologicheskogo Komiteta*. 1929;48(9):113-145. (In Russ.).
2. Kryshtofovich A.N., Pavlov M.A. Otkrytie aptskikh sloev, okharakterizovannykh flori dvudolnykh, v Suchanskom rayone = [The discovery of the Aptian beds characterised by the dicot flora in the Ussuri region]. *Vestnik Geologicheskogo Komiteta*. 1928;3(8):6-9. (In Russ.).
3. Krassilov V.A. Rannemelovaya flora Yuzhnogo Primorya i ee znachenie dlya stratigrafii = [Early Cretaceous flora of South Primorye and its stratigraphic significance]. Moscow: Nauka; 1967. 264 p. (In Russ.).
4. Krassilov V.A. Mesozoic plants and the problem of angiosperm ancestry. *Lethaia*. 1973;6(2): 163-178.
5. Krassilov V.A. Proiskhozhdenie i rannaya evolyutsiya pokrytosemennykh = [Origin and early evolution of angiosperms]. Moscow: Nauka; 1989. 263 p. (In Russ.).
6. Krassilov V.A. Angiosperm origins: morphological and ecological aspects. Sofia: Pensoft; 1997. 270 p.
7. Vakhrameev V.A., Kotova I.Z. Ancient angiosperms and associated plants from the Lower Cretaceous deposits of Transbaikalia. *Paleontol. J.* 1977;(4):101-109.
8. Krassilov V.A., Bugdaeva E.V. Achene-like fossils from the Lower Cretaceous of the Lake Baikal area. *Rev. Palaeob. Palynol.* 1982;36:279-295.
9. Krassilov V.A., Bugdaeva E.V. *Meeusella* and the origin of stamens. *Lethaia*. 1988;21(4):425-431.
10. Krassilov V.A., Bugdaeva E.V. An angiosperm cradle community and new proangiosperm taxa. *Acta Palaeobotanica*. 1999;(Suppl. 2):111-127.
11. Krassilov V.A., Bugdaeva E. V. Gnetophyte assemblage from the Early Cretaceous of Transbaikalia. *Palaeontographica. B.* 2000;253(4-6):139-151.
12. Krassilov V.A., Rasnitsyn A.P. Plant-arthropod interactions in the early angiosperm history. Sofia, Moscow: Pensoft; 2008. 224 p.
13. Krassilov V.A. New floral structure from the Lower Cretaceous of Lake Baikal area. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 1986;47:9-16.
14. Markevich V.S. Melovaya palinoflora severa Vostochnoy Azii = [The Cretaceous palynoflora of north of eastern Asia]. Vladivostok: Dalnauka Publ. House; 1995. 200 p. (In Russ.).

15. Markevich V.S. Palynological zonation of the continental Cretaceous and lower Tertiary of eastern Russia. *Cretaceous Res.* 1994;15:165-177.
16. Kovaleva T.A., Markevich V.S., Bugdaeva E.V., Volynets E.B., Afonin M.A. New data on palynostratigraphy of the Lipovtsy Formation in the Razdol'naya Coal Basin (Southern Primorye). *Russ. J. Pacific Geology.* 2016;35(1):54-65. (In Russ.).
17. Markevich V.S., Kovaleva T.A., Bugdaeva E.V., Volynets E.B., Afonin M.A. Novye dannye po lipovetskoj flore Razdol'nenskogo basseina yuzhnogo Primor'ya = [New data on the Lipovtsy flora of Razdolnaya River Basin, South Primorye]. *Vestnik of the FEB RAS.* 2016;(5):69-77. (In Russ.).
18. Heimhofer U., Hochuli P.A., Burla S., Dinis J.M.L., Weissert H. Timing of Early Cretaceous angiosperm diversification and possible links to major paleoenvironmental change. *Geology.* 2005;33(2): 141-144.
19. Hochuli P.A., Heimhofer U., Weissert H. Timing of early angiosperm radiation: recalibrating the classical succession. *J. Geol. Soc. London.* 2006;163:587-594.
20. Krassilov V.A., Volynets Y.B. Weedy Albian angiosperms. *Acta Palaeobotanica.* 2008;48(2): 151-169.
21. Sun G., Dilcher D.L. Early angiosperms from the Lower Cretaceous of Jixi, eastern Heilongjiang, China. *Rev. Palaeobot. Palynol.* 2002;121:91-112.
22. Chen D., Zhang F., Tian Y., Zhou Z., Dilek Y., Chen H., Zhang K., Zhao X. Timing of the late Jehol Biota: New geochronometric constraints from the Jixi Basin, NE China. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 2018;492:41-49.
23. Golovneva L., Alekseev P., Bugdaeva E., Volynets E. An angiosperm dominated herbaceous community from the early–middle Albian of Primorye, Far East of Russia. *Fossil Imprint.* 2018;74:165-178.
24. Golovneva L., Bugdaeva E., Volynets E., Sun Y., Zolina A. Angiosperm diversification in the Early Cretaceous of Primorye, Far East of Russia. *Fossil Imprint.* 2021;77(2):231-255.

Научная статья

УДК 630*232.11;232.31;232.318

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_5

Характеристика деревьев и качества семян сосны корейской (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) на Верхнеуссурийском лесном стационаре

Т.П. Орехова

Татьяна Павловна Орехова

кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
ФНЦ Биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток,
Россия

orekhova@biosoil.ru

<http://orcid.org/0000-0003-1849-5681>

Аннотация. В статье приведена характеристика плюсового насаждения, морфологические показатели кандидатов в плюсовые деревья сосны корейской в лесном стационаре ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, а также установлены показатели урожая и его качество. Плюсовое насаждение, выделенное в кедровнике с елью корейской и желтой березой, занимает площадь около 5 га. Деревья сосны корейской составляют в древостое 7–8 единиц и расположены в I ярусе. Урожайность деревьев в 2014 г. была оценена в 4 балла. Большинство отобранных деревьев имели шишки с семенами 1-го класса качества. У деревьев № 1 и № 7 установлено низкое качество семян, обусловленное пустосемянностью. Вероятно, эти деревья следует исключить из кандидатов в плюсовые. Показатели массы 1000 семян у сосны корейской не всегда отражают их качество. Исследованное насаждение рекомендовано в качестве генетического резервата в Чугуевском районе.

Ключевые слова: кедрово-широколиственные леса, сосна корейская, плюсовое насаждение, кандидат в плюсовое дерево, урожай, шишка, семя, жизнеспособность

Для цитирования: Орехова Т.П. Характеристика деревьев и качества семян сосны корейской (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) на Верхнеуссурийском лесном стационаре // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 60–74. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_5.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке грантов ДВО РАН № 15-I-1-039Э, № 16-I-1-023, № 17-I-1-009Э и в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема 1031000144-5).

The characteristics of the trees and seed's viability of Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) at Verkhneussuriysky Forest Station

T.P. Orekhova

Tatiana P. Orekhova

Candidate of Sciences in Biology, Senior Researcher

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

orekhova@biosoil.ru

<http://orcid.org/0000-0003-1849-5681>

Abstract. The characteristics of stand and morphological data and seed's viability of the ten Korean pine plus trees on Verkhneussuriysky Forest Station (FSC FEB RAS) are presented. The plus trees located on the area are about 5 ha of Korean pine-broad-leaved forest with Korean spruce and yellow birch. The plus trees are located on the I tier and consist of 7-8 units per stand. The crop of the trees cones was estimated in 2014 at 4 marks. The most of the selected trees had cones with seeds of the 1st quality grade. The low index of viability was shown by only trees №1 and №7, because of presence of empty seeds. Those trees should be probably excluded from plus trees candidates. The weight characteristic of 1000 seeds of Korean pine does not always reflect their quality. The investigated stand is recommended to register as a genetic refuge in Chuguevsky district for preservation of genetic resources.

Keywords: Korean pine broad-leaved forests, Korean pine, plus tree, plus tree candidate, crop, cone, seed, viability

For citation: Orekhova T.P. The characteristics of the trees and seed's viability of Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) at Verkhneussuriysky Forest Station. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(5):60–74. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_5.

Funding. The research was carried out by grants (№ 15-I-1-039Э, № 16-I-1-023, № 17-I-1-009Э (FSC DVO RAS) and within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No 121031000144-5).

Введение

Сосна корейская (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) – ценная древесная порода, произрастающая на Дальнем Востоке России, в Китае, в Республике Корея и Японии. Всестороннее изучение биологии естественного произрастания и плантационного выращивания этого вида активно проводят не только на территории его ареала [1–11], но и при его интродукции [12, 13]. На особое внимание к этой древесной породе указывает создание при международной лесной организации (International Union of Forest Organizations) отдельной секции по изучению сосны корейской. Результатом работы секции стали международные научные симпозиумы

по сосне корейской, проведенные в Китае (Yichun, 2008; Harbin, 2018) и в России (Vladivostok, 2019). На Дальнем Востоке России кедрово-широколиственные леса с участием сосны корейской относят к категории освоенных, поскольку они на 80 % пройдены рубками, в отдельных районах – многократно [14]. Заготовка древесины сосны корейской запрещена, но нарушенные леса до сих пор не восстановили своих утраченных функций. Вырубленные за время эксплуатации высокопродуктивные насаждения сосны корейской – это безвозвратно утраченная часть ее ценного генофонда [1]. К сожалению, генетических резерватов сосны корейской в Приморском крае нет, а плюсовые деревья выделены только в южной части ареала [6]. Значительная часть лесов края передана в долгосрочную аренду, поэтому вопросы охраны генофонда ценных древесных пород сегодня особенно актуальны и требуют практических решений [6]. Необходимость в охране генофонда сосны корейской вполне очевидна, поскольку эта древесная порода находится на вершине пищевой цепи большого числа обитателей кедрово-широколиственных лесов, что также обусловлено экономической ценностью кедрового ореха, имеющего уникальный биохимический состав [5]. Естественное возобновление сосны корейской в кедрово-широколиственных лесах, даже в условиях заповедной территории, происходит медленно и только через длительную стадию доминирования в фитоценозе лиственных древесных пород [7]. Отдельные типы нарушенных кедрово-широколиственных лесов не смогут восстановиться без помощи человека [15]. Приморский край нуждается в качественных элитных семенах сосны корейской как для ежегодного выращивания посадочного материала для восстановления нарушенных лесов, так и для создания в будущем ценных орехопродуктивных плантаций [6].

Верхнеуссурийский биогеоценотический стационар (ВУС), расположенный в Чугуевском районе Приморского края, существует с 1973 г. как научная и экспериментальная база ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН. ВУС находится на западном склоне северной части Южного Сихотэ-Алиня в пределах высот от 440 до 1108 м над ур. м. и занимает площадь 4,5 тыс. га. Сегодня эти леса представляют собой уникальный «оазис» сохранившихся высокопродуктивных кедровников, находящихся среди интенсивно освоенных лесов Чугуевского района края. Выделение плюсовых насаждений, генетических резерватов, а также отбор плюсовых деревьев на территории стационара ранее не проводили.

Цель настоящей работы – найти на территории стационара плюсовые насаждения сосны корейской и активно плодоносящие плюсовые деревья, а также подобрать лесной массив для выделения в качестве генетического резервата.

В задачи исследований входило: выделить в кедровых лесах ВУС плюсовые насаждения сосны корейской и составить их описания; отобрать в насаждении кандидатов в плюсовые деревья; установить их морфобиологические параметры; выявить высокоурожайные особи; определить количество и качество семян; отобрать деревья, формирующие высококачественные семена; обобщить полученные материалы с целью выделения на стационаре генетического резервата сосны корейской.

Объекты и методы исследования

Кедрово-широколиственные насаждения с участием сосны корейской на стационаре занимают площадь около 5 га в бассейне ручья Березовый.

Отбор кандидатов в плюсовые деревья проводили в мелкотравно-осочковом разнокустарниковом кедровнике с елью на ранее заложенных пробных площадях № 3 (ППЗ), ПП4 и на близлежащей территории. Первое насаждение расположено на ППЗ в средней части юго-западного склона водораздела ручья Березовый на высоте 660 м над ур. м. В I ярусе древостой занимает высотные границы от 25 до 18,5 м и имеет следующий состав¹: 8К, 1Еа, 1Бж, ед. Пб. Во II ярусе (высота деревьев от 18,5 до 8,0 м) представлены следующие древесные породы: 3Пб, 2К, 2Клм, 1Еа, 1Лп, 1Бж. В подросте доминируют виды *Pinus koraiensis* (Sieb. et Zucc.), *Picea koraiensis* (Nakai.), *Tilia taquetii* (C.K. Schneid.), *Acer mono* (Maxim.). Подлесок хорошо развит, неравномерный; состоит из следующих кустарников и лиан: *Corylus mandshurica* (Maxim.), *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.), *Schizandra chinensis* (Turcz.) Baill. Участие сосны корейской в данном насаждении составляет 8 единиц, полнота насаждения 0,6. В нем было отобрано 4 кандидата в плюсовые деревья.

В лесном массиве ПП4 отобрано еще 6 деревьев. Они растут в мелкотравно-осочковом разнокустарниковом кедровнике с елью, но с большим участием желтой березы и более развитым подлеском. Насаждение находится в нижней части южного склона (ЗЮЗ) на высоте 690 м над ур. м. В данном фитоценозе четко выражено три древесных яруса, в виде «маяков» встречаются ель корейская и сосна корейская. Ярус I состоит из деревьев высотой от 27 до 18,0 м; в его составе следующие древесные породы: 7К, 2Бж, 1Еа+Лп, ед. Б. В ярусе II произрастают виды Клм, 2К, 2Лп, 1Пб, 1Бж, ед. Еа. В ярусе III представлены следующие породы: 7Пб, 2Еа, 1Клм+Лп ед. К, Ил. Подлесок хорошо развит, неравномерный. Он образован следующими кустарниками и лианами: *Corylus mandshurica* (Maxim.), *Eleutherococcus senticosus* (Rupr. et Maxim.), *Philadelphus tenuifolius* (Rupr. et Maxim.), *Euonymus maximovicziana* (Prokh.) Worosch., *Schizandra chinensis* (Turcz.) Baill. Участие сосны корейской в этом насаждении составляет 7 единиц, полнота насаждения 0,7.

При отборе кандидатов в плюсовые деревья учитывали признаки, приведенные в работе Г.В. Сенчуковой [16], при выборе деревьев по орехопродуктивности использовали рекомендации, разработанные Д.А. Титоренко с соавт.² и временные рекомендации Г.В. Сенчуковой и Т.Ф. Емолкиной³. В 2014 г. (во время обильного урожая) под 10 кандидатами в плюсовые деревья было собрано по 10 шишек от каждого дерева. Количественный учет урожайности деревьев вели по методике Н.В. Кречетовой и Г.В. Сенчуковой⁴. Возраст деревьев устанавливали по таблицам «Справочника ...» [17]. Морфологическое описание деревьев и характеристика урожая даны по общепринятым в лесоводстве и семеноводстве

¹ Сокращения, принятые в статье: К – сосна корейская, Бж – береза желтая, Еа – ель аянская, Л – липа амурская, Лп – липа Таке, Клм – клен моно, Пб – пихта белокорая, Ил – ильм лопастной, ед. – встречается единично.

² Титоренко Д.А., Разумов П.Н., Ершов А.А. Рекомендации по отбору плюсовых деревьев, селекционной инвентаризации лесов, закладке и формированию ЛСП и ПЛСУ ели аянской, кедра корейского и лиственницы даурской в Хабаровском и Приморском крае Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1988. 16 с.

³ Временные рекомендации по отбору плюсовых деревьев и закладке семенных плантаций кедра корейского, сосны обыкновенной и лиственницы даурской / сост. Г.В. Сенчукова, Т.Ф. Емолкина. М.: ЦБНТИ, 1973. 36 с.

⁴ Указания по лесному семеноводству в Российской Федерации. М.: ВНИИЦ Лесресурс, 2000. С. 122–123.

методам [18]. Установлены форма, размеры шишек и чешуй, масса 1000 семян и их качество. Жизнеспособность семян определяли путем окрашивания зародыша семени с помощью трифенилтетразола (ТФТ-тест) [18]. Биологическая повторность при анализах 10-кратная. Полученные данные обработаны статистически с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel и Статистика (версия 13.3, StatSoft Inc., USA).

Результаты и обсуждение

При селекционном отборе и выборе плюсовых деревьев, как правило, учитывают следующие признаки: возраст, высоту, диаметр и форму ствола, форму кроны, толщину ветвей, цвет и рисунок коры, интенсивность плодоношения [16, 19, 20]. Исследования показали, что сосна корейская обладает высокой изменчивостью многих морфологических признаков [2, 3, 16]. Одним из важных признаков считают возраст дерева, поэтому в качестве плюсовых отбирают средневозрастные и приспевающие деревья [16]. Для сосны корейской, согласно рекомендациям, этот возраст варьирует от 200 до 250 лет. Тем не менее, по последним данным Е.А. Никитенко [4], при отборе плюсовых деревьев на семенную продуктивность следует ограничить возраст деревьев до 200 лет. По сведениям Т.А. Комаровой с соавторами [2], средневозрастные генеративные деревья сосны корейской на ВУС варьируют по абсолютному возрасту от 150 до 230 лет, по высоте – от 22 до 30 м, а их диаметр на высоте груди составляет 30–60 см. Возраст отобранных нами деревьев находится в пределах от 145 до 240 лет, т.е. их можно отнести к средневозрастным генеративным особям (табл. 1). При этом только два дерева имели возраст до 200 лет, остальные – свыше 200. Следует отметить, что в зависимости от возраста изменялись высота деревьев и диаметр их ствола. У возрастного дерева (240 лет) наибольший диаметр ствола составлял 61 см, а у самого молодого (145 лет) наименьший диаметр – 27,5 см. Высота деревьев изменялась от 21 до 29,9 м. Следует отметить, что деревья № 2, № 8 и № 9, имеющие один возраст (220 лет), различались по высоте и диаметру ствола, при этом они имели разные типы коры (табл. 1).

Форма кроны у сосны корейской, согласно ранее проведенным исследованиям, меняется с возрастом дерева [2, 16]. Обычно встречаются конусовидные, яйцевидные, овальные и обратнаяцевидные (веерообразные) формы крон, причем 80–84 % от общего числа плодоносящих деревьев имеют обратнаяцевидную и овальную форму кроны [2, 16]. При изучении плодоношения дерева на форму кроны всегда обращают особое внимание. Изменение формы кроны сосны корейской связано с обильным семеношением. Как следствие, происходит обламывание вершин под тяжестью шишек, а также от действия обильного снега и сильного ветра [3, 4]. У деревьев сосны корейской уже с начального виргинильного состояния главный верхушечный побег начинает уступать в росте близлежащим боковым ветвям [2]. Ветвление в кроне происходит даже у особей, еще не достигших генеративной зрелости. Боковые ветви в средней части кроны молодых деревьев загибаются кверху и догоняют по высоте верхушечные побеги, на которых, как правило, потом происходит формирование женских генеративных органов. Таким образом, в ходе дальнейшего развития кроны у сосны корейской генеративного возраста активное ветвление кроны приводит к стимулированию процесса плодоношения [2]. Многовершинность кроны и обильность семеношения у сосны корейской –

это взаимосвязанные признаки, характеризующие биологическую особенность этой хвойной породы.

Крона средневозрастных генеративных особей обычно густая, вершина – с 2–5 крупными ветвями [2]. У большинства отобранных нами деревьев преобладает овальная форма кроны, но встречаются деревья и с шаровидной, цилиндрической и яйцевидной формами. Протяженность кроны у деревьев – очень варьирующая величина: от 9,7 до 17,2 м. При этом кроны составляют 45–66 % от высоты ствола дерева. Самая протяженная крона (17,5 м) отмечена у дерева № 9 в возрасте 220 лет, которое имело овальную крону и «чешуйчатокорый» тип коры. Наименьшая протяженность кроны (9,7 м) – у дерева № 3 в возрасте 240 лет с шаровидной кроной и «плитчатокорым» типом коры. Все эти показатели свидетельствуют о возрастных изменениях кроны в процессе онтогенеза деревьев сосны корейской [2]. Протяженность кроны, как установлено ранее, не влияет на урожай дерева [3].

Окраска и рисунок коры служат, как правило, вспомогательными признаками при оценке деревьев, поскольку характеризуют качество древесины. Для сосны корейской характерна большая изменчивость структуры коры. Г.В Сенчуковой по строению коры были выделены две морфологические группы деревьев [16]. К первой группе она отнесла деревья с крупными, толстыми пластинами и глубокими трещинами на коре, их назвали «плитчатокорыми». Деревья с выраженными тонкими пластинами коры различной формы, напоминающими чешуи, отнесены ко второй группе и названы «чешуйчатокорыми». В свою очередь, первая группа деревьев по характеру продольных трещин коры и их глубине представлена тремя разновидностями: с продольно-неправильно-трещиноватой, продольно-правильно-трещиноватой и коротко-правильно-трещиноватой корой. Деревья с разными



Рис. 1. Дерево сосны корейской «плитчатокорого» типа



Рис. 2. Дерево сосны корейской «чешуйчатокорого» типа

типами коры встречаются в лесных фитоценозах примерно в равных количествах и растут в одинаковых условиях [16]. Среди отобранных нами деревьев отмечена та же закономерность. В фитоценозах на ППЗ и ПП4 в одних и тех же экологических условиях встречались деревья с различными типами коры и их разновидностями (рис. 1, 2). При этом только три дерева имели «чешуйчатокорый» тип коры, для большинства деревьев был характерен «плитчатокорый» трещиноватый тип (табл. 1).

Полагают, что изменчивость коры сосны корейской отражает биологическое разнообразие этой древесной породы. По наблюдениям на промышленных лесосеках в 1960–1970-х годах Г.В. Сенчуковой отмечено [16], что деревья с толстой корой – «плитчатокорые» представляют собой более быстрорастущую по диаметру форму. При анализе деревьев на скорость роста в высоту ею была выявлена другая закономерность. Деревья с «плитчатокорой» формой коры значительно уступают по высоте «чешуйчатокорым» [16]. Исследования Т.А. Комаровой с соавт. [2] сосны корейской подтверждают наблюдения Г.В. Сенчуковой о более интенсивном росте по диаметру деревьев с толстой глубоко трещиноватой плитчатой корой. Анализ ростовых показателей отобранных нами деревьев позволил установить следующее. При одинаковом возрасте, например 210 лет, диаметр у дерева № 1 на 4 см больше, чем у дерева № 4, которое отнесено к «чешуйчатокорому» типу (табл. 1).

Деревья одной высоты (22,5 м) под номерами 7 и 10 различались по типу коры и показателям диаметра ствола (табл. 1). Диаметр дерева № 7 был на 3,5 см больше, чем дерева № 10. Эти данные согласуются с утверждением Г.В. Сенчуковой

Таблица 1

**Характеристика деревьев *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.
на Верхнеуссурийском лесном стационаре**

Номер дерева	Координаты	Тип коры	Высота, м	Диаметр, см	Возраст, лет
1	44°01'08,5" с. ш. 134°12'41,1" в. д.	Плитчатая трещиноватая	21,0	44,0	210
2	44°02'00,6" с. ш. 134°12'43,7" в. д.	То же	25,3	51,0	220
3	44°01'94,4" с.ш. 134°12'46,7" в.д.	–"–	24,2	61,0	240
4	44°01'99,4" с. ш. 134°12'43,7" в. д.	Чешуйчатая	21,0	40,0	210
5	44°01'92,6" с. ш. 134°12'56,6" в. д.	Плитчатая трещиноватая	27,0	55,0	230
6	44°01'93,3" с. ш. 134°12'46,7" в. д.	То же	20,5	27,5	145
7	44°01'93,3" с. ш. 134°12'44,4" в. д.	–"–	22,5	39,5	200
6	44°01'90,2" с. ш. 134°12'45,0" в. д.	–"–	25,3	47,0	220
9	44°01'88,9" с. ш. 134°12'47,5" в. д.	Чешуйчатая	29,9	50,5	220
10	44°01'96,1" с. ш. 134°12'53,2" в. д.	–"–	22,5	36,0	180

о более интенсивном росте по диаметру деревьев с «плитчатокорым», трещиноватым типом коры [16]. Тем не менее для достоверного подтверждения этой закономерности необходим более глубокий анализ на большой выборке фактического материала. Однако при сравнении между собой «плитчатокорых» деревьев (с разной глубиной трещиноватости коры), имеющих одну высоту и одинаковый возраст (дерево № 2 и № 8), нами отмечены различия в диаметрах их стволов. Возможно, наличие неглубоких и очень глубоких трещин на поверхности коры у сосны корейской «плитчатокорого» типа – тоже результат различной скорости их роста по диаметру. По данным Т.А. Комаровой с соавторами [2], деревья с чешуйчатым строением коры быстрее растут в высоту, формируют компактную яйцевидную форму кроны с тонкими ветвями. Напротив, «плитчатокорые» деревья имеют мощно развитую обратнояйцевидную крону и отличаются повышенным семеношением. По мнению Г.В. Сенчуковой, изучавшей урожайность шишек на промышленных лесосеках, у одновозрастных деревьев, имеющих разное строение поверхности коры, было разное количество шишек. Деревья с толстой глубокотрещиноватой корой обладают, согласно ее данным, повышенной урожайностью шишек [16].

Обилие семеношения у сосны корейской – один из самых варьирующих признаков, зависящий от влияния множества разных факторов: степени обеспеченности почвенным питанием и освещением, особенностей развития кроны, опыления, наследственных свойств дерева и др. [2– 4, 12, 16]. Количество шишек на одном дереве, по данным Н.В. Кречетовой и В.И. Штейниковой [3], в среднем составляет 25–30 шт., а на самых крупных деревьях авторами в урожайный год было обнаружено до 1000 шишек. Известно, что с возрастом дерева варьируют как количество, так и размеры шишек [2, 3, 5]. В 2014 г. в плюсовом насаждении ВУС было отмечено обильное семеношение сосны корейской. Урожай в изучаемом насаждении на ПП3 и ПП4 был оценен в 4 балла, причем плодоносящие деревья находились в первом ярусе древостоя.

При изучении индивидуальной изменчивости деревьев сосны корейской важны и такие признаки, как форма шишки, ее размеры, а также форма семенных чешуй. Однородные по размерам крупные шишки созревают обычно на молодых деревьях [2, 5]. По нашим многолетним наблюдениям, средняя длина шишки в исследуемом районе варьирует от 17 до 20 см, ширина – от 10 до 14 см. Отдельные экземпляры крупных шишек (длиной до 22 см) мы находили на молодых, хорошо освещенных одиночных деревьях [5]. По сведениям Т.А. Комаровой с соавторами [2], урожай зависит от возраста плодоносящего растения и условий произрастания на ВУС. Например, масса 1000 семян сосны корейской может варьировать от 350 до 870 г (в среднем около 500 г), масса одной шишки в разные годы изменяется от 50 до 350 г.

При анализе урожая с отобранных нами деревьев оказалось, что длина шишек варьировала не только у деревьев в пределах нашего насаждения, но и у одного дерева. Встречались цилиндрическая и конусовидная формы шишек, причем у 5 деревьев были отмечены обе формы (табл. 2). Самые длинные шишки (13–15 см) были собраны с молодых деревьев в возрасте 180–200 лет (табл. 2), самые маленькие шишки (длина 10 см) были у дерева № 3, возраст которого составлял 240 лет. Коэффициент вариации длины шишек изменялся в пределах от 3,21 до 16,5 % (табл. 2). Максимальной вариабельностью длины шишки отличались деревья № 5 (9,15 %) и № 8 (16,5 %). Ширина шишки у исследуемых

деревьев изменялась от 6 до 8,2 см. Причем чем больше была длина шишки, тем больше была и ее ширина (табл. 2). Показатели ширины шишек у отобранных деревьев являлись менее вариабельной величиной, они изменялись в пределах от 2,8 до 8,7 %. Причем коэффициент вариабельности показателей размеров у крупных шишек был небольшим (в пределах 3–7 %), за исключением дерева № 8. Молодые деревья отличались меньшей вариабельностью размеров шишек. Наши данные согласуются с утверждением Г.В. Сенчуковой о том, что с возрастом шишки на деревьях сосны корейской становятся мельче [16]. Различий в величине шишек у деревьев с разным типом коры нами не выявлено.

По строению поверхности семенных чешуй шишек выделены три формы: с гладким щитком, в виде пирамидки и в виде загнутого к основанию крючка [2, 5, 16]. У половины изученных деревьев встречались шишки с загнутыми семенными чешуями. При этом загнутые чешуи отмечены нами как у крупных шишек (дерево № 10), так и у мелких (дерево № 3).

На собранном материале мы не смогли подтвердить мнение Г.В. Сенчуковой о том, что для каждого дерева характерна только одна форма семенных чешуй [16]. При наличии в выборке шишек на разных стадиях их созревания, возможно, у одного дерева встречаются и разные типы чешуй. Для подтверждения этой закономерности необходим анализ очень большой выборки фактического материала, собранного строго с индивидуальных деревьев сосны корейской.

Таблица 2

Морфологические показатели шишек сосны корейской на Верхнеуссурийском стационаре

Номер дерева	Форма шишек / чешуй	Длина шишки*, см	V, %	Ширина шишки*, см	V, %
1	Цилиндрическая, конусовидная / прямые	13,25 ± 0,64**	4,83	7,50 ± 0,41**	5,47
2	То же	11,75 ± 0,50	4,25	7,40 ± 0,21	2,84
3	Конусовидная / загнутые	10,90 ± 0,65	5,96	6,00 ± 0,35	5,83
4	Цилиндрическая, конусовидная / загнутые	15,75 ± 0,55	3,49	8,40 ± 0,42	5,00
5	Цилиндрическая, конусовидная / прямые	13,00 ± 1,19	9,15	7,50 ± 0,27	3,6
6	Цилиндрическая / загнутые	14,40 ± 1,02	7,08	8,20 ± 0,57	6,95
7	Цилиндрическая, конусовидная / прямые	13,10 ± 0,42	3,21	7,14 ± 0,21	2,94
8	Конусовидная / загнутые	14,90 ± 2,46	16,50	7,70 ± 0,67	8,70
9	Цилиндрическая / прямые	12,80 ± 0,76	5,93	6,84 ± 0,42	6,14
10	Цилиндрическая / загнутые	15,40 ± 0,65	4,22	7,90 ± 0,35	4,43

*Средняя арифметическая величина.

**Среднее квадратичное отклонение.

Примечание. V – коэффициент вариации.

При заготовке семян сосны корейской учитывают и ряд других важных признаков деревьев – например, на каких деревьях находятся шишки, в орехах которых формируются крупные ядра. Такие орехи представляют большую пищевую ценность, и их более целесообразно использовать для получения масла и других продуктов. Показатель массы 1000 семян необходимо знать и при расчетах ожидаемых урожаев [3]. Ранее было установлено, что абсолютная масса семян в определенных условиях произрастания находится в зависимости от возраста дерева [2, 16]. У молодых деревьев семена обычно крупные, а с увеличением возраста деревьев масса семян уменьшается [5]. Одновозрастные деревья в разных экологических условиях дают разные по массе семена. Деревья на южном склоне, например, имеют более крупные семена в шишках, чем растущие на северном склоне [3]. Все перечисленные особенности семенного материала сосны корейской могут быть использованы при ее селекционном отборе.

При анализе собранного семенного материала оказалось, что размеры семян всегда находятся в прямой зависимости от размера шишки. В небольших по размеру шишках часто находили крупные семена, а в крупных – мелкие. Число семян в собранных шишках варьировало в среднем от 111 до 172 шт. (табл. 3). У деревьев с крупными шишками (№ 1, 4, 8, 10) количество семян в шишках изменялось от 130 до 170 шт., а также была и большая масса 1000 семян – от 412 до 556 г. Шишки с дерева № 3 (возраст 240 лет) имели наименьшее число семян в шишке и наименьшую массу, однако их жизнеспособность была высокой (92 %). Следует отметить, что качество семян не зависело от возраста дерева. Самые крупные шишки (деревья № 4 и № 10) обычно имели большую массу 1000 семян и высокую жизнеспособность (свыше 90 %) (табл. 2, 3). Коэффициент вариации массы 1000 семян имел большую вариабельность и изменялся от 1,26 % (дерево № 3, возраст 240 лет) до 24,9 % (дерево № 9, возраст 220 лет). Коэффициент вариации числа семян в шишке, согласно нашим данным, был более вариабелен (от 7,7 до 23 %). Наименьший коэффициент вариации количества семян в шишке отмечен у дерева № 7. Семена этого дерева имели самую низкую (52,5 %) жизнеспособность и самую высокую пустосемянность (47,5 %). Коэффициент вариации количества жизнеспособных семян у всех деревьев изменялся в пределах от 1,4 до 12,8 %. Следует отметить, что в шишках только у двух деревьев (№ 1 и № 7) находились семена с самым низким процентом жизнеспособности (табл. 3), они были отнесены к 3 классу качества; у других 8 деревьев шишки имели семена с высокой жизнеспособностью (1 класса качества)⁵.

Необходимо отметить, что гетерогенность семян сосны корейской зависит от возраста дерева, расположения шишки в кроне и даже от расположения семени в отдельно взятой шишке. По нашим данным [5], семена в верхней части шишки имели минимальное количество запасных белков, жиров и сахаров. Поэтому при заготовке семян для выращивания качественного посадочного материала было рекомендовано извлекать их только из нижней и средней частей шишки [5]. Это гарантирует получение семян с высокой жизнеспособностью, поскольку семена в верхней части шишки, как правило, неразвитые, мелкие, а если и имеют вполне сформированную оболочку, то внутри пустые. Известно, что пустосемянность у хвойных пород рассматривается как генетический груз популяции при самоопылении [19]. Другими причинами образования пустых семян могут быть

⁵ Гост 14161-86. Семена хвойных древесных пород. Посевные качества. Технические условия.

Характеристика семян сосны корейской на Верхнеуссурийском лесном стационаре

Номер дерева	Масса 1000 семян*, г	V, %	Количество семян в шишке*, шт.	V, %	Количество жизнеспособных семян*, %	V, %
1	412,80 ± 69,67**	16,87	172,60 ± 6,63**	15,43	67,19 ± 8,64**	12,85
2	514,00 ± 62,21	12,11	120,75 ± 17,88	14,81	88,90 ± 2,78	3,13
3	220,25 ± 2,78	1,26	111,00 ± 19,20	17,30	92,15 ± 3,73	4,05
4	556,00 ± 53,71	9,66	148,00 ± 16,69	11,28	94,12 ± 2,17	2,31
5	443,00 ± 78,04	17,62	170,40 ± 37,75	22,15	92,07 ± 5,50	5,90
6	535,40 ± 76,27	14,25	128,4 ± 17,13	13,34	85,13 ± 1,12	1,32
7	530,60 ± 22,70	4,28	169,40 ± 13,18	7,78	58,52 ± 3,13	5,35
8	412,20 ± 58,45	14,18	147,00 ± 19,15	13,03	95,03 ± 2,75	2,89
9	460,40 ± 114,82	24,94	154,40 ± 35,79	23,18	81,62 ± 9,14	11,20
10	499,75 ± 38,18	7,64	162,20 ± 31,93	19,69	92,03 ± 1,29	1,40

*Средняя арифметическая величина,

**Среднее квадратичное отклонение.

Примечание. V – коэффициент вариации.

неблагоприятные погодные условия при опылении, а также генетические особенности деревьев. Возможно, недоразвитие семени – результат нарушения транспорта ассимилятов в верхнюю часть уже сформировавшейся шишки, например в засушливые периоды вегетации или в период тайфунов. Для выяснения этих причин нами был сделан анализ почвы фитогенных полей плюсовых деревьев [21]. Оказалось, что дерево № 7 растет на самом краю склона и в период ежегодных летних тайфунов его почвенные условия произрастания кратковременно резко изменялись. Вероятно, происходило вымывание питательных веществ, которых и не хватило для формирования полноценных семян в верхней части шишки. На следующий вегетационный период анализ почв не показал существенных различий вблизи деревьев с различной жизнеспособностью семян. Деревья № 1 и № 7, вероятно, следует исключить из категории плюсовых из-за низкого качества семян. Пустосемянность может быть результатом, в данном случае, и генотипических особенностей этих деревьев. Тем не менее, при отборе плюсовых деревьев необходимо учитывать фактор расположения дерева на склоне. Показатель массы 1000 семян, по нашему мнению, не всегда может отражать качество сформированного урожая из-за наличия высокой пустосемянности.

Морфологические показатели шишек и семян сосны корейской сегодня успешно учитывают при выращивании элитного посадочного материала. Так, например, проведен анализ корреляционных связей между морфологическими параметрами репродуктивных органов сосны корейской и ростовыми характеристиками саженцев, полученных из семян 244 плюсовых деревьев [9–11]. Установлены корреляционные связи высоты саженцев с морфологическими показателями репродуктивных органов. У 5-летних саженцев, например, высота растений имеет положительную корреляцию с диаметром и массой шишки, а также с длиной, шириной и массой семян. Показано также, что корреляционные связи между характеристикой репродуктивных органов и показателями роста исчезают к 20-летнему возрасту растений, а в дальнейшем показатели роста деревьев находятся под генетическим контролем. Поэтому очень важно иметь генотипическую характеристику плюсовых деревьев. Генотипированием плюсовых деревьев хвойных

в Дальневосточном регионе сегодня начали заниматься в генетической лаборатории Центра защиты леса в г. Хабаровск.

Согласно утвержденным рекомендациям [20], необходимо проводить многолетние наблюдения за репродуктивными органами плюсовых деревьев хвойных пород и вести регулярный анализ качества семян. Подобная работа в насаждениях сосны корейской требует много времени, поскольку формирование генеративных органов у сосны корейской происходит в течение 3 вегетационных периодов. Обильные урожаи шишек у сосны корейской бывают периодически, обычно 1 раз в 3–4 года [2, 4, 5], а небольшие, слабые урожаи еще на деревьях часто «уничтожаются» белками и кедровкой. После 2014 г. нам не удалось собрать урожай шишек с кандидатов в плюсовые деревья. Полученные нами результаты по качеству семян сосны корейской можно считать предварительными. Наблюдения за плодоношением сосны корейской будут продолжены с целью дальнейшего анализа урожая и выявления высокопродуктивных деревьев с хорошим качеством семян.

Заключение

При изучении лесов стационара выбраны и охарактеризованы орехопродуктивные насаждения на площади около 5 га, расположенные в кедровниках с елью и большим количеством желтой березы. Участие сосны корейской в этих типах леса составляет 7–8 ед. Кандидаты в плюсовые деревья находятся в I ярусе древостоя.

Деревья сосны корейской растут в одинаковых условиях и имеют различные фенотипы коры, отражающие биоразнообразие этого вида, что, вероятно, указывает на генетическую обусловленность данного признака. Крайне важно установить в ближайшее время генетические характеристики деревьев с разными типами коры. Дальнейшее развитие таких исследований будет иметь большое практическое значение. Морфологические различия деревьев, например по строению коры ствола, могут быть использованы при селекционном отборе на интенсивность роста деревьев и активность плодоношения.

Проведенные нами исследования позволили установить, что с увеличением возраста дерева шишки у сосны корейской становятся мельче, при этом на молодых деревьях формируются очень крупные экземпляры. Различий в величине шишек у деревьев с разным типом коры не выявлено. Качество семян в шишках отобранных деревьев не зависело от возраста деревьев. Большинство отобранных плюсовых деревьев имели шишки с семенами 1 класса качества. Показатель массы 1000 семян, по нашему мнению, не всегда отражает их реальное качество. При выборе плюсовых деревьев на семенную продуктивность следует ограничить возраст деревьев до 200 лет, а также принимать во внимание расположение плюсового дерева на лесной территории.

Показатели урожая плюсового насаждения и сведения о качестве семян могут быть использованы в практических целях при массовом сборе семенного материала для выращивания сеянцев сосны корейской с улучшенными свойствами. Сбор семян с целью получения потомства от плюсовых деревьев позволит в будущем развернуть работы по селекционному отбору деревьев сосны корейской по орехопродуктивности.

Таким образом, выделенный на ВУС лесной массив будет рекомендован в качестве генетического резервата сосны корейской. Охранный статус генетического

резервата необходимо закрепить соответствующим решением законодательных органов края. Дальнейшие работы по выделению плюсовых насаждений и отдельных деревьев на территории лесного стационара – самый реальный путь для сохранения ценного генофонда сосны корейской в Чугуевском районе Приморского края.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Великов А.В., Потенко В.В. Генетические ресурсы сосны корейской на Дальнем Востоке России: теоретические основы и прикладные аспекты. М.: Наука, 2006. 174 с.
2. Комарова Т.А., Ухваткина О.Н., Трофимова А.Д. Онторморфогенез сосны корейской (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) в условиях среднегорного пояса южного Сихотэ-Алиня // Бюл. Ботан. сада-института ДВО РАН. 2010. Вып. 5. С. 81–92.
3. Кречетова Н.В., Штейникова В.И. Плодоношение кедра корейского. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1963. 60 с.
4. Никитенко Е.А. Результаты селекции клонов кедра корейского *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. на семенную продуктивность // Сиб. лес. журн. 2016. № 35. С. 81–90.
5. Орехова Т.П. Семена сосны корейской (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) (биологическая характеристика, биохимический состав, рекомендации по сбору и длительному хранению). Владивосток, 2004. 64 с.
6. Орехова Т.П. Проблема охраны генофонда сосны корейской (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) в Приморском крае и пути ее решения // Хвойные бореальной зоны. 2012. Т. 30, № 3–4. С. 298–302.
7. Орехова Т.П. Особенности семеношения и естественного возобновления древесных пород в кедрово-широколиственных лесах заповедника «Уссурийский» // Хвойные бореальной зоны. 2017. Т. 35, № 1/2. С. 46–53.
8. Kim Z.S., Lee S.W. Genetic diversity of three native *Pinus* species in Korea // Population genetic and genetic conservation of forest trees. Amsterdam: SPB Acad. publ., 1995. P. 211–218.
9. Song J.M., Han S.U., Yi J.S., Kim N.H., Cheong E.J. The effect of thinning and crown management on cone production and nutritional component of pine nuts // Summary of conference papers II International Symposium on Korean Pine Biology and Silviculture. September 16–25, 2019. Vladivostok, 2019. P. 36.
10. Cui X., Gu J., Wang H., Wei H. Effects of fertilization on nutrition and cone yield of a dual-purpose *Pinus koraiensis* plantation established for timber and pine nut production // Summary of conference papers I International symposium on Korean Pine Biology and Silviculture, July 25–30, 2018. Harbin, 2018. P. 15.
11. Han S.U., Yi J.S., Cheong E.J. Selective breeding of Korean White pine in Korea // Summary of conference papers. I International symposium on Korean Pine Biology and Silviculture, July 25-3, 2018. Harbin, 2018. P. 12.
12. Братилова Н.П., Матвеева Р.Н., Пастухова А.М., Шимова Ю.С., Гришлова М.В., Борчакова М.С., Коновалова Д.А. Интродукция сосны кедровой корейской на юге Средней Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2019. Вып. 37, № 3/4. С. 209–213.
13. Кузнецова Г.В. Изменчивость качества семян у климатипов сосны корейской в географических культурах // Бюл. Никитского ботан. сада. 2009. Вып. 90. С. 10.
14. Ковалев А.П., Лашина Е.В. Особенности формирования кедрово-широколиственных лесов после промышленных рубок // Аграр. вестн. Приморья. 2018. № 3 (11). С. 57–61.
15. Современное состояние лесов Российского Дальнего Востока и перспективы их использования / под ред. А.П. Ковалева. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. 470 с.
16. Сенчукова Г.В. К вопросу о внутривидовой изменчивости кедрового // Сб. тр. ДальНИИЛХ. Хабаровск: Хабар. кн. изд-во. Вып. 8. 1966. С. 317–335.
17. Справочник для таксации лесов Дальнего Востока / под ред. В.Н. Корякина. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1990. С. 113.
18. Международные правила анализа семян. М: Колос, 1984. 310 с.
19. Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф. Генетика, селекция, семеноводство кедрового сибирского. Красноярск: СибГТУ, 2000. 243 с.
20. Рекомендации по отбору и оценке плюсовых деревьев кедрового сибирского на семенную продуктивность М.: ВНИИЦ ресурс, 2000. 36 с.

21. Пуртова Л.Н., Орехова Т.П., Киселева И.В. Физико-химические показатели и каталазная активность почв в пределах фитогенных полей плюсовых деревьев (*Pinus koraiensis* Zieb.et Succ.) на Верхнеуссурийском лесном стационаре // Вопр. лес. науки. Т. 3, № 2. С. 1–14. DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-2-2-15

REFERENCES

1. Velikov A.V., Potenko V.V. Genetic resources of Korean pine in the Russian Far East: theoretical basics and applied aspects. M: Nauka; 2006. 174 p. (In Russ.).

2. Komarova T.A., Ukhvatkina O.N., Trofimova A.D. Ontomorfogenez sosny koreyskoi (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) v usloviyakh srednegornogo poyasa yuzhnogo Sikhote-Alinya = [Ontomorphogenesis of korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) in the middle mountain zone of Sikhote-Alin' conditions. *Byulleten' Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN*. 2010;5:81-92. (In Russ.).

3. Krechetova N.V., Shteinikova V.I. Plodonoshenie kedra koreiskogo = [Fructification of Korean pine]. Khabarovsk: Dal'NIILKH; 1963. P. 60. (In Russ.).

4. Nikitenko E.A. Resultaty selectsii clonov kedra koreiskogo *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. na semenuyu productivnost' = [The results of clone breeding of Korean pine *Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc. on seed productivity]. *Sibirskiy lesnoi zhurnal*. 2016;(35):81-90. (In Russ.).

5. Orekhova T.P. Semena sosny koreiskoi (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) (biologicheskaya charakteristika, biokhemichestkiy sostav, rekomendatsii po sboru dlitel'nomu khaneniyu) = [The Korean pine seeds (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) (biological characteristics, biochemical content, recommendation for harvesting and long-time storage)]. Vladivostok; 2004. P. 64. (In Russ.).

6. Orekhova T.P. Problema okhrany genofonda sosny koreiskoi (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) v Primorskom krae i puti ee resheniya = [The problem of the Korean pine (*Pinus koraiensis* Sieb. et Zucc.) gene pool conservation in Primory'e territory and ways to resolve]. *Conifers of the Boreal Area*. 2012;30(3-4):298-302. (In Russ.).

7. Orekhova T.P. Osobennosti semenosheniya i estestvennogo vosobnovleniya drevesnykh porod v kedrovo-shirokolistvennykh lesach zapovednica Ussuriyskiy = [Particularity of seed production and natural renewal of woody species in the Ussuriyskiy reserve cedar broadleaved forests]. *Conifers of the Boreal Area*. 2017;35(1/2.):46-53. (In Russ.).

8. Kim Z.S., Lee S.W. Genetic diversity of three native *Pinus* species in Korea. *Population genetic and genetic conservation of forest trees*. Amsterdam: SPB Acad.publ.; 1995. P. 211-218.

9. Song J.M., Han S.U., Yi J.S., Kim N.H., Cheong E.J. The effect of thinning and crown management on cone production and nutritional component of pine nuts. In: *Summary of conference papers. II International Symposium on Korean Pine Biology and Silviculture*. September 16-25, 2019. Vladivostok; 2019. P. 36.

10. Cui X., Gu J., Wang H., Wei H. Effects of fertilization on nutrition and cone yield of a dual-purpose *Pinus koraiensis* plantation established for timber and pine nut production. In: *Summary of conference papers I International symposium on Korean Pine Biology and Silviculture*, July 25-30, 2018. Harbin, China; 2018. P. 15.

11. Han S.U., Yi J.S., Cheong E.J. Selective breeding of Korean White pine in Korea. In: *Summary of conference papers I International symposium on Korean Pine Biology and Silviculture*, July 25-30, 2018. Harbin, China; 2018. P. 12.

12. Bratilova N.P., Matveeva R.N., Pastuchova A.M., Shimova U.S., Grishlova M.V., Borchakova M.S., Konovalova D.A. Introductiya sosny kedrovoy koreiskoi na yuge Sredhei Sibiri = [Introduction of *Pinus koraiensis* in the south of middle Siberia]. *Conifers of the Boreal Area*. 2019;37(3/4):209-213. (In Russ.).

13. Kuznetsova G.V. Izmenchivost' kachestva semyan u klimatipov sosny koreyskoy v geograficheskikh kul'turakh = [Variability the seed's quality of Korean pine klimatipov in geographyc culture]. *Bull. Nikitskogo bot. sada*; 2009. Vol. 90. P. 10-13. (In Russ.).

14. Kovalev A.P., Lashina E.V. Osobennosti formirovaniya kedrovo-shirokolistvennykh lesov posle promyshlennykh rubok. *Agrarnyy vestnik Primorya*. 2018;3(11):57-61. (In Russ.).

15. Kovaleva A.P. (ed.) Sovremennoe sostoyanie lesov rossiyskogo Dal'nego Vostoka i perspektivy ikh ispol'zovaniya. Khabarovsk: DAL'NIILKH; 2009. 470 p. (In Russ.).

16. Senchukova G.V. K voprosu o vnutrividovoi izmenchivosti kedra koreiskogo = [About question of inter specific variability Korean pine]. *Sbornik trudov Dal'NIILKH: Khabarovsk*; 1966. Vol. 8. P. 317-335. (In Russ.).

17. Koryakina V.N. (ed.). Spravochnik dlya taksatsii lesov Dal'nego Vostoka = [Handbook for forest inventory of the Far East forests]. Khabarovsk: DAL'NIILKH; 1990. 113 p. (In Russ.).
18. Mezhdunarodnye pravila analiza semyan = [International rules for seed testing]. M.: Kolos; 1984. 310 p. (In Russ.).
19. Matveeva R.N., Butorova O.F. Genetika, selektsyya, semenovodstvo kedra sibirskogo = [Genetic, selection, seed farming of Siberian pine]. Krasnoyarsk: SibGTU; 2000. 243 p. (In Russ.).
20. Rekomendatsii po otboru i otsenke plusovykh derev'ev kedra sibirskogo na semennyu produktivnost' = [Recommendation on selection and estimate for seeds productivity the Korean pine plus trees]. M.: VNIITS resurs; 2000. 36 p. (In Russ.).
21. Purtova L.N., Orekhova T.P., Kiseleva I.V. Fiziko-chimicheskie pokazateli i katalasnaya aktivnost' pochv v predelakh fitogennykh poley plusovykh derev'ev (*Pinus koraiensis* Zieb. et Succ.) na Verkhneussuriiskom lesnom statsionare = [The physic-chemical parameters and catalas activity of the soil in the range of phytogenic fields of Korean pine plus trees at Verkhneussuriysky forest station]. *Voprosy lesnoy nauki*. 2021;3(2):1-14. (In Russ.). DOI 10.31509/2658-607x-2020-3-2-2-15.

Научная статья

УДК 582.21

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_6

Биоразнообразие цианобактерий и водорослей пирокластических отложений и почв вулканов юга Камчатки

Р.З. Аллагуватова✉, А.Ю. Никулин, В.Б. Багмет, Ш.Р. Абдуллин

Резеда Зинуровна Аллагуватова
аспирант, ведущий инженер
ФНЦ Биоразнообразия наземной
биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, Россия
allaguvatova@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6850-6767>

Вероника Борисовна Багмет
кандидат биологических наук, научный
сотрудник
ФНЦ Биоразнообразия наземной
биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, Россия
chara1989@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-1193-7689>

Артур Юрьевич Никулин
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник
ФНЦ Биоразнообразия наземной
биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, Россия
artyrozz@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0001-6113-2136>

Шамиль Раисович Абдуллин
доктор биологических наук, ведущий
научный сотрудник
ФНЦ Биоразнообразия наземной
биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, Россия
crplant@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6946-2321>

Аннотация. В пробах почв и пирокластических отложений, отобранных на вулканах Авачинский, Вилючинский, Корякский и в седловине между Авачинским и Корякским вулканами, было выявлено 54 вида и внутривидовых таксона цианобактерий и водорослей из 5 отделов: Cyanobacteria – 3 вида (5,5 %), Bacillariophyta – 22 вида и внутривидовых таксона (40,7 %), Ochrophyta – 1 вид (1,8 %), Charophyta – 2 вида (3,7 %) и Chlorophyta – 26 видов (48,1 %). Доминировали представители amph.-форм, что говорит о повышенном увлажнении вулканического субстрата, отобранного на склоне и у подножия вулканов.

Ключевые слова: вулканический субстрат, фототрофные микроорганизмы, Авачинский, Вилючинский и Корякский вулканы

Для цитирования: Аллагуватова Р.З., Никулин А.Ю., Багмет В.Б., Абдуллин Ш.Р. Биоразнообразие цианобактерий и водорослей пирокластических отложений и почв вулканов юга Камчатки // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 75-87. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_6.

Благодарности. Авторы выражают признательность А.А. Гончарову (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН) за ценные замечания при подготовке рукописи.

Финансирование. Исследование было выполнено при поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований № 20-04-00814 «Исследование биоразнообразия водорослей и цианобактерий вулканических почв и грунтов полуострова Камчатка с использованием полифазного метода» и в рамках выполнения государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000117-9).

Original article

Cyanobacteria and algae biodiversity of grounds and soils from south Kamchatka volcanoes

R.Z. Allaguvatova, A.Yu. Nikulin, V.B. Bagmet, Sh.R. Abdullin

Rezeda Z. Allaguvatova
PhD student, Leading Engineer
Federal Scientific Center of the East
Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS,
Vladivostok, Russia
allaguvatova@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6850-6767>

Veronika B. Bagmet
Candidate of Sciences in Biology,
Researcher
Federal Scientific Center of the East
Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS,
Vladivostok, Russia
chara1989@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-1193-7689>

Arthur Yu. Nikulin
Candidate of Sciences in Biology,
Senior Researcher
Federal Scientific Center of the East
Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS,
Vladivostok, Russia
artyrozz@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0001-6113-2136>

Shamil R. Abdullin
Doctor of Sciences in Biology, Leading
Researcher
Federal Scientific Center of the East
Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS,
Vladivostok, Russia
crplant@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6946-2321>

Abstract. 54 species and intraspecific taxa from 5 phyla: Cyanobacteria – 3 species (5.5 %), Bacillariophyta – 22 species and intraspecific taxa (40.7 %), Ochrophyta – 1 species (1 %), Charophyta – 2 species (3.7 %) and Chlorophyta – 26 species (48.1 %) were revealed during the study on biodiversity of cyanobacteria and algae in samples of pyroclastic deposits and soils from Avachinsky, Vilyuchinsky, Koryaksky volcanoes and saddle between Avachinsky and Koryaksky volcanoes. Representatives of amph.-forms dominated, which indicates an increased moistening of the volcanic substrate sampled on the slope and at the foot of the volcanoes.

Keywords: volcanic substrate, phototrophic microorganisms, Avachinsky, Vilyuchinsky and Koryaksky volcanoes

For citation: Allaguvatova R.Z., Nikulin A.Yu., Bagmet V.B., Abdullin Sh.R. Cyanobacteria and algae biodiversity of grounds and soils from south Kamchatka volcanoes. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(5):75-87. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_6.

Acknowledgments. The authors are very thankful to A.A. Goncharov (Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity) for valuable discussions during preparation of manuscript.

Funding. The study was funded by the Russian Foundation for Basic Research, project number 20-04-00814 a «Study of biodiversity of algae and cyanobacteria of volcanic soils and grounds of

Kamchatka peninsula using a polyphasic approach» and research was carried out within the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme no. 121031000117-9).

Введение

Микроорганизмы, населяющие безжизненные вулканические субстраты, запускают первичную автогенную сукцессию, способствуя накоплению органического вещества и переводя биогенные элементы в доступную для высших растений форму. Так как многие промышленные отвалы считаются аналогами вулканических шлаков и пеплов, понимание механизмов сукцессии вулканического субстрата, возможно, позволит решить вопрос рекультивации сельскохозяйственных земель и отвалов, образующихся при завершении хозяйственной деятельности человека [1]. Цианобактерии и водоросли вулканических грунтов выдерживают недостаток питательных элементов, дефицит влаги, повышенное ультрафиолетовое излучение и иссушение. Способность цианобактерий и водорослей выживать в данных условиях может быть использована при разработке искусственных экосистем в космобиологических исследованиях [2]. К адаптивным механизмам, позволяющим фотосинтезирующим микроорганизмам существовать на вулканах, относятся интенсивное образование слизистых чехлов, оберток и других видов оболочек, снижающих потерю воды; синтез каротиноидов для защиты от излучения и др. [3]. Выявление биохимических путей адаптации цианобактерий и водорослей вулканических местообитаний позволит получать из них ценные биологически активные вещества (пигменты, фенолы, флавоноиды, витамины и др.) при последующих биотехнологических исследованиях [4]. В связи с этим изучение биоразнообразия цианобактерий и водорослей вулканических грунтов и почв имеет большое фундаментальное и прикладное значение.

На территории России все действующие вулканы расположены на территории Курило-Камчатского вулканического пояса. Однако изучение цианобактерий и водорослей вулканов Камчатки проводилось лишь фрагментарно. Так, в результате исследования вулканических шлаков и пеплов, образовавшихся после Большого трещинного толбачинского извержения (БТТИ), было обнаружено 20 видов этих организмов [5]. При анализе проб почв вулканов Мутновский и Горелый был выявлен 21 вид цианобактерий и водорослей из 4 отделов: Cyanobacteria – 4, Chlorophyta – 15 (Chlorophyceae – 10, Trebouxiophyceae – 5), Charophyta – 1, Ochrophyta – 1 [6]. В грунтах лавовых пещер Погибшая и Гончарова, располагающихся на юго-восточном склоне влк. Горелый-3, найдено 16 видов фототрофных микроорганизмов [7]. Согласно предварительным данным, полученным при исследовании грунтов и почв влк. Шивелуч, было обнаружено 18 таксонов цианобактерий и водорослей, относящихся к 5 отделам: Cyanobacteria – 4, Bacillariophyta – 4, Ochrophyta – 2 (Eustigmatophyceae – 1, Xanthophyceae – 1), Charophyta – 1, Chlorophyta – 7 (Chlorophyceae – 2, Trebouxiophyceae – 5) [8]. Изучение проб, отобранных в окрестностях вулкана Авачинский (березняк вейниково-разнотравный, ольховник (тефровые пустоши), тополежник редкотравный), показало наличие 2 видов цианобактерий и 10 видов водорослей [9]. В целом биоразнообразие этих организмов в данных местообитаниях оказалось невысоким. С одной стороны, это связано, по-видимому, с экстремальными условиями,

с другой – с тем, что в большинстве исследований использовался традиционный подход, основанный на морфологической идентификации таксонов.

Целью данного исследования является изучение биоразнообразия цианобактерий и водорослей пирокластических отложений и почв вулканов Авачинский, Вилючинский, Корякский и седловины между Авачинским и Корякским вулканами с использованием полифазного подхода.

Материалы и методы

Объектами изучения послужили вулканы Авачинский, Вилючинский, Корякский и седловина между Авачинским и Корякским вулканами (далее – Седловина). Авачинский – действующий стратовулкан андезитового состава. Последнее его извержение произошло 13 января 1991 г. [10]. В 2001 г. отмечен кратковременный и небольшой парогазовый выброс, содержащий пепел [11]. Основная постройка влк. Вилючинский формировалась во второй половине четвертичного оледенения, что подтверждается наличием следов ледниковой обработки. Однако предполагается, что вулкан проявлял активность и в послеледниковое время, о чем свидетельствуют хорошо сохранившиеся потоки на южных склонах. Вулкан сложен преимущественно андезитовыми лавами [12]. Корякский – типичный андезибазальтовый стратовулкан правильной формы. Согласно анализу динамики его активности за первое полугодие 2009 г., за 2010 г. и в историческом прошлом, предполагается, что его фумарольная деятельность сохранится на прежнем уровне [10]. Седловина – это долина р. Правая Седловинская протяженностью 19 км, покрытая слоем вулканокластических отложений, берущая начало от склонов влк. Корякский [13]. Предположительно, в области Седловины вулканическая деятельность отсутствует [14].

Материалом для настоящей статьи послужили пробы почв и пирокластических материалов с вулканов Авачинский (7 проб), Вилючинский (6), Корякский (8) и из Седловины (8), отобранные в августе 2020 г. с использованием классических методов [15]. Пробы тефры, литозема, слоисто-пепловой и слоисто-охристой почвы отбирали на площади 4–6 см², с поверхностного слоя до глубины 5–8 см, массой не более 500 г, на высоте от 279 до 1152 м над ур. м. Для более полного выявления таксономического состава цианобактерий и водорослей накопительные культуры выращивались с использованием стерильной модифицированной среды Waris-H с силикатом [16] и модифицированной среды Bold с утроенным содержанием азота и добавлением витаминов [16]. Клональные культуры были выделены микропипеточным методом [16]. Видовую принадлежность определяли с использованием полифазного подхода, включая культуральный метод. В связи с этим численность видов, измеренная после культивирования, отличалась от отмеченной в исходных образцах [15]. Поэтому для определения баллов обилия видов была использована максимально простая шкала из трех степеней: 1 – редкий, 2 – частый, 3 – доминирующий. К доминирующим относили виды с наибольшей суммой баллов обилия.

Морфологию цианобактерий и водорослей исследовали на световом микроскопе Olympus BX 53, оснащенный оптикой Nomarski DIC, и сканирующем электронном микроскопе Merlin (Carl Zeiss). Для морфологических исследований диатомовых водорослей створки очищали путем кипячения в перекиси водорода, несколько раз промывали дистиллированной водой и помещали в среду Эляшева

[17] с показателем преломления 1,67–1,68. Для сканирующей электронной микроскопии материал сушили на латунных столиках и покрывали хромом. Для предварительной видовой идентификации цианобактерий и водорослей по морфологическим признакам были использованы сводки и определители [7, 8, 18, 19]. Систематика цианобактерий и водорослей дана согласно базе данных М.Д. и Г.М. Гюри Algae Base¹.

ДНК выделяли методом Ц.С. Эхта с соавторами [20] с модификациями К.В. Киселева с соавторами [21]. Маркерные участки амплифицировали посредством полимеразной цепной реакции (ПЦР) с помощью набора Encyclo Plus PCR (Евроген) в амплификаторе T100 (Bio-Rad Laboratories). Для генотипирования представителей Chlorophyta и Charophyta амплифицировали высоковариабельный и информативный маркер – внутренний транскрибируемый спейсер ядерной рибосомной ДНК (ITS-регион ярдНК), используя праймеры Bd18SF (5'-TTTGTACACACCGCCCGTCGC-3') и ITS4R (5'-TCCTCCGCTTATTGATATGC-3'). Генотипировали цианобактерии по фрагменту гена 16S рРНК с применением праймеров 27F (5'-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') и 1492R (5'-GGTTACCTTGTACGACTT-3') [18]. Для определения и подтверждения видовой принадлежности полученные последовательности сравнивали с имеющимися в Национальном центре биотехнологической информации США (NCBI) с помощью поиска BLAST². В случае 99–100%-го сходства с последовательностями из NCBI принималась принадлежность цианобактерий и водорослей к тому же виду, при сходстве 97–98 % – к одному роду.

Система жизненных форм цианобактерий и водорослей дана по Э.А. Штине и М.М. Голлербаху [22].

Для флористического анализа применяли качественный коэффициент сходства Сьеренсена – Чекановского $K = 2a / (b + c)$, где a – число общих таксонов для двух исследований, b – число таксонов, характерных только для первого исследования, c – число таксонов, характерных только для второго исследования [15].

Результаты и обсуждение

В 29 пробах с вулканов Авачинский, Вилючинский, Корякский и Седловины выявлено 54 вида и внутривидовых таксона цианобактерий и водорослей (табл. 1), относящихся к 5 отделам: Cyanobacteria – 3 вида (5,5 %), Bacillariophyta – 22 вида и внутривидовых таксона (40,7 %), Ochrophyta – 1 вид (1,8 %), Charophyta – 2 вида (3,7 %) и Chlorophyta – 26 видов (48,1 %). По классам выявленные организмы распределились следующим образом: Cyanophyceae – 3 вида (5,5 %), Bacillariophyceae – 21 вид и внутривидовой таксон (38,8 %), Coscinodiscophyceae – 1 вид (1,8 %), Eustigmatophyceae – 1 вид (1,8 %), Zygnematomphyceae – 1 вид (1,8 %), Klebsormidiophyceae – 1 вид (1,8 %), Chlorophyceae – 13 видов (24,1 %), Trebouxiophyceae – 13 видов (24,1 %).

¹ Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2021. – <http://www.algaebase.org> (дата обращения: 18.10.2021).

² BLAST (Basic Local Alignment Search Tool), 2021, National Center for Biotechnology Information, U.S. National Library of Medicine. – <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (дата обращения: 14.03.2021).

Таблица 1

Таксономический состав цианобактерий и водорослей вулканов Авачинский, Вилючинский, Корякский и Седловины

№	Таксон	ЖФ	А	В	К	С
CYANOBACTERIA						
Сем. Leptolyngbyaceae						
1	<i>Stenomitos cf. rutilans</i> Miscoe & J.R. Johansen	P				+
2	<i>Phormidesmis cf. arctica</i> Raabová, L. Kovacik, Elster et Strunecký	P	+			+
Сем. Chlorogloeopsidaceae						
3	<i>cf. Chlorogloeopsis fritschii</i> (A.K. Mitra) A.K. Mitra et D.C. Pandey	CF				+
BACILLARIOPHYTA						
Сем. Bacillariaceae						
4	<i>Nitzschia fonticola</i> (Grun.) Grun.	amph.	+			
5	<i>Hantzschia calcifuga</i> E. Reichardt et Lange-Bert.	amph.				+
Сем. Pinnulariaceae						
6	<i>Pinnularia borealis</i> Ehr.	amph.	+			+
7	<i>P. sinistra</i> Kram.	amph.				+
8	<i>P. curtispinulosa</i> H. Lange-Bert., K. Kram. et Rumrich	hydr.				+
Сем. Naviculales incertae sedis						
9	<i>Chamaepinnularia submuscicola</i> (Krasske) Lange-Bert.	hydr.			+	
10	<i>Ch. sp.</i>	B			+	
Сем. Stauroneidaceae						
11	<i>Stauroneis cf. incerta</i> A.Cl.	hydr.	+	+		
12	<i>S. sikkimensis</i> N. Wadmare, S. Roy, Kociolek et B. Karthick	B	+			+
Сем. Neidiaceae						
13	<i>Neidium hercynicum</i> A. Mayer	hydr.	+			
14	<i>N. alpinum</i> Hust.	hydr.				+
Сем. Diadesmidaceae						
15	<i>Humidophila arcuata</i> (Lange-Bert.) R.L. Lowe, Kociolek, J.R. Johansen, Van de Vijver, Lange-Bert. et Kopalová	amph.	+			+
Сем. Naviculaceae						
16	<i>Caloneis bacillum</i> (Grun.) Cl.	amph.	+			+
Сем. Eunotiaceae						
17	<i>Eunotia arcus</i> Ehr.	amph.	+			+
18	<i>E. curtagrunowii</i> Nörpel-Schempp et Lange-Bert.	amph.	+	+		+
19	<i>E. paludosa</i> Grun.	amph.	+	+		+
20	<i>E. rhomboidea</i> Hust.	amph.		+		
21	<i>E. neocompacta</i> var. <i>vixcompacta</i> Lange-Bert.	hydr.	+	+		+
22	<i>E. incisa</i> W. Sm. ex W. Greg.	hydr.				+
23	<i>Amphorotia curvata</i> D.M. Williams et G. Reid	hydr.	+			+
Сем. Fragilariaceae						
24	<i>Fragilaria vaucheriae</i> (Kütz.) J.B. Petersen	hydr.				+
Сем. Aulacoseiraceae						
25	<i>Aulacoseira nivalis</i> (W. Smith) J. English et Potapova	hydr.			+	
OCHROPHYTA						
Сем. Eustigmataceae						
26	<i>Vischeria magna</i> (J.B. Petersen) Kryvenda, Rybalka, Wolf et Friedl	X	+	+	+	+
CHAROPHYTA						
Сем. Klebsormidiaceae						
27	<i>Klebsormidium cf. nitens</i> (Kütz.) Lokhorst	H		+		+

№	Таксон	ЖФ	А	В	К	С
Сем. Mesotaeniaceae						
28	<i>Mesotaenium</i> sp.	amph.	+			
CHLOROPHYTA						
Сем. Bracteacoccaceae						
29	<i>Bracteacoccus bullatus</i> Fučíková, Flechtner et Lewis	Ch			+	
30	<i>B. cf. minor</i> (Schmidle ex Chod.) Petrová	Ch	+			+
Сем. Scenedesmaceae						
31	<i>Coelastrella terrestris</i> (Reisigl) Hegewald et N. Hanagata	Ch	+	+	+	+
32	<i>C. aeroterrestica</i> Tschaikner, Gärtner et Kofler	Ch	+	+	+	+
Сем. Selenastraceae						
33	<i>Chlorolobion cf. lunulatum</i> Hind.	amph.				+
Сем. Radiococcaceae						
34	<i>Neocystis mucosa</i> M. Krienitz, C. Bock, Nozaki et Wolf	amph.	+	+	+	
35	<i>N. cf. brevis</i> (Vischer) Kostikov et Hoffmann	C			+	+
Сем. Chromochloridaceae						
36	<i>Chromochloris zofingiensis</i> (Dönz) Fučíková et L.A. Lewis	amph.	+	+	+	+
Сем. Chlamydomonadaceae						
37	<i>Chloromonas cf. fonticola</i> (R. Brabez) Gerloff et Ettl	amph.			+	
38	<i>Chlamydomonas cf. oviformis</i> Pringsheim	hydr.	+			
Сем. Chlorococcaceae						
39	<i>Chlorococcum cf. hypnosporum</i> Starr	amph.				+
40	<i>Tetracystis vinazeri</i> Ettl et Gärtner	amph.	+			
Сем. Chlorosarcinaceae						
41	<i>cf. Desmotetra stigmatica</i> (T.R. Deason) T.R. Deason et G.L. Floyd	Ch				+
Сем. Trebouxiaceae						
42	<i>Parietochloris pseudoalveolaris</i> (T.R. Deason et Bold) Shin Watan. et G.L. Floyd	Ch			+	
43	<i>P. cf. pseudoalveolaris</i> (T.R. Deason et Bold) Shin Watan. et G.L. Floyd	Ch	+	+		+
44	<i>Lobosphaera incisa</i> (Reisigl) Karsten et al.	C		+		+
Сем. Prasiolales incertae sedis						
45	<i>Elliptochloris cf. subsphaerica</i> (Reisigl) Ettl et Gärtner	Ch	+	+	+	+
46	<i>E. cf. reniformis</i> Darienko et Pröschold	Ch	+	+	+	+
Сем. Stichococcaceae						
47	<i>Deuterostichococcus cf. epilithicus</i> Pröschold et Darienko	Ch	+		+	+
48	<i>Pseudostichococcus monallantoides</i> L. Moewus	Ch				+
Сем. Coccomyxaceae						
49	<i>Coccomyxa subellipsoidea</i> E. Acton	amph.		+		
50	<i>C. cf. subellipsoidea</i> E. Acton	amph.	+		+	+
51	<i>C. onubensis</i> Garbayo et al. ex J.L. Fuentes et al.	amph.	+			
52	<i>cf. C. viridis</i> Chod.	amph.	+		+	+
Сем. Trebouxiophyceae incertae sedis						
53	<i>Eremochloris kamchatica</i> Abdullin et A. Gontcharov	Ch	+	+		+
Сем. Chlorellaceae						
54	<i>Micractinium</i> sp.	amph.				+
Всего видов			30	20	34	18
Число видов в одной пробе			5-17	2-11	2-18	3-9

Примечание. Здесь и в табл. 3: А – Авачинский, В – Вилючинский, К – Коряжский вулканы, С – Седловина.

ЖФ – жизненная форма, Р – нитевидные цианобактерии, не образующие значительной слизи, CF – микроскопические талломы азотфиксирующих цианобактерий, способные давать слизистые

разрастания на поверхности почвы, amph. – водоросли и цианобактерии, обитающие в условиях повышенного увлажнения субстрата, hydr. – микрорфототрофы, предпочитающие водные местообитания, В – подвижные клетки диатомовых водорослей, живущие в самых поверхностных слоях влажной почвы или в слизи других водорослей, Х – одноклеточные желтозеленые и многие зеленые водоросли, предпочитающие условия жизни среди почвенных частиц, УН – нитевидные зеленые и желтозеленые, неустойчивые против засухи и сильного нагревания, С – одноклеточные, колониальные или нитчатые формы, которые могут образовать обильную слизь, Ch – одноклеточные и колониальные зеленые и частично желтозеленые водоросли, обитающие в толще почвы, но при благоприятной влажности дающие разрастания и на поверхности почвы [22].

Наибольшее число таксонов было выявлено в пробах вулканов Корякский и Авачинский, а наименьшее – в пробах влк. Вилючинский и Седловины (табл. 1). Возможно, это связано со слабой фумарольной активностью вулканов Авачинский и Корякский, которая способствует таянию снежников на склоне вулканов и, соответственно, повышению влажности в точках отбора проб, создавая тем самым благоприятные условия для жизнедеятельности цианобактерий и водорослей.

Число видов цианобактерий и водорослей в пробах пирокластических материалов и почв исследованных вулканов изменялось от 2 до 18 (табл. 1). Верхняя граница биоразнообразия довольно высока, что, вероятно, объясняется относительно большим временем, прошедшим с момента последнего извержения вулканов (Вилючинский – вторая половина четвертичного оледенения, Авачинский – 1991 г., Корякский – 2009–2010 гг.) [10, 12], за которое произошло образование почв, экосистем с высшими растениями и, в результате, относительное увеличение биоразнообразия фототрофных микроорганизмов. Тогда как, например, на влк. Шивелуч, извергавшегося лишь за год до отбора образцов, число видов цианобактерий и водорослей в пробе было меньше – от 1 до 6, при этом почвы и высшие растения отсутствовали, а субстрат был представлен пирокластическими отложениями [8].

Во всех пробах с исследованных вулканов и Седловины встречались и доминировали виды *Elliptochloris* cf. *reniformis* (30 баллов), *E.* cf. *subsphaerica* (22), *Vischeria magna* (28), *Coelastrella aeroterrestica* (16), *Chromochloris zofingiensis* (14 баллов). Кроме того, во всех пробах встречалась *Coelastrella terrestris* и доминировали *Neocystis mucosa* и *Parietochloris* cf. *pseudoalveolaris* (по 13 баллов).

Анализ систематической структуры таксономического состава [23] показал, что наибольшая насыщенность семейств родами наблюдается в классе Cyanophyceae; наибольшая насыщенность семейств видами, а также видами и внутривидовыми таксонами, – в классах Bacillariophyceae и Trebouxiophyceae (табл. 2). По насыщенности родов видами и внутривидовыми таксонами доминировали представители Bacillariophyceae. Классы Coscinodiscophyceae, Eustigmatophyceae, Klebsormidiophyceae и Zygnematomphyceae характеризуются наименьшей насыщенностью семейств родами, видами, внутривидовыми таксонами. Согласно А.И. Толмачеву [23] систематическая структура, при которой на долю небольшого количества ведущих классов приходится наибольшая часть таксонов, говорит об «однобокости» развития биоразнообразия и показывает экстремальный характер условий населяемой территории.

В спектре экобиоморф цианобактерий и водорослей (amph₂₂, Ch₁₂, hydr₁₁, B₂C₂P₂X₁H₁CF₁) доминируют амфибиальные формы, которые составляют 40,7 % всего таксономического состава. На содоминанты – представители Ch- и hydr.-формы – совместно приходится 42,6 % таксономического состава.

Систематическая структура таксономического состава цианобактерий
и водорослей исследуемых вулканов

Класс	Число таксонов					Пропорции флоры				
	п.	с.	р.	в.	в. + в.в.т.	р./с.	в./с.	(в. + в.в.т.)/с.	в./р.	(в. + в.в.т.)/р.
Суанопhyсеае	2	2	3	3	3	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0
Bacillariophyceae	4	9	11	20	21	1,2	2,2	2,3	1,8	1,9
Coccinodiscophyceae	1	1	1	1	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Eustigmatophyceae	1	1	1	1	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Klebsormidiophyceae	1	1	1	1	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
ZygnematoPhyceae	1	1	1	1	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Chlorophyceae	2	8	10	13	13	1,2	1,6	1,6	1,3	1,3
Trebouxiophyceae	4	6	8	13	13	1,3	2,2	2,2	1,6	1,6
Всего:	16	29	36	53	54	1,2	1,8	1,9	1,5	1,5

Примечание. п. – порядки, с. – семейства, р. – роды, в. – виды, в.в.т. – внутривидовые таксоны.

К жизненной Ch-форме относятся одноклеточные и колониальные зеленые водоросли, не имеющие никаких морфологических приспособлений к выживанию, но отличающиеся лабильностью питания, в частности способностью к гетеротрофии, и стойкостью протопласта [22]. Росту и развитию ведущих экобиоморф (amph., Ch, hydr.), вероятно, способствуют кратковременные повышения уровня влажности грунтов и почв вследствие обильных осадков и значительная инсоляция поверхности субстрата.

Доминирующие представители класса Bacillariophyceae приурочены к почвам под куртинами кедрового и ольхового стлаников у подножия вулканов Авачинский, Корякский и к почве под альпийским лугом у подножия влк. Вилючинский. Эти местообитания, вероятно, характеризуются повышенной влажностью, богатством питательных элементов и наличием сомкнутого пространства, служащего защитой от воздействия ветра, что позволяет диатомовым водорослям выживать и создавать устойчивые сообщества. Небольшое количество или отсутствие цианобактерий (в пробах влк. Вилючинский и Седловины) можно объяснить стадией сукцессии вулканического субстрата, для которой характерно увеличение доли зеленых водорослей и уменьшение численности цианобактерий вследствие изменения химического состава почв и грунтов. Содоминирование представителей классов Chlorophyceae и Trebouxiophyceae является подтверждением данных Э.А. Штины с соавторами [5] о важной роли одноклеточных зеленых водорослей в заселении вулканических местообитаний.

Некоторые выявленные виды цианобактерий и водорослей впервые найдены на территории России (11 %) и российского Дальнего Востока (13 %). К первым относятся *Chamaepinnularia submuscicola*, *Pinnularia curtispinulosa*, *Stauroneis sikkimensis*, *Humidophila arcuata*, *Tetracystis vinatzeri*, *Coccomyxa onubensis*. Ко вторым – *Hantzschia calcifuga*, *Eunotia rhomboidea*, *E. neocompacta* var. *vixcompacta*, *Aulacoseira nivalis*, *Pseudostichococcus monallantoides*, *Fragilaria vaucheriae*, *Coelastrella terrestris*. Это позволяет дополнить данные по биогеографии этих видов.

При сравнении таксономического состава цианобактерий и водорослей пирокластических отложений и почв для вулканов Вилючинский и Авачинский, влк. Вилючинский и Седловины, вулканов Корякский и Авачинский было получено среднее сходство (табл. 3). Это объясняется, по-видимому, сходным

Таблица 3
Сходство таксономического состава цианобактерий и водорослей грунтов и почв исследуемых вулканов по коэффициенту Сьеренсена – Чекановского

	А	К	С
В	56,3	35,0	43,0
К	78,0		
С	26,3	18,2	

географическим положением, похожими биотопами и условиями среды в точках отбора проб.

Низкие показатели коэффициента сходства были получены при сравнении видового состава цианобактерий и водорослей Седловины и вулканов Корякский и Авачинский (табл. 3), что объясняется отличием экологических характеристик микроместообитаний, в которых отбирались пробы. Большинство проб Седловины приурочено к горно-тундровым сообществам с сомкнутым мохово-лишайниковым покровом.

Пробы с вулканов Авачинский и Корякский приурочены к тэфровым пустошам с отдельными куртинами растений в условиях повышенного увлажнения и освещенности.

Одним из основных факторов, определяющих, по-видимому, величину коэффициента сходства, является промежуток времени, прошедший с момента последнего извержения вулкана до отбора проб, что в свою очередь влияет на экологические условия местообитаний, в частности на наличие почвы и высших растений. При сравнении таксономического состава цианобактерий и водорослей грунтов и почв вулканов Авачинский, Вилючинский, Корякский и Седловины с результатами предыдущих исследований [5–9] были получены очень низкие значения коэффициента сходства. Такой результат объясняется, скорее всего, различием в подходе, используемом для идентификации видов фототрофных микроорганизмов, а также различиями в возрасте вулканов и экологических характеристиках местообитаний.

Выводы

1. В 29 пробах почв и пирокластических отложений вулканов Вилючинский, Авачинский, Корякский и Седловины выявлено 54 вида и внутривидовых таксона цианобактерий и водорослей. Доминирование представителей класса *Vacillariophyceae*, вероятно, говорит о благоприятных условиях существования для данной группы организмов, в частности повышенном уровне влажности в точках отбора проб, что позволяет выживать и создавать устойчивые сообщества диатомовым и другим группам водорослей, а также цианобактериям. Эту гипотезу подтверждает и доминирование представителей amph.-форм (*Hantzschia calcifuga*, *Eunotia arcus*, *E. curtagrunowii*, *E. rhomboidea* и др.).

2. Виды цианобактерий и водорослей, впервые обнаруженные на территории России, составляют 11 % от всего выявленного таксономического состава, а на территории российского Дальнего Востока – 13 %. Новые находки позволяют расширить представления о географии и экологических особенностях исследуемых видов.

3. Сравнение таксономического состава цианобактерий и водорослей вулканических почв показало средние величины коэффициента сходства Сьеренсена – Чекановского для вулканов Вилючинский и Авачинский, влк. Вилючинский и Седловины, вулканов Корякский и Авачинский, и также низкие показатели для Седловины и вулканов Авачинский и Корякский. Вероятно, на величину

коэффициента сходства влияют такие факторы, как время, прошедшее с момента последнего извержения вулкана до отбора проб, и, соответственно, экологические условия местообитаний, в частности наличие почвы и высших растений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кузякина Т.И. Экология и геохимическая деятельность микроорганизмов на активных вулканах и в гидротермах (остров Кунашир, Курильские острова; Камчатка). Владивосток: Дальнаука, 2004. 251 с. – <https://www.disserscat.com/content/ekologiya-i-geokhimicheskaya-deyatelnost-mikroorganizmov-na-aktivnykh-vulkanakh-i-v-gidroteter>.

2. Escobar C.M., Nabyty J.A. Past, present, and future of closed human life support ecosystems – A review // Proc. 47th Intern. Conf. on Environmental Systems (ICES-2017). July 16–20, 2017. Charleston, 2019. 2017. – https://ttu-ir.tdl.org/bitstream/handle/2346/73083/ICES_2017_311.pdf (дата обращения: 02.06.2022).

3. Fermani P., Mataloni G., de Vijver B.V. Soil microalgal communities on an antarctic active volcano (Deception Island, South Shetlands) // Polar Biol. 2007. Vol. 30. P. 1381–1393. – <https://link.springer.com/article/10.1007/s00300-007-0299-6> (дата обращения: 25.05.2018).

4. Guihéneuf F., Khan A., Tran L.-S.P. Genetic engineering: a promising tool to engender physiological, biochemical, and molecular stress resilience in green microalgae // Front. Plant Sci. 2016. Т. 7. – <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00400/full> (дата обращения: 30.05.2022).

5. Штина Э.А., Андреева В.М., Кузякина Т.И. Заселение водорослями вулканических субстратов // Ботан. журн. 1992. Т. 77, № 8. С. 33–42. – http://arch.botjournal.ru/?t=issues&id=19920808&rid=pdf_0005124 (дата обращения: 02.06.2022).

6. Gaysina L.A., Elias M., Gontcharov A.A. Biodiversity of algae and cyanobacteria in volcanic soils near Mutnovsky and Gorely volcanoes (Kamchatka peninsula) // 1st Intern. Conf. on North East Asia Biodiversity: Abstr. September 17–21, 2018. Vladivostok: Yamaika LLC, 2018. P. 137–139.

7. Abdullin Sh.R. Cyanobacteriae and algae of lava tubes in Kamchatka, Russia // Cave and Karst Science. 2013. Vol. 40, N 3. P. 141–144.

8. Аллагуватова Р.З., Бармет В.Б., Никулин А.Ю., Абдуллин Ш.Р., Гончаров А.А. К флоре цианобактерий и водорослей вулканических почв и грунтов вулкана Шивелуч // Вопр. соврем. альгологии. 2021. № 2. С. 135–138.

9. Кунсбаева Д.Ф., Аллагуватова Р.З., Гришин С.Ю., Абдуллин Ш.Р., Гайсина Л.А. Изучение биоразнообразия цианобактерий и водорослей некоторых вулканов Камчатки // Экобиотех 2019: материалы VI Всерос. конф. с междунар. участием. Уфа, 1–4 октября 2019 г. Город Уфа: Уфим. ин-т биологии УФИЦ РАН, 2019. С. 205–206.

10. Действующие вулканы Камчатки. В 2-х т. Т. 2 / отв. ред. С.А. Федотов, Ю.П. Масуренков. М.: Наука, 1991. 415 с. – <http://www.knigakamchatka.ru/science/uchenyh/active-volcanoes-of-kamchatka.html>

11. Сеньюков С.Л., Нуждина И.Н., Дрознина С.Я., Кожевникова Т.Ю. Сейсмичность Авачинского вулкана в 1994–2005 гг. // Геофизический мониторинг Камчатки: материалы конф. Петропавловск-Камчатский, 17–18 января 2006 г. Петропавловск-Камчатский, 2006. С. 101–105.

12. Апрельков С.Е. Вулкан Вилочинский на Камчатке (Некоторые сведения о его геологическом строении) // Бюл. вулканол. станций. 1963. № 34. С. 44–47.

13. Каталог ледников СССР. Т. 20. Камчатка: ч. 2-4: Бассейны рек Тихого океана (Охотское и Берингово моря) / отв. ред. В.Н. Виноградов. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 76 с. – <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-katalog-lednikov-sssr-tom-20-chasti-2-4.pdf> (дата обращения: 13.04.2022).

14. Кулаков И.Ю. Сейсмическая томография вулканов Камчатки // Геология и геофизика. 2021. Б/н. С. 11–20. – <https://www.sibran.ru/upload/iblock/66a/66adbe0592ffe67025b871ebf2a8969e.pdf>

15. Кузяхметов Г.Г., Дубовик И.Е. Методы изучения почвенных водорослей. Уфа: Башкир. ун -т, 2001. 56 с.

16. Algal Culturing Techniques / ed. R.A. Andersen. N. Y.: Elsevier Academic Press, 2005. 578 p. – <https://www.elsevier.com/books/algal-culturing-techniques/andersen/978-0-12-088426-1> (дата обращения: 19.10.2020).

17. Эльяшев А.А. О простом способе приготовления высокопреломляющей среды для диатомового анализа: Тр. НИИ геологии Арктики. 1957. Вып. 4. С. 74–75.

18. Аллагуватова Р.З., Никулин А.Ю., Никулин В.Ю., Багмет В.Б., Шохрина В.В., Стерлягова А.С., Гайсина Л.А., Абдуллин Ш.Р. Новые данные о цианобактериях и водорослях Дальнего Востока России // Биота и среда природных территорий. 2021. № 2. С. 3–14. DOI: 10.37102/2782-1978_2021_2_1.

19. Куликовский М.С., Глущенко А.М., Генкал С.И., Кузнецов И.В. Определитель диатомовых водорослей России. Ярославль: Филигрань, 2016. 804 с.

20. Echt C.S., Erdahl L.A., McCoy T.J. Genetic segregation of random amplified polymorphic DNA in diploid cultivated alfalfa // Genome. 1992. Vol. 35. P. 84–87. – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1572530/> <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1572530/> (дата обращения: 19.10.2020).

21. Kiselev K.V., Dubrovina A.S., Tyunin A.P. The methylation status of plant genomic DNA influences PCR efficiency // J. Plant Physiol. 2015. Vol. 175. P. 59–67. – <https://www.biosoil.ru/files/publications/00012499.pdf> (дата обращения: 19.10.2020).

22. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.

23. Толмачев А.И. Введение в географию растений. Л.: Изд-во ЛГУ, 1974. 244 с.

REFERENCES

1. Kuzyakina T.I. Ekologiya i geokhimicheskaya deyatel'nost' mikroorganizmov na aktivnykh vulkanakh i v gidrotermakh (ostrov Kunashir, Kuril'skiye ostrova; Kamchatka) = [Ecology and geochemical activity of microorganisms on active volcanoes and in hydrothermal waters]. Vladivostok: Dalnauka; 2004. 251 p. (In Russ.). – <https://www.dissercat.com/content/ekologiya-i-geokhimicheskaya-deyatelnost-mikroorganizmov-na-aktivnykh-vulkanakh-i-v-gidroter>.

2. Escobar C.M., Nability J.A. Past, Present, and future of closed human life support ecosystems – A Review. In: *Proc. 47th Intern. Conf. on Environmental Systems (ICES-2017)*. July 16–20, 2017. Charleston, 2019. 2017. – https://ttu-ir.tdl.org/bitstream/handle/2346/73083/ICES_2017_311.pdf https://ttu-ir.tdl.org/bitstream/handle/2346/73083/ICES_2017_311.pdf (available from: 02.06.2022).

3. Fermani P., Mataloni G., de Vijver B.V. Soil microalgal communities on an antarctic active volcano (Deception Island, South Shetlands). *Polar Biol.* 2007;30:1381-1393. – <https://link.springer.com/article/10.1007/s00300-007-0299-6> (available from: 25.05.2018).

4. Guihéneuf F., Khan A., Tran L.-S.P. Genetic engineering: a promising tool to engender physiological, biochemical, and molecular stress resilience in green microalgae. *Front. in Plant Sci.* 2016;7. – <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.00400/full> (available from: 30.05.2022).

5. Shtina E.A., Andreeva V.M., Kuzyakina T.I. Zaselenie vodoroslyami vulkanicheskikh substratov = [Algae colonization of volcanic substrates]. *Botanicheskii Zhurnal.* 1992;77(8):33-41. (In Russ.). – http://arch.botjournal.ru/?t=issues&id=19920808&rid=pdf_0005124.

6. Gaysina L.A., Elias M., Gontcharov A.A. Biodiversity of algae and cyanobacteria in volcanic soils near Mutnovsky and Gorely volcanoes (Kamchatka peninsula). In: *Abstr. the 1st Intern. Conf. on North East Asia Biodiversity*. September 17–21, 2018. Vladivostok; 2018. P. 137-139. – <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36562013&selid=370870027>.

7. Abdullin Sh. Cyanobacteriae and algae of lava tubes in Kamchatka, Russia. *Cave and Karst Sci.* 2013;40(3):141-144. – <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=219975988>.

8. Allaguvatova R.Z., Bagmet V.B., Nikulin A.Yu., Abdullin Sh.R., Gontcharov A.A. K flore tsianobakteriy i vodorosley vulkanicheskikh pochv i gruntov vulkana Shiveluch = [Materials to cyanobacterial and algal flora from volcanic soils of Shiveluch volcano]. *Iss. Modern Algology.* 2021;(2):135-138. (In Russ.). – <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=47402318&selid=474023379>.

9. Kunsbaeva D.F., Allaguvatova R.Z., Grishin S.Yu., Abdullin Sh.R., Gaysina L.A. Izucheniye bioraznoobraziya tsianobakterii i vodoroslei nekotorykh vulkanov Kamchatki = [Study of the biodiversity of cyanobacteria and algae of some volcanoes in Kamchatka]. In: *EkoBiotekh 2019: Materialy VI Vserossiiskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem*. Ufa, 1–4 oktyabrya 2019 g. = [Proc. VI All-Russian conf. with international participation EcoBioTech, Ufa, October 1–4, 2019]. Ufa: Ufa Institute of Biology; 2019. P. 205-206. (In Russ.). – <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=4111714210>.

10. Fedotov S.A., Masurenkov Yu.P. (responsible eds.). Deistvuyushchiye vulkany Kamchatki = [Active volcanoes of Kamchatka]. Vol. 2. Moscow: Nauka; 1991. 415 p. (In Russ.). – <http://www.knigakamchatka.ru/science/uchenyh/active-volcanoes-of-kamchatka.html11>.

11. Senyukov S.L., Nuzhdina I.N., Droznina S.Ya., Kozhevnikova T.Yu. Seismichnost' Avachinskogo vulkana v 1994–2005 gg. = [Seismicity of Avachinsky Volcano in 1994–2005]. In: *Geofizicheskii monitoring Kamchatki: materialy konf. Petropavlovsk-Kamchatskiy, 17–18 yanvarya 2006 g.* = [Proceedings of Conf. Petropavlovsk-Kamchatsky, January 17–18, 2006]. Petropavlovsk-KamchatskyGS RAS;2006. P. 101-105. (In Russ.). – <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25046371&selid=2504815812>.
12. Aprel'kov S.E. Vulkan Vilyuchinskii na Kamchatke (Nekotoryye svedeniya o yego geologicheskoy stroenii) = [Vilyuchinsky Volcano in Kamchatka (Some information about its geological structure)]. *Byulleten' Vulkanologicheskikh Stantsii*. 1963;(34):44-47. (In Russ.). – https://www.elibrary.ru/title_about.asp?id=2613513.
13. Vinogradov V.N. (responsible ed.). Katalog lednikov SSSR = [Catalog of glaciers of the USSR. Kamchatka]. Vol. 20, pt 2-4. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1968. 76 p. (In Russ.). – <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-katalog-lednikov-sssr-tom-20-chasti-2-4.pdf> (available from: 13.04.2022).
14. Kulakov I.Yu. Seysmicheskaya tomografiya vulkanov Kamchatki = [Seismic tomography of Kamchatka volcanoes]. *Geology and Geophysics*. 2021. P. 11-20. (In Russ.). – <https://www.sibran.ru/upload/iblock/66a/66adbe0592ffe67025b871ebf2a8969e.pdf>15.
15. Kuz'yakhmetov G.G., Dubovik I.Ye. Metody izucheniya pochvennykh vodoroslei = [Soil algae studying methods]. Ufa, 2001. 56 p. (In Russ.). – <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=2508785516>.
16. Andersen R.A. (ed.). Algal culturing techniques. New York: Elsevier Academic Press; 2005. 578 p. – <https://www.elsevier.com/books/algal-culturing-techniques/andersen/978-0-12-088426-1> <https://www.elsevier.com/books/algal-culturing-techniques/andersen/978-0-12-088426-1> (available from: 19.10.2020).
17. El'yashev A.A. O prostom sposobe prigotovleniya vysokoprelomlyayushchei sredy dlya diatomovogo analiza = [A simple method for preparing a highly refracting medium for diatom analysis]. In: *Trudy NII geologii Arktiki*. 1957;(4):74-76. (In Russ.).
18. Allaguvatova R.Z., Nikulin A.Yu., Nikulin V.Yu., Bagmet V.B., Shokhrina V.V., Sterlyagova A.S., Gaysina L.A., Abdullin Sh.R. Novye dannye o tsianobakteriyakh i vodoroslyakh Dal'nego Vostoka Rossii = [New data on cyanobacteria and algae in the Russian Far East]. *Biota i sreda prirodnykh territorii*. 2021; (2):3-14. (In Russ.). DOI: 10.37102/2782-1978_2021_2_1.
19. Kulikovskii M.S., Glushchenko A.M., Genkal S.I., Kuznetsova I.V. Opredelitel' diatomovykh vodorosley Rossii = [Identification Book of Diatoms from Russia]. Yaroslavl: Filigran; 2016. 804 p. (In Russ.). – <https://search.rsl.ru/ru/record/01008916235>.
20. Echt C.S., Erdahl L.A., McCoy T.J. Genetic segregation of random amplified polymorphic DNA in diploid cultivated alfalfa. *Genome*. 1992;35:84-87. – <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1572530/> <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1572530/> (available from: 19.10.2020).
21. Kiselev K.V., Dubrovina A.S., Tyunin A.P. The methylation status of plant genomic DNA influences PCR efficiency. *J. Plant Physiol*. 2015;175:59-67. – <https://www.biosoil.ru/files/publications/00012499.pdf> <https://www.biosoil.ru/files/publications/00012499.pdf> (available from: 19.10.2020).
22. Shtina E.A., Gollerbakh M.M. Ekologiya pochvennykh vodoroslei = [Ecology of soil algae]. Moscow: Nauka; 1976. 143 p. (In Russ.).
23. Tolmachev A.I. Vvedenie v geografiyu rastenii = [Introduction to plant geography]. Leningrad: Leningrad State Univ. Publ. House; 1974. 244 p. (In Russ.). – https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=47546&sr=1.

Научная статья

УДК 553.463(332.142.4)

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_7

Проблемы минерально-сырьевой базы вольфрамовой промышленности российского Дальнего Востока

А.И. Ханчук, Г.И. Архипов, В.В. Иванов

Александр Иванович Ханчук

академик РАН, доктор геолого-минералогических наук, профессор
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
axanchuk@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0003-0226-1493>

Геннадий Иванович Архипов

кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник
Институт горного дела ДВО РАН, Хабаровск, Россия
arhipov@igd.khv.ru

Владимир Викторович Иванов

кандидат геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник
Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия
d159327@yandex.ru

<http://orcid.org/0000-0002-7917-9757>

Аннотация. В России пока нет однозначного решения по организации самодостаточной вольфрамовой промышленности и минерально-сырьевой базы ее обеспечения. До 1990-х годов страна полностью обеспечивалась ресурсами вольфрама Дальнего Востока, и в последние годы свыше 90 % российской добычи вольфрама дают два предприятия ДФО: АО «Приморский ГОК» (Приморский край) и ЗАО «Новоорловский ГОК» (Забайкальский край). Разрабатываемые в Приморском крае месторождения вольфрама близки к исчерпанию, но здесь и на территории Хабаровского края ведутся геологоразведочные работы на вольфрам; возможно выявление новых объектов, так как основная часть оцененных прогнозных ресурсов находится в недрах ДФО. Современное состояние минерально-сырьевых ресурсов вольфрама и перспективы ДФО относительно вольфрама показывают, что эта территория остается предпочтительной сырьевой базой и, следовательно, предпочтительным местом локализации российской вольфрамовой промышленности. Российский рынок вольфрамового сырья подвержен колебаниям объемов производства, экспорта и импорта, в том числе встречным их движениям, обусловленным несогласованностью интересов добывающих, перерабатывающих и потребляющих вольфрамовую продукцию предприятий. Необходимы системная организация промышленности здесь и выработка согласованной стратегии ее развития, консолидация предприятий, добывающих вольфрамовое сырье, и перерабатывающих предприятий в вертикально интегрированный холдинг.

Ключевые слова: вольфрам, месторождения, концентраты, триоксид вольфрама, запасы, ресурсы, потребление, Дальневосточный федеральный округ

Для цитирования: Ханчук А.И., Архипов Г.И., Иванов В.В. Проблемы минерально-сырьевой базы вольфрамовой промышленности российского Дальнего Востока // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 88-101. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698-2022_225_05_7.

Original article

Problems of the mineral resource base that stand before the tungsten industry of the Russian Far East

A.I. Khanchuk, G.I. Arkhipov, V.V. Ivanov

A.I. Khanchuk

Doctor of Sciences in Geology and Mineralogy, Professor, Academician of the RAS
Far Eastern Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia
axanchuk@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-0226-1493>

G.I. Arkhipov

Candidate of Sciences in Geology and Mineralogy
Leading Researcher
Mining Institute, FEB RAS, Khabarovsk, Russia
arhipov@igd.khv.ru

V.V. Ivanov

Candidate of Sciences in Geology and Mineralogy
Leading Researcher
Far Eastern Geological Institute, FEB RAS, Vladivostok, Russia
d159327@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0002-7917-9757>

Abstract. In Russia, there is still no clear decision on the organization of a self-sufficient tungsten industry and the mineral resource base for its provision. Until the 1990s, the country was fully provided with the resources of the Far East's tungsten, and in recent years, over 90 % of Russia's tungsten production is provided by two enterprises of the Far Eastern Federal District: JSC Primorsky GOK (Primorsky Krai) and CJSC Novoorlovsky GOK (Zabaykalsky Krai). The tungsten deposits being developed in the Primorsky Krai are close to exhaustion, but there and in the Khabarovsk Territory, geological exploration for tungsten is underway, and it is possible to identify new objects, since the main part of the estimated forecast resources is located in the subsurface of the Far Eastern Federal District. The current state of the mineral resources of tungsten and the prospects of the Far Eastern Federal District for tungsten show that this area remains the preferred raw material base and, therefore, the preferred location for the tungsten industry. The Russian market of tungsten raw materials is subject to fluctuations in production, export and import volumes, including their counter movements, due to the inconsistency of the interests of mining, processing and consuming enterprises of tungsten products. It is necessary to systematically organize the industry here and develop a coherent strategy for its development, to consolidate the enterprises producing tungsten raw materials and processing enterprises into a vertically integrated holding.

Keywords: tungsten, deposits, concentrates, tungsten trioxide, reserves, resources, consumption, Far Eastern Federal District

For citation: Khanchuk A.I., Arhipov G.I., Ivanov V.V. Problems of the mineral resource base that stand before the tungsten industry of the Russian Far East. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022; (5): 88-101. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_7.

Введение

Спрос на вольфрам и его потребление определяется общим состоянием экономики. При строительстве перерабатывающих предприятий в СССР их мощности были рассчитаны не менее чем на 20 тыс. т объемов переработки вольфрамового сырья в год, хотя, по данным экспертов [1, 2], потребление вольфрамовых продуктов в стране всегда находилось на низком уровне, а после 1990 г. еще более снизилось (примерно в 10 раз) [3]. В настоящее время потребность внутреннего рынка составляет не более 3,5 тыс. т триоксида вольфрама (WO_3) в год, душевое потребление, по оценке [4, 5], – только 10,5 кг на 1000 чел. (в пересчете на WO_3), против 31–62 кг в Японии, США, ЕС, Китае. В [6] отмечается, что в период до 2020 г. и на перспективу до 2030 г. в России ожидается рост спроса на вольфрамовые концентраты за счет вероятного увеличения использования вольфрама в черной металлургии, при производстве конструкционных и композиционных материалов. До 1990-х годов страна полностью обеспечивала себя ресурсами вольфрама Дальнего Востока, и в последние годы свыше 90 % российской добычи вольфрама обеспечивают два предприятия ДФО. Разрабатываемые в Приморском крае месторождения вольфрама близки к исчерпанию, но в ДФО ведутся геологоразведочные работы на вольфрам, возможно выявление новых объектов, так как основная часть оцененных прогнозных ресурсов находится в недрах Дальнего Востока, и разведка новых месторождений [7, 8]. Имеется другое решение вопроса по вольфрамовой промышленности и обеспечению ее сырьем: возобновление разработки Тырныузского месторождения (Кабардино-Балкарская Республика) [9].

Постановка проблемы

Таким образом, актуально обсуждение организации вольфрамовой промышленности и локализации сырьевой базы как ее основы. При этом в первую очередь должно быть учтено обеспечение сырьем внутренних потребностей, но не экспорт: выручка от него не критична для бюджета. Например, общая стоимость экспорта вольфрама и изделий из него (код ТНВЭД 8101) в 2019 г. составила 5,03 млн долл. США при массе груза 334,29 т, общая стоимость импорта – 11,21 млн долл. при массе груза 225,42 т [10].

Методология

Использованы аналитический, статистический, графический, логический методы исследований. С целью изучения возможностей использования ресурсов вольфрама ДФО проанализированы данные по составу, размещению и использованию ресурсов вольфрама в России. Источники информации – оперативные данные ВСЕГЕИ [11, 12], государственные доклады Федерального агентства недропользования России [7, 8], материалы территориальных фондов геологической информации, публикации экспертов по данному вопросу [13, 14], статистические данные Таможенных служб России [10] и др. [15], обзоры маркетинговых компаний, публикации о вольфреме за рубежом [16, 17], собственные материалы и обзоры минерально-сырьевых ресурсов ДФО [18] и работы других авторов [19, 20].

Исходные данные

Ресурсы и добыча вольфрама в России. По данным источника [8], запасы WO_3 категорий $A+B+C_1+C_2$ на начало 2020 г. составляли 1320 тыс. т, прогнозные ресурсы – почти 950 тыс. т (категорий P_1+P_2) и более 1500 тыс. т (категории P_3). Запасы вольфрама заключены в 76 месторождениях (41 коренном и 35 россыпных). Еще 16 месторождений (11 коренных и 5 россыпных) содержат только забалансовые запасы. Учитывается одно техногенное месторождение. Распределение запасов вольфрама по территории России неравномерно. Кроме объектов ДФО имеются Тырныаузское и Кти-Тебердинское месторождения в Северо-Кавказском ФО. По оценкам «Ростеха», балансовые запасы первого составляют 209,5 тыс. т WO_3 (содержание 0,432 %) и 36,6 тыс. т молибдена (содержание 0,076 %).

В последнее десятилетие добыча вольфрама ведется на шести коренных месторождениях (из них четыре – существенно вольфрамовых и 2 – оловорудных с попутным вольфрамом), а также на одном существенно вольфрамовом техногенном. Добычу вольфрама с последующим обогащением руд и получением вольфрамовых концентратов ведут 6 компаний: компании АО «Приморский ГОК», ООО «Лермонтовский ГОК» и ЗАО «Новоорловский ГОК» разрабатывают коренные месторождения существенно вольфрамовых руд (Восток-2 и Лермонтовское в Приморском крае и Спокойнинское в Забайкальском крае, соответственно); предприятие АО «Закаменск» перерабатывает накопленные в прошлом хвосты обогащения Джидинского вольфрамомолибденового комбината (Барун-Нарынское техногенное месторождение в Республике Бурятия). В незначительном количестве вольфрам добывается и извлекается в концентрат компанией ООО «Приморвольфрам» в ходе опытно-промышленной отработки Забытого месторождения в Приморском крае. Кроме того, ООО «Правоурмийское», разрабатывающее одноименное оловорудное месторождение в Хабаровском крае, производит вольфрамовый концентрат попутно.

Добыча WO_3 из недр в 2010–2019 гг. составляла от 2860 до 5398 т в год, из техногенных образований (включая отвалы) – от 86 до 1985 т в год. На долю АО «Приморский ГОК» приходится 34 % добычи, ЗАО «Новоорловский ГОК» – 29, АО «Закаменск» – 23, ООО «Лермонтовский ГОК» – 6 %. Перспективы прироста запасов вольфрама имеются: основная часть прогнозных ресурсов (более 90 % категории P_1 и около 70 % категории P_2) оценена в недрах ДФО, характеризующихся крайне незначительным уровнем изученности.

Производство, потребление, экспорт и импорт вольфрамовой продукции в России.

Объем годового производства вольфрамовых концентратов в стране в 1991 г. составлял около 20 тыс. т, в 1993 г. – около 15 тыс., в 1994–2001 гг. – 3–9 тыс., с начала 2000-х годов достаточно стабильно находится в пределах 4,6–7 тыс. т.

Внутренними потребителями вольфрамовых концентратов являются ОАО «Гидрометаллург» (г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика), входящее в структуру АО «Компания «Вольфрам»», и АО «Кировградский завод твердых сплавов» (Свердловская область). Производством вольфрамовой продукции занимаются следующие предприятия: АО «Победит» (г. Владикавказ, Республика Северная Осетия – Алания), ПАО «Уральский завод тяжелого машиностроения» (г. Екатеринбург), АО «Кировградский завод твердых сплавов», АО «Полема» (г. Тула), ООО «Унечский завод тугоплавких металлов» (Брянская область, г. Унеча).

По данным работ [8, 21, 22], видимое внутреннее потребление вольфрамовых концентратов в среднем составляет около 3–3,5 тыс. т в год (примерно соответствует 1,8–3 тыс. т WO_3). Часть концентратов идет на экспорт: в 1997–2017 гг. доля экспорта вольфрамовых концентратов от национальной добычи превышала 60 %; в 2017–2019 гг. экспорт составил от 1,27 до 2,57 тыс. т в год. В то же время для обеспечения потребностей перерабатывающих предприятий западной части страны вольфрамовые концентраты импортируются из Вьетнама и Малайзии. В 2017 г. импорт составил 1471 т вольфрамовых концентратов (на

**Запасы и средние содержания триоксида вольфрама в месторождениях ДФО
(данные ВСЕГЕИ, ИАЦ «Минерал» и из разных источников)**

Месторождение	Содержание в рудах WO ₃ (%), вольфрамита в россыпях, г/м ³	Запасы категорий А+В+C ₁ +C ₂ , тыс. т	Статус
Республика Бурятия			
Инкурское	0,15	184,5	Разведываемое, АО «Твердосплав»
Холгосонское	0,75	32,4	ГК «Акрополь»
Барун-Нарынское (техногенное)	2125,35	14	Разрабатываемое, АО «Закаменск»
Мало-Ойногорское	0,04	122,6	Нераспределенный фонд
Забайкальский край			
Спокойнинское	0,21	20,9	Разрабатываемое, ЗАО «Новоорловский ГОК»
Республика Саха (Якутия)			
Агылкынское	1,271	94	Нераспределенный фонд
Черпунья	0,045	0,6	
Одинокое	0,026	10,6	
Алыс-Хая	0,088	2,4	
Илинтас	0,64	22	
Россыпи Тирехтях, Чурпунья, Омчикандя и др., вольфрамит	8,7-139	нд	
Приморский край			
Восток-2	19,5	10,6	Разрабатываемое, АО «Приморский ГОК»
Лермонтовское	3,93		Практически выработано, КГУП «Примтеплоэнерго»
Тигриное	0,04	68,324	ООО «Приморвольфрам»
Скрытое	0,36	136	Подготавливаемое к эксплуатации, АО «Приморский ГОК»
Забывтое	0,83	11,409	ООО «Приморвольфрам», опытно-промышленная подготовка
Забывтое (россыпь вольфрамита)	209,79	0,15	
Хабаровский край			
Правоурмийское	0,04	12,3	Разрабатываемое, ООО «Правоурмийское» ПАО «Селигдар»
Фестивальное	0,11	15,83	
Соболиное	0,07	6,2	Подготавливаемое к освоению, ОАО «Забайкальская Горнорудная Компания»
Чукотский автономный округ			
Пыркакайское (штокверки)	0,014-0,039	21,35	Доизучение, ООО «Территория», ПАО «Русолово»
Иульгинское	1,072	7,026	Нераспределенный фонд
Светлое	0,638	28,165	
Тенкергинское	2,726	6,99	
Пыркакайский, Иульгинский, Певекский, Валькумейский и др. россыпные районы, вольфрамит	нд*	0,613	

*Пояснить обозначение.

Лермонтовское месторождение вольфрама эксплуатируется с 1988 г. Более 70 % балансовых запасов месторождения предназначалось для открытой отработки с проектной мощностью рудника 200 тыс. т руды (3 тыс. т WO₃). Фактически в последние десять лет добывалось и перерабатывалось не более 100 тыс. т. В заскладированных хвостах

обогащения накоплено более 1,3 млн т песков с содержанием WO_3 0,57–1,09 %, запасы WO_3 хвостов оценивались в 7,7 тыс. т [23]. Компания «Русский вольфрам» перерабатывала хвосты обогащения прошлых лет. В 2010 г. владельцем ГОКа стало КГУП «Примтеплоэнерго». На начало 2020 г. оставалось 2,2 тыс. т запасов WO_3 (с содержанием его в руде 5,66 %). В аукционе на вольфрамовое месторождение Рубежное «Лермонтовский ГОК» не участвовал: предприятие готовилось к продаже через аукцион в феврале 2021 г. в связи с истощением запасов сырья. Аукцион не состоялся из-за отсутствия заявок, предстоит повторный аукцион.

Месторождение Тигриное имеет значительные запасы WO_3 , но низкое содержание его в руде. Резервы для добычи вольфрама имеются на месторождениях Скрытое и Забытое, которые «Приморский ГОК» должен был подготовить к освоению еще в 2016 г. Для месторождения Скрытое ГКЗ Роснедра в 2012 г. определило постоянные кондиции применительно к условиям отработки месторождений открытым способом и балансовые запасы, подсчитанные в экономически обоснованном контуре карьера, WO_3 категории C_1 составили 62,3 тыс. т (при среднем содержании WO_3 в руде 0,358 %), категории C_2 – 73,7 тыс. т (WO_3 0,333 %). Месторождение имеет перспективы прироста запасов за счет разведки прогнозных ресурсов. Общие ресурсы месторождения оцениваются в 215 тыс. т WO_3 , они могут обеспечить добычу открытым способом в течение 45 лет. АО «Приморский ГОК» владеет лицензией на месторождение с 2007 г., в 2014 г. началась подготовка к его освоению. Общий объем инвестиций в проект оценен в 8 млрд руб. Запустить комбинат с ежегодным производством более 5 тыс. т вольфрамового концентрата планируется в 2024 г.

Месторождение Забытое имеет балансовые запасы по категории C_1+C_2 11,4 тыс. т WO_3 , прогнозные ресурсы по категории P_1 – 8 тыс. т WO_3 . В 1994–2014 гг. месторождение принадлежало АО «Приморский ГОК», в 2014 г. лицензию на месторождение купила компания ООО «Приморвольфрам» (дочернее предприятие АО «Компания «Вольфрам», г. Красногорск). Компания ведет геологоразведочные работы (ГРП) с опытно-промышленной добычей руды «на склад» и намерена построить завод по выпуску ферровольфрама в Приморском крае. Объем вложений оценивался в 1,5 млрд руб., срок реализации – 2018–2025 гг.

Геологоразведочные работы на вольфрам в крае проводятся как за счет федерального бюджета, так и за счет основных недропользователей – «Приморский ГОК», «Компания «Вольфрам» на объектах Лазурное, Олимпийское, Кордонное, Валунный и Верхне-Присковский и др.

По оценкам экспертов [24, 25], в Приморье высока вероятность обнаружения не только новых скарново-шеелит-сульфидных месторождений, но и месторождений других генетических типов. Получены результаты, позволяющие предположить наличие стратиформных месторождений. В связи с этим возник вопрос об оценке перспектив слабоизученных месторождений неясного генезиса, таких как Скрытое, Кордонное, Беневоское, Тисовое в Приморском крае [24, 26] и ряда других на территории ДФО (Сосукчанское, Аляскитовое и др. в Якутии, Букукинское, Белухинское в Забайкалье, Иульгинское, Светлое, Тенкергинское на Чукотке и др.) с целью выяснения их генезиса и перспектив [27].

В Хабаровском крае в коренных месторождениях учтены руды, в которых вольфрам является попутным компонентом. Попутная добыча вольфрама осуществляется на Правоурмийском месторождении, из руд Фестивального, Перевального месторождений вольфрам не извлекается. Балансовые запасы WO_3 Хабаровского края составляют около 37 тыс. т, в том числе разведанные запасы – 23 тыс. т. Ресурсы WO_3 края оцениваются примерно в 160 тыс. т по категориям P_1 и P_2 . Перспективы Хабаровского края на вольфрам значительны [28, 29] ввиду наличия многих неоцененных проявлений в северной (Маган, Крючек, Осеннее, Хайринджа, Эльгачан, Чарканнах и др. в Кютепском рудном узле), западной и центральной (Синку, Ледниковое, Сармака, Поисковое, Агдонийское, Мерекское, Ежовое, Красный Каньон и др.) частях края, но особенно в южной, пограничной с Приморским краем, части (проявления Ко, Янизавани, Веселое, Хорская площадь с участками Арса, Кафэн и Светлый, Хвощевая и Звонкая площади).

На территории Республики Саха (Якутия) месторождения и перспективные рудопроявления располагаются в олово-вольфрамовых рудно-россыпных районах: Северо-Янском (коренные месторождения Одинокое, Черпунья, Полярное, а также более десятка россыпных объектов) и Южно-Янском (с коренными месторождениями Илинтас, Алыс-Хая и несколькими россыпями). Вольфрамовая минерализация занимает подчиненное положение относительно оловянной. Учитываются запасы 22 месторождений вольфрама (7 коренных и 15 россыпных). По запасам и качеству руд наиболее значимым объектом является Агылкынское скарновое медно-вольфрамовое месторождение с запасами WO_3 94 тыс. т (категории В+С₁) при среднем его содержании 1,27 %. Балансовые запасы WO_3 Республики Саха (Якутия) составляют более 130 тыс. т.

На территории Республики Бурятия учтено семь месторождений вольфрама, в том числе три коренных – Инкурское, Холтосонское, Мало-Ойногорское; четыре россыпных и одно техногенное – Барун-Нарынское. Запасы вольфрама составляют 389,6 тыс. т, прогнозные ресурсы – 10,1 тыс. т WO_3 . На Барун-Нарынском месторождении в 2016 г. добыто 569 т, в 2018 г. – 364 т WO_3 , из россыпных месторождений добываются единицы тонн. Инвестиции компания АО «Твердосплав» по проектам освоения Инкурского и Холтосонского месторождений уже составили 122,3 млн руб. В 2021 г. объем производства продукции на них должен составить 3300 т WO_3 в год.

В Забайкальском крае запасы вольфрама учитываются на 12 коренных и 7 россыпных месторождениях. Запасы WO_3 составляют 70,9 тыс. т (включая забалансовые), добыча в 2018 г. на Спокойнинском составила 162 т WO_3 , предполагается довести здесь производство вольфрамового концентрата до 1,8 тыс. т в год. На территории края известны небольшие по запасам месторождения вольфрама (Шумиловское, Хребтовское, Молодежное, Горное, Березовое и др.), ведется подготовка к освоению вольфрам-молибденового Бугдаинского месторождения, имеются перспективы открытия новых месторождений, в частности на Тукулайском рудном поле, прогнозные ресурсы которого категории P₂ оценены в 100 тыс. т WO_3 .

В Амурской области имеются перспективы на ресурсы вольфрама на востоке области, куда протягиваются металлогенические структуры Хабаровского края. Ресурсы вольфрама вероятны и в западной части области: рудопроявление Гетканчик (83,6 тыс. т WO_3 категории P₁) и одноименное рудное поле (121 тыс. т категории P₂).

В Магаданской области запасы WO_3 составляют 1,2 тыс. т, прогнозные ресурсы – не менее 400 тыс. т. Большая часть запасов WO_3 заключена в Начальном вольфрам-оловянном месторождении, содержание WO_3 в них составляет в среднем около 0,7 %. Перспективным для освоения является месторождение Бохапчинское, ресурсы которого оценены в 80 тыс. т WO_3 .

На территории Чукотского АО выявлено более 80 преимущественно комплексных олово-вольфрамовых месторождений (в том числе более 10 коренных), WO_3 учтен как попутный компонент в месторождениях олова. Основная часть месторождений располагается относительно компактно на севере округа в пределах Чукотской металлогенической зоны. Основные ресурсы сосредоточены в коренных месторождениях (Пырकाкайское, Валькумейское, Иульгинское, Экуг, Светлое, Лунное и др.). Наиболее крупным является месторождение Пырकाкайское, образованное группой из 7 месторождений, представляющих отдельные штокерки. Общие запасы WO_3 – более 20 тыс. т (содержания 0,014–0,039 %). Руды месторождения легкообогатимы и могут обрабатываться открытым способом [30]. На месторождениях Валькумейское, Иульгинское, Телекайское и многочисленных россыпях с 1940-х до 1990-х годов и несколько позднее вольфрам добывался попутно с оловом. Добыча остановлена с 1992 г., все месторождения переведены в государственный резерв. Запасы WO_3 в Чукотском АО по состоянию на начало 2020 г. составляли 64 тыс. т со средним содержанием WO_3 0,06 %.

Таким образом, на территории ДФО оценено в той или иной степени и разведано более 25 коренных месторождений с вольфрамовыми рудами (самостоятельных или в качестве

попутного компонента) и столько же россыпных месторождений вольфрама с суммарными ресурсами WO_3 более 400 тыс. т. Прогнозные ресурсы WO_3 оцениваются в 600 тыс. т.

Мировая конъюнктура. Ученные общемировые ресурсы вольфрама заключены в недрах 70 стран; их резервы, по данным Геологической службы США (USGS) [15], составляют более 5,3 млн т WO_3 (что соответствует 3,3 млн т вольфрама), а ресурсы превышают 20 млн т WO_3 . Считается, что они обеспечат добычу в течение 130 лет. Основные ресурсы сосредоточены в ограниченном числе стран: Китай, Казахстан, Россия, Канада, США, Киргизия, Боливия, Австралия, Вьетнам. Китаю принадлежит почти 66 % мировых запасов вольфрама, находящихся в 225 месторождениях.

Производство вольфрама в концентратах осуществляется в 27 странах. По оценкам, в 2020 г. оно составило более 110 тыс. т WO_3 (более 84 тыс. т вольфрама). Лидером мировой вольфрамовой промышленности (около 61 тыс. т WO_3 в 2019 г.) и крупнейшим мировым экспортером является Китай [31]. Россия располагается на 3 месте по производству, но в абсолютном выражении это примерно в 32 раза меньше, чем в Китае.

Важность вольфрама для отдельных отраслей промышленности, практически монопольное положение Китая на рынке, неустойчивость предложения вольфрамового сырья остальными производителями, нестабильность цен на вольфрамовые продукты заставили многие развитые страны включить вольфрам в список стратегических полезных ресурсов и искать альтернативу монополизму Китая. В разных странах реализуются проекты по возобновлению освоения ранее оставленных и освоению новых месторождений [32, 33].

Некоторые новые проекты по добыче вольфрама осуществляются в Испании – Лос-Сантос (Los Santos), Вальтрейксал (Valtreixal), Ла Паррилья (La Parrilla), Португалии (Régua), Республике Корея (Сандон (Sangdong), Казахстане (Богутинское, Верхнее Кайрактинское, Дрожиловское, Смирновское, Коктенколь, Северный Катпар), Узбекистане (Саутбай (Sautbay), Бургут, Сагынкан и др.), Бразилии (Rio Maria), Австралии (Вулфрам-Камп (Wolfram Camp), Канаде (Sisson) и других странах. По данным Roskill, только евразийские проекты по добыче вольфрама могут добавить более 11 тыс. т новых поставок к 2029 г., если все они будут успешно введены в эксплуатацию. В результате осуществления новых проектов по производству вольфрама за рубежом Россия может потерять имеющиеся у нее внешние рынки сбыта вольфрамового сырья, не выдержав конкуренции с новыми поставщиками.

Обсуждение

В России возможно существенное увеличение добычи вольфрама из недр с расширением ее географической структуры. В настоящее время к промышленному освоению подготавливаются четыре коренных месторождения существенно вольфрамовых руд: Скрытое и Забытое (Приморский край), Тырнаузское и Кти-Тебердинское (Северный Кавказ). Продолжаются разведочные работы на Холтосонском и Инкурском преимущественно вольфрамовых коренных месторождениях в Республике Бурятия, на Коклановском месторождении молибден-вольфрамовых руд в Курганской области. Поисковые и оценочные работы на вольфрам ведутся предприятиями «Росгеологии» и недропользователями на нескольких перспективных площадях в Хабаровском и Приморском краях и в Республике Бурятия.

Вольфрам входит в перечень стратегических видов минерального сырья (Распоряжение Правительства РФ от 16.01.1996), но отнесен к первой группе полезных ископаемых, сырьевая база которых достаточна для обеспечения потребностей экономики в долгосрочной перспективе при любых сценариях ее развития и не требует проведения активных геологоразведочных работ, направленных на ее воспроизводство [34, 35]. На основании этого предлагается следующее решение вопроса для вольфрамовой промышленности: возобновление разработки Тырнаузского месторождения. Проект включает ГОК на базе Тырнаузского месторождения, новое гидрометаллургическое производство. Основными

инвесторами в восстановлении и запуске Тырныаузского ГОКа выступают государственная корпорация «Ростех», Министерство промышленности и торговли РФ и Министерство РФ по делам Северного Кавказа. Тырныаузский ГОК мощностью в 1,5 млн т руды в год будет заново построен при государственной поддержке, «Ростех» оценил инвестиции в проект в 20 млрд руб.

Проект создания горно-металлургического комплекса вызывает у экспертов вопросы, в первую очередь, о надобности строить на нем гидрометаллургический завод с годовой мощностью 4,5 тыс. т WO_3 , при том что есть завод «Гидрометаллург» в г. Нальчик, способный выпускать до 6 тыс. т. Проект может превратиться в постоянного потребителя дотаций с длительным сроком окупаемости. Строительство гидрометаллургического завода на «Приморском ГОКе» более оправданно, потому что ДФО – территория будущего в перспективе роста ресурсов вольфрама.

Состояние вольфрамодобывающей промышленности в ДФО, несмотря на определенную степень самостоятельности, хотя и в режиме контроля со стороны государства (в форме установления пошлин, создания госрезерва и др.), зависит от экономической политики в вольфрамовой отрасли и в целом в сфере высокотехнологичных отраслей промышленности России.

Неблагоприятным обстоятельством для вольфрамовой промышленности является отсутствие производственной интеграции и кооперации между действующими предприятиями по добыче и переработке вольфрамового сырья, а также производства вольфрамовых продуктов (предприятия значительно пространственно рассредоточены и организационно разобщены). Пространственная рассредоточенность не может быть существенным препятствием, так как общие объемы добычи и, следовательно, транспортировки продукции не столь велики (не более 10 тыс. т в год).

Для преодоления другого обстоятельства – отсутствия отраслевой кооперации (организационной фрагментарности и обособленности) в вольфрамовой отрасли невозможно обойтись без участия государства в форме создания управляющей компании. Добывающие, перерабатывающие, трейдинговые и другие компании, работающие в данной сфере, имеют каждая свои интересы и могут участвовать в выполнении лишь отдельных фрагментов стратегической задачи, которая должна быть цельной. Невысокий спрос на вольфрам является причиной длительной разработки концепции вольфрамовой проблемы и неоднозначности конкретных планов в этой отрасли. Сейчас актуальны выработка концепции и системного плана ее осуществления.

До 1990-х годов СССР был импортером вольфрамового концентрата и экспортером вольфрамовых продуктов. В настоящее время, несмотря на значительное сокращение добычи вольфрама, Россия остается крупнейшим поставщиком вольфрамовых концентратов на мировой рынок, а также входит в тройку крупнейших мировых экспортеров ферровольфрама и другой вольфрамовой продукции. В 2018–2019 гг. объем поставок ферровольфрама находился на уровне 1,3 тыс. т в год. Россия обеспечивала до 17 % всего импорта США (оксид вольфрама, вольфрамовый концентрат, паравольфрамат аммония, вольфрамовые отходы и скрап, в незначительных количествах ферровольфрам и порошок металлического вольфрама). В то же время российские потребители вольфрамового сырья периодически импортируют вольфрамовый концентрат, а также товарные вольфрамовые продукты. Такова и международная практика в условиях международного разделения труда и глобализации, но самодостаточная промышленность предпочтительнее. О необходимости создания новых горно-металлургических комплексов в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке и возможности их обеспечения местным минеральным сырьем неоднократно писали многие специалисты в области минеральных ресурсов [2, 18].

Поисково-оценочные работы на территории ДФО почти на все рудные полезные ископаемые (кроме золота) по существу были «законсервированы» более чем на 30 лет. Теперь актуальны ГРП, нацеленные на создание базы для устойчивого развития вольфрамовой отрасли в ДФО, в первую очередь на сопряженных территориях Приморского и Хабаровского краев [36].

Заключение

Российская сырьевая база вольфрама позволяет организацию самодостаточной вольфрамовой промышленности. Основные объемы национальных запасов и прогнозных ресурсов вольфрама находятся в субъектах ДФО, где и производится их добыча, в западной части страны находятся перерабатывающие предприятия и потребители вольфрамовой продукции. На территории ДФО ведутся ГРП с целью расширения сырьевой базы и выявления новых месторождений вольфрама. Разработка подготавливаемых в настоящее время к освоению месторождений позволит России значительно нарастить здесь сырьевую базу вольфрама.

Внутренние и внешние риски (отдаленность начала эксплуатации Тырныаузского месторождения в 2026 г., постоянное увеличение сроков выполнения всех проектов и переносы сроков их реализации, вероятность полного отказа от них при наступлении неблагоприятной конъюнктуры), полное исчерпание запасов предприятий Приморского края в ближайшие годы ставят под угрозу обеспечение российской промышленности отечественными запасами вольфрама и целесообразность активизации работ, нацеленных на выявление новых вольфрамовых объектов.

Рациональная организация, структура и размещение основных сырьевых и производственных объектов отечественной вольфрамовой промышленности не имеют однозначного решения. Из возможных вариантов наиболее предпочтительным представляется развитие сырьевой базы на территории ДФО и размещение производственных объектов в Приморском (на территории деятельности «Приморского ГОКа») или Хабаровском краях (Амурско-Комсомольский горнопромышленный район). В ДФО требуется интенсификация ГРП и проектных работ, структурная реорганизация сообщества предприятий вольфрамодобывающей отрасли и строительство металлургического предприятия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Лаптева А.М. Минерально-сырьевая база вольфрама: состояние и перспективы развития // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2015. № 6. С. 13–21.
2. Машковцев Г.А., Машковцев Г.А., Коротков В.В. Минерально-сырьевое обеспечение новых горно-металлургических комплексов Восточной Сибири и Дальнего Востока // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2008. № 1. С. 53–63.
3. Хатьков В.Ю., Боярко Г.Ю. Современное состояние вольфрамовой промышленности России // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2019. Т. 330, № 2. С. 124–137. DOI: 10.18799/24131830/2019/2/114.
4. Лаптева А.М. Ситуация на мировом вольфрамовом рынке и возможности российской сырьевой базы вольфрама // Отечественная геология. 2018. № 1. С. 29–39.
5. Норкулов Д.Н., Назарова З.М. Современное состояние рынка вольфрама // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2018. № 1 (60). С. 855–857.
6. Стратегия развития цветной металлургии России на 2014–2020 годы и на перспективу до 2030 года. – <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70595824/> (дата обращения 17.02.2021).
7. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2016 и 2017 годах». М., 2018. 372 с.
8. Государственный доклад «О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2019 году». М., 2020. 494 с.
9. Тырныауз: возрождение легендарного месторождения. Глобус. 2020. – <https://www.vnedra.ru/glavnaya-tema/tyrnauz-vozrozhdenie-legendarnogo-mestorozhdeniya-12564/> (дата обращения 14.03.2021).
10. Портал СтатИмЭкс – <http://StatImEx.Ru> (дата обращения 20 марта 2021 г.).
11. ГИС-пакеты оперативной геологической информации (ГИС-Атлас «Недра России»). – <https://vsegei.ru/info/atlaspacket/index.php>. 2020 (дата обращения 24.05.2020).
12. Электронная карта недропользования Российской Федерации: справка о состоянии и перспективах использования минерально-сырьевой базы Дальневосточного федерального округа. – <https://map.mineral.ru> (дата обращения: 21.02.2021).
13. Александров П.В., Петров И.М., Гришаев С.И. Тенденции развития мирового и российского рынков вольфрама // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2012. № 2. С. 66–69.

14. Бельский С.С., Бельская О.Е. Вольфрам – производство и потребление // *Металлургия легких и тугоплавких металлов: материалы III Международ. науч.-техн. конф., посвящ. 75-летию кафедры металлургии легких металлов УрФУ / отв. ред. В.А. Лебедев. Екатеринбург, 2014. С. 162–166.*
15. U.S. Geological Survey, 2021, Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey, 2021. 200 p. – <https://doi.org/10.3133/mcs2021>. (дата обращения 12.03.2021)
16. Найманбаев М.А., Лохова Н.Г., Балтабекова Ж.А. Анализ современного состояния сырьевой базы вольфрама в Казахстане // *Цветная металлургия. 2015. № 6. С. 20–22.*
17. Pirajno F. *The Geology and Tectonic Settings of China's Mineral Deposits.* Springer Netherlands. 2013. 667 p. DOI: 10.1007/978-94-007-4444-8_7.
18. Архипов Г.И. Минеральные ресурсы горнорудной промышленности Дальнего Востока. Стратегическая оценка возможностей освоения. Хабаровск: Институт горного дела ДВО РАН, 2017. 820 с.
19. Попов М.А., Петухов В.И., Гарбузов С.П. Минерально-сырьевая база Приморского края (обзор) // *Вестн. инженерной школы ДВФУ. 2016. № 4 (29). С. 129–141.*
20. Романовский Н.П., Шнайдер А.А. Перспективы развития минерально-сырьевой базы вольфрамовой промышленности юга Дальнего Востока // *Руды и металлы. 2008. № 5. С. 10–16.*
21. Лаптева А.М., Назарова З.М., Норкулов Д.Н. Перспективы техногенных образований как сырьевой базы вольфрама в условиях современного рынка // *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2018. № 5. С. 9–15.*
22. Романовский Н.П., Малышев Ю.Ф., Горнов П.Ю. Геолого-геофизическая характеристика вольфрамовых месторождений Дальнего Востока России // *Отечественная геология. 2013. № 2. С. 11–18.*
23. Шепета Е.Д., Саматова Л.А. Повышение комплексности использования сырья при переработке руд Лермонтовского месторождения // *Междунар. науч.-практ. форум «Природные ресурсы и экология Дальневосточного региона», Хабаровск, 25–26 окт. 2012. Хабаровск: ТОГУ. 2013. С. 350–353.*
24. Гвоздев В.И. *Рудно-магматические системы скарново-шеллит-сульфидных месторождений востока России: автореф. дис... д-ра г.-м. наук. Владивосток. 2007. 54 с.*
25. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России: в 2 кн. / под ред. А.И. Ханчука. Владивосток: Дальнаука. 2006. Кн. 1. С. 1–572. Кн. 2. С. 573–981.
26. Лаптева А.М., Березнев М.В. Вольфрам-порфиоровые месторождения – нетрадиционный для России тип вольфрамовых месторождений // *Новые идеи в науках о Земле: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф.: в 7-ми томах. М., 2019. С. 36–38.*
27. Пикалова В.С., Тигунов Л.П., Быховский Л.З. Легирующие металлы России. Минерально-сырьевая база: состояние, использование, перспективы развития (сообщение 2) // *Черная металлургия: бюл. науч.-техн. и экон. информации. 2019. Т. 75. № 6. С. 675–683.*
28. Верхотуров А.Д., Романовский Н.П., Шнайдер А.А. Промышленное получение материалов из вольфрамсодержащего сырья в Дальневосточном регионе // *Вестн. ДВО РАН. 2010. № 1 (149). С. 75–80.*
29. В Хабаровском крае геологи закончили сезонный поиск вольфрама. 2016. – <https://vostokmedia.com/news/society/28-12-2016/v-habarovskom-krae-geologi-zakonchili-sezonnyy-poisk-volframa>. (дата обращения: 12.05.2021).
30. «РУСОЛОВО» получило право пользования недрами на севере Чукотки. М.: ВИМС. Информационный интернет-бюллетень. 2020. № 215. С. 56.
31. Ding J., Chen Y., Han C., Wang Z., Xiao W., Deng X. The tungsten deposits in Beishan, Gansu province, NW China: geochronological framework, spatial distribution and tectonic implication // *Scientia Geologica Sinica. 2019. Vol. 54. N 4. P. 1349–1369.*
32. Brown T., Pitfield P. *Tungsten. Critical Metals Handbook. 2013. P. 385–413.*
33. Suárez Sánchez A., Krzemiń A., Fernández P.R., Francisco J. I. R., Lasheras F.S., Javier de Cos Juez F. Investment in new tungsten mining projects // *Resources Policy. 2015. Vol. 46. P. 177–190.* – <http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2015.10.003>. (дата обращения: 17.05.2021).
34. Стратегия развития геологической отрасли Российской Федерации до 2030 года (утв. распоряжением Правительства Рос. Федер. от 21 июня 2010 г. № 1039-р). 2010. – <http://government.ru/docs/10046/> (дата обращения 21.11.2018).
35. Стратегия развития минерально-сырьевой базы Российской Федерации до 2035 года. – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_314605/ (дата обращения 15.01.2021).
36. Национальная программа социально-экономического развития Дальнего Востока на период до 2024 года и на перспективу до 2035 года. Утв. распоряжением Правительства Рос. Федер. от 24 сент. 2020 г. М., 2020. 127 с.

REFERENCES

1. Lapteva A.M. Mineral'no-syr'evaya baza vol'frama: sostoyanie i perspektivy razvitiya. *Mineral'nye resursy Rossii. Ehkonomika i upravlenie. 2015;(6):13-21.* (In Russ.).
2. Mashkovtsev G.A., Korotkov V.V. Mineral'no-syr'evoye obespechenie novykh gorno-metallurgicheskikh kompleksov Vostochnoi Sibiri i Dal'nego Vostoka. *Mineral'nye resursy Rossii. Ehkonomika i upravlenie. 2008;(1):53-63.* (In Russ.).

3. Khat'kov V.Yu., Boyarko G.Yu. Sovremennoe sostoyanie vol'framovoi promyshlennosti Rossii. In: *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesurov*. 2019;330(2):124-137. DOI: 10.18799/24131830/2019/2/114. (In Russ.).
4. Lapteva A.M. Situatsiya na mirovom vol'framovom rynke i vozmozhnosti rossiiskoi syr'evoi bazy vol'frama. *Otechestvennaya geologiya*. 2018;(1):29-39. (In Russ.).
5. Norkulov D.N., Nazarova Z.M. Sovremennoe sostoyanie rynka vol'frama. *Konkurentosposobnost' v global'nom mire: ehkonomika, nauka, tekhnologii*. 2018;(1(60)):855-857. (In Russ.).
6. Strategiya razvitiya tsvetnoi metallurgii Rossii na 2014-2020 gody i na perspektivu do 2030 goda. – <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70595824/> (data obrashcheniya 17.02.2021). (In Russ.).
7. Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2016 i 2017 godakh. M.; 2018. 372 p. (In Russ.).
8. Gosudarstvennyi doklad "O sostoyanii i ispol'zovanii mineral'no-syr'evykh resursov Rossiiskoi Federatsii v 2019 godu. M.; 2020. 494 p. (In Russ.).
9. Tyrnayuz: vozrozhdenie legendarnogo mestorozhdeniya. *Globus*. 2020. – <https://www.vnedra.ru/glavnaya-tema/tyrnayuz-vozrozhdenie-legendarnogo-mestorozhdeniya-12564/> (data obrashcheniya 14.03.2021). (In Russ.).
10. Portal StaTIMEhks. – <http://StatImEx.Ru> (data obrashcheniya 20 marta 2021 g.).
11. GIS-pakety operativnoi geologicheskoi informatsii (GIS-Atlas "Nedra Rossii"). – <https://vsegei.ru/ru/info/atlaspacket/index.php>. 2020 (data obrashcheniya 24.05.2020). (In Russ.).
12. Ehlektronnaya karta nedropol'zovaniya Rossiiskoi Federatsii: spravka o sostoyanii i perspektivakh ispol'zovaniya mineral'no-syr'evoi bazy Dal'nevostochnogo federal'nogo okruga. – <https://map.mineral.ru> (data obrashcheniya: 21.02.2021). (In Russ.).
13. Aleksandrov P.V., Petrov I.M., Grishaev S.I. Tendentsii razvitiya mirovogo i rossiiskogo rynkov vol'frama. *Mineral'nye resursy Rossii. Ehkonomika i upravlenie*. 2012;(2):66-69. (In Russ.).
14. Bel'skii S.S., Bel'skaya O.E. Vol'fram – proizvodstvo i potreblenie. In: *Metallurgiya legkikh i tugoplavkikh metallov*. Materialy III Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii, posvyashchennoi 75-letiyu kafedry metallurgii legkikh metallov URFU. V.A. Lebedev (otvetstvennyi redaktor). 2014. P. 162-166. (In Russ.).
15. U.S. Geological Survey, 2021. Mineral commodity summaries 2021: U.S. Geological Survey; 2021. 200 p. – <https://doi.org/10.3133/mcs2021>
16. Naimanbaev M.A., Lokhova N.G., Baltabekova ZH.A. Analiz sovremennoho sostoyaniya syr'evoi bazy vol'frama v Kazakhstane. *Tsvetnaya metallurgiya*. 2015;(6):20-22. (In Russ.).
17. Pirajno F. The Geology and Tectonic Settings of China's Mineral Deposits. Spinger Netherlands; 2013. 667 p. DOI: 10.1007/978-94-007-4444-8_7. (In Russ.).
18. Arkhipov G.I. Mineral'nye resursy gornorudnoi promyshlennosti Dal'nego Vostoka. Strategicheskaya otsenka vozmozhnostei osvoeniya. Khabarovsk: Institut gornogo dela DVO RAN; 2017. 820 p. (In Russ.).
19. Popov M.A., Petukhov V.I., Garbuzov S.P. Mineral'no-syr'evaya baza Primorskogo kraja (obzor). *Vestnik inzhenernoi shkoly DVFU*. 2016;4(29):129-141. (In Russ.).
20. Romanovskii N.P., Shnaider A.A. Perspektivy razvitiya mineral'no-syr'evoi bazy vol'framovoi promyshlennosti yuga Dal'nego Vostoka. *Rudy i metally*. 2008;(5):10-16. (In Russ.).
21. Lapteva A.M., Nazarova Z.M., Norkulov D.N. Perspektivy tekhnogennykh obrazovaniy kak syr'evoi bazy vol'frama v usloviyakh sovremennoho rynka. *Mineral'nye resursy Rossii. Ehkonomika i upravlenie*. 2018;(5):9-15. (In Russ.).
22. Romanovskii N.P., Malyshev Yu.F., Gornov P.Yu. Geologo-geofizicheskaya kharakteristika vol'framovykh mestorozhdenii Dal'nego Vostoka Rossii. *Otechestvennaya geologiya*. 2013;(2):11-18. (In Russ.).
23. Shepeta E.D., Samatova L.A. Povyshenie kompleksnosti ispol'zovaniya syr'ya pri pererabotke rud Lermontovskogo mestorozhdeniya. In; *Mezhdunarodn. nauch.-prakt. forum "Privodnye resursy i ehkologiya Dal'nevostochnogo regiona"*, Khabarovsk, 25–26 okt. 2012. Khabarovsk: TOGU; 2013. P. 350-353. (In Russ.).
24. Gvozdev V.I. Rudno-magmaticheskie sistemy skarnovo-sheelit-sul'fidnykh mestorozhdenii vostoka Rossii. Avtoref. dis. ... doktora g.-m. nauk. Vladivostok; 2007. 54 s. (In Russ.).
25. Khanchuk A.I. (red.). Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii: v 2 kn. Vladivostok: Dal'nauka; 2006. Kn. 1. P. 1-572. Kn. 2. P. 573-981. (In Russ.).
26. Lapteva A.M., Bereznev M.V. Vol'fram-porfirovyje mestorozhdeniya – netraditsionny dlya Rossii tip vol'framovykh mestorozhdenii. In: *Novye idei v naukakh o Zemle: Materialy XIV Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii. V 7-mi tomakh*; 2019. P. 36-38. (In Russ.).
27. Pikalova V.S., Tigonov L.P., Bykhovskii L.Z. Legiruyushchie metally Rossii. Mineral'no-syr'evaya baza: sostoyanie, ispol'zovanie, perspektivy razvitiya (soobshchenie 2). *Chernaya metallurgiya. Byulleten' nauchno-tekhnicheskoi i ehkonomicheskoi informatsii*. 2019;75(6):675-683. (In Russ.).
28. Verkhoturov A.D., Romanovskii N.P., Shnaider A.A. Promyshlennoe poluchenie materialov iz vol'framsoderzhashchego syr'ya v Dal'nevostochnom regione. *Vestnik of the FEB RAS*. 2010;(1(149)):75-80. (In Russ.).
29. V Khabarovskom krae geologi zakonchili sezonnyy poisk vol'frama. 2016. – <https://vostokmedia.com/news/society/28-12-2016/v-habarovskom-krae-geologi-zakonchili-sezonnyy-poisk-volframa>. (In Russ.).
30. "RUSOLOVO" poluchilo pravo pol'zovaniya nedrami na severe Chukotki. M.; VIMS. Informatsionnyi internet-byulleten; Vol. 215. 2020. 56 p. (In Russ.).

31. Ding J., Chen Y., Han C., Wang Z., Xiao W., Deng X. The tungsten deposits in Beishan, Gansu province, NW China: geochronological framework, spatial distribution and tectonic implication. *Scientia Geologica Sinica*. 2019;54(4):1349-1369.
32. Brown T., Pitfield P. Tungsten. *Critical Metals Handbook*; 2013. P. 385-413.
33. Suárez Sánchez A., Krzemień A., Fernández P.R., Francisco J. I. R., Lasheras F.S., Javier de Cos Juez F. Investment in new tungsten mining projects. *Resources Policy*. 2015;46:177-190. – <http://dx.doi.org/10.1016/j.resourpol.2015.10.003>.
34. Strategiya razvitiya geologicheskoi otrasli Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda (utverzhdena Rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 21 iyunya 2010 g. № 1039-r). 2010. – <http://government.ru/docs/10046/> (data obrashcheniya 21.11.2018). (In Russ.).
35. Strategiya razvitiya mineral'no-syr'evoi bazy Rossiiskoi Federatsii do 2035 goda. – http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_314605/ (data obrashcheniya: 15.01.2021). 30 p. (In Russ.).
36. Natsional'naya programma sotsial'no-ehkonomicheskogo razvitiya Dal'nego Vostoka na period do 2024 goda i na perspektivu do 2035 goda. Utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 24 sentyabrya 2020 g. M.; 2020. 127 p. (In Russ.).

Научная статья

УДК 579.852.11:57.047

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_8

Антибиотическая активность метаболитов *Bacillus thuringiensis* в отношении бактерий и грибов

А.А. Артемов

Артемов Александр Александрович

аспирант, младший научный сотрудник

Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии «Вектор»,

Новосибирская область, пос. Кольцово, Россия

arsanya@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0003-1156-9713>

Аннотация. Проведено детальное изучение антибиотического действия метаболитов штаммов *B. thuringiensis* на патогенные бактерии/грибы различных таксономических групп. Осуществлена оценка антибиотической активности водорастворимых метаболитов и белков параспоральных кристаллов штаммов *B. thuringiensis* в отношении патогенных бактерий/грибов и плесневых грибов. Подобраны условия культивирования исследуемых штаммов для продукции антибиотических субстанций. Обнаружена антибиотическая активность метаболитов *B. thuringiensis* в отношении микроорганизмов кишечной группы *Salmonella thyphimurium* 2606, *Shigella sonnei* 32 и *Escherichia coli* ATCC 25922, фитопатогенного штамма *Xantomonas malvacearum*, *Bacillus subtilis* ATCC 6633 и ингибирующее и замедляющее действие на рост *Staphylococcus aureus* и *Candida albicans*, а также тест-штаммов грибов. Полученные данные позволяют прогнозировать создание на их основе антибиотических препаратов таргетированного действия на патогенные микроорганизмы конкретной таксономической принадлежности.

Ключевые слова: *Bacillus thuringiensis*, *Bt*, антибиотическая активность, дельта-эндотоксин, параспоральные белки, ПСБ

Для цитирования: Артемов А.А. Антибиотическая активность метаболитов *Bacillus thuringiensis* в отношении бактерий и грибов // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 102–110. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_8.

Antibiotic activity of *Bacillus thuringiensis* metabolites against intestinal bacteria and fungi

A.A. Artemov

Alexander A. Artemov

Post-graduate student, Junior Researcher

State Scientific Center of Virology and Biotechnology “Vector”, Novosibirsk Region,

Koltsovo village, Russia

arsanya@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0003-1156-9713>

Abstract. A detailed study of the antibiotic effect of metabolites of *B. thuringiensis* strains on pathogenic bacteria/fungi of various taxonomic groups was carried out. The antibiotic activity of water-soluble metabolites and proteins of parasporal crystals of *B. thuringiensis* strains against pathogenic bacteria/fungi and molds was assessed. The cultivation conditions of the studied strains for the production of antibiotic substances were selected. Antibiotic activity of *B. thuringiensis* metabolites against microorganisms of the intestinal group *Salmonella thyphimurium* 2606, *Shigella sonnei* 32 and *Escherichia coli* ATCC 25922, phytopathogenic strain *Xantomonas malvacearum*, *Bacillus subtilis* ATCC 6633 and inhibitory and retarding effect on the growth of *Staphylococcus aureus* and *Candida albicans*, as well as test strains of fungi was revealed. The data obtained make it possible to predict the creation on their basis of antibiotic preparations with targeted action on pathogenic microorganisms of a specific taxonomic affiliation.

Keywords: *Bacillus thuringiensis*, *Bt*, antibiotic activity, delta-endotoxin, parasporal proteins, PBP

For citation: Artemov A.A. Antibiotic activity of *Bacillus thuringiensis* metabolites against intestinal bacteria. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(5):102–110. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_8.

Введение

Экологической безопасности агропромышленных технологий в мире уделяется все больше внимания [1, 2]. Внедряется практика обновления требований к химическим препаратам вследствие нацеленности на снижение их отрицательного влияния на окружающую среду [3]. Практикуется также их частичная замена биологическими агентами аналогичного действия, в частности бактериальными инсектицидами [4]. Однако в России данная тенденция не прослеживается. Напротив, начиная с 2010 г. здесь отмечается рост производства пестицидов, в том числе в 2020 г. – на 30,4 % [5, 6].

Биопрепараты создаются в основном посредством культивирования микроорганизмов без дополнительной очистки действующих продуцируемых клетками компонентов, из них 90 % коммерческих инсектицидных средств разработано на основе *Bt* (аэробной спорообразующей бактерии *Bacillus thuringiensis*) [7]. Поэтому готовый продукт содержит побочные компоненты (споры, клетки, токсины). Предотвратить загрязнение продукции и окружающей среды последними позволяет создание средств на основе очищенных биологически активных веществ. Промышленное производство антибиотиков основано

на выращивании микроорганизмов – продуцентов антибиотических субстанций в строго определенных условиях [8]. Так, штаммы аэробной спорообразующей бактерии *Bacillus thuringiensis* (*Bt*, открыт Ишиватари Сигетане, 1902 г.) выделяют в процессе роста белковые дельта-эндотоксины с молекулярной массой 30–130 кДа [9]. Представителями *Bt* продуцируют дельта-эндотоксины, которые выделены в кристаллическом виде. Соединения относятся к семейству гомологичных белков с избирательным инсектицидным действием, неактивных в отношении теплокровных организмов [10]. Спорово-кристаллические субстанции *Bt* на 90–95 % составляют рынок биопрепаратов против насекомых [11], а очищенные дельта-эндотоксины практически не применяются. Описано действие штаммов *Bt* против фитопатогенных бактерий и грибов [12], а также антимикробная активность растворов дельта-эндотоксинов *Bt* [13].

Цель настоящей работы – детальное изучение антибиотического действия метаболитов штаммов *B. thuringiensis* на патогенные бактерии/грибы различных таксономических групп.

Материалы и методы

В работе использованы штаммы *Bt* и штаммы для анализа их антагонистической активности. *Исследуемые штаммы Bt*: типовые штаммы – 3 подвида *Bt* ssp. *Galleriae* B-1275, *Bt* ssp. *Kurstaki* B-1276, *Bt* ssp. *Finitimus* B-1274; атипичные штаммы – *Bt* B-1272 и *Bt* B-1273, выделенные из образцов термальных полей Долины гейзеров (Камчатка) с неустановленным серотипом. *Тестовые культуры, в отношении которых проводилась оценка антибиотической активности*: патогенные бактерии *Pseudomonas aeruginosa* B-1295, *Staphylococcus aureus* B-1266, *Proteus mirabilis* 392; представитель нормальной микрофлоры кишечника *Enterococcus faecium* 7171; тест-штаммы бактерий – *Salmonella thyphimurium* 2606, *Shigella sonnei* 32, *Bacillus subtilis* 6644, *E. Coli* 6645 (рекомендованы Государственной фармакопеей РФ для определения антибиотических свойств лекарственных препаратов); фитопатогенный штамм *Xanthomonas malvacearum* B-137; возбудитель кандидоза *Candida albicans*; плесневые грибы *Penicillium* sp. F-6, *Verticillium lecani* F-8, *Trichoderma viride* F-9, *Chrysonilia sitophila* 4.

Исследованные штаммы поддерживаются в Коллекции бактерий, бактериофагов и грибов ГНЦ ВБ «Вектор». Причины выбора плесневых грибов, используемых в работе: 1) виды, относящиеся к несовершенным грибам *Fungi imperfecti*, вызывают порчу хлеба: *Chrysonilia sitophila* (N. Montagne, A. Lévillé в 1848 г.), а *Penicillium* (Link, 1809 г.) выделен в процессе работы из пораженного плесенью лука; 2) *Verticillium lecani* (Zimmerman, 1899) – энтомопатогенный гриб, применение которого обеспечивает эффективную защиту культур закрытого грунта от тепличной белокрылки/широкого спектра видов тлей (взяты для тестирования совместного его использования с *Bt*); 3) *Trichoderma viride* (Pers, 1794) конкурирует в субстрате за питание с другими грибами, способен тормозить развитие мицелия конкурентов своими выделениями и питаться непосредственно их мицелием, проявляя явные патогенные свойства. Кроме патогенных бактерий в качестве тест-культуры использован *Enterococcus faecium* (Orla-Jensen, 1919) штамм 7171, входящий в состав нормальной микрофлоры пищеварительного тракта человека. Отсутствие бактерии в кишечнике опасно из-за повышения вероятности гибели от инфекции, но при избыточной активности данный энтерококк может выступать причиной различных заболеваний. Штамм *Proteus mirabilis* (Hauser, 1885) – условно-патогенный возбудитель инфекций мочеполовых органов, приводящих к развитию простатита, цистита, пиелонефрита.

В ходе работы для субкультивирования бактериальных культур использовали рыбно-пептонный агар (РПА) НПО «Микроген» МЗ РФ; жидкую/агаризованную среду LB «Difco», США (рН 7,0–7,2). Дрожжи/плесневые грибы выращивали на среде Сабуро (г/л): пептон – 10, глюкоза – 40, агар – 18 (рН 5,4). При наработке биомассы *Bt* культивирование

проводили на термостатированной качалке КТ 104 (Россия) с использованием жидкой среды LB и картофельной среды (КС) с pH 7,0–7,2: пептон – 0,1 %, K_2HPO_4 – 0,04 %; агар – 1,9 %, картофельный отвар – до 1 л, с добавлением глюкозы и $MnSO_4$ в объеме 0,5 и 0,1 % соответственно.

Антимикробные свойства водорастворимых секретируемых метаболитов штаммов *Bt* определяли методом отсроченного антагонизма [14]. Для оценки антибиотических свойств культуральной жидкости (КЖ) клетки штаммов *Bt* культивировали в жидкой среде LB или КС при 30 °С в течение 36–48 ч. Далее КЖ освобождали от клеток/спор центрифугированием и ультрафильтрацией с применением нитроцеллюлозных фильтров (диаметр пор 0,22 мкм). Антибиотическую эффективность КЖ *Bt* (водорастворимых метаболитов) и специально очищенных растворов δ -эндотоксинов оценивали, применяя метод «колодец» [15] (табл. 1).

Таблица 1

Применение метода «колодцев» для оценки антибиотической активности

Этап методики	КЖ	Растворы дельта-эндотоксинов
Подготовка	Тестируемые культуры засевают на агаровые пластины, в которых проделывали лунки и вносили в них 50–100 мкл стерилизованной фильтрованием КЖ или растворы бактериальных белковых токсинов, предварительно очищенных от клеточной биомассы. Концентрация последних составляла 50–60 мкг/мл (определена на спектрофотометре СФ-46, Россия, при 280 нм)	
Анализ антибиотической активности	Инкубацию выполняли при 30–37 °С в течение 24–72 ч, далее определяли степень подавления роста тестовых культур	Инкубацию выполняли при 30 °С 24 ч. Далее оценивали диаметр зон подавления роста тестовых культур в сравнении с контролем, в котором использовали чистый 1/15 М фосфатный буфер (pH 7,8), примененный ранее для растворения белковых токсинов

Для приготовления растворов белков параспоральных включений культуры выращивали 2–4 сут. на термостатированной качалке в колбах объемом 500 мл со 100–200 мл КС (200 об./мин, при 30 °С). Выполняли фазово-контрастное микроскопирование КЖ с целью подсчета количественного соотношения вегетативных/спорулирующих клеток. При значительном преобладании последних, а именно при наличии сформированных зрелых спор и параспоральных включений, КЖ центрифугировали для удаления супернатанта. Промывку биомассы выполняли дистиллированной водой, 1 М NaCl и трехкратно дистиллированной водой, клетки осаждали на центрифуге JA-21 (Beckman, USA) в течение 20 мин при скорости 8000 об./мин, температуре 2–4 °С. Схема экстрагирования параспоральных включений и активации белковых токсинов с последующим их выделением представлена на рис. 1. Известно, что параспоральные протоксины трансформируются в токсины под действием протеиназ, которые соединены с решеткой параспоральных кристаллов [16].



Рис. 1. Схема экстрагирования параспоральных включений и активации белковых токсинов с последующим их выделением

Последний этап выделения параспоральных белков (ПСБ) занимал 30 мин, осаждение проводили на центрифуге JA-21 (Beckman, USA), ресуспендирование – в 1/15 М-фосфатном буфере (рН 7,8).

Электрофоретические исследования белков КЖ проводили по методу Laemmli [17], протеиновые фракции сравнивали с маркерами молекулярной массы (Bio-Rad, США). Фракции компонентов КЖ получали посредством гель-хроматографии на Fractogel HW 50F в 0,15 М NaCl. Объем пробы – 300 мкл. Скорость элюции 0,3 мл/мин. Фракции собирали каждые 3 мин.

Результаты и их обсуждение

Предварительное исследование антибиотической активности штаммов *Bt* В-1274, В-1272, В-1273 методом отсроченного антагонизма показало, что наиболее выраженный ингибирующий эффект наблюдается в связи с отсутствием ростовой активности *Candida albicans*. В отношении последнего слабовыраженное антибиотическое влияние штамма *Bt* В-1275 наблюдали только в самом начале штриха (ослабление на 15 мм). В отношении *E. faecium*, *S. aureus* наблюдалось только некоторое ослабление роста на 22 и 2,5 мм штриха для штамма В-1275 соответственно и на 25 мм – в отношении первой культуры для В-1274. Относительно кишечной группы бактерий штаммы *Bt* были более эффективны. Выяснено, что метаболиты, продуцируемые *Bt* В-1272 и *Bt* В-1273, подавляют рост трех микроорганизмов кишечной группы – *Salmonella thyphimurium* 2606, *Shigella sonnei* 32 и *Escherichia coli* ATCC 25922. Рост фитопатогена *Xantomonas malvacearum* В-137 и культуры *Bacillus subtilis* ATCC 6633 угнетается культурами *Bt* В-1274 и В-1275 соответственно. Последний штамм также проявляет антибиотическую активность в отношении *Salmonella thyphimurium* 2606 и *Shigella sonnei* 32 (табл. 2).

Таблица 2

Антибиотическое действие метаболитов *Bt*

Штамм <i>Bt</i>	<i>S. thyphimurium</i> 2606	<i>S. sonnei</i> 32	<i>E. coli</i> ATCC 25922	<i>B. subtilis</i> ATCC 6633	<i>X. malvacearum</i> В-137
В-1274	–	–	+	–	+
В-1275	+	+	–	+	–
В-1272	+	+	+	–	–
В-1273	+	+	+	–	–

Примечание: +/- – наличие/отсутствие зоны угнетения роста. Серым цветом выделены результаты с наличием зоны угнетения роста.

Диффузионным методом «колодцев» установлено наличие антибиотического действия метаболитов *Bt*, растворенных в КЖ, на штаммы плесневых грибов. Все используемые в работе культуры *Bt* устраняют рост мицелия *T. Viride* F-9 и значительно угнетают таковой у гриба *V. Lecanii* F-8. В случае плесневого гриба *Penicillium* sp. F-6 только штамм *Bt* В-1276 полностью ингибирует ростовую активность тестовой культуры в результате продуцирования метаболитов с фунгицидной активностью.

Фракционирование КЖ после культивирования штаммов *Bt* выполнялось для разделения антибиотических продуцируемых белков посредством гель-хроматографии (одного из наиболее простых/воспроизводимых фракционных методов). Показано, что профили элюции компонентов (рис. 2), различаясь в деталях, схожи между собой у всех пяти исследуемых штаммов. При сравнении электрофореграмм белковых компонентов КЖ штаммов *Bt* (рис. 3) видно, что для конкретного штамма характерен особый набор белков. Установлено, что по молекулярным массам секретируемые метаболиты сосредоточены в пределах 10–75 кДа. При культивировании штаммов *Bt* в среде LB процесс споруляции/образования кристаллов белков происходит с низкой скоростью или отсутствует, а в среде КС

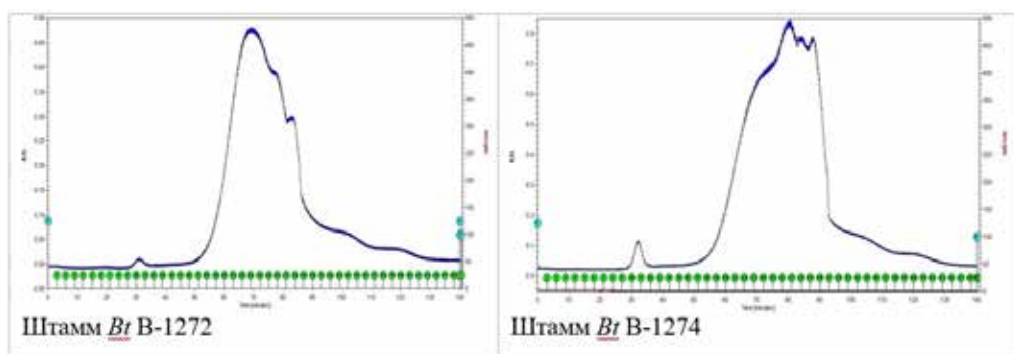


Рис. 2. Профили элюции секретируемых компонентов КЖ штаммов *Bt* на Fractogel TSKHW 50F в 0,15 М NaCl, 0,05 М трис- HCl, pH 7,4, зарегистрированные по поглощению света в ультрафиолетовой области при длине волны 280 нм

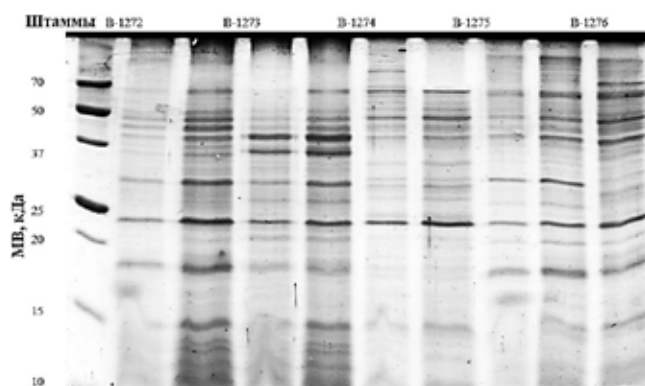


Рис. 3. Электрофореграмма белков штаммов *Bt*, секретируемых в культуральную среду. Примечание: для всех образцов, кроме B-1276, взято по две пробы различного объема. МВ – молекулярный вес

вышеуказанные явления наблюдаются уже на вторые сутки, что согласуется с известными литературными данными [16]. Схема культивирования штаммов *Bt* в жидких питательных средах для определения антибиотической активности растворов параспоральных белков представлена на рис. 4.

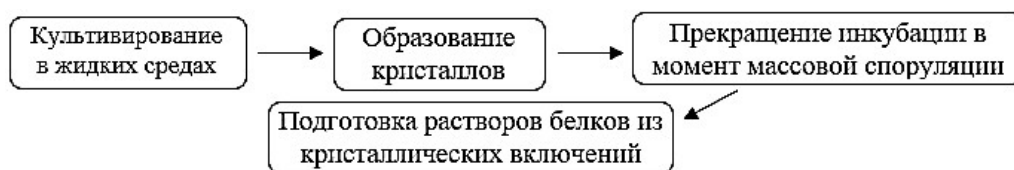


Рис. 4. Схема культивирования штаммов *Bt* в жидких питательных средах для определения антибиотической активности растворов параспоральных белков

Выявлено, что штаммы *Bt* B-1274 и *Bt* B-1275 на обеих средах образуют морфологически сходные кристаллы, а B-1272 и B-1273 на среде КС – не только одиночные компактные кристаллические образования, как при культивировании на РПА и LB, но и гроздья/цепочки разных конфигураций и размеров (рис. 5).

Штаммы *Bt* в дальнейшем культивировали на среде КС в связи с более эффективным образованием кристаллов белка до достижения 95–100 % споруляции, далее готовили растворы ПСБ (см. раздел «Материалы и методы»). В результате тестирования

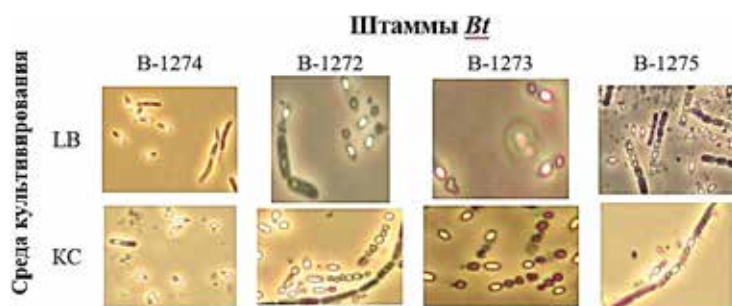


Рис. 5. Морфология кристаллов параспоральных включений штаммов *Bt* в зависимости от среды культивирования. КС – картофельная среда

антибиотической активности по диффузионному методу «колодцев» выявлено, что рост плесневых грибов в опытных вариантах в сравнении с контролем был угнетен (табл. 3), в зоне нанесения растворов белков был замедлен процесс споруляции.

Таблица 3

Определение антибиотической активности растворов ПСБ штаммов *Bt*

Тест-штамм	Контроль роста	Растворы ПСБ пяти штаммов
<i>V. lecani</i> F-8, <i>Penicillium</i> sp. F-6, <i>T. viride</i> F-9	+++	++
<i>C. albicans</i>	+++	+++
<i>P. mirabilis</i> , <i>M. smegmatis</i>	++	+
<i>E. faecium</i> , <i>M. lysodekcticus</i>	+++	±
<i>S. aureus</i>	+++	10*

*Диаметр зоны лизиса, мм.

Примечание: рост +++ типичный активный, ++ умеренный (споруляция подавляется в зоне нанесения растворов ПСБ), + ослабленный, ± следовый тест-штамма. Рост оценивали по всей поверхности агара. Серым цветом помечены данные по наиболее выраженной антибиотической активности.

В случае *Chrysonilia sitophila* 4 и *S. aureus* через 7 сут. наблюдения четко просматривались зоны их лизиса вокруг лунок с растворами ПСБ для всех штаммов *Bt*. Культуры *M. Smegmatis* / *P. mirabilis* и *E. Faecium* / *M. lysodekcticus* характеризовались соответственно более слабым ростом и его полным отсутствием в сравнении с контрольным высевом. При исследовании роста большинства тестовых культур сходный результат получен для всех исследуемых штаммов. Только при исследовании роста *C. sitophila* 4 для пяти штаммов *Bt* выявлены различные результаты: B-1274 – (+); B-1276 – 20; B-1275 – 22; B-1272 – 20; B-1273 – (+). Контроль роста – (+++).

Заключение

Таким образом, наличие избирательности антагонистической активности ПСБ и водорастворимых метаболитов исследуемых штаммов *Bt* по отношению к штаммам бактерий, дрожжей и грибов позволяет прогнозировать создание на их основе антибиотических препаратов таргетированного действия на патогенные микроорганизмы конкретной таксономической принадлежности. Показано, что водорастворимые метаболиты КЖ штаммов *Bt* проявили антибиотическую активность относительно микроорганизмов кишечной группы *Salmonella thyphimurium* 2606, *Shigella sonnei* 32 и *Escherichia coli* ATCC 25922. Угнетение роста фитопатогенной бактерии *Xantomonas malvacearum* B-137 и *Bacillus subtilis* ATCC 6633 отмечено при исследовании противомикробной активности штаммов *Bt* B-1274 и *Bt* B-1275 соответственно. Последний проявлял также антибиотическую активность относительно патогенов *Salmonella thyphimurium* 2606 и *Shigella sonnei* 32.

Выявлены фракции КЖ, компоненты которых проявили выраженную антимикробную активность, направленную наиболее эффективно относительно плесневых грибов. Выявлено ингибирующее действие растворов ПСБ штаммов *Bt* В-1272 и *Bt* В-1273 на рост тест-штаммов *S. aureus* и *C. albicans*.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дусыева Я.О. Экологические проблемы в области правового регулирования агропромышленного комплекса в Российской Федерации // Молодой ученый. 2018. № 4 (190). С. 89–93.
2. Савкин В.И. Экологическая безопасность как приоритетное направление развития АПК России // Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2008. № 10. С. 31–35.
3. Гашко Е.С., Почтовик Е.С., Гучева Н.В. Способы снижения остаточного содержания пестицидов в зерне // Молодой исследователь Дона. 2017. № 6 (9). С. 13–21.
4. Chattopadhyay P., Banerjee G., Mukherjee S. Recent trends of modern bacterial insecticides for pest control practice in integrated crop management system // 3 Biotech. 2017. Vol. 7, N 1. P. 60.
5. Захаренко В.А. Рынок пестицидов в России и перспективы его развития // Защита и карантин растений. 2014. № 11. С. 3–6.
6. Рынок минеральных удобрений и средств защиты растений // Дайджест ключевых публикаций в СМИ. 2020. № 6. 28 с.
7. Авдеев И.А., Сочинская О.Н. Биоинсектициды в сельском хозяйстве // Науч.-метод. электрон. журн. «Концепт». 2016. Т. 11. С. 896–900. <http://e-koncept.ru/2016/> (дата обращения: 15.08.2016).
8. Романов Г.А. Генетическая инженерия растений и пути решения проблемы биобезопасности // Физиол. растений. 2000. Т. 47, № 3. С. 343–353.
9. Каменёк Л.К. Выделение и очистка кристаллов эндотоксина *Bacillus thuringiensis* // Микробиологические методы борьбы с вредителями растений: науч.-техн. бюл. Новосибирск, 1980. Вып. 2 (36). С.14–15.
10. Каменёк Л.К. Структура, свойства и механизм действия дельта-эндотоксина *Bacillus thuringiensis* // Энтомопатогенные бактерии и их роль в защите растений: сб. ст. Новосибирск, 1987. С. 42–57.
11. Каменёк Л.К. Дельта-эндотоксин *Bacillus thuringiensis*: строение, свойства и использование для защиты растений // Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. М., 1998. 40 с.
12. Смирнов О.В., Гришечкина С.Д. Изучение действия биопрепаратов на основе *Bacillus thuringiensis* на фитопатогенные грибы // Вестн. защиты растений. 2010. № 1. С. 27–35.
13. Егоров Н.С. Основы учения об антибиотиках: учебник. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ; Наука, 2004. 430 с.
14. Егоров Н.С. Биотехнология: проблемы и перспективы. М.: Высш. шк., 1987. 159 с.
15. Юдина Т.Г., Бурцева Л.И. Действие дельта-эндотоксина четырех подвидов *Bacillus thuringiensis* на различных прокариот // Микробиология. 1997. Т. 66, № 1. С. 25–31
16. Честухина Г.Г., Залунин И.А., Костина Л.И., Котова Т.С. и др. Протеиназы, связанные с кристаллами *Bac. thuringiensis* // Биохимия. 1978. Т. 43, вып. 5. С. 857–864.
17. Маршелл Р.К., Инглис А.С. Определение состава белковых олигомеров. Получение мономеров и полипептидных цепей // Практическая химия белка: сб. ст. / пер. с англ.; под ред. А. Дарбре. М.: Мир, 1989. С. 15–81.

REFERENCES

1. Dusyeva Ya.O. Ecological problems in the field of legal regulation of the agro-industrial complex in the Russian Federation. *Young scientist*. 2018;(4(190)):89-93. (In Russ.).
2. Savkin V.I. Ecological safety as a priority direction of development of the agro-industrial complex of Russia. *National interests: priorities and safety*. 2008;(10):31-35. (In Russ.).
3. Gashko E.S., Postman E.S., Gucheva N.V. Ways to reduce the residual content of pesticides in grain. *Young researcher of the Don*. 2017;(6(9)):13-21. (In Russ.).
4. Chattopadhyay P., Banerjee G., Mukherjee S. Recent trends of modern bacterial insecticides for pest control practice in integrated crop management system. *3 Biotech*. 2017;7(1):60.
5. Zakharenko V.A. The market of pesticides in Russia and the prospects for its development. *Protection and quarantine of plants*. 2014;(11):3-6. (In Russ.).
6. The market of mineral fertilizers and plant protection products. *Digest of key publications in the media*. 2020;(6):28. (In Russ.).
7. Avdeenko I.A., Sochinskaya O.N. Bioinsecticides in agriculture. *Scientific and methodological electronic journal "Concept"*. 2016;11:896-900. (In Russ.).
8. Romanov G.A. Genetic engineering of plants and ways to solve the problem of biosafety. *Plant Physiology*. 2000;47(3):343-353. (In Russ.).

9. Kamenek L.K. Isolation and purification of *Bacillus thuringiensis* endotoxin crystals. *Microbiological methods of plant pest control*. Scientific and technical bulletin. Novosibirsk, 1980;(2(36)):14-15. (In Russ.).
10. Kamenek L.K. Structure, properties and mechanism of action of *Bacillus thuringiensis* delta-endotoxin. In: *Entomopathogenic bacteria and their role in plant protection*. Novosibirsk; 1987. P. 42-57. (In Russ.).
11. Kamenek L.K. Delta-endotoxin *Bacillus thuringiensis*: structure, properties and use for plant protection. Abstract of the thesis. dis. ... Doctors of Biological Sciences. M.; 1998. 40 p. (In Russ.).
12. Smirnov O.V., Grishechkina S.D. Study of the effect of biological preparations based on *Bacillus thuringiensis* on phytopathogenic fungi. *Bulletin of Plant Protection*. 2010;(1):27-35. (In Russ.).
13. Egorov N.S. Fundamentals of the doctrine of antibiotics: Textbook. 6th ed., revised. and additional M.: Publishing House of Moscow State University; Nauka; 2004. 430 p. (In Russ.).
14. Egorov N.S. Biotechnology: Problems and prospects. M.: Higher school; 1987. 159 p. (In Russ.).
15. Yudina T.G., Burtseva L.I. The effect of delta-endotoxin of four subspecies of *Bacillus thuringiensis* on various prokaryotes. *Microbiology*. 1997;66(1):25-31. (In Russ.).
16. Chestukhina G.G., Zalunin I.A., Kostina L.I., Kotova T.S. et al. Proteinases associated with Bac crystals *thuringiensis*. *Biochemistry*. 1978;43(5):857-864. (In Russ.).
17. Marshall R.K., Inglis A.S. Determination of the composition of protein oligomers. Obtaining monomers and polypeptide chains. *Sat. Practical protein chemistry / per. from English / ed. A. Darbre*. M.: Mir; 1989; P. 15-81. (In Russ.).

Научная статья

УДК 631.43.631.434.631.435(571.64)

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_9

Итоги долголетних наблюдений за агрофизическими параметрами аллювиальной луговой почвы острова Сахалин

Л.В. Самутенко

Любовь Викторовна Самутенко

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник

Сахалинский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Южно-Сахалинск, Россия

lyubiva_1953@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-3083-7958>

Аннотация. В полевом севообороте в течение трех ротаций созданы и сохранены благоприятные агрофизические свойства аллювиальной луговой почвы, соответствующие требованиям включенных в него культур. Установлена гранулометрическая и структурная дифференциация пахотного горизонта почвы. В слое 0–10 см отмечено снижение содержания микроструктурных частиц (<0,01 мм). В этом слое почвы произошло увеличение плотности, что связано с многолетним механизированным воздействием при заготовке кормов. Структура почвы в пахотном слое выводящих полей с многолетними травами имела отличные оценки. Последствие систем удобрения не оказывало существенного влияния на величину агрофизических параметров.

Ключевые слова: почва, пахотный слой, системы удобрения, гранулометрический состав, плотность, структура

Для цитирования: Самутенко Л.В. Итоги долголетних наблюдений за агрофизическими параметрами аллювиальной луговой почвы острова Сахалин // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 111–122. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_9.

Финансирование. Федеральный бюджет.

Results of long-term observations of agrophysical parameters of alluvial meadow soil of the Sakhalin Island

L.V. Samutenko

Lyubov V. Samutenko

Candidate of Sciences in Agriculture, Leading Researcher

Sakhalin Scientific Research Institute of Agriculture, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

lyubiva_1953@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-3083-7958>

Abstract. In the field crop rotation during three rotations, favorable agrophysical properties of alluvial meadow soil have been created and preserved, corresponding to the requirements of the crops included in it. The granulometric and structural differentiation of the arable soil horizon has been established. A decrease in the content of microstructural particles (<0.01 mm) was observed in the 0–10 cm layer. In this layer of soil, there was an increase in density, which was associated with a long-term mechanized action during forage harvesting. The soil structure in the arable layer of the output fields with perennial grasses had excellent ratings. The aftereffect of fertilizer systems did not significantly affect the value of agrophysical parameters.

Keywords: soil, arable layer, fertilizer systems, granulometric composition, density, structure

For citation: Samutenko L.V. Results of long-term observations of agrophysical parameters of alluvial meadow soil of the Sakhalin Island. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(5):111-122. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_9.

Funding. The federal budget.

Многие исследователи, обобщив результаты работы своих коллег и данные собственных опытов, пришли к выводу о том, что влияние агрофизических свойств почвы на продукционный процесс растений не менее значимо, чем агрохимические параметры плодородия [1–4]. На почвах с недостаточно отрегулированным водно-воздушным режимом ведущий фактор, ограничивающий величину урожая, – физическое состояние почвенной среды (уровень влагоемкости, водопроницаемости, плотности почвы, общей пористости) [4]. При этом авторы указывают на значительно меньшую степень использования агрофизических показателей для оценки плодородия [5].

В некоторых научных источниках [2, 6] гранулометрический состав охарактеризован как один из важнейших показателей, определяющих многие физические свойства почвы. Знание гранулометрического состава весьма важно, поскольку оно дает большую информацию о тех агрофизических свойствах почвы, которые необходимо учитывать при проведении агротехнических мероприятий и уметь регулировать в процессе сохранения плодородия [2, 7]. С одной стороны, по мнению [6], на плодородии могут отразиться даже небольшие сдвиги в гранулометрическом составе. Значительные изменения в распределении и количественном

содержании фракций механических элементов в нем можно ожидать в условиях антропогенных преобразований почвы [8]. С другой стороны, гранулометрический состав считается наиболее консервативным свойством, поэтому возникшие различия могут быть и не обнаружены [9, 10]. Возможно, для их проявления требуется длительный период времени.

К числу главнейших факторов плодородия почвы относят ее структуру. В структурной почве создаются оптимальные условия водного, воздушного и теплового режимов, которые, в свою очередь, обуславливают мобилизацию и доступность питательных веществ для растений [8, 11]. На создание структуры почвы оказывают влияние разного рода факторы, однако 96 % среди структурообразующих материалов приходится на органическое вещество. Оно является ключевым фактором агрегации почвы. Давно известно, что добавление в почву органических субстратов улучшает ее структуру. Агрегация почвы во многом зависит от выращиваемой культуры и агротехники ее возделывания [12–14].

Такие приемы окультуривания почвы, как известкование и применение минеральных и органических удобрений, улучшают ее агрофизические свойства [14–17], которые, однако, резко ухудшаются по окончании этих мероприятий [17]. Сведения о влиянии удобрений, получаемые из разных источников, иногда противоположны. В одних говорится об отсутствии существенных изменений структурного состава почвы под влиянием минеральных и органоминеральных удобрений [14]. В других отмечают заметное улучшение структурного состояния почвы (в меньшей степени – других агрофизических свойств) при применении органоминерального удобрения в совокупности с возделыванием в севообороте многолетних трав [18].

Негативные изменения агрофизических свойств, особенно верхнего (0–20 см) слоя, возникают при длительном антропогенном (нерациональном) воздействии на почву [19]. Поэтому, как справедливо замечено в одной из научных публикаций [12], качественные параметры почвы в системах земледелия следует оценивать во времени, что полезно для определения воздействия агротехники.

В долголетнем многоцелевом стационарном опыте Сахалинского НИИ сельского хозяйства к числу основных целей отнесено изучение динамики агрофизических свойств аллювиальной луговой почвы [20] (аллювиальной серогумусовой, агрозема) при воздействии на нее разных по интенсивности технологических элементов (систем обработки, удобрения). В задачи опыта на разных этапах (в ходе ротаций) включены определения гранулометрического состава, плотности почвы, влагоемкости, структурного состояния для выявления их возможных изменений под влиянием агротехнических факторов и разных культур. Особенностью островных минеральных почв является их высокая каменистость, что осложняет частый отбор образцов для установления некоторых агрофизических параметров и обуславливает определенную трудоемкость аналитического процесса.

Материал и методы определения

Стационар лаборатории земледелия Сахалинского НИИ сельского хозяйства расположен на одном полевого массиве на трех полях по 3 га (закладки последовательно проведены в 1989, 1990 и 1991 гг.), что позволяет учесть почвенные и погодные различия. Чередование культур в травяно-пропашном севообороте происходит во времени, что не противоречит методике проведения полевого

опыта [21]. Старопашотная аллювиальная луговая почва (агрозем) характеризуется неоднородным гранулометрическим составом и неравнозначными агрохимическими свойствами.

Агрохимические параметры почвы стационарных повторений в течение трех ротаций заметно ухудшились: средневзвешенный показатель pH составил 4,1; содержание гумуса было 4,0 %, общего азота – 0,30 %. Количество минеральных форм азота (нитратного и аммонийного) уменьшилось с 58,7 до 16,4 мг, подвижных форм фосфора – с 428,5 до 347,6, обменного калия – со 134,8 до 73,6 мг в расчете на 1 кг почвы. Все агрохимические анализы выполнены в соответствии с общепринятыми методиками [22].

Агрофизические свойства почвы определены по методикам, приведенным в рекомендациях [23, 24]: строение и объемная масса (плотность почвы) – методом насыщения в цилиндрах, структура – сухим просеиванием через колонку сит по Н.И. Саввинову. Гранулометрический состав почвы устанавливали ареометрическим методом (ГОСТ 12536-2014).

Системы удобрения включали нулевой (0 NPK), органические (100, 200 и 400 т/га торфонавозного компоста (ТНК) при закладке стационара), минеральные (1 НК и 3 НК; 1–3 NPK) и органоминеральные (100–200 т/га ТНК + 1–3 NPK) фоны. Торфонавозный компост и известь были внесены при закладке стационарных повторений, навоз (Н) и известь (Са повторно по 1 ГК) применены в 2010 г. Базовые одинарные дозы удобрений (кг/га д. в.) под однолетние культуры – $N_{90}P_{120}K_{180}$ в 1-й, $N_{30}P_{108}K_{108}$ – во 2-й и $N_{60}P_{108}K_{108}$ в 3-й ротации севооборота. В 3-й ротации согласно схеме опыта были внесены фоновые дозы навоза (20 и 40 т/га). Во 2-й и 3-й ротациях отслеживалось отдаленное последствие (отд. п/д) Н и значительно отдаленное последствие (зн. отд. п/д) ТНК. Из однолетних культур в схему севооборота включены картофель, кормовые корнеплоды, бобово-мятликовые смеси, рапс яровой, озимые тритикале и рожь, из многолетних – бобово-мятликовая смесь. Обработка почвы включала два варианта: 1) зябь + культивация + дискование, 2) зябь + глубокое рыхление + культивация + дискование.

Максимальная площадь деланки в I и II закладках – 252 м², в III – 336 м²; минимальные (после расщепления) – 42 и 16,4 м².

Отбор образцов (3–5) осуществляли с рабочих вариантов (от 6 до 30) двух несмежных повторностей разных закладок стационара. Сроки отбора в зависимости от технологии возделывания культур и вида агрофизических показателей – июнь–сентябрь.

Математическую обработку материалов проводили по Б.А. Доспехову [21].

Результаты и обсуждение

При закладке стационарного опыта гранулометрический состав почвы вариантов определяли в пределах пахотного горизонта без послышной его дифференциации. Как уже упоминалось в методической части, почвенный покров опытного поля был неоднороден по механическому составу; судя по соотношению физических песка и глины (в среднем 55,5 : 44,5), он был представлен в основном тяжелым суглинком с включением среднесуглинистых участков. Гранулометрический анализ, выполненный в 2018 г., выявил уменьшение содержания глинистой фракции в пахотном слое на 2,3 %.

Согласно показателям, полученным в 2021 г. при послойном определении, гранулометрический состав аллювиальной луговой почвы в пределах морфологического профиля неоднороден (табл. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав аллювиальной луговой почвы в зависимости от использования разноинтенсивных систем удобрения (2021 г.)

Система удобрения (последствие)	Слой почвы, см	Содержание, %	
		физического песка	физической глины
0 NPK	0–10	65,6	34,4
	10–20	60,8	39,2
	20–30	57,2	42,8
0 NPK + Ca	0–10	59,1	40,9
	10–20	59,6	40,4
	20–30	60,8	39,2
3 NPK	0–10	60,8	39,2
	10–20	58,0	42,0
	20–30	63,5	36,5
3 NPK + Ca	0–10	61,9	38,1
	10–20	58,0	42,0
	20–30	74,4	25,6
100 т/га ТНК + 20 т/га Н + Ca	0–10	59,1	40,9
	10–20	56,4	43,6
	20–30	56,3	43,7
200 т/га ТНК + 40 т/га Н + Ca	0–10	53,6	46,4
	10–20	53,1	46,9
	20–30	50,3	49,7
100 т/га ТНК + 3 NPK + 20 т/га Н + Ca	0–10	59,1	40,9
	10–20	57,4	42,6
	20–30	59,1	40,9
200 т/га ТНК + 3 NPK + 40 т/га Н + Ca	0–10	66,8	33,2
	10–20	58,4	41,6
	20–30	59,1	40,9

Преобладающей является тяжелосуглинистая разновидность, граничащая со средним суглинком (среднее содержание физической глины 40,5 %). Почти во всех представленных вариантах в верхнем (0–10 см) слое пахотного горизонта меньшим (39,2 %) оказалось содержание микроструктурных частиц (<0,01 мм). Исключением стали показатели контрольного варианта с известкованием и органического фона 200 т/га ТНК (зн. отд. п/д) + 40 т/га Н (отд. п/д) + Ca, где цифровые значения структурных механических частиц практически равны. Влияние систем удобрения на изменения гранулометрического состава почвы четко не выражено, хотя при 0 NPK без Ca и при применении 3 NPK на органо-известковом фоне потери микрочастиц слоем 0–10 см относительно нижележащего составили 4,8–8,4 %.

Определение наиболее актуальных агрофизических свойств свидетельствовало о вполне благоприятных почвенных условиях, сложившихся в течение трех ротаций севооборота и соответствующих требованиям включенных в него культур (табл. 2, 3).

**Плотность аллювиальной луговой почвы под культурами в разные годы трех ротаций
полевого севооборота**

Система удобрения (последствие)	Слой почвы, см	1990 г.	1992 г.	1999 г.	2005 г.
		Карто- фель	Горохо- овсяная смесь	Много- летние травы	Трити- кале
0 NPK	0–10	1,02	1,02	1,10	1,10
	10–20	0,96	0,98	1,00	1,11
1 NPK	0–10	0,94	1,02	1,02	1,07
	10–20	0,98	0,98	0,92	1,05
2 NPK	0–10	0,92	0,97	1,14	1,08
	10–20	0,90	1,07	1,29	1,14
3 NPK	0–10	0,88	0,98	1,14	1,10
	10–20	1,02	1,02	1,15	1,06
100 т/га ТНК + 1 NPK	0–10	0,90	1,07	1,05	1,22
	10–20	0,81	1,00	1,08	1,11
200 т/га ТНК + 1 NPK	0–10	0,96	0,96	1,13	1,10
	10–20	0,90	1,00	1,04	1,22
100 т/га ТНК + 2 NPK	0–10	0,96	0,93	1,13	1,12
	10–20	0,92	1,03	1,22	0,96
200 т/га ТНК + 2 NPK	0–10	0,94	0,94	1,16	1,06
	10–20	1,02	0,99	0,96	1,13
400 т/га ТНК	0–10	0,98	1,02	0,98	1,18
	10–20	0,96	1,04	0,90	1,10

По наблюдениям [25], плотность почвы, определяющая ее водный, воздушный, тепловой и пищевой режимы, в значительной степени зависит от способов обработки при возделывании разных культур. В определенной мере это утверждение иллюстрируют данные табл. 2: различия в значениях плотности под культурами имели место, однако они не были критичными и показатели оставались в благоприятных для растений пределах.

Плотность почвы, определенная под старовозрастными многолетними травами в 2019 г., находившаяся в рамках 1,00–1,18 г/см³, отнесена к типичным для культурной пашни (свежевспаханной). Более высокие величины – 1,20–1,30 г/см³ – указывают на уплотнения в основном верхнего слоя почвы (0–10 см), в нашем случае возникшие вследствие многолетнего механизированного воздействия на него при заготовке кормов. Именно увеличение плотности обусловило снижение показателей пористости и влагоемкости. Практически во всех вариантах лучшие агрофизические условия были свойственны слою 10–20 см и не зависели от систем удобрения.

Общая пористость в большинстве вариантов характеризовалась как отличная (56,1–61,0 %), свойственная культурному пахотному слою; при показателях, меньших 55 % (1–2 NPK, 100 т/га ТНК (зн. отд. п/д) + 1–2 NPK), – как удовлетворительная. Были моменты, когда в ходе ротаций значения пористости опускались до уровня неудовлетворительных 42,2 % под тритикале, что свидетельствовало о различиях во влиянии агротехнических воздействий и, возможно, погодных условий.

Предельная полевая влагоемкость квалифицировалась как наилучшая (40–50 %); в нескольких вариантах, где она менее 40 % (1NPK, 100 т/га ТНК (зн. отд. п/д) + 1NPK, 100–200 т/га ТНК (зн. отд. п/д) + 2NPK, 400 т/га ТНК

Водно-физические свойства аллювиальной луговой почвы под старовозрастными многолетними травами (2019 г.)

Система удобрения (последствие)	Слой почвы, см	Влажность, %	Плотность почвы, г/см ³	Пористость общая, %	ППВ*, %
0 NPK	0–10	31,04	1,07	58,6	47,06
	10–20	30,56	1,20	53,7	45,61
1 NPK	0–10	31,28	1,24	52,0	34,40
	10–20	31,94	1,04	60,0	44,23
2 NPK	0–10	27,78	1,18	54,5	41,07
	10–20	28,80	1,09	57,8	42,31
3 NPK	0–10	27,85	1,14	56,1	42,59
	10–20	28,28	1,03	60,2	44,90
100 т/га ТНК + 1 NPK	0–10	27,58	1,21	53,1	32,79
	10–20	28,90	1,13	56,2	42,10
200 т/га ТНК + 1 NPK	0–10	28,06	1,12	56,9	41,51
	10–20	26,73	1,09	57,8	44,23
100 т/га ТНК + 2 NPK	0–10	29,33	1,30	49,6	37,10
	10–20	29,07	1,07	58,6	41,18
200 т/га ТНК + 2 NPK	0–10	22,39	1,09	57,8	38,46
	10–20	29,44	1,01	61,0	45,83
400 т/га ТНК	0–10	33,56	1,26	51,2	36,67
	10–20	32,20	1,12	56,9	45,28

Примечание. ППВ – предельная полевая влагоемкость.

(зн. отд. п/д)), – как хорошая. Разница в показателях между вариантами вряд ли обусловлена воздействием систем удобрения.

В табл. 4 показана исходная структура почвы (в начале вегетации картофеля). По содержанию наиболее ценных в агрономическом отношении агрегатов в разных вариантах она носила признаки неоднородности и изменялась от удовлетворительного до хорошего состояния.

Более благополучно структура сложилась в севообороте под кормовыми корнеплодами и рапсом. Возможно, этому способствовали предшествующие культуры – овсяно-гороховая смесь и озимая рожь, оставившие после себя значительное количество пожнивных остатков. Под корнеплодами лучшие показатели структурности почвы отмечены при применении глубокой обработки зяби (преимущество в 3,2–7,4 %). Более соответствующей состоянию под посадками картофеля оказалась структура почвы под многолетними травами 4-го года пользования.

После завершения трех ротаций в выводных полях под старовозрастными многолетними травами структурное состояние почвы пахотного горизонта (0–20 см) оценено как отличное, поскольку значения сумм наиболее ценных в агрономическом отношении агрегатов при сухом просеивании превышало 80,0 % почти во всех наблюдаемых вариантах (табл. 5). Ниже этого предела сложились суммы при применении 3 NPK и органического фона 200 т/га ТНК (зн. отд. п/д) + 40 т/га Н (отд. п/д) + Са. Однако структура почвы даже этих горизонтов оценивается как хорошая.

Таблица 4

**Структурное состояние аллювиальной луговой почвы под культурами
в разные годы трех ротаций полевого севооборота**

Система удобрения (последствие)	Сумма структурных агрегатов 10,0–0,25 мм, %			
	1991 г.	1995 г.	2000 г.	2004 г.
	картофель (исходное значение)	кормовые корнеплоды	многолетние травы*	рапс яровой
0 NPK	53,5**	78,1	62,4	76,7
	49,4***	77,6	49,4	77,2
1 NPK	77,4	81,7	64,9	80,4
	70,2	75,0	66,7	74,5
3 NPK	59,1	75,3	70,9	76,7
	60,1	78,5	62,2	77,2
100 т/га ТНК + 1 NPK	61,5	75,8	54,9	79,7
	63,5	78,2	66,4	72,8
200 т/га ТНК + 1 NPK	56,3	77,0	63,1	79,0
	61,4	78,1	70,1	79,4
100 т/га ТНК + 3 NPK	59,9	71,6	66,6	81,9
	51,0	75,6	57,6	76,3
200 т/га ТНК + 3 NPK	63,0	76,6	70,2	76,5
	66,8	84,0	61,7	68,1
400 т/га ТНК	57,7	73,4	48,8	75,4
	55,4	79,6	61,9	74,4

* 5-й год пользования.

** Культивация + дискование зяби (действие и последствие).

*** Глубокое рыхление + культивация + дискование зяби (действие и последствие).

Таблица 5

**Влияние систем удобрения разной интенсивности
на структурное состояние аллювиальной луговой почвы (2021 г.)**

Система удобрения (последствие)	Слой почвы, см	Сумма структурных агрегатов, %		Коэффициент структурности
		10,0–0,25 мм	3,0–1,0 мм	
0 NPK	0–10	92,6	42,2	12,5
	10–20	82,2	28,9	4,6
0 NPK + Ca	0–10	93,6	37,6	14,6
	10–20	81,1	32,1	4,3
3 NPK	0–10	87,5	36,4	7,0
	10–20	78,4	26,8	3,6
3 NPK+ Ca	0–10	87,2	35,8	6,8
	10–20	86,7	33,4	6,5
100 т/га ТНК+20 т/га Н	0–10	90,5	38,8	9,5
	10–20	84,5	31,8	5,4
200 т/га ТНК+40 т/га Н	0–10	88,6	32,9	7,8
	10–20	72,2	25,1	2,6
100 т/га ТНК + 3 NPK + 20 т/га Н + Ca	0–10	93,1	42,8	13,5
	10–20	85,1	34,2	5,7
200 т/га ТНК + 3 NPK + 40 т/га Н + Ca	0–10	89,3	34,0	8,3
	10–20	83,8	29,5	5,2

В несколько меньшем количестве формирование ценных агрегатов (10,0–0,25 мм) произошло в слое 10–20 см.

Наивысшие значения коэффициентов структурности установлены в контрольных вариантах (0 NPK и 0 NPK + Ca) и в варианте с 3 NPK на органо-известковом фоне. Высокая степень структурности почвы обусловлена, без сомнения, длительным присутствием на полях многолетних трав.

Заключение

Определение наиболее актуальных агрофизических свойств аллювиальной луговой почвы свидетельствовало о сохранении благоприятных условий в течение трех ротаций севооборота и их соответствии требованиям включенных в него культур.

В итоге наблюдений установлена гранулометрическая и структурная дифференциация пахотного горизонта почвы. В верхнем (0–10 см) слое произошло снижение содержания микроструктурных частиц (<0,01 мм) до 39,2 % относительно нижележащих слоев, а также установлены более высокие величины плотности (1,20–1,30 г/см³), появление которых связано с многолетним механизированным воздействием при заготовке кормов. В основном для пахотного горизонта характерны отличные и хорошие оценки полевой влагоемкости и общей пористости. Лучшие условия были свойственны слою 10–20 см, они не зависели от систем удобрения.

Структурообразующая роль систем удобрения, примененных на фоне разноглубинных обработок почвы, выражена слабо. Высокая степень структурности почвы в выводящих полях обусловлена длительным присутствием многолетних трав.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Агрофизические показатели плодородия почв // Сельское хозяйство. Земледелие. – <https://universityagro.ru/> (дата обращения: 16.01.2022).
2. Зайцева Г.А. Влияние минеральных удобрений на изменение общих физических свойств чернозема выщелоченного // Вестн. Мичурин. ГАУ. 2011. № 1-1. С. 103–105.
3. Митрополова Л.В., Коротких Э.В., Павлова О.В., Иевлева О.Е., Дуденко Г.А. Роль сидератов в улучшении агрофизических показателей буроземно-луговой почвы в условиях Приморского края // Chronos. 2020. № 7. С. 52–56.
4. Митрофанов Ю.А., Анциферова О.Н., Первушина Н.К. Агрофизическое состояние и плодородие осушаемых почв // Докл. РАСХН. 2015. № 5. С. 36–39.
5. Митрофанов Ю.А., Анциферова О.Н., Петрова Л.И. Особенности регулирования плодородия переувлажняемых почв // Вестн. рос. с./х. науки. 2016. № 5. С. 35–39.
6. Ерёмин Д.И. Агрогенное изменение гранулометрического состава при распашке чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья // Вестн. КрасГАУ. 2014. № 8. С. 34–36.
7. Витязев В.Г., Шевченко А.В. Удельная поверхность как показатель механического состава при обследовании почвенного покрова хозяйств // Физико-химические свойства и плодородие почв. М., 1983. С. 111–114.
8. Раскатов В.А., Степанова Л.П., Писарева А.В., Яковлева Е.В. Особенности деградационных изменений урбаноземов в зависимости от интенсивности антропогенных воздействий // Плодородие. 2018. № 2. С. 55–59.
9. Королев В.А. Оценка изменчивости показателей физического состояния черноземов степной зоны центральных областей России // Почвы – национальное достояние России: материалы IV съезда Докучаевского о-ва почвоведов. Кн. 1. Новосибирск: Наука – Центр, 2004. С. 434.

10. Соловьева Т.П., Попова Г.А. Влияние сельскохозяйственного освоения на физические свойства серых лесных почв // Почвы – национальное достояние России: материалы IV съезда Докучаевского о-ва почвоведов. Кн. 1. Новосибирск: Наука – Центр, 2004. С. 453.
11. Матыченко Д.В. Структурное состояние дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почв Беларуси в процессе агрогенеза // Почвы – национальное достояние России: материалы IV съезда Докучаевского о-ва почвоведов. Кн. 1. Новосибирск: Наука – Центр, 2004. С. 443.
12. Почвозащитное и ресурсосберегающее земледелие: теория и методика исследований / Субрегиональное отделение Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций по Центральной Азии. Анкара, 2015. 175 с.
13. Пугачев Е.В., Полякова Н.В. Влияние органического вещества почвы на структурообразование // Почвы – национальное достояние России: материалы IV съезда Докучаевского о-ва почвоведов. Кн. 1. Новосибирск: Наука – Центр, 2004. С. 449.
14. Стратонович М.В., Хрипунова Г.Л. Влияние удобрений на агрегатный состав и водопрочность почвенных агрегатов дерново-подзолистых суглинистых почв // Физико-химические свойства и плодородие почв. М., 1983. С. 46–49.
15. Балакай Г.Т., Докучаева Л.М., Юркова Р.Е., Шалашова О.Ю. Восстановление физических свойств чернозема обыкновенного деградированного удобрительно-мелиорирующими компостами // Плодородие. 2015. № 6. С. 33–35.
16. Рязанов М.Н., Котлярова Е.Г. Структура и водопрочность почвенных агрегатов чернозема типичного под подсолнечником в ландшафтных условиях ЦЧР // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019. № 2. С. 181–191.
17. Тюгай З.Н., Початникова Т.Н., Гомонова Н.Ф. Динамика агрофизических свойств дерново-подзолистой почвы в процессе ее окультуривания // Почвы – национальное достояние России: материалы IV съезда Докучаевского о-ва почвоведов. Кн. 1. Новосибирск: Наука – Центр, 2004. С. 471.
18. Иванов А.И., Иванова Ж.А. Новое органоминеральное удобрение как средство оптимизации физико-химических и агрофизических свойств легких дерново-подзолистых почв // Плодородие. 2018. № 5. С. 5–8.
19. Рубцов Л.М., Юрченко Т.С., Хоменок Г.П. Влияние длительной антропогенной нагрузки на изменение агрофизических и физико-химических свойств сезонно-мерзлотных почв Хабаровского края // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34, № 6. С. 11–16. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10602.
20. Классификация почв России. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1997. 235 с.
21. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос, 1979. 416 с.
22. Агрохимические исследования почв / под ред. А.В. Соколова. М.: Наука, 1975. 656 с.
23. Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А., Байбеков Р.Ф. Практикум по почвоведению. М.: Агроконсалт, 2002. 280 с.
24. Доспехов Б.А., Васильев И.П., Туликов А.М. Практикум по земледелию. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.
25. Чамурлиев О.Г., Чамурлиев Г.О. Режим орошения и основная обработка светло-каштановых почв при возделывании сои // Плодородие. 2017. № 2. С. 48–50.

REFERENCES

1. Agrofizicheskie pokazateli plodorodiya pochv = [Agrophysical indicators of soil fertility]. *Sel'skoe khozyaistvo. Zemledelie*. Available from Universityagro.ru [cited 16.01.2022]. (In Russ.)
2. Zajtseva G.A. Vliyanie mineral'nykh udobrenij na izmenenie obshhikh fizicheskikh svoystv chernozema vyshhelochennogo = [The influence of mineral fertilizers on the change in the general physical properties of leached chernozem]. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2011;(1-1):103-105. (In Russ.).
3. Mitropolova L.V., Korotkikh E.V., Pavlova O.V., Ievleva O.E., Dudenko G.A. Rol' sideratov v uluchshenii agrofizicheskikh pokazatelei burozemno-lugovoi pochvy v usloviyakh Primorskogo kraja = [The role of siderates in improving agrophysical indicators of brown-earth-meadow soil in the conditions of Primorsky Krai]. *Chronos*. 2020;(7):52-56. (In Russ.).
4. Mitrofanov Yu.A., Antsiferova O.N., Pervushina N.K. Agrofizicheskoe sostoyanie i plodorodie osushaemykh pochv = [Agrophysical state and fertility of drained soils]. *Doklady Rossijskoj akademii sel'skokhozyajstvennykh nauk*. 2015;(5):36-39. (In Russ.).

5. Mitrofanov Yu.A., Antsiferova O.N., Petrova L.I. Osobennosti regulirovaniya plodorodiya perev-lazhnyaemykh pochv = [Features of regulation of fertility of waterlogged soils]. *Vestnik Rossijskoi sel'skokhozyajstvennoi nauki*. 2016;(5):35-39. (In Russ.).

6. Eryomin D.I. Agrogennoe izmenenie granulometricheskogo sostava pri raspashke chernozema vshhelochennogo lesostepnoi zony Zaural'ya = [Agrogenic change in the granulometric composition during plowing of leached chernozem of the forest-steppe zone of the Trans-Urals]. *Vestnik KrasGAU*. 2014;(8):34-36. (In Russ.).

7. Vityazev V.G., Shevchenko A.V. Udel'naya poverkhnost' kak pokazatel' mekhanicheskogo sostava pri obsledovanii pochvennogo pokrova khozyaistv = [Specific surface area as an indicator of mechanical composition during the survey of the soil cover of farms]. In: *Fiziko-khimicheskie svoystva i plodorodie pochv*. Moscow; 1983. P. 111-114. (In Russ.).

8. Raskatov V.A., Stepanova L.P., Pisareva A.V., Yakovleva E.V. Osobennosti degradatsionnykh izmenenii urbanozemov v zavisimosti ot intensivnosti antropogennykh vozdeystvii = [Features of degradation changes of urbanozems depending on the intensity of anthropogenic impacts]. *Plodorodie*. 2018;(2):55-59. (In Russ.).

9. Korolev V.A. Otsenka izmenchivosti pokazatelei fizicheskogo sostoyaniya chernozemov stepnoj zony tsentral'nykh oblastei Rossii = [Assessment of the variability of indicators of the physical condition of chernozems of the steppe zone of the central regions of Russia]. In: *Pochvy - natsional'noe dostoyanie Rossii*. Pt 1. Novosibirsk: Nauka – Centr; 2004. P. 434. (In Russ.).

10. Solov'eva T.P., Popova G.A. Vliyanie sel'skokhozyaistvennogo osvoeniya na fizicheskie svoystva serykh lesnykh pochv = [The influence of agricultural development on the physical properties of gray forest soils]. In: *Pochvy - natsional'noe dostoyanie Rossii*. Pt 1. Novosibirsk: Nauka – Centr; 2004. P. 453. (In Russ.).

11. Matychenkov D.V. Strukturnoe sostoyanie dernovo-palevo-podzolistykh legkosuglinistykh pochv Belarusi v protsesse agrogeneza = [Structural state of sod-pale-podzolic light loamy soils of Belarus in the process of agrogenesis]. In: *Pochvy - natsional'noe dostoyanie Rossii*. Pt 1. Novosibirsk: Nauka – Centr; 2004. P. 443. (In Russ.).

12. Pochvozashhitnoe i resursosberegayushhee zemledelie: teoriya i metodika issledovaniy = [Soil protection and resource-saving agriculture: theory and methodology of research]. Ankara: Subregional'noe otdelenie Prodovol'stvennoi i sel'skokhozyaistvennoi organizatsii Ob"edinennykh Natsii po Tsentral'noi Azii; 2015. 175 p. (In Russ.).

13. Pugachev E.V., Polyakova N.V. Vliyanie organicheskogo veshhestva pochvy na strukturoobrazovanie = [Influence of soil organic matter on structure formation]. In: *Pochvy - natsional'noe dostoyanie Rossii*. Pt 1. Novosibirsk: Nauka – Centr; 2004. P. 449. (In Russ.).

14. Stratonovich M.V., Khripunova G.L. Vliyanie udobrenij na agregatnyi sostav i vodopronchnost' pochvennykh agregatov dernovo-podzolistykh suglinistykh pochv = [The effect of fertilizers on the aggregate composition and water resistance of soil aggregates of sod-podzolic loamy soils]. In: *Fiziko-khimicheskie svoystva i plodorodie pochv*. Moscow; 1983. P. 46-49. (In Russ.).

15. Balakaj G.T., Dokuchaeva L.M., Yurkova R.E., Shalashova O.Yu. Vosstanovlenie fizicheskikh svoystv chernozema obyknovennogo degradirovannogo udobritel'no-melioriruyushhimi kompostami = [Restoration of physical properties of ordinary degraded chernozem with fertilizer-reclamation compost]. *Plodorodie*. 2015;(6):33-35. (In Russ.).

16. Ryazanov M.N., Kotlyarova E.G. Struktura i vodopronchnost' pochvennykh agregatov chernozema tipichnogo pod podsolnechnikom v landshaftnykh usloviyakh TsChR = [Structure and water resistance of soil aggregates of typical chernozem under sunflower in landscape conditions of the Central Park]. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. 2019;(2):181-191. (In Russ.).

17. Tyugai Z.N., Pochatnikova T.N., Gomonova N.F. Dinamika agrofizicheskikh svoystv dernovo-podzolistoi pochvy v protsesse ee okul'turivaniya = [Dynamics of agrophysical properties of sod-podzolic soil in the process of its cultivation]. In: *Pochvy - natsional'noe dostoyanie Rossii*. Pt 1. Novosibirsk: Nauka – Centr; 2004. P. 471. (In Russ.).

18. Ivanov A.I., Ivanova Zh.A. Novoe organomineral'noe udobrenie kak sredstvo optimizatsii fiziko-khimicheskikh i agrofizicheskikh svoystv legkikh dernovo-podzolistykh pochv = [New organomineral fertilizer as a means of optimizing the physico-chemical and agrophysical properties of light sod-podzolic soils]. *Plodorodie*. 2018;(5):5-8. (In Russ.).

19. Rubtsov L.M., Yurchenko T.S., Homenok G.P. Vliyanie dlitel'noi antropogennoi nagruzki na izmenenie agrofizicheskikh i fiziko-khimicheskikh svoystv sezonno-merzlotnykh pochv Habarovskogo kraja = [The effect of prolonged anthropogenic load on changes in agrophysical and physico-chemical

- properties of seasonally permafrost soils of the Khabarovsk Territory]. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020;34(6):11-16. DOI: 10.24411/0235-2451-2020-10602. (In Russ.).
20. Klassifikatsiya pochv Rossii = [Classification of soils of Russia]. Moscow: Pochvennyj institut n. a. V.V. Dokuchaev; 1997. 235 p. (In Russ.).
21. Dospikhov B.A. Metodika polevogo opyta = [Methodology of field experience]. Moscow: Kolos; 1979. 467 p. (In Russ.).
22. Sokolov A.V. (ed.). Agrokhimicheskie issledovaniya pochv = [Agrochemical studies of soils]. Moscow: Nauka; 1975. 656 p. (In Russ.).
23. Ganzhara N.F., Borisov B.A., Bajbekov R.F. Praktikum po pochvovedeniyu = [Practicum on soil science]. Moscow: Agrokonsalt; 2002. 280 p. (In Russ.).
24. Dospikhov B.A., Vasil'ev I.P., Tulikov A.M. Praktikum po zemledeliyu = [Practicum on agriculture]. Moscow: Agropromizdat; 1987. 383 p. (In Russ.).
25. Chamurliiev O.G., Chamurliiev G.O. Rezhim orosheniya i osnovnaya obrabotka svetlo-kashtanovykh pochv pri vzdelyvanii soi = [Irrigation regime and basic treatment of light chestnut soils during soybean cultivation]. *Plodorodie*. 2017;(2):48-50. (In Russ.).

Научная статья

УДК 001(571.6)(09)

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_10

Ликвидация Дальневосточного филиала АН СССР в 1939 г.

В.В. Богатов

Виктор Всеволодович Богатов

Академик РАН, доктор биологических наук, профессор, главный ученый секретарь (Дальневосточное отделение РАН), главный научный сотрудник

ФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия

vibogatov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0525-6983>

Аннотация. В статье на основе архивных материалов анализируются обстоятельства, относящиеся к ликвидации Дальневосточного филиала АН СССР в 1939 г. Автор связывает закрытие Филиала с проверкой на преданность советской власти его председателя и президента АН СССР академика В.Л. Комарова, который пошел на этот отчаянный шаг ради сохранения дееспособности созданной при его непосредственном участии Академии наук СССР как крупнейшей научной организации мира. Сохранив в 1939 г. за собой пост президента АН СССР, В.Л. Комаров сосредоточил свою деятельность на дальнейшем развитии Академии наук, что в итоге определило ее выдающуюся роль в обеспечении технологического превосходства СССР над фашистской Германией в годы Великой Отечественной войны.

Ключевые слова: Академия наук СССР, Дальневосточный филиал и его ликвидация, Горнотаежная станция, академик В.Л. Комаров

Для цитирования: Богатов В.В. Ликвидация Дальневосточного филиала АН СССР в 1939 г. // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 123–140. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_10.

Liquidation of the Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences in 1939

V.V. Bogatov

Viktor V. Bogatov

Academician of the RAS, Doctor of Sciences in Biology, Professor, Chief Scientific Secretary, FEB RAS; Chief Researcher

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

vibogatov@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0525-6983>

Abstract. Based on archival materials, the article analyzes the circumstances related to the liquidation of the Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences in 1939. The author connects the closure of the Branch with the test of loyalty to the Soviet authorities of its Chairman and President of the USSR Academy of Sciences Academician V.L. Komarov, who took this desperate step in order to preserve the viability of the USSR Academy of Sciences, created with his direct participation, as the largest scientific organization in the world. Having retained the post of President of the USSR Academy of Sciences in 1939, V.L. Komarov focused his activities on the further development of the Academy of Sciences, which ultimately determined its outstanding role in ensuring the technological superiority of the USSR over Nazi Germany during the Great Patriotic War.

Keywords: Academy of Sciences of the USSR, Far Eastern Branch and its liquidation, Mountain-Taiga Station, Academician V.L. Komarov

For citation: Bogatov V.V. Liquidation of the Far Eastern Branch of the USSR Academy of Sciences in 1939. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(5):123-140. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_10.

В начале лета 1939 г. Дальневосточный филиал АН СССР (далее – ДВФАН, Филиал), основные научные учреждения которого находились во Владивостоке, постановлением «директивных органов» был ликвидирован. Причина этого акта до сих пор остается до конца не выясненной. Имеется лишь версия, связанная с напряженной предвоенной обстановкой на Дальнем Востоке из-за событий на оз. Хасан в 1938 г.¹, повлиявшей на закрытие Филиала [1, 2]. Ведь Владивосток в 1938 и 1939 гг. действительно находился на военном положении. Однако знакомство с сохранившимися документами не подтверждает данной версии. Из архивных материалов следует, что практически до второй половины мая 1939 г. ничто не указывало на подготовку к закрытию Филиала.

К сожалению, в Архиве РАН (далее – АРАН) пока не обнаружено какого-либо правительственного решения о ликвидации Дальневосточного филиала, хотя в Фонде 2 имеется папка (Ф. 2. Оп. 10. Д. 7), в которой собраны постановления

¹ 29.07–11.08 1938 г. около оз. Хасан советские войска разгромили и отбросили вторгшиеся на территорию СССР войска империалистической Японии.

Совета народных комиссаров СССР, касающиеся деятельности Академии наук за 1939 г. Среди просмотренных документов не оказалось в Архиве РАН и указаний президиума АН СССР, связанных с закрытием ДВФАН. В папке распорядительных документов Академии имеются лишь некоторые последующие по времени материалы, в которых содержатся ссылки на некие решения директивных органов и президиума АН СССР по ликвидации Филиала. В то же время в АРАН сохранились распоряжения за 1939 г., подписанные зам. председателя ДВФАН А.И. Толмачевым, имеются также протоколы и иные документы так называемой Ликвидационной комиссии и некоторые документы того времени, позволяющие проследить цепочку событий, которые могли быть связаны с деятельностью ДВФАН в период его закрытия.

Напомним, что Дальневосточный филиал АН СССР был организован в 1932 г. по инициативе выдающегося отечественного ботаника и организатора науки академика В.Л. Комарова, в то время вице-президента АН СССР. Он же был утвержден председателем президиума ДВФАН². Уже 16 декабря 1932 г. была утверждена структура Филиала. В его состав вошли: Биологический институт с секторами: а) ботаническим, б) флоры, б) почвоведения, г) микробиологии, д) экспериментальной зоологии, е) гидробиологии с пресноводной станцией на оз. Ханка; Химический институт с секторами: а) общей и физической химии, б) органической химии; Институт [техники] с лабораториями: а) технологии металла, б) стройматериалов, технологии древесины; Кабинет по изучению народов Дальневосточного края и сопредельных стран с секторами: а) китайским, б) корейским, в) туземных народов. В составе ДВФАН также числились: библиотека, Комитет научной консультации и пропаганды, Комиссия экспедиционных исследований, фотолаборатория, сейсмологическая станция во Владивостоке, Биробиджанская горная станция на Хингане и Южно-уссурийская горнотаежная станция (с 1934 г. – Горнотаежная станция) (АРАН. Ф. 2. Оп. 1–1932. Д. 33. Л. 218 об. – 219).

В последующие годы структура Филиала часто корректировалась, при этом Дальневосточный филиал в начале 1939 г. в своем составе имел два института во Владивостоке – Геологический и Химический, два сектора – зоологии и ботаники, Горнотаежную станцию под Уссурийском, два заповедника («Кедровая Падь» и «Супутинский»), некоторые вспомогательные подразделения, в том числе Амурсо-Зейский стационар и библиотеку.

Чтобы разобраться в реальных причинах ликвидации Филиала, попробуем представить общественно-политическую ситуацию 1930-х годов – периода массовых сталинских репрессий. Именно в этот отрезок времени активизировалась деятельность Трофима Денисовича Лысенко³, который примерно с 1933–1934 гг. вместе с доктором биологических наук И.И. Презентом начал наступление на генетику [3]. В 1935 г. Лысенко стал действительным членом ВАСХНИЛ, а в 1936 г. на IV сессии ВАСХНИЛ сделал свой программный доклад «О двух на-

² Подробнее о жизни, творчестве и научно-организационной деятельности академика В.Л. Комарова см. в работе [3]; об истории создания первых баз и филиалов АН СССР – в работе [1].

³ Лысенко Трофим Денисович (1898–1976) – советский агроном и биолог. Основатель и крупнейший представитель псевдонаучного направления в биологии – мичуринской агробиологии, академик АН СССР (1939), академик ВАСХНИЛ (1935). Герой Социалистического Труда (1945). Лауреат трех Сталинских премий первой степени (1941, 1943, 1949). С середины 1930-х – один из главных организаторов разгрома советской генетики, политических репрессий по отношению к научной школе Николая Ивановича Вавилова.



Владимир Леонтьевич Комаров – президент АН СССР

правлениях в генетике». Напомним, что в 1930-х годах страшный голод косил целые регионы СССР – Украину, Белоруссию, Поволжье, Казахстан, Юг России, Северный Кавказ, Западную Сибирь... Тогда от голода и болезней, связанных с недоеданием, погибло около 7 млн человек [4]. Сталин, несомненно, искал пути для разрешения столь чрезвычайной ситуации. Лысенко своими продовольственными проектами и «классовым подходом» сумел получить от Сталина полную поддержку. Трофим Денисович не устал повторять, что первостепенная задача советской науки – изжить классового врага. В итоге научная дискуссия по генетике была трансформирована в борьбу с «врагами народа». Что же касается его «научного» подхода, то новый фаворит Сталина на совещании по генетике и селекции в 1939 г. высказался следующим образом: «Мне нужны только такие люди, которые получали бы то, что мне надо» (цит. по: [5, с. 92]).

Влияние Т.Д. Лысенко росло необычайно быстро: в 1938 г. он становится президентом ВАСХНИЛ – организации в то время очень влиятельной. Получив в свои руки мощный административный ресурс, Лысенко усилил давление на выдающегося советского генетика Николая Ивановича Вавилова и его школу⁴. Под жернова преследований в этот период попал и президент Академии наук СССР, председатель ДВФАН Владимир Леонтьевич Комаров. Попытки Комарова встать на защиту Н.И. Вавилова вызвали недовольство властей. В дневниковой записи Вернадского от 14 ноября 1938 г. читаем: «Атмосфера очень неприятная. А.Е. [Ферсман] рассказывал, что К[омаров] в тяжелом настроении. Он ждет отставки в форме недопустимой. По-видимому, Лысенко имеет доступ к Сталину и ведет там интригу... Лысенко, по-видимому, намечается в президенты» (АРАН. Ф. 518. Оп. 2. Д. 19. Л. 6). Понятно, что в данной ситуации на карту была поставлена не только жизнь Владимира Леонтьевича, но и судьба самой Академии наук СССР, одним из создателей которой был В.Л. Комаров.

Несомненно, Комаров был вынужден вести крайне выверенную политику. Владимиру Леонтьевичу были чужды взгляды президента ВАСХНИЛ, но он

⁴ Н.И. Вавилова обвинили во «вредительстве» и руководстве никогда не существовавшей, выдуманной в НКВД «трудовой крестьянской партии». Во время «следствия» Вавилов подвергался избиениям и пыткам. 9 июля 1941 г. Вавилов был приговорен к расстрелу, замененному на 20 лет лагерей. Он умер от голода в Саратовской тюрьме 26 января 1943 г. Советский, а впоследствии американский биофизик Валерий Сойфер писал: «История расправы над школой Вавилова не оставляет сомнения в причастности Лысенко к этому позорному событию в жизни СССР. Его роль в гибели Вавилова, Карпеченко и других генетиков и цитологов очевидна...» [6, с. 558]. После гибели Вавилова и других генетиков Лысенко продолжал борьбу с их памятью, их последователями, а также с зарубежными генетиками.

прекрасно понимал, что может произойти с Академией наук, в случае если ее президентом станет Т.Д. Лысенко. В своем небольшом исследовании биограф Комарова Г.А. Савина справедливо отмечает: «Не следует, однако, становиться в позу прокурора, оценивая пластичность поведения и характера Комарова. Вавилов, образец принципиальности и стойкости в борьбе с Лысенко и лысенковщиной, в 1939 г. был поставлен в такие условия, что сам поддержал кандидатуру своего палача при избрании его в академики АН СССР. За спиной народного академика (Лысенко. – *Авт.*) была вся мощь тоталитарной государственной машины, попадание под колеса которой означало неминуемую гибель. Жизненная и нравственная планка у всех участников этой трагедии была своя» [7].

Показательно, что 23 ноября 1938 г., т.е. уже после военного конфликта на оз. Хасан, президиум Академии наук СССР рассмотрел состояние высшего образования в Дальневосточном регионе, что уже свидетельствует об отсутствии связи военных событий на Хасане с последующим закрытием ДВФАН. По итогам обсуждения была подготовлена докладная записка для Совета Народных Комиссаров СССР за подписью В.Л. Комарова, копия которой хранится в Архиве ДВО РАН. Отстаивая интересы развития высшего образования в Дальневосточном крае, члены Академии не стеснялись в выражениях по отношению к «врагам народа» и хвалебных эпитетах по отношению к органам НКВД, советским и партийным органам. Вероятно, в то время без подобных фраз справка была бы малоубедительна. Для нас важна небольшая выдержка из этого документа:

«...Враги народа нанесли тяжелый удар делу выращивания советских кадров, делу строительства социализма на ДВ.

Враги народа всячески пытались ликвидировать ряд научно-исследовательских учреждений, и, к сожалению, это им удалось (ДВ Лесопромышленный научно-исследовательский институт, Краевая Лесная опытная Станция, Институт земледелия и животноводства и др., Редметразведка), **они даже пытались разложить и ликвидировать ДВ Филиал Академии наук, но последнее им не удалось** (выделено автором).

Советское и партийное руководство края приступило к ликвидации последствий вредительства и сделало в этом отношении не мало, но по отдельным участкам остались еще прорывы...» (Архив ДВО РАН. Ф. 1. Оп. 13. Д. 193. Л. 12). При оценке текста Докладной записки обращает на себя внимание озабоченность президиума АН СССР судьбой Дальневосточного филиала: «...они [«враги народа». – *Авт.*] даже пытались разложить и ликвидировать ДВ Филиал Академии Наук, но последнее им не удалось...» [Там же. Л. 12], но совершенно отсутствуют какие-либо указания на напряженную предвоенную обстановку, хотя частые вооруженные конфликты на границе близ Владивостока происходили с 1936 г. Тем не менее известно, что буквально через несколько месяцев (в середине 1939 г.) деятельность ДВФАН СССР будет прекращена, причем вслед за решением СНК Академия оформит ликвидацию Филиала и своим решением.

Попробуем по сохранившимся документам проследить, как развивались события в первой половине 1939 г., которые в какой-то степени могли иметь отношение к судьбе Филиала. Итак, в январе 1939-го в АН СССР прошли выборы новых членов, что привело в Академию значительные научные силы. В состав Академии вошли представители прикладных направлений науки, избрание которых в предвоенное время было вполне оправдано. Среди избранных академиков присутствовали и правительственные протеже, в том числе Т.Д. Лысенко и Н.В. Цицин. Отметим, что на этом же собрании Т.Д. Лысенко был проведен членом президиума

Академии, что, несомненно, укрепляло его позиции в качестве потенциального руководителя Академии наук. Показательно, что следом, 28 февраля 1939 г., Совет Народных Комиссаров принимает постановление «О плане работ Академии наук на 1939 год» № 233, в котором указывается: «В связи с тем, что в январе месяце с. г. в результате проведенных выборов состав Академии наук СССР был значительно пополнен новыми научными силами, которые не могли принять участие в разработке и обсуждении представленного ранее в Совнарком СССР плана работ Академии наук на 1939 год, а также ввиду того, что в указанном плане работ не предусмотрены научно-исследовательские проблемы, вытекающие из задач, поставленных недавно опубликованным проектом 3-го пятилетнего плана развития народного хозяйства... Совет Народных Комиссаров Союза ССР – ПОСТАНОВЛЯЕТ:

Считать необходимым, чтобы представленный Президиумом Академии наук план работ на 1939 г. был вновь подвергнут обсуждению на Общем собрании членов Академии наук с учетом вышеуказанных обстоятельств, а также с учетом необходимости усиления отпора имеющимся лженаучным извращениям (в частности, по затронутым в печатном выступлении академика Баха⁵ и др. вопросам о работе Института Экспериментальной биологии Академии наук⁶ и др.).

Настоящее Постановление направить в Президиум Академии наук СССР, также довести до сведения всех членов Академии наук СССР» (АРАН. Ф. 2. Оп. 10. Д. 7. Л. 1).

Из приведенного документа видно, что Академии было предписано не просто переработать уже сформированный план работ, но и «усилить отпор» так называемым «лженаучным направлениям», главным образом в области экспериментальной биологии. Академии предстояла «чистка» плановых заданий, что в итоге могло коснуться как руководящих работников Академии, так и академических филиалов.

Еще одно ключевое событие в жизни страны произошло 10–21 марта 1939 г. в Москве. В эти дни здесь проходил XVIII съезд Всесоюзной коммунистической партии (большевиков), на котором был утвержден 3-й пятилетний план развития народного хозяйства СССР. В.Л. Комаров в своей статье «Академия наук к XVIII съезду ВКПб», опубликованной во 2-м номере «Вестника АН СССР» [8], по понятным причинам особо отметил избрание действительными членами Академии Т.Д. Лысенко и Н.В. Цицина: «Среди новых академиков и членов-корреспондентов Академии наук мы видим имена крупных передовых ученых, известных всей стране. Есть ли в нашей стране человек, который не знал бы Т.Д. Лысенко и Н.В. Цицина и не произносил бы с чувством глубокого уважения их имена? Это народные ученые, продолжатели славных традиций великих борцов науки

⁵ Алексей Николаевич Бах (1857–1946) – советский биохимик и физиолог растений, академик Академии наук СССР (1929), Герой Социалистического Труда (1945), лауреат Сталинской премии первой степени, основоположник биохимии в России. Избирался депутатом Верховного Совета СССР, где являлся старейшим по возрасту.

⁶ Институт экспериментальной биологии был организован в 1917 г. Инициатором создания института выступил русский биолог Н.К. Кольцов. Он же являлся директором института с 1917 по 1939 годы. Уже в 1930-е годы в институте сложилась своя школа цитологов и генетиков, получившая мировую известность. В 1938 г. институт перешёл в структуру Академии наук СССР и был переименован в Институт цитологии, гистологии и эмбриологии. Начиная с 1939 г. активно шла травля Н.К. Кольцова, в результате чего он был снят с должности директора.



Николай Иванович Вавилов

К.А. Тимирязева и И.В. Мичурина. Они вышли из народа, они связаны с ним. В лабораториях и на просторах социалистических полей, увязывая мысль с делом, Т.Д. Лысенко и Н.В. Цицин при помощи миллионов колхозников ведут борьбу за сталинские урожаи» [8, с. 31]. По-видимому кому-то из власть предержащих этого заявления оказалось недостаточно, поскольку в 1939 г. преданность Комарова советской власти все еще подвергалась сомнению. В частности, известна докладная записка «О борьбе реакционных ученых против академика Т.Д. Лысенко», составленная в 1939 г. заместителем Л.П. Берии, где в списке реакционных противников любимца Сталина значилась и фамилия В.Л. Комарова.

В Филиале в этот сложный для Академии наук период проводились текущие плановые работы, причем 28 марта 1939 г., т.е. после завершения работы съезда ВКП(б), зам. председателя ДВФАН А.И. Толмачев издал распоряжение № 1, в котором говорилось: «В целях улучшения хода и результатов научной работы Филиала и обеспечения правильного представления об итогах ее за 1 квартал текущего года прошу всех научных сотрудников институтов и секторов ДВФАН представить мне краткие (в объеме 1–2 страниц) сообщения о своей работе в 1 квартале 1939 года» (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 744. Л. 1).

Еще один интересный документ, сохранившийся в Архиве РАН, связан с постановлением экономического совета при СНК СССР «О плане строительства Академии наук СССР на 1939 год» от 5 мая 1939 г., где в п. 18 приложения было намечено для ДВФАН строительство лаборатории и жилого дома (АРАН. Ф. 2. Оп. 9. Д. 7. Л. 16). Таким образом, еще в начале мая даже в правительственных кругах ничего не предвещало близкой трагедии.

Первое серьезное указание на не вполне благополучную обстановку в Филиале было связано с постановлением № 439 президиума Уссурийского областного исполкома (г. Ворошилов, ныне Уссурийск) от 7 мая 1939 г. «О работе Горнотаежной станции» (рис. 1). В данном документе Горнотаежная станция и ДВФ были подвержены резкой критике как раз в части работ в области биологии. Этот уникальный по своему содержанию документ показывает, что научную деятельность какого-либо подразделения Филиала без участия его руководства могло самостоятельно оценить даже не краевое, а областное начальство. В то же время местная власть тем самым показывала свою заинтересованность в работе научного учреждения и таким своеобразным способом могла оказать учреждению свою административную поддержку.

Учитывая уникальность документа, приведем полный текст постановления:

«О работе Горнотаежной Станции

1. За период деятельности Горнотаежной станции Дальневосточного Филиала Академии наук СССР проведена большая научно-исследовательская работа, как



Трофим Денисович Лысенко

по изучению естественных растительных и животных ресурсов, так и по испытанию с/х растений в условиях горных склонов.

2. Станция провела полную инвентаризацию флоры и растительности Уссурийской области и других районов края, среди которых выявлены различные группы полезных растений, как-то: кормовые, плодово-ягодные, лекарственные, витаминные, декоративные, медоносные и др.

Детально проведено изучение вредных насекомых леса и с/х растений в условиях Горнотаежных районов и разработаны меры борьбы с ними.

Подобран ассортимент плодово-ягодных и овощных культур для горных склонов Приморского края и создан хороший маточный сад, что позволяет наметить и осуществить организацию плодово-овощных хозяйств в условиях горных склонов Уссурийской области.

3. Наряду с имеющимися достижениями в работе станции есть и серьезные недостатки. Так станция до самого последнего времени не передала для широкого использования в колхозы и совхозы области полученные результаты. В колхозах не бывают, с колхозами связь отсутствует.

Среди изданных станцией до 60 научных работ и статей совершенно недостаточно было уделено внимания обобщению научных результатов по плодоводству, овощеводству, бахчеводству, медоносным растениям и другим видам практически важных для экономики области работ.

Отсутствует популяризация достижений через широкую местную и краевую печать и путем издания популярных брошюр.

Зачастую из-за отсутствия научных специалистов отдельные разделы работ поручались и выполнялись низкоквалифицированными работниками и практиками, отчего получаемые результаты не всегда были научно обоснованы.

Недостаточно была развернута пропагандистская работа путем докладов, лекций, экскурсий колхозников и рабочих на станцию, чтобы путем показа доказать возможность и полную рентабельность закладки садов на горных склонах и организацию в этих условиях товарных овощных хозяйств.

Президиум Уссурийского облисполкома ПОСТАНОВЛЯЕТ:

1. Постановление Президиума Академии наук СССР от 4.XII. 1938 г. об организации при хатах-лабораториях колхозов Уссурийской области опорных пунктов Горнотаежной станции по производству плодово-ягодных, овощных и кормовых культур не выполняется.

2. Обязать Райисполкомы и Райзо Ворошиловского, Спасского, Шмаковского, Анучинского, Яковлевского и Калининского районов проследить за колхозами своих районов, в которых Горнотаежная станция организовала опорные пункты, по оказанию помощи научным сотрудникам станции по продвижению работы на этих опорных пунктах.

3. Обязать директора ГТС тов. ЖИЛЯКОВА параллельно с организацией производственного испытания на опорных пунктах плодово-ягодных культур поставить испытание овощных, бахчевых и кормовых культур на горных склонах в пределах вышеуказанных районов.

4. Просить Президиум Академии наук СССР выполнить взятое на себя обязательство по укомплектованию недостающими руководящими и научными кадрами Горнотаежную станцию.

5. Отметить недопустимое отношение Дальневосточного филиала Академии наук СССР к работникам станции, отсутствие помощи Дальневосточного

филиала Академии наук как в укомплектовании кадрами, так и средствами и материалами.

Довести до сведения Оргкомитета Президиума Верховного Совета РСФСР по Приморскому краю и Президиума Академии наук, указав при этом, что несмотря на расширение объема работ станции последней уменьшены Дальневосточным филиалом Академии наук средства и кадры по сравнению с 1939 г., благодаря чему маточный сад, питомники и опытные участки поставлены под угрозу гибели.

6. Обязать директора ГТС тов. Жиликова Н.И. обеспечить издание к весне 1940 г. популярный брошюр по плодоводству, овощеводству, бахчеводству, медоносным, кормовым и декоративным растениям, для чего просить Президиум Академии наук СССР выделить специальные средства.

7. Обязать тов. БОРДЮКОВА в мае м/це с/г. созвать конференцию Научно-исследовательских учреждений, на которой подвергнуть обсуждению развитие плодоводства, овощеводства, бахчеводства и медоносных растений в области.

8. Обязать Облдоротдел тов. Семенова оказать конкретную помощь станции в деле постройки 4 километров дороги на территории станции.

П.п. председатель уссурийского облисполкома /Мирошниченко/

Секретарь уссурийского облисполкома /Фельдман/»

(АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 763. Л. 3).

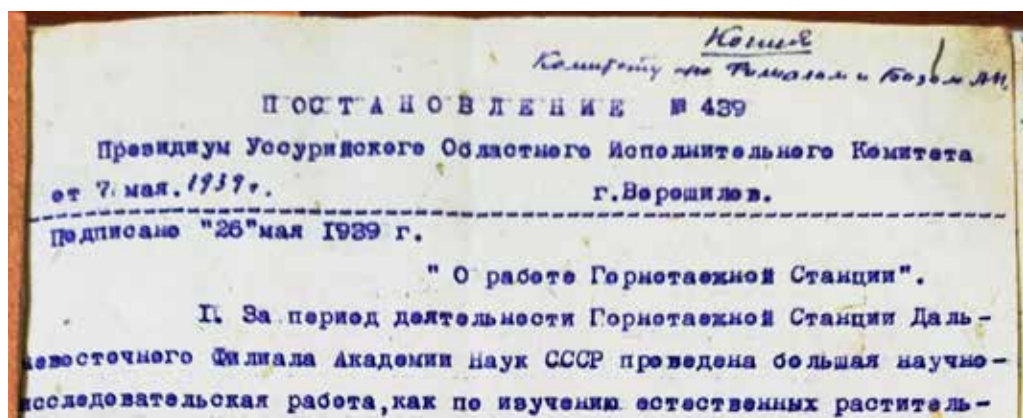


Рис. 1. Фрагмент постановления № 489 «О работе Горнотаежной станции» (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 763. Л. 3)

Показательно, что подписано данное постановление было лишь через 19 дней после его оформления, т.е. 26 мая (об этом сказано в документе). Отметим, что уже на следующий день в соответствии с распоряжением по ДВФАН № 6 было присвоено звание младших научных сотрудников четырем работникам ГТС: Г.Э. Куренцовой, Т.В. Самойловой, О.И. Орловой и Г.И. Гутниковой (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 744. Л. 13). По-видимому, на этом вполне достойном событии и закончились попытки реализации принятых решений.

Вышедшее постановление Уссурийского облисполкома уже не могло повлиять на общую ситуацию вокруг ДВФАН. Несмотря на отмеченное в документе «недопустимое отношение Дальневосточного филиала Академии наук СССР к работникам станции, отсутствие помощи Дальневосточного филиала Академии наук как в укомплектовании кадрами, так и средствами и материалами», уже 29 мая 1939 г. по Дальневосточному филиалу АН СССР вышло распоряжение

№ 7, подписанное А.И. Толмачевым, в преамбуле которого читаем: «Руководством Академии наук предложено мне произвести немедленное сокращение штата ДВФАН. Соответственно этому сокращается и объем работ, проводимых Филиалом. Во исполнение этого указания с 1 июня с.г. провести в жизнь следующие мероприятия:

§ 1. Упразднить как самостоятельное подразделение Филиала Зоологический сектор, законсервировав его работы и сняв всю текущую тематику, кроме работ по паразитологии, проводимых в комплексе работ экспедиции академика Е.Н. Павловского...». В соответствии с распоряжением наиболее серьезное сокращение затронуло ботанический сектор (5 человек, включая зав. группой Л.В. Любарского), оба института и бухгалтерию, при этом столь срочное сокращение не затронуло сотрудников Горнотаежной станции (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 744. Л. 14, 15). На поступившую следом просьбу (рапорт) главного бухгалтера ДВФАН об отмене распоряжения относительно увольнения сотрудников бухгалтерии (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 759. Л. 96) последовал достаточно жесткий ответ (рис. 2), который в том числе показывает, что данное сокращение, как и ликвидация Филиала, происходило с ведома В.Л. Комарова: «Проводимые мною мероприятия по сокращению штата ДВФАН Президентом АН академиком В.Л. Комаровым одобрены и дальнейшему обсуждению не подлежат...» (Там же. Л. 96а).

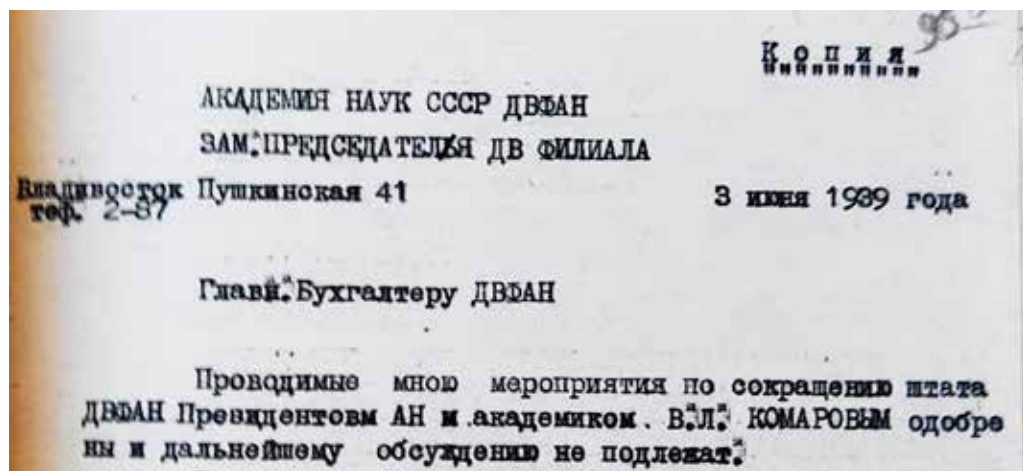


Рис. 2. Фрагмент письма зам. председателя ДВФАН главному бухгалтеру ДВФАН (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 759. Л. 96а)

Несомненно, срочное сокращение штата Филиала представляло собой попытку предотвращения его полного закрытия. Однако следом, 9 июня, выходит очередное и, пожалуй, ключевое распоряжение Толмачева № 8: «В соответствии с решением директивных органов [выделено автором], Дальневосточный филиал Академии наук СССР ликвидируется. Мероприятия по ликвидации Филиала проводятся согласно указаний, полученных руководством ДВФАН от Президиума АН СССР» (Там же. Л. 16).

Наконец, в распоряжении № 10 от 20 июня констатируется: «В соответствии с решением директивных органов Дальневосточный филиал Академии наук СССР с 20 июня 1939 г. считается расформированным... Все сотрудники Филиала, остающиеся на период окончательной ликвидации в его штате, с 21 с. июня переходят

всецело в подчинение т. Бахарева⁷ как председателя Ликвидационной комиссии» (Там же. Л. 21, 24).

В Отчете о ликвидации Дальневосточного филиала Академии наук СССР, подписанном Бахаревым, читаем: «Распоряжение президиума Академии наук о ликвидации Дальневосточного филиала было получено 3-го июня, указание о формировании ликвидационной комиссии было дано 8 июня. Ликвидационная комиссия сформировалась и приступила к работе 10 июня.

Некоторые подготовительные мероприятия по ликвидации были начаты руководством филиала с 26–27 мая, когда было получено соответствующее указание краевых органов (что по времени совпало с выходом уже мало что определяющего постановления Уссурийского облисполкома № 489 «О работе Горнотаежной Станции»). (Выделено автором).

Первым распоряжением, от 3 июня, были даны следующие установки по ликвидации Филиала:

1. Институты ДВФАН: Геологический – полностью передается Дальневосточному геологическому управлению (Дальгеологии); Химический – полностью передается Дальневосточному политехническому институту (ДВПИ);

2. Горнотаежная станция – полностью передается Краевому земельному управлению.

3. Сектор зоологии и сектор ботаники надлежит ликвидировать, причем существующий в составе ботанического сектора Амуро-Зейский стационар (Амурской области) должен быть передан земельным органам области.

4. Библиотека филиала передается Приморскому отделению Географического общества.

5. Что касается заповедников – Супутинского и Кедровая Падь, то на 3 июня вопрос был не ясен и находился в стадии согласования между Комитетом филиалов и баз и Комитетом по заповедникам.

6. Общий срок окончаний передачи установлен был 20 июня.

Последующими дополнительными указаниями первоначально данная установка была частично изменена. Основное изменение касалось Горнотаежной станции, которая, согласно телеграмме от 7-го июня, была оставлена в системе Академии наук как самостоятельное учреждение. В соответствии с этим заповедники Супутинский и Кедровая Падь также остались в системе Академии наук с подчинением их Горнотаежной станции. Срок полной ликвидации, т.е. составление отчета, был установлен 10 августа...» (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 758. Л. 1).

Ликвидация Филиала происходила не без трудностей. В частности, при передаче, например, Химического института в ДВПИ возникла казусная ситуация. Обратимся к отчету ликвидационной комиссии:

«...Работа по сдаче была в основном закончена 21 июня, приготовлены акты 28 VI, однако оформление сдачи возможно стало только 29 июля. Причиной такой задержки послужили не совсем правильные действия со стороны Оргкомитета по Приморскому краю. Одним из своих решений Президиум Оргкомитета постановил – помещение, занимаемое Химическим институтом ДВФАН, передать другой организации. Это решение было вынесено, когда уже сдача Института фактически была закончена, оставалось только оформить акты. ДВПИ отказалось оформлять приемку впредь до разрешения вопроса с помещением, так как в случае изъятия

⁷ Бахарев Владимир Кондратьевич, ученый секретарь ДВФ АН.

помещения ДВПИ не имеет возможности использовать получаемое оборудование. Разрешение вопроса затягивалось, и только после соответствующего протеста ДВПИ в центр было получено указание от СНК СССР о закреплении здания Химического института ДВФАН за ДВПИ» (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 758. Л. 9).

Что касается заповедников, то в соответствии с письмом зам. председателя СНК А. Вышинского от 27 августа 1939 г. № УД-215-223 на имя В.Л. Комарова Совет Народных Комиссаров разрешил передачу заповедников «Кедровая падь» и «Супутинский» в Главное управление по заповедникам при СНК РСФСР из системы Академии наук (АРАН. Ф.2. Оп. 10. Д. 7. Л. 33). Тем не менее известно, что оба заповедника все-таки были сохранены в системе АН СССР в качестве структурных подразделений Горнотаежной станции (ныне Филиал Федерального научного центра биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН Горнотаежная станция им. В.Л. Комарова).

В соответствии с отчетом председателя ликвидационной комиссии «Ликвидация Дальневосточного филиала Академии наук, начатая 10 июня, была закончена 9 августа, с 10 августа Ликвидационная комиссия все финансово-материальные операции прекратила. Оформление бухгалтерского отчета закончилось только 31.VIII. Если учесть распоряжение Комитета филиалов и баз об окончании отчета к 10 августа – отчет представлен с опозданием на 20 дней. Основная причина задержки отчета – это плохое состояние бухгалтерского учета по материальной части...» (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 758. Л. 15).

Несмотря на завершение работы ликвидационной комиссии, оставался неясным вопрос о положении Горнотаежной станции. В связи с этим 19 августа на имя заместителя председателя по заведованию филиалами и базами АН СССР П.Н. Колесникова был направлен соответствующий обширный запрос директора ГТС Н.И. Жиликова и ученого секретаря Т.П. Самойлова. Этот документ представляет собой несомненный исторический интерес, в связи с чем приводится с небольшими сокращениями:

«В связи с решением Совета Народных Комиссаров и Постановлением Президиума Академии наук СССР о ликвидации ДВФ АН СССР положение Горнотаежной станции до самого последнего времени было крайне неопределенно. На совещаниях Крайзо, Облзо, Плодово-ягодной станции и других организаций системы Наркомзема вопрос о Горнотаежной станции неоднократно обсуждался и были авторитетные высказывания о том, что ГТС перейдет в систему Наркомзема и ее тематика в соответствии с этим весьма существенно изменится. Несомненно, что подобного рода разговоры не могли не отразиться на моральном состоянии сотрудников и частично на проводимых ими работах, что и заставило нас сделать ряд запросов в Комитет по уточнению положения Горнотаежной станции. Однако несмотря на ответные телеграммы, получаемые от Вас, вопрос о положении станции, объеме ее работ в связи с ликвидацией ДВФАН все еще остается неясным, хотя и стало известно, что Станция до конца года остается в системе Академии наук СССР.

Нам совершенно непонятным делается Ваше предложение о сокращении в середине года сотрудников Станции, штат которой вместе с переданными заповедниками должен быть не более 41 единицы, тогда как полученное нами только что перед этим штатное расписание, подписанное академиком В.Л. Комаровым и утвержденное Наркомфином СССР, предусматривало 71 штатную единицу. Считаем нужным указать при этом, что штат ГТС в 1932 г. без заповедника «Кедровая

падь» был 44 единицы. С передачей же Заповедника «Кедровая падь», где было 13 единиц, он увеличился по смете 1938 г. до 58 единиц и с ликвидацией ДВФАН временно передано 14 человек. Таким образом, помимо 14 ч., отчисляемых в другие Филиалы и базы Академии наук, сокращение на станции основных работников в количестве 16 единиц в середине года, когда большая часть работ близится к концу, просто труднообъяснимо и равносильно тому, чтобы сорвать окончание начатых и заканчиваемых работ.

Мы не можем не просить принять во внимание и то обстоятельство, что объем развернутых работ на Горнотаежной станции в 1939 г. во много раз увеличен по сравнению с 1938 г. согласно решению Президиума Академии наук СССР от 4 декабря 1938 г. по отчетному докладу о работе ГТС, проводимые нами работы широко освещены в краевой и областной печати и на совещаниях при Облзо, Облисполкоме и получили полное одобрение.

В качестве иллюстраций укажем на часть работ, проводимых в этом году станцией. Так, работы по теме «Плодово-ягодные культуры в условиях горных склонов» увеличены за счет организации новых 6-ти опорных пунктов в разных притаежных районах Уссурийской области, где сотрудники Станции выезжали для испытания различных плодово-ягодных культур на площади до 11 га... (более чем по 1,5 га на каждом опорном пункте). В то же время на самой станции заложено 1 га опытных участков по испытанию новых сортов плодовых и ягодных культур и 1 га питомника, где высажено до 4 тысяч гибридных сеянцев... <...> ...площадь, занятая под сад, на ГТС равняется 15 га. Несомненно, эти работы ... имеют чрезвычайно важное значение в решении вопроса плодоводства в крае, но для окончания их нужны средства, нужны люди для постоянной консультации и наблюдений за опорными пунктами.

По теме «Экологическое испытание овощных и бахчевых культур в условиях горных склонов» мы имеем до 5 га опытных участков с богатым ассортиментом всевозможных сортов с/х культур, требующих для проведения наблюдений обработки значительное количество научно-технических и рабочих рук.

Полученные предварительные данные весьма интересны и важны в решении вопроса о правильном размещении с/х культур на горных склонах. Несомненно, что эта тема настолько важна при освоении новых территорий в крае и должна быть закончена в полном объеме.

Не менее важны работы по теме «Кормовые травы и их культура в условиях Дальнего Востока». По этой теме помимо изучения дикорастущих инорайонных кормовых растений в коллекционных и опытных посевах мы имеем уже до 4 га репродукционных посевов, семена с которых должны быть переданы для широкого испытания и в первую очередь на опорных пунктах и при колхозах. По теме «Зеленое и декоративное строительство на Дальнем Востоке» в этом году питомники увеличены до 2 га... В этом же году при участии научных работников проведены озеленительные опыты в саду при доме Красной Армии. Оставить научные работы по данной теме, когда уже имеется большое количество ценного материала, сейчас нельзя.

По теме: «Лекарственные растения и их культура» работы также увеличены за счет изучения дикорастущих растений и организации химической лаборатории по изучению их химического состава. Кроме того, согласно указаниям Академии наук СССР Станция взяла на себя руководство заготовками лекарственного сырья для академика Орехова.

Большое значение при освоении таежных районов имеют работы по изучению сорной растительности и их динамики, работу по которым Станция начала с этого года.

Проводимые работы по изучению вредной энтомофауны лесных и с/х культур, часть из которых в этом году по отдельным группам растений заканчивается, имеют также не менее важное значение. И наконец, работы экспедиции академика Е.Н. Павловского показали всю важность работ паразитологического порядка, которые они имеют при освоении глухих районов. Организация постоянной паразитологической лаборатории на Станции должна быть предусмотрена в 1940 году и соответствующие работники выделены. Помощь в организации лаборатории и подборе сотрудников была обещана академиком Е.Н. Павловским... <...>

...В то же время мы не можем оставить без внимания имеющиеся в нашем подчинении заповедники. Сокращение охраны заповедника не может быть допустимо ввиду того, что в противном случае часть территории оголяется и делается доступной для различного рода браконьеров. Принимая во внимание то обстоятельство, что весной этого года Комитет по филиалам и базам Академии наук СССР сам поднимал вопрос перед Совнаркомом о сохранении Супутинского заповедника в системе Академии наук СССР и добился этого, мы, в соответствии с этим, должны обратить большое внимание на развертывание в них научно-исследовательских работ. Однако до самого последнего времени люди, живущие и работающие в заповедниках, в достаточной мере не обеспечены всем необходимым, в особенно тяжелых условиях находится охрана заповедников, зарплата часто не удовлетворяет и материально не обеспечивает основных нужд семьи.

Учитывая, что охрана и их семьи живут оторванно от населенных мест, их жизнь часто подвержена опасности (заболевания энцефалитом, грипп с осложнениями, тиф и пр.), просим Вас предусмотреть увеличение зарплаты хотя бы с августа с/г до 300 руб. в месяц. В то же время научным работникам станции, работающим в Заповеднике, необходимо восстановить оплату суточных в размере 75 % во время работы в Заповеднике и 50 % за полевую работу на стационарах...<...>...Мы просим дать возможность Станции закончить начатые работы, сохранив штат сотрудников вместе с Заповедниками в количестве 50 единиц...» (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 764. Л. 1–3).

Необходимо отметить, что ликвидация филиала не повлекла за собой разгрома академических учреждений на Дальнем Востоке. В частности, оба института (Геологический и Химический) не были закрыты – они передавались другим организациям. Горнотаежная станция не только сохранила свои позиции, но и в 1943 г. оказалась тем организующим ядром, на базе которого произошло восстановление Дальневосточной базы АН СССР, а в последующем – и Дальневосточного филиала. Даже заповедники («Супутинский» и «Кедровая Падь») удалось сохранить в составе Горнотаежной станции. Наиболее трудно решался вопрос о судьбе Амуро-Зейского питомника. Но и здесь выход был найден. В частности, 27 августа на имя председателя оргкомитета Президиума Верховного Совета по Хабаровскому краю С.И. Гусева было направлено письмо за подписью зам. Председателя СНК Союза ССР А. Вышинского следующего содержания: «В связи с ликвидацией Дальневосточного филиала Академии наук Союза ССР Совнарком Союза ССР разрешил передать Амуро-Зейский питомник дикорастущих в ведение Хабаровского крайисполкома из системы Академии наук.

Одновременно СНК СССР предлагает Хабаровскому Крайисполкому сохранить Амуро-Зейский питомник в прежних границах, а также проводить

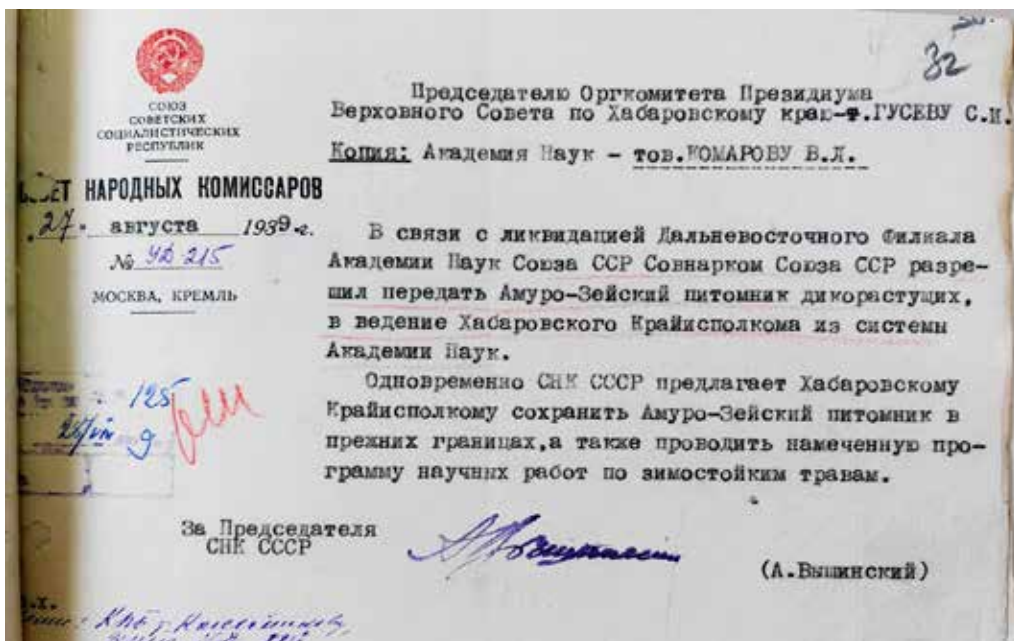


Рис. 3. Письмо зам председателя СНК СССР А. Вышинского председателю Оргкомитета Президиума Верховного Совета по Хабаровскому краю С. Гусеву (АРАН. Ф. 2. Оп. 10. Д. 7. Л. 32)

намеченную программу научных работ по зимостойким травам» (АРАН. Ф. 2. Оп. 10. Д. 7. Л. 32).

Многие научные сотрудники переводились в иные научные учреждения, в том числе расположенные в других регионах СССР, причем руководство Филиала в подобных случаях старалось применять индивидуальный подход. Например, в параграфе 9 распоряжения по ДВФ АН от 20 июня № 10 читаем: «Младшие научные сотрудники Ботанического сектора тт. Пивнев, Баландин приказом по ДВФАН переведены на постоянную работу на Горнотаежную станцию. Научные работники тт. Бреславец, Виноградов, Кабанов, Колесников, Колобов и Турышев переведены в штат Горнотаежной станции с последующим переводом на работу в Уральский филиал, Северную и Кольскую базы АН». В протоколе № 2 заседания ликвидационной комиссии от 23 июня (рис. 4) зафиксировано обсуждение заявки Дальгеологии на получение оборудования со склада ДВФАН. При обсуждении отказа в передаче двух поляризационных микроскопов имеется следующее пояснение Бахарева: «Ликвидком считает нужным отправить оба микроскопа (в центр. – Прим. автора) из следующих соображений: один подлежит отправке безусловно, а второй микроскоп – большая модель, с этим микроскопом работал аспирант, который уже освоил инструмент, привык к нему, а поскольку этот товарищ будет отправлен аспирантом в центр, то желательно, чтобы и указанный микроскоп был также отправлен, учитывая, что на этого аспиранта не рассчитывали в центре и трудно достать эту модель микроскопа». В результате было принято решение: «Исключить (микроскопы. – Авт.) из передачи и отправить в распоряжение Академии наук». Работа ликвидационной комиссии находилась, по-видимому, под постоянным контролем В.Л. Комарова, причем по некоторым «ликвидационным вопросам» от президента Академии наук поступали прямые указания. В частности, в упомянутом выше протоколе Бахаревым было отмечено: «Машина легковая

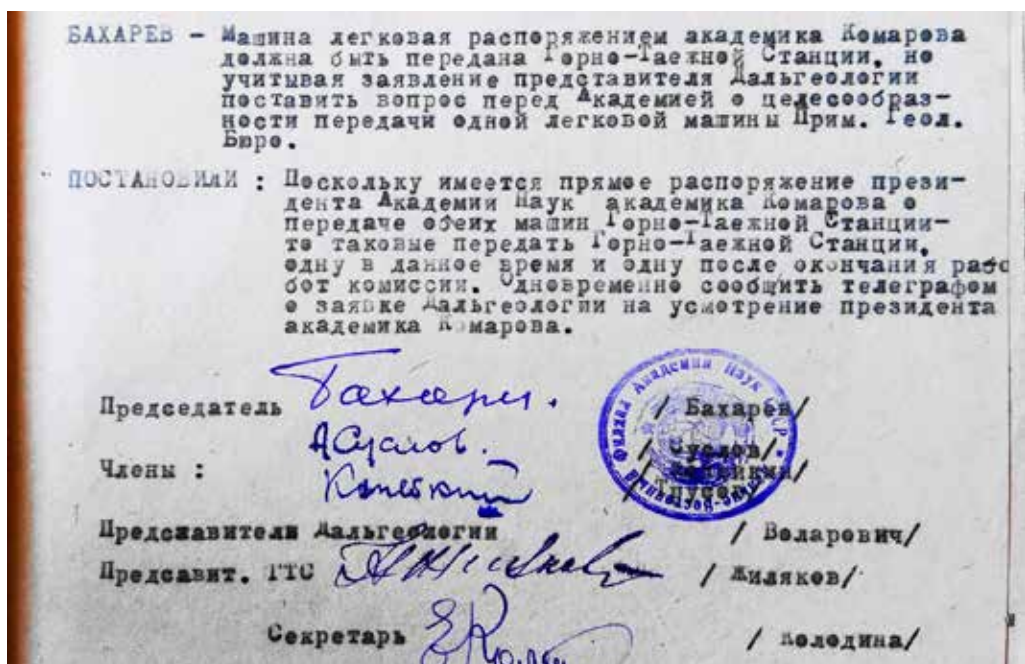


Рис. 4. Фрагмент протокола № 2 заседания Ликвидационной комиссии от 23 июня 1939 г. (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 760. Л. 4)

распоряжением академика Комарова должна быть передана Горнотаежной станции, не учитывая заявление представителей Дальгеологии... Постановили: Поскольку имеется прямое распоряжение президента Академии наук академика Комарова о передаче обеих машин Горнотаежной станции – то таковые передать Горнотаежной станции, одну в данное время и одну после окончания работ комиссии. Одновременно сообщить телеграфом о заявке Дальгеологии на усмотрение президента академика Комарова» (АРАН. Ф. 188. Оп. 1. Д. 760.Л. 3, 4).

Знакомство с архивными документами не позволяет связывать ликвидацию ДВФАН со сложной предвоенной обстановкой на Дальнем Востоке. На самом деле все основные научные академические учреждения в Дальневосточном регионе были сохранены, как и их научные программы. Происходило лишь перераспределение научных организаций между различными ведомствами. В целом складывается впечатление, что так называемая «ликвидация» Филиала стала очередным «давлением» на президента Академии наук, проверкой на прочность его преданности власти... Несомненно, стараниями Комарова закрытие филиала проводилось с минимальными потерями для его сотрудников, причем многим из них Владимир Леонтьевич продолжал помогать в устройстве и в последующие годы, в том числе в период Великой Отечественной войны [9]. Трудно представить, что стоило президенту Академии наук СССР вслед за правительственным решением утверждать документы по ликвидации своего детища – Дальневосточного филиала АН СССР. Состояние нервного перенапряжения, в котором пребывал В.Л. Комаров в этот период, привело к сильному обострению его хронической болезни – псориаза. В дни окончательной ликвидации Филиала, 5 августа 1939 г., Комаров, находясь в Теберде на лечении, перенес инсульт. Врачи констатировали кровоизлияние в правое полушарие головного мозга и левосторонний паралич.

После непродолжительного пребывания в Теберде Владимир Леонтьевич, еще не вполне оправившись от болезни, выехал в Москву.

13 октября 1939 г. исполнялось 70 лет со дня рождения Владимира Леонтьевича Комарова и 45 лет – с начала его научной деятельности. В преддверии юбилея в газетах были напечатаны обширные статьи, посвященные жизни и деятельности В.Л. Комарова. В частности, на страницах газеты «Правда» была помещена статья «Замечательный советский ученый» и опубликовано приветствие В.Л. Комарову от президиума Академии наук СССР. Указом Президиума Верховного Совета СССР за выдающуюся научную и общественную деятельность и в связи с исполняющимся семидесятилетием со дня рождения академик Комаров Владимир Леонтьевич был награжден орденом Ленина. Период недоверия власти к президенту Академии наук завершился. Причем в наступившем 1940 г. юбилей В.Л. Комарова был еще раз отмечен Правительством: 27 апреля 1940 г. в ознаменование 70-летия со дня рождения президента Академии наук СССР Президиум Верховного Совета СССР постановил присвоить его имя двум учреждениям, тесно связанным с его научной деятельностью: Ботаническому институту и Дальневосточной горнотажной станции Академии наук СССР.

В.Л. Комарову в 1939 г. удалось не только сохранить за собой должность президента Академии наук СССР, но и уберечь научный потенциал Дальнего Востока от разгрома. В последующие предвоенные годы Владимир Леонтьевич вновь сосредоточил свои силы на дальнейшем развитии Академии наук. А сделано было немало. Так, с 1931 по 1939 г., в период его работы на постах вице-президента и президента, финансирование АН СССР увеличилось в 25 раз. К началу 1941 г. в составе Академии работало 47 институтов, 76 станций и обществ, в том числе созданных в 1930-е годы. Это Геологический институт (1930), Институт физической химии (1931), Физический институт им. П.Н. Лебедева (1934), Институт общей и неорганической химии (1934), Институт теоретической геофизики (1938), Институт мерзлотоведения (1939) и др. В них работали 123 академика, 182 члена-корреспондента, 5005 научных сотрудников. В годы войны Академия наук под руководством своего президента сыграла выдающуюся роль и проявила себя так, как ни одна Академия мира! Достаточно сказать, что Академия наук сумела перестроить свою работу на военный лад уже через два месяца после начала войны. В США такая перестройка растянулась на несколько лет, а в Великобритании до конца войны так и не удалось мобилизовать науку [10]. Сегодня общепризнано, что Великая Отечественная война была и войной интеллектов. Советские ученые под руководством президента АН СССР В.Л. Комарова сумели интеллектуально превзойти научно-технический потенциал фашистской Германии и победили.

Аналитический ум, трудолюбие, спокойствие, удивительная выдержка и глубокий патриотизм позволили В.Л. Комарову взять на себя ответственность за судьбу Академии наук и блестяще провести ее сквозь тяжелейшие годы сталинских репрессий и Великой Отечественной войны [11–14].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Еляков Г.Б. О Дальневосточном отделении Российской академии наук: Доклад на торжественном собрании Дальневосточного отделения РАН, посвящ. 275-летию Российской академии наук. Владивосток: Дальнаука, 1999. 45 с.

2. Ермакова Э.В., Куцкий Г.С., Володарская Е.П. и др. Дальневосточный государственный университет. История и современность. 1899–1999. Владивосток: Изд-во Дальневост. ун-та, 1999. 704 с.

3. Медведев Ж.А., Медведев Р.А. Взлет и падение Т.Д. Лысенко. Кто сумасшедший? М.: Время, 2012. 360 с.
4. Постановление ГД РФ от 2 апреля 2008 г. № 262-5ГД «О Заявлении Государственной Думы Российской Федерации «Памяти жертв голода 30-х годов на территории СССР».
5. Келлер Б.А. Выступление на совещании по генетике и селекции. Совещание по генетике и селекции. Спорные вопросы генетики и селекции (общий обзор совещания) // Под знаменем марксизма. 1939. № 11. С. 94–95.
6. Соيفер В.Н. Власть и наука. Разгром коммунистами генетики в СССР. 5-е изд. М.: ЧеРо, 2002. 1021 с.
7. Савина Г.А. Опыт социальной истории в лицах: В.Л. Комаров – президент АН СССР. – <https://arran.ru/?q=ru/savina1> (дата обращения: 24.04.2022).
8. Комаров В.Л. Академия наук к XVIII съезду ВКПб // Вестн. АН СССР. 1939. № 2. С. 28–42.
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. Костюк В.В. Академия наук СССР в годы войны // Вестн. РАН. 2005. № 11. С. 975–983.
11. Богатов В.В. Полководец битвы интеллектов Владимир Леонтьевич Комаров // Этот день мы приближали как могли... Наука Дальнего Востока в годы Великой Отечественной войны: в воспоминаниях, биографиях, лицах и судьбах. Владивосток: Дальнаука, 2020. С. 17–24.
12. Богатов В.В. Дальневосточный филиал Академии наук (1932–1939 гг.): страницы истории // Вестн. ДВО АН СССР. 2017. № 5. С. 7–20.
13. Черешнев В.А. Наука Урала: все для фронта, все для победы // Вестн. РАН. 2005. № 11. С. 983–993.
14. Черешнев В.А. Академия наук в годы Великой Отечественной войны. М.: Знание, 2010. 79 с.

REFERENCES

1. Elyakov G.B. O Dal'nevostochnom otdelenii Rossijskoi akademii nauk: Doklad na torzhestvennom sobranii Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN, posvyashhennom 275-letiyu Rossijskoj akademii nauk. Vladivostok: Dal'nauka; 1999. 45 p. (In Russ.)
2. Ermakova E.V., Kucyj G.S., Volodarskaya E.P. i dr. Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi universitet. Istoriya i sovremennost'. 1899–1999. Vladivostok: Izd-vo Dal'nevostochnogo universitetata, 1999. 704 p. (In Russ.)
3. Medvedev Zh.A., Medvedev R.A. Vzlet i padenie T.D. Ly'senko. Kto sumasshedshij? M.: Vremya, 2012. 360 p. (In Russ.)
4. Postanovlenie GD RF ot 2 aprelya 2008 g. № 262-5GD «o Zayavlenii Gosudarstvennoj Dumy` Rossijskoj Federacii «Pamyati zhertv goloda 30-x godov na territorii SSSR». (In Russ.)
5. Keller B.A. Vy`stuplenie na soveshhanii po genetike i selekcii. Soveshhanie po genetike i selekcii. Spornye voprosy genetiki i selekcii (obshhij obzor soveshhaniya). Pod znamenem marksizma. 1939;(11): 94-95. (In Russ.)
6. Sojfer V.N. Vlast` i nauka. Razgrom kommunistami genetiki v SSSR. 5-e izd. M.: CheRo; 2002. 1021 p. (In Russ.)
7. Savina G.A. Opyt social'noj istorii v litsax: V.L. Komarov – prezident AN SSSR. (In Russ.). – <https://arran.ru/?q=ru/savina1> (data obrashheniya: 24.04.2022).
8. Komarov V.L. Akademiya nauk k XVIII s`ezdu VKPb. *Vestnik of the AN SSSR*. 1939;(2):28-42. (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. Kostyuk V.V. Akademiya nauk SSSR v gody vojny. *Vestnik of tre RAN*. 2005;(11):975-983. (In Russ.)
11. Bogatov V.V. Polkovodecz bitvy intellektov Vladimir Leont'evich Komarov. *Etot den` my priblizhali kak mogli... Nauka Dal'nego Vostoka v gody Velikoi Otechestvennoi vojny: v vospominaniyax, biografiyax, liczax i sud'bx*. Vladivostok: Dal'nauka; 2020. P. 17-24. (In Russ.)
12. Bogatov V.V. Dal'nevostochnyi filial Akademii nauk (1932-1939 gg.): stranicy istorii. *Vestnik of the DVO AN SSSR*. 2017;5:7-20. (In Russ.)
13. Chereshev V.A. Nauka Urala: vse dlya fronta, vse dlya pobedy. *Vestnik of the RAN*. 2005;(11):983-993. (In Russ.)
14. Chereshev V.A. Akademiya nauk v gody Velikoi Otechestvennoi vojny. M.: Znanie. 2010. 79 p. (In Russ.)

Научная статья

УДК 027.021

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_225_05_11

Центральной научной библиотеке ДВО РАН – 90 лет

А.А. Хисамутдинов

Амир Александрович Хисамутдинов

доктор исторических наук, заведующий отделом научно-исследовательских работ

Центральная научная библиотека ДВО РАН, Владивосток, Россия

khisamut@yahoo.com

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

Аннотация. Статья посвящена 90-летию Центральной научной библиотеки (ЦНБ) Дальневосточного отделения Российской академии наук, образованной в марте 1932 г. в числе самых первых академических учреждений региона. Сообщается о первых директорах А.В. Маракуеве и З.Н. Матвееве, заложивших основные принципы работы библиотеки по информационному обслуживанию исследователей и начавших публикацию научных библиографий. Приводятся данные о комплектовании библиотечных фондов в разные годы, многочисленных реорганизациях, затруднявших работу библиотеки. Описана работа сотрудников в сохранении библиотечных фондов и комплектовании коллекций дальневосточной литературы, подчеркивается роль руководителей библиотеки (М.Н. Паничкиной, Е.Я. Егоровой, Н.А. Кановер, Е.М. Политовской, М.М. Соповой, Т.Н. Михайлюк, А.А. Набиуллина и Т.А. Хмель) в отстаивании ее интересов. История Центральной научной библиотеки как одного из структурных подразделений ДВО РАН отражает процесс развития дальневосточной академической науки, а по ее фондам можно проследить научные интересы сотрудников академических институтов.

Ключевые слова: ЦНБ ДВО РАН, академическая библиотека, история науки, книжное дело на Дальнем Востоке

Для цитирования: Хисамутдинов А.А. Центральной научной библиотеке ДВО РАН – 90 лет // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 5. С. 141–154. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_11.

90th anniversary of the Central Scientific Library of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences

A.A. Khisamutdinov

Amir A. Khisamutdinov

Doctor of Sciences in History, Head of Research Department

Central Scientific Library, FEB RAS, Vladivostok, Russia

khisamut@yahoo.com

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

Abstract. The article is dedicated to the 90th anniversary of the Central Scientific Library (CSL) of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, founded in March 1932 among the very first academic institutions in the region. It is reported about the first directors A.V. Marakuev and Z.N. Matveev, who laid down the basic principles of the library's information service for researchers and began publishing scientific bibliographies. Data are given on the acquisition of library funds in different years, numerous reorganizations that hampered the work of the library. The work of employees in the preservation of library funds and acquisition of collections of Far Eastern literature is described, the role of library leaders is emphasized (M.N. Panichkina, E.Ya. Egorova, N.A. Kanover, E.M. Politovskaya, M.M. Sopova, T. N. Mikhailiuk, A.A. Nabiullin and T.A. Khmel) in defending her interests. The history of the Central Scientific Library as one of the structural subdivisions of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences reflects the development process of the Far Eastern academic science, and its collections can be used to trace the scientific interests of employees of academic institutions.

Keywords: Central Scientific Library of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, academic library, history of science, book publishing in the Far East

For citation: Khisamutdinov A.A. 90th anniversary of the Central Scientific Library of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(5):141-154. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_225_05_11.

Посвящается библиотекарям

Центральной научной библиотеки

*Дальневосточного отделения Российской академии наук
(1932–2022 гг.)*

Формирование библиотеки. Дальневосточный филиал АН СССР, 1932–1939 гг.

В марте 2022 г. Центральной научной библиотеке (ЦНБ) Дальневосточного отделения Российской академии наук исполнилось 90 лет. В далеком 1932 г. в одном из первых документов, касавшихся создания Дальневосточного филиала (ДВФАН), библиотека указывалась как одно из десяти структурных подразделений (ААН СССР. Ф. 2. Оп. 1-1932. Ед. хр. 8. Л. 2). Энтузиазм первых сотрудников

ДВФАН был огромен. Хотя организацию филиала приходилось начинать с нуля, они с большим оптимизмом смотрели в будущее.

Библиотека же создавалась не на пустом месте. Прежде всего в ее фонды передали уникальное собрание бывшего Восточного института во Владивостоке, почти 10 тыс. наименований. В этой литературе нуждались научные сотрудники Кабинета по изучению народов Дальневосточного края и сопредельных стран с секторами китайским, корейским и туземных народов. Влились в библиотеку и книжные собрания Горнотаежной станции и Дальневосточного краеведческого научно-исследовательского института при Государственном Дальневосточном университете (ГДУ). С молодой академической библиотекой поделилась издательствами и первая научно-просветительская организация на Дальнем Востоке – Общество изучения Амурского края (ОИАК). Что-то досталось ей от закрытых учебных заведений Владивостока и ученых, вынужденных отправиться в эмиграцию, а 16 декабря 1932 г. Президиум Академии наук счел «необходимым выделить в 1933 г. Д.-В. филиалу по смете АН соответствующую сумму в инвалюте на выписку основных обзорных и реферативных журналов и справочников из-за границы» (ААН СССР. Ф. 2. Оп. 1-1932. Ед. хр. 33. Л. 223).

В поисках первого директора научной библиотеки руководство ДВФАН обратило внимание на Александра Владимировича Маракуева (1891–1955), преподавателя китайского языка и географии Китая в ГДУ. Он не имел высшего образования, но знал несколько языков, обладал большой эрудицией и получил известность как автор нескольких работ по китаеведению. Заинтересовавшись бывшей библиотекой Восточного института, Маракуев начал ее систематизировать и к 1932 г. смог привести в порядок фонд старинных китайских рукописей. Уже на посту директора библиотеки ДВФАН он подготовил предварительную опись этого уникального собрания [1] и благодаря многочисленным публикациям стал кандидатом географических наук без защиты диссертации.

Помощником Маракуева в библиотеке был «ученый специалист» Зотик Николаевич Матвеев (1889–1938), выпускник Восточного института и историко-филологического факультета ГДУ. На момент создания академической библиотеки он руководил библиотекой Дальневосточного политехнического института и, на общественных началах, библиотекой Общества изучения Амурского края и читал лекции по истории дальневосточных стран на восточном факультете ГДУ.

Единомышленники Маракуев и Матвеев стремились сделать библиотеку полезной для сотрудников Филиала и других исследователей. В 1934 г. они первыми на Дальнем Востоке ввели межбиблиотечный абонемент, а обнаружив, что центральные библиотеки отвечают отказом на запросы редких или особо ценных изданий, договорились о получении из центра фотоснимков нужных страниц и даже целых статей.

В отчете за 1934 г. подчеркивалось: «По состоянию книжного фонда с 20 000 библиотечных единиц на 01.01.1934 г. до 30 000 библиотечных единиц к 01.01.1935 г. отмечено, что отдел книг по ДВК в библиотеке филиала – лучший в крае». Сообщалось в отчете и о том, что налажен книгообмен с 300 иностранными и не менее 275 советскими научными учреждениями: научными обществами, академиями наук и институтами (Текущий архив ЦНБ ДВО РАН. Отчет ЦНБ за 1934 г. Л. 1).

Матвеев, увлекавшийся научной библиографией еще со студенческих лет и выпустивший к 1932 г. больше десяти работ по данной теме, продолжил заниматься

этим и в библиотеке ДВФАН. В первых номерах журнала «Вестник ДВФАН» был опубликован его «Историографический и библиографический обзор состояния исторической науки в Дальневосточном крае за 1922–1932 гг.». В середине 1930-х годов он сменил Маракуева на посту директора библиотеки, работая одновременно научным сотрудником Кабинета по изучению народов Дальневосточного края и сопредельных стран. Некоторое время библиотекарем был известный лингвист Александр Петрович Георгиевский (1888–1955).

Переезд в Уссурийск, 1939 г.

Дальневосточная научно-исследовательская база АН СССР, 1943–1948 гг.

В 1939 г. из-за сложной политической обстановки на Дальнем Востоке и в ожидании начала Второй мировой войны советское правительство приняло решение закрыть ДВФАН СССР. Фонды академической библиотеки разделили: их передали Горнотаежной станции, Приморскому филиалу Географического общества СССР (бывшее ОИАК) и Институту востоковедения АН СССР в Ленинграде.

Большую роль в организации библиотеки на Горнотаежной станции в г. Ворошилов (Уссурийск), где в 1943 г. открыли Дальневосточную научную базу (ДВНБ), сыграла заведующая Мария Николаевна Паничкина. Согласно автобиографии, она закончила сельскохозяйственный техникум и с библиотечными делами познакомилась в 1920 г. На Дальний Восток она приехала вместе с мужем-военнослужащим (Архив ДВО РАН. Личное дело М.Н. Паничкиной. Л. 2).

Фонд после переезда оказался в полном беспорядке. Выяснилось, что часть его утрачена, а часть сильно повреждена из-за сырости. При этом исчезли все инвентарные книги и каталоги, и установить точные потери оказалось невозможно. Видимо, М.П. Паничкиной и ее помощникам пришлось немало потрудиться, приводя книги в порядок. 31 декабря 1944 г. по ДВНБ вышел приказ: «Премировать заведующую научной библиотекой Паничкину М. за большую работу по приведению в порядок привезенной из Владивостока библиотеки в количестве 34 тыс. названий» (Архив ДВО РАН. Дальневосточная научно-исследовательская база Академии наук СССР. Материалы за 1944–1949 гг. Л. 23).

При увольнении Марии Николаевны в октябре 1945 г. «в связи с переездом на другое место жительства по месту службы мужа» ученый секретарь ДВФАН Николай Евгеньевич Кабанов написал, что Паничкина «зарекомендовала себя как очень добросовестный и знающий свое дело работник, за что признана ударницей, высокое качество ее работы не раз отмечалась в приказах по Дальневосточной базе АН СССР» (Архив ДВО РАН. Дальневосточная научно-исследовательская база Академии наук СССР. Материалы за 1944–1949 г. Л. 6).

1946 г. Возвращение

В 1946 г. Приморский крайком ВКП(б) и крайисполком приняли постановление «О перемещении Дальневосточной научно-исследовательской базы Академии наук СССР из города Ворошилова в город Владивосток» [2, с. 6]. Переездом библиотеки руководила 39-летняя Екатерина Яковлевна Егорова: с 26 декабря 1945 г. она исполняла обязанности заведующей. В августе 1946 г. в несколько

этапов библиотеку перевезли во Владивосток и складировали в полуподвальном помещении здания по ул. Ленинской (ныне Светланская), № 50, которое решением крайкома партии передали библиотеке во временное пользование.

Организовывать перевозку фонда помогала Галина Ивановна Титаренко. Остается только удивляться, как две женщины справились с этой огромной и тяжелой работой. С утра до позднего вечера они связывали в пачки литературу, переносили на грузовики, ехали по разбитой дороге во Владивосток, а потом разгружали.

В октябре–ноябре произошла катастрофа: прошли ливни, и книги, сложенные на полу, оказались залиты водой. Их пришлось долго сушить, проветривать, приводить в порядок. Из-за того, что система расстановки фонда, налаженная было в г. Ворошилов, была утрачена, пришлось заново сортировать книги по отделам и соответственно расставлять их по полкам. Эту работу библиотекари продолжали до июля 1947 г., не прекращая обслуживать научных сотрудников. Выдача литературы очень осложнялась из-за отсутствия каталогов.

В 1949 г. возродили Дальневосточный филиал АН СССР. В это время библиотекой заведовала опытный библиотекарь Надежда Абрамовна Канонер. Предпринимая усилия для пополнения фондов, она обращала особое внимание на книжные собрания дальневосточных ученых (Архив ДВО РАН. Служебная характеристика Н.А. Канонер от 4 августа 1950 г. Л. 17). Так были приобретены библиотеки геолога Александра Ивановича Козлова, зоолога-герпетолога Александра Адриановича Емельянова и ряда других исследователей.

Несмотря на материальные трудности и хроническую нехватку рук – штат насчитывал всего два библиотекаря, библиотека справлялась со своими задачами. Ее читателями были все 103 сотрудника филиала. Особой популярностью пользовался межбиблиотечный абонемент, выполнявший более 300 читательских заказов в год. Библиотека продолжала традицию подготовки тематических книжных выставок к юбилеям, общественным событиям и научным конференциям.

Большую роль в развитии библиотеки сыграла Екатерина Михайловна Политовская, руководившая ею в 1952–1958 гг. Понимая особую важность литературы по общественным направлениям, библиотекари в это время занялись комплектованием литературы по соседним странам. В фонды влились «трофейные» издания, а также тысячи книг, полученные из запасников крупнейших собраний страны. Политовская уделяла время истории библиотеки, отметив выдающуюся роль первых директоров – А.В. Маракуева и З.Н. Матвеева. В этот период хрущевской оттепели уже можно было сказать о судьбе этих людей, пострадавших от репрессий 1937–1938 гг. Матвеева, арестованного 7 ноября 1937 г., через полгода приговорили к высшей мере наказания и расстреляли. Его реабилитировали 20 октября 1956 г. Маракуев после ареста в 1937 г. был приговорен к поражению в правах и выслан из Владивостока. Находился на поселении в Томске, а умер в Алма-Ате. Его реабилитировали уже посмертно в 1971 г.

Одновременно с рутинными каталогизацией и расстановкой фондов Екатерина Михайловна составляла тематические библиографические картотеки по дальневосточной тематике. Одной из первых стала «Библиография по производительным силам Суйфуно-Ханкайско-Уссурийской долины». Вскоре была готова «Библиография изданий Дальневосточного филиала (Книги и статьи. 1932–1956 гг.)». Увы, эти работы так и остались в рукописи: средств на издание книг библиотека не имела.



Коллектив библиотеки. 1958 г.

В ранге научной библиотеки

В 1958 г. ДВФАН сменил статус, став Дальневосточным филиалом им. В.Л. Комарова Сибирского отделения АН СССР. В связи с новыми перспективами научной работы план комплектования библиотечных фондов увеличили почти вдвое. К услугам библиотеки стали обращаться преподаватели, специалисты промышленных предприятий и ведомственных научно-исследовательских учреждений, сотрудники партийных и административных органов.

В декабре 1958 г. директором библиотеки стала 30-летняя выпускница Московского государственного института культуры Мария Сергеевна Сопова – энергичный организатор и жизнерадостный человек с опытом библиотечной работы (работала методистом, а затем заведующей абонементом в Приморской краевой библиотеке им. А.М. Горького) [3, с. 4]. Хотя основная работа по обслуживанию читателей была налажена, в подвале оставались груды неразобранных книг, а карточки каталогов и картотек находились в таком беспорядке, что в них было трудно разобраться.

М.С. Сопова умела разговаривать с начальством: где нужно – шла на компромиссы, а где требовалось – писала резкие докладные записки. Не получив желаемого ответа, она могла пойти на прием и к руководству края. Заветной мечтой директора было увидеть библиотеку в новом современном здании. Почти каждый год в Академгородке закладывалось новое строительство, но до библиотеки очередь никак не доходила. Многочисленные походы к начальству принесли плоды в 1964 г.: Президиум филиала принял половинчатое решение временно переселить библиотеку в только что построенное здание Главного корпуса Дальневосточного филиала АН СССР. Там библиотеке было куда просторнее, чем раньше: появились читальный зал на 36 мест и абонемент с холлом для читателей, кабинеты для отделов библиотеки, двухэтажное книгохранилище.

Исторический для региональной науки 1970-й год – филиал преобразовали в Дальневосточный научный центр (ДВНЦ) Академии наук СССР – принес

изменения и библиотеке. «Президиум АН СССР, – отмечал академик М.В. Келдыш, – постановлением № 145 от 11.01.1971 г. признал необходимым создать в г. Владивостоке в составе ДВНЦ АН СССР Фундаментальную библиотеку с библиотеками в Хабаровском, Северо-Восточном и Сахалинском комплексных научно-исследовательских институтах и Институте вулканологии» (Текущий архив ЦНБ ДВО РАН. 1970 г. Распоряжения, рекомендации, протоколы вышестоящих учреждений, организаций, структур. Л. 1).

После того как в библиотеку бывшего Дальневосточного филиала СО АН СССР влились книжные фонды научных учреждений, вошедших в ДВНЦ, Фундаментальная библиотека стала насчитывать более 700 тыс. печатных единиц. Появилась мысль о получении ею статуса самостоятельного научно-исследовательского учреждения. С ходатайством об этом Академия наук выходила в Государственный комитет Совета Министров СССР по науке и технике. Увы, до нового статуса библиотеки дело так и не дошло.

Бюро Президиума ДВНЦ АН СССР 13 мая 1975 г. постановило централизовать библиотеки Владивостокской группы научных учреждений путем создания на базе этих библиотек единой сети с единым штатом, книжным фондом, централизованным комплектованием и обработкой литературы. В число филиалов Центральной научной библиотеки ДВНЦ АН СССР вошли библиотеки Биолого-почвенного института, Тихоокеанского океанологического института, Горнотажной станции, Станции Службы Солнца, а также пункт выдачи при Морском заповеднике.

Улучшилось централизованное комплектование и обработка фондов, стал создаваться сводный алфавитный и систематический каталоги, выросли штаты. Расширилась и библиографическая работа. В книжном деле библиографию называют «ариадниной нитью», и любой исследователь может подтвердить справедливость этих слов. Без точных и подробных библиографических указателей очень сложно оценить объем публикаций по теме или найти нужную литературу. За время руководства ЦНБ Сопова с сотрудниками помогла дальневосточным ученым выпустить десятки библиографий, одновременно печатая и собственные справочники. Большой популярностью пользовались указатели «Женьшень и лимонник», «Леса и лесное хозяйство Дальнего Востока», «Этнография, археология и филология народов Дальнего Востока», «Картофель на Дальнем Востоке», «Флора, растительность и растительные ресурсы Дальнего Востока. Указатель литературы (1928–1969 гг.)» и многие другие [4]. В этой работе большая роль отводилась заведующей справочно-библиографическим отделом ЦНБ, а позднее заместителю директора Анне (Галине) Петровне Кочмаревой. Высокая квалификация библиографов ЦНБ, их ответственность и добросовестность в работе были отмечены при участии в проектах центральных библиотек страны (Государственной библиотеки СССР им В.И. Ленина, Государственной публичной библиотеки им. М.Е. Салтыкова-Щедрина, Всесоюзной библиотеки иностранной литературы, Библиотеки Академии наук СССР, ГПНТБ СО АН СССР) по созданию различных сводных печатных каталогов редкой книги.

Под руководством Т.Н. Михайлюк и А.А. Набиуллиной

Издание библиографических указателей успешно продолжила Татьяна Никитична Михайлюк, которую назначили на должность директора библиотеки 7 декабря 1982 г. после неожиданной смерти М.С. Соповой.

Т.Н. Михайлюк, став библиотекарем в 1954 г., прошла практическую школу в Приморской краевой библиотеке им. А.М. Горького, а получив высшее библиотечное образование в Восточно-Сибирском институте культуры, работала старшим библиографом академической библиотеки.

В 1986 г. Михайлюк написала начальству докладную записку о сложном положении библиотеки. Упрекая руководство Центра в длительном равнодушном отношении к информационно-библиотечной деятельности, Татьяна Никитична сообщала о нехватке производственных площадей, недостатке кадров, проблемах комплектования фонда ведомственными изданиями ДВНЦ. Вопрос о библиотеке ставился и в Советском райкоме партии, и на расширенном партийном собрании ДВНЦ, и на бюро президиума ДВНЦ. В результате на 1996 г. было намечено строительство здания для библиотеки.

В 1987 г. произошло новое структурное изменение – дальневосточная наука оформилась как Дальневосточное отделение (ДВО) АН СССР. Название поменялось, а трудности остались. Татьяна Никитична беспокоилась о привлечении новых молодых кадров, о координации и эффективности всей библиотечной системы. В сентябре 1989 г. на стол начальству легла другая записка, в которой отмечалось, что в библиотеке по-прежнему не хватает рабочих площадей, резко увеличился объем работы, а «по уровню заработной платы, социальных благ ЦНБ находится на последнем месте как в ДВО, так и в городе. В любой момент библиотека может потерять значительную часть сотрудников. Чтобы вывести ЦНБ из кризиса, необходимо принять меры по ускорению проектирования и строительства здания ЦНБ; открыть в Госбанке спецсчет библиотеки для перечисления денег из внебюджетных источников дохода; разрешить внедрение бригадной оплаты в структурных подразделениях ЦНБ; выделять для сотрудников библиотеки места в общежитии и детских дошкольных учреждениях на льготных основаниях» (Текущий архив ЦНБ ДВО РАН. 1989. 1 сент.).

Об этом же позднее сообщал председателю президиума ДВО РАН академику Г.Б. Елякову и председателю Библиотечно-информационного совета ДВО РАН академик Ю.С. Оводов: «О тяжелом положении с информационным обеспечением подразделений ДВО РАН через Центральную научную библиотеку: прекратилось или прекращается поступление основных международных периодических журналов, затруднено комплектование отечественной литературой, отсутствует самое необходимое оборудование, включая компьютерное, не решены полностью вопросы оплаты труда сотрудников библиотеки. В условиях, когда резко обострилась обстановка с выделением средств на научное оборудование, материалы и экспедиционные работы, роль библиотеки в жизни и дальнейшей судьбе науки существенно возрастает. Идет переориентация исследований в пользу тем, требующих меньше затрат на проведение эксперимента, но более емких в информационном отношении. В этой связи необходимо не только сохранить, но и укрепить ЦНБ» (Текущий архив ЦНБ ДВО РАН. 1992. 23 июля. № 16020/434).

Под руководством Михайлюк библиотека успешно преодолела эти трудности, благополучно пережив и период «перестройки», и экономический кризис 90-х годов. Татьяна Никитична смогла сохранить и фонды библиотеки, и ее коллектив, продолжить обустройство книгохранилищ. Несмотря на множество забот, она постоянно училась, перенимать передовой опыт ездила в Южную Корею и США. Научилась она и открывать нужные двери, чтобы решить проблемы библиотеки и своих коллег. Она не обращала внимание на то, что власти не очень ценили ее

усилия, важнее был результат, но признание все же пришло: 15 июля 1987 г. Михайлюк присвоили звание Заслуженного работника культуры РСФСР, а в марте 1993 г. библиотека приобрела и долгожданный статус самостоятельного учреждения в составе ДВО РАН.

Путь следующего директора библиотеки Ахата Асхадовича Набиуллина начался необычно, но вполне закономерно. Защитив в 1986 г. диссертацию, став заведующим лабораторией и имея весомые научные публикации, Набиуллин приступил к созданию библиографической базы данных по новым направлениям, связанным с научной деятельностью. Председатель Президиума ДВО РАН академик В.И. Сергиенко обратил внимание на инициативного сотрудника, который, по его мнению, был в силах справиться с новыми вызовами, с которыми столкнулась научная библиотека в эру компьютеризации. Он предложил Набиуллину возглавить Центральную научную библиотеку ДВО РАН, и тот согласился. В должность директора он вступил 13 декабря 2008 г. и проработал 11 лет.

С первых дней работы в библиотеке Ахат Асхадович сразу задумался по поводу библиометрического анализа, в основе которого была идея сравнения научных результатов ученых-дальневосточников с ведущими научными школами. Набиуллин был уверен, что таким образом можно не только оценить научные результаты, но и предложить новые направления в науке. Сотрудники библиотеки стали активно участвовать в библиотечных конференциях и семинарах, видеоконференциях, стали печататься научные библиографические издания. Набиуллин говорил: «Удаленность от центра – не преграда для профессионального роста при существующей в Дальневосточном отделении телекоммуникационной сети» [5, с. 2].

Набиуллин стремился изменить статус ЦНБ ДВО РАН: единственная из всех библиотек Академии наук, она не имела статус научного учреждения. По его мнению, это сдерживало развитие. Сейчас библиотеки все больше становятся центрами сетевого взаимодействия читателей и издательств, ведь большая часть научных журналов распространяется по этой сети. Поэтому библиотекам как никогда нужны квалифицированные и знающие специалисты. Развитие современных информационных технологий, которые активно внедряются в библиотеках, невозможно без квалифицированных программистов, инженеров-электронщиков и информационных работников [6, с. 3]. Но в штате библиотеки не предусматривались ни эти должности, ни научные сотрудники, что сковывало движение вперед. У Набиуллина было множество идей: развитие современных информационных технологий, создание информационных служб и библиотечного портала, выпуск научного журнала по информационно-библиотечным проблемам Дальнего Востока, который стал бы ведущим в Азиатско-Тихоокеанском регионе и многое другое.

Сейчас библиотекой руководит Татьяна Александровна Хмель, молодой, инициативный, не боящийся трудностей директор. С новейшими веяниями в книжном деле она познакомилась на различных библиотечных конференциях и форумах, благодаря чему быстро разобралась в новой для нее области. Стараясь не ломать сложившийся порядок, всегда поддерживает инициативы сотрудников, направленные на улучшение и развитие библиотеки, сохранение фонда и внедрение новых технологий.

Как и прежние руководители, Татьяна Александровна активно отстаивает интересы библиотеки. Во взаимодействии с руководителями учреждений науки ДВО РАН решаются многие библиотечные задачи от комплектования и сохранности фондов до создания условий для работы пользователей. В течение последних

двух лет в ЦНБ открылся экспозиционный зал редкой книги, реставрационный кабинет, ежедневно пополняется электронная библиотека «Научное наследие Дальнего Востока», постепенно изменяется библиотечное пространство, ведется активная работа в социальных сетях.

Библиотечный совет

Особую миссию в деятельности ЦНБ выполняет ее общественное управление в лице библиотечного совета, в который входят известные ученые, академики и члены-корреспонденты, болеющие за книжное дело. Именно они, вникая в нужды библиотеки, отстаивали ее интересы в самые трудные времена. Председателями Библиотечного совета в разные годы были химики Павел Викентьевич Ивицкий, Всеволод Тихонович Быков, Георгий Борисович Еляков, Юрий Семенович Оводов, биологи Любовь Николаевна Васильева, Алексей Викторович Жирмунский, Николай Николаевич Воронцов, Олег Григорьевич Кусакин, инженер Филипп Георгиевич Старос, геолог Алексей Дмитриевич Щеглов, физик Александр Александрович Саранин. Особенно много сделал для библиотеки биохимик Виктор Евгеньевич Васьковский.

Сейчас библиотека имеет крепкую поддержку в лице главного ученого секретаря ДВО РАН академика Виктора Всеволодовича Богатова, курирующего библиотечно-информационную деятельность. Опытный организатор науки, активный исследователь, автор и вдохновитель интересных научных, общественных и издательских проектов Виктор Всеволодович всегда откликается на просьбы об участии.

Независимо от того, кто входил в состав совета, неофициально вокруг библиотеки всегда существовал и активно работал круг людей, ученых, организаторов науки и простых сотрудников, которые были заинтересованы в библиотеке, ее развитии и обустройстве для научной работы. Именно благодаря читательскому активу библиотека сохранилась как большое академическое книжное собрание и состоялась как крупное библиотечно-информационное учреждение.

Филиалы

Ныне ЦНБ в своей структуре, кроме функциональных отделов, имеет шесть комплексных, расположенных в отдельных учреждениях ДВО РАН. У каждого из них свой профиль, свой специализированный фонд, свое лицо. Особенность институтских библиотек ДВО РАН состоит в том, что в собирании их фондов принимали живое участие сами ученые и специалисты, добывавшие нужные издания из любых доступных источников. Острая нехватка на Дальнем Востоке необходимой литературы вызвала так называемое «хождение за три моря», когда инициативные энтузиасты из ученых специально разыскивали в обменных фондах других библиотек, букинистических книжных магазинах западной части страны, частных книжных собраниях нужные издания. В результате библиотеки получили уникальные фонды, полностью ориентированные на специфику исследований того или иного института.

В Национальном научном центре морской биологии им. А.В. Жирмунского с момента его основания открыта библиотека, основу которой составило личное книжное собрание директора ИБМ (1970–1988 гг.) академика А.В. Жирмунского. Алексей Викторович был инициатором очень многих неожиданных идей в работе

библиотеки начиная от свободного доступа ко всему фонду, организации на базе библиотеки клуба подводного плавания, лекционной работы для школьников. При проектировании здания института он отвел библиотеке помещение с прекрасным видом на море, чтобы читатели могли лучше настроиться на работу. И до сих пор библиотека (заведующая Виктория Владимировна Ермоленко) старается следовать традициям, заложенным академиком.

Отдел ЦНБ при Ботаническом саде-институте (заведующая Наталья Викторовна Медведчикова) создавался непросто. Сначала он задумывался как специализированный читальный зал, но не нашли подходящего помещения. Только когда было построено скромное здание института, в нем отвели небольшую комнату для библиотеки. Значительного труда библиотекарей стоило не только собрать отличный фонд, но и организовать работу библиотеки так, чтобы сделать ее центром научного просвещения по ботанике, цветоводству, лесоводству, садоводству. Ни одно эколого-просветительское мероприятие городского и краевого масштаба не обходится без участия библиотеки Ботанического сада-института. Поддерживая активную научно-образовательную и просветительскую работу директора института члена-корреспондента РАН д.б.н. Павла Витальевича Крестова, библиотека участвует во всех проектах и акциях института и пользуется популярностью не только у научных сотрудников, но и жителей Приморского края.

История отдела ЦНБ при Биолого-почвенном институте, ныне Федеральном научном центре биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, тоже имеет свои особенности. Он начинался со стихийно собранных частных коллекций ученых со всех уголков СССР. Его «жемчужина» – собрание редких книг. Библиотеке посчастливилось получить при строительстве здания института хорошее просторное помещение с двухъярусным книгохранилищем и светлым читальным залом. Условия для хранения библиотечного фонда и обслуживания читателей были почти идеальными, поэтому и уровень требований к библиотеке был высоким. Со временем удалось систематизировать и описать книжные коллекции, организовать работу на современном уровне, расширить доступ ученых не только к традиционному библиотечному фонду, но и электронным информационным ресурсам. Совместная работа библиотеки (заведующая отделом Наталья Геннадьевна Маяцкая) и читательского сообщества, помогающего продвигать идею любви и уважения к книге, делает все мероприятия библиотеки интересными, яркими, запоминающимися.

С 1975 г. ведет свое начало отдел при Тихоокеанском институте географии ДВО РАН (заведующая отделом Елена Борисовна Моисеевская). Это библиотека, которая поистине живет, работает, растет и развивается вместе с институтом и для него. И читатели любят свою библиотеку, относясь к ней как к родной, домашней, удобной. Большую роль в таком отношении сыграл личный пример академика РАН Петра Яковлевича Бакланова, руководившего институтом много лет, и его преемника на посту директора к.г.н. Кирилла Сергеевича Ганзея. Библиотека ведет обширную научно-просветительскую, научно-библиографическую работу, участвует в издательских проектах института и ДВО РАН, представляет институт на книжных выставках-ярмарках и других мероприятиях. Активное участие библиотеки в популяризации научных знаний среди школьников отмечено благодарностями Приморского краевого института развития образования.

Отдел при Институте истории, археологии и этнографии народов Дальнего Востока ДВО РАН в структуре ЦНБ – единственная библиотека гуманитарного

профиля. Ее возглавляет Елена Владимировна Торопова, которая имеет диплом по специальности «библиотечное дело» и получила историческое образование в ДВГУ. Фонды библиотеки уникальны, потому что, кроме временного аспекта, отличаются еще и региональной направленностью. Это многоязычное собрание печатных изданий по истории, археологии и этнографии Дальнего Востока и сопредельных государств Восточной Азии начиная с середины XVIII в. Такое книжное богатство используется не только исследователями Дальнего Востока, но постепенно становится доступным всему миру путем оцифровки и размещения в электронной библиотеке «Научное наследие Дальнего Востока» – одному из проектов ЦНБ по развитию открытого доступа к своим коллекциям. Отдел поддерживает все научно-исследовательские и образовательные проекты института и ведет разнообразную выставочную работу, привлекая новые мультимедийные формы, участвует в полевых археологических исследованиях. В последние несколько лет серьезную и обстоятельную поддержку оказывает библиотеке директор института академик РАН Николай Николаевич Крадин, являющийся читателем библиотеки еще со студенческих времен.

Про коллектив

Коллектив библиотеки всегда оставался очень живым, богатым на яркие личности и отличных профессионалов. Его основу составляют ветераны, много лет отдавшие тому, чтобы ученые имели возможность использовать уникальную, наполненную книгами и сервисами библиотеку. Марина Александровна Полоник, Ольга Васильевна Бокий, Ирина Николаевна Сидельникова, Ольга Борисовна Калиниченко, Светлана Семеновна Кожевина, Наталия Тимофеевна Ембулаева, Ольга Петровна Панурина, Галина Михайловна Агапова, Надежда Борисовна Овчинникова являются примером для следующих поколений библиотечно-информационных специалистов.

В апреле 2022 г. Министерство науки и высшего образования РФ удостоило медалями «За безупречный труд и отличие III степени» за значительные заслуги в сфере науки и добросовестный труд главного хранителя фондов О.В. Бокий и заместителя директора по библиотечной и научно-методической работе М.А. Полоник.

Преимуществом традиций и сохранение достигнутого может обеспечить только добрый профессиональный контакт и желание передать свой опыт молодым. Многие из тех, кто пришел в библиотеку еще в начале карьеры, состоялись как замечательные профессионалы, умелые организаторы, творческие люди. Именно им приходится выполнять задачи сегодняшнего дня, поддерживая и развивая накопленный библиотекой потенциал. Это всегда удается Наталье Юрьевне Горлачевой, Екатерине Викторовне Михеевой, Екатерине Владимировне Ермаковой, Юлии Андреевне Коптевой, Елене Михайловне Седовой, Михаилу Сергеевичу Пургину и Галине Валерьевне Кулеш.

В последние три непростых года библиотека была рада принять в свой коллектив немногих, но лучших библиотекарей края. Не новички в библиотечном деле, энергичные, умные, умелые специалисты возглавили новые направления в работе библиотеки. Поначалу это виделось только решением проблемы с кадрами, а оказалось мощным движением вперед. С приходом Натальи Евгеньевны Журавской, Нины Витальевны Поповой, Юлии Владимировны Титовой, Гузель Закиевны



Коллектив библиотеки. 2022 г.

Хайрутдиновой, Надежды Владимировны Сеченской библиотека получила приток новых идей, интересных мероприятий, активных действий – всего того, что делает работу коллектива осмысленной, настоящей, направленной в будущее.

Заключение

История успеха коллектива библиотеки создана из усилий каждого сотрудника. Мотивом ежедневной работы является общее дело, общие цели и интересы. Главное – как ты стараешься выполнять эту высокую миссию – служение книге и науке.

Для человека 90-летие – солидный возраст, но для научной организации это только начало пути. В прошлом библиотека пережила немало трудностей. Три переезда не могли не отразиться на ее достижениях. Увы, так и не было построено здание. На первый взгляд, книжное дело и библиотеки в эпоху электронной революции испытывают драматические проблемы. Многие утверждают, что библиотеку можно сравнить с сердцем. Если жива библиотека, жива и академическая жизнь.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Маракуев А.В. Каталог китайских рукописей в Библиотеке ДВ отделения АН СССР: [На правах рукописи]. Владивосток: ДВ отд-ние АН СССР, 1932. 34 с.
2. Богатов В.В. Из истории становления Дальневосточного научного центра АН СССР // Вестн. ДВО РАН. 2020. № 5. С. 5–17.

3. Михайлюк Т. Главный библиотекарь центра // Дальневост. ученый. 1978. 9 авг. № 33. С. 4.
4. Перечень библиографических изданий ЦНБ ДВО РАН. – <https://www.cnb.dvo.ru/90-let-cznb/istoriya-cznb-v-publikacziyah/> (дата обращения: 16.07.2022).
5. Набиуллин А. Наша библиотека должна быть поистине научной // Дальневост. ученый. 2010. 30 июня. № 14. С. 2.
6. Куликова А. Надежный проводник в океане информации // Дальневост. ученый. 2014. 26 марта. № 6. С. 3.

REFERENCES

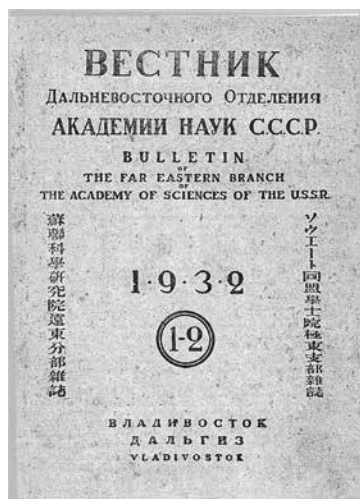
1. Marakuev A.V. Katalog kitaiskikh rukopisei v Biblioteke DV otdeleniya AN SSSR [As a manuscript]. Vladivostok: Far East Branch of the Academy of Sciences of the USSR; 1932. 34 p. (In Russ.).
2. Bogatov V.V. Iz istorii stanovleniya Dal'nevostochnogo nauchnogo tsentra AN SSSR *Vestnik of the FEB RAS*. 2020;(5):5-17. (In Russ.).
3. Mikhailiuk T. Glavnyi bibliotekar' tsentra. *Dal'nevostochnyi uchenyi*. 1978. 9 Aug. N 33. P. 4. (In Russ.).
4. Perechen' bibliograficheskikh izdaniy TSNB DVO RAN = [List of bibliographic publications of the Central Scientific Library of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences]. (In Russ.). – <https://www.cnb.dvo.ru/90-let-cznb/istoriya-cznb-v-publikacziyah/> (available from: 07/16/2022).
5. Nabiullin A. Nasha biblioteka dolzhna byt' poistine nauchnoi. *Dal'nevostochnyi uchenyi*. 2010. June 30. N 14. P. 2. (In Russ.).
6. Kulikova A. Nadezhnyi provodnik v okeane informatsii. *Dal'nevostochnyi uchenyi*. 2014. March 26. N 6. P. 3. (In Russ.).

Журналу «Вестник ДВО РАН» – 90 лет

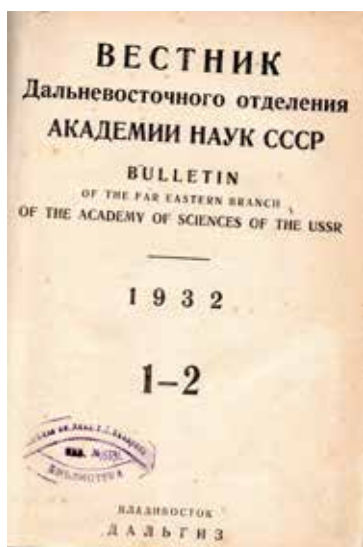
В ноябре 1932 года увидел свет первый номер (вернее было бы сказать, первый выпуск, который был обозначен как № 1–2) журнала «Вестник Дальневосточного отделения (впоследствии – филиала) АН СССР». Первым редактором его стал вице-президент АН СССР и председатель ДВО АН СССР академик В.Л. Комаров.

На титульном листе название журнала было приведено на четырех языках – русском, английском, китайском и корейском. Основное содержание составляли научно-исторические обзоры за прошедшие 10 лет советской власти на Дальнем Востоке. Журнал выходил до 1939 года, когда издание было прекращено, по официальной версии – в связи с угрозой войны. Всего за эти годы было издано 33 номера журнала.

В 1990 году по ходатайствам Президиума ДВО и Президиума АН СССР издание журнала было возобновлено – «в целях дальнейшего развития науки на Дальнем Востоке, установления и укрепления связей между научными учреждениями ДВО АН СССР». Главным редактором был назначен историк академик А.И. Крушанов, с 1992 года – биолог и эколог академик А.В. Жирмунский. В напутственном слове к редколлегии и редакции возрожденного журнала академик И.М. Макаров, главный редактор «Вестника Академии наук СССР», подчеркивал правомерность появления нового журнала и называл его вторым в стране общеакадемическим изданием, призванным обсуждать на своих страницах проблемы, которые представляют интерес для всех ученых Дальнего Востока, причем работающих как в подразделениях Академии, так и в отраслевых исследовательских центрах, и в вузах. «Нельзя упускать из виду, что Академия наук СССР обязана интегрировать все научные силы, иными словами, быть высшим научным учреждением страны» (Вестник ДВО АН СССР. 1990. № 1). Стиль общеакадемического издания академик И.М. Макаров определял как научно-популярную публицистику: «Если автор физик, то он обязан позаботиться о том, чтобы его поняли лирики, и наоборот, специалиста по биологии моря с интересом должен читать вулканолог, кибернетика – археолог». Этому же взгляду придерживался и А.В. Жирмунский и неукоснительно соблюдал принцип доступности и понятности публикуемых материалов как широкому кругу ученых, так и не специалистам. «Наш журнал, – писал Алексей Викторович, – волею своего положения, многопрофильный. И потому статьи в нем должны быть доступны «и физику, и лирику», т.е. человеку любой



Титульный лист первого номера журнала



Колонтитул первого номера журнала

специальности с достаточно широкими интересами... Узкоспециальные статьи, посвященные хотя и важным для специалистов вопросам, но не представляющие интереса для более широкого круга читателей, журналу не подходят» (Возрожденному «Вестнику ДВО РАН» – 10 лет / А.В. Жирмунский // Вестн. ДВО РАН. 2000. № 3). Неслучайно поэтому для налаживания выпуска журнала он пригласил в качестве ответственного секретаря сотрудника московского научно-популярного журнала «Химия и жизнь» А.Д. Иорданского.

90-е годы – время мутное, сложное, «лихое», как окрестили его в народе. И новое издание чуть было не потонуло в водовороте базарной экономики. Приморский полиграфкомбинат отказывался печатать сложный и малотиражный «Вестник». «Кадры, финансово-экономические дела, снабжение – везде приходилось идти по целине...

И пока что бедной редакции «Вестника» остается только в отчаянии грызть себе локти, видя, как на глазах стареют, не увидев света, с великим трудом собранные и подготовленные статьи, как отворачиваются поддавшиеся было на уговоры авторы, как недоумевают обманутые подписчики...

Так, без особых надежд на будущее, заканчивается второй год жизни журнала. Переживет ли он третий?» – задается вопросом А.Д. Иорданский. (Смерть на третьем году жизни грозит журналу «Вестник ДВО РАН» / А.Д. Иорданский // Вестн. ДВО РАН. 2000. № 3). Пережить удалось. До 1993 года журнал печатали в московской типографии № 9 НПО «Всероссийская книжная палата», а затем начала функционировать собственная полиграфическая база, создаваемая в издательстве «Дальнаука», где и стал печататься в дальнейшем «Вестник». Постепенно журнал обретал свое лицо, свой стиль, свою особую атмосферу. Важное значение здесь придавалось культуре оформления статей, как и вообще культуре общения. Многие статьи сопровождалась резюме на английском языке, и, как вспоминает Г.П. Малых (на тот момент ответственный секретарь журнала), «английское резюме не было декоративным элементом. В лучшие годы журнал имел до сорока иностранных подписчиков, его приобретали библиотеки всех крупнейших научных центров мира» (Памяти главного редактора журнала академика РАН Алексея Викторовича Жирмунского / Г.П. Малых // Вестн. ДВО РАН. 2000. № 6. С. 3–7).

На выход юбилейного, 100-го, номера журнала редакция получила Правительственную телеграмму за подписью главного ученого секретаря РАН академика РАН Н.А. Платэ. В ней, в частности, говорилось: «Мы с удовлетворением отмечаем, что журнал успешно выполняет основные свои задачи по информированию читателей о достижениях дальневосточных ученых, о деятельности Дальневосточного отделения Российской академии наук, отраслевых институтов, а также вузов и других научных учреждений Дальнего Востока, способствует контактам между учеными разных специальностей, обсуждает проблемы развития науки на Дальнем Востоке России».

В 2000 году ушел из жизни Алексей Викторович Жирмунский. Непродолжительное время в 2001–2002 гг. пост главного редактора занимал академик РАН

Петр Григорьевич Горовой. С сентября 2002 г. и по настоящее время главным редактором журнала является вице-президент РАН, председатель ДВО РАН академик РАН Валентин Иванович Сергиенко.

2000-е годы были, быть может, не такими «лихими», как 90-е, но для российской науки начало нового века оказалось таким же удручающе мутным. В стране господствует ориентация на западноевропейские и американские модели общества потребления, происходит ликвидация советской системы образования, науку пытаются насильно «интегрировать» в рыночную экономику, ее деятельность приравнивается к оказанию услуг, как «деятельность» бани, столовой или парикмахерской. Мерилом труда ученого и научного учреждения становятся цифры – индекс Хирша, импакт-фактор, SNIP и другие библиометрические показатели. Наконец, в 2013 году происходит фактическая ликвидация Российской академии наук – высшее «достижение» либеральных реформаторов от науки. Конечно, в новых условиях должны были измениться и журнал, и его редакционная политика. Он уже не мог быть общеакадемическим – в отсутствие Академии наук как таковой. Принцип А.В. Жирмунского «узкоспециальные статьи нам не подходят» сменился на прямо противоположный, поскольку в связи с требованиями времени журнал был включен в Российский индекс научного цитирования и Перечень изданий Высшей аттестационной комиссии, в которых могут публиковаться основные результаты кандидатских и докторских диссертаций. Сегодня это мультидисциплинарный журнал, публикующий статьи по 30 научным специальностям из трех групп: Биологические науки, Химические науки, Науки о Земле и окружающей среде. В редколлегии журнала 12 академиков РАН, 9 членов-корреспондентов РАН, 9 докторов наук. Журнал находится в открытом доступе, полные тексты статей можно увидеть на сайте www.vestnikdvo.ru и в Elibrary. Несмотря на то что приоритет в публикациях отдается дальневосточной тематике и дальневосточным авторам, журнал, особенно в последнее время, предоставляет свои страницы авторам из других регионов и стран. Материалы на общезначимые, общенаучные темы также могут увидеть свет на страницах журнала в таких рубриках, как «Точка зрения», «Гипотезы», «Из истории науки», «Научная смена», «Музеи», «Экспедиции» и других.

Что касается рейтингов, то в SCIENCE INDEX «Вестник ДВО РАН» находится на 1221-м месте из 4417, среди мультидисциплинарных журналов – в первой сотне, на 86-м из 500. Для регионального непереводаемого журнала это достойное положение, тем более что есть к чему стремиться. В любом случае все эти годы журнал остается верным высоким научным стандартам.

*В.С. Жердев, заместитель главного редактора журнала «Вестник ДВО РАН»
(Центральная научная библиотека ДВО РАН, Владивосток).
E-mail: olimp7@rambler.ru*

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 В.В. Богатов
Номер подготовили к печати В.С. Жердев,
Л.А. Русова, С.А. Машкин, В.Е. Старовойтова
Компьютерный набор Г.А. Вернцовой
Компьютерная верстка И.В. Мирмановой
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 Владивосток,
просп. Красного Знамени, д. 10–20
Тел. +79242630160
E-mail: naukadv2000@mail.ru

Отпечатано в ООО «ПСП95»
Владивосток, ул. Русская, 65, корпус 10

Выход в свет 31.10.2022 г.

Формат 70 × 108/16

Печать офсетная

Усл. печ. л. 13,8

Уч.-изд. л. 12,43

Тираж 300 экз.

Заказ ИВ221546

Цена свободная