

КОЛЛЕКЦИИ МИКРОВОДОРОСЛЕЙ И ЦИАНОБАКТЕРИЙ В РОССИИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ, ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ¹

© 2023 г. А. Д. Темралева^а, *, М. А. Синетова^б

^аФИЦ “Пушкинский научный центр биологических исследований РАН”, Пушкино, 142290 Россия

^бИнститут физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва, 127276 Россия

*e-mail: temraleeva.anna@gmail.com

Поступила в редакцию 05.05.2023 г.

После доработки 29.05.2023 г.

Принята к публикации 30.05.2023 г.

Биологические коллекции являются систематизированными хранилищами живых культур или фиксированных препаратов и обеспечивают исследователей необходимым материалом как для фундаментальных и прикладных работ, так и для образовательной деятельности. Коллекционный образец — единственное достоверное подтверждение существования живого организма во времени и пространстве, многофункциональность которого позволяет изучать его и как часть биологического разнообразия, и как биоресурс для развития биотехнологий. Микроводоросли — это древняя экологическая группа различных в таксономическом плане организмов (цианобактерии, зеленые, диатомовые, желто-зеленые, харофитовые и др.), обладающих уникальной физиологией, широкой экологической валентностью и пластичностью, что позволяет им доминировать в различных экологических местообитаниях. Они стали не только эволюционно успешной группой микроорганизмов, но и коммерчески востребованы в мониторинге окружающей среды, сельском хозяйстве, биоэнергетике, фармацевтической и пищевой промышленности. В статье приводится анализ данных независимого анкетирования 21 российской коллекции микроводорослей и цианобактерий. Опрос включал информацию об основных характеристиках коллекции (фонд, профиль, методы, документооборот и др.), возникающих проблемах и путях их решений.

Ключевые слова: коллекции, микроводоросли, цианобактерии, биоресурсы, анкетирование

DOI: 10.31857/S0026365623600232, **EDN:** LAHZSR

Биологические коллекции, несомненно, являются надежной основой фундаментальной науки и служат, в первую очередь, для изучения биоразнообразия и разработки системы органического мира. Цианобактерии и микроводоросли являются не только неотъемлемым компонентом биоразнообразия различных экосистем и модельными организмами в экологии, физиологии растений, фотобиологии, геной инженерии, но и широко применяются для решения ряда биотехнологических задач (аквакультура, биотопливо, биоремедиация, производство удобрений и биологически активных веществ противовирусного, антибактериального, фунгицидного действия и др.). Коллекции культур микроводорослей и цианобактерий — это организованные и систематизированные хранилища живых культур или фиксированных препаратов, позволяющие использовать разнообразие

этих организмов для фундаментальных и прикладных работ. Коллекции обеспечивают долгосрочное сохранение и распространение штаммов с известной идентичностью, предоставляют информацию для их успешного культивирования и предлагают разнообразные услуги промышленным, научным и образовательным организациям. Подобные депозитарии чрезвычайно важны для развития таких прикладных направлений как фармацевтика, медицина и персонализированные подходы к сохранению здоровья человека, генетические технологии, пищевая промышленность, биоэнергетика, экологичное земледелие.

Для обеспечения сохранения и развития коллекций в соответствии с мировыми стандартами, а также эффективного и рационального их использования в интересах реализации Стратегии научно-технологического и экономического развития России сегодня наблюдается тенденция к интеграции коллекций одинакового типа по сетевому принципу организации под эгидой создава-

¹ Дополнительная информация для этой статьи доступна по doi 10.31857/S0026365623600232 для авторизованных пользователей.

емых крупных биоресурсных центров (Хлесткина и соавт., 2022). Однако эта идея совсем не нова. Координация деятельности отечественных альгологических коллекций началась в 1986 г. с совместной работы по созданию информационного банка данных по штаммам микроводорослей (Владимирова, 1991). В результате было опубликовано три сводных каталога: “Коллекции микроводорослей в СССР” (1988), “Index of cultures in the microalgal collections in the USSR, Bulgaria, Czechoslovakia, Germany, Mongolia and Vietnam” (1991) и “Каталог культур микроводорослей в коллекциях СССР” (1991). После распада Советского Союза данная деятельность была приостановлена. В новейшей истории России интерес к коллекционному делу возрос после утверждения Правительством Российской Федерации плана мероприятий (“дорожной карты”) “Развитие биотехнологий и геномной инженерии” (Распоряжение Правительства РФ от 18 июля 2013 г. № 1247-р), в котором значился пункт 8 “Утверждение комплекса мер по системной поддержке биологических коллекций микроорганизмов и режима доступа к ним”. В 2014 г. по Распоряжению ФАНО России была создана рабочая группа по подготовке предложений для реализации мероприятий данного пункта, в состав которой вошли и авторы данной статьи. В 2017 г. был создан информационный портал “Биоресурсные коллекции научных организаций” (www.biores.cytogen.ru), который в настоящее время перестал обновляться. В 2022 г. на VI Всероссийской научной конференции с международным участием “Водоросли: проблемы таксономии и экологии, использование в мониторинге и биотехнологии”, проходившей на Звенигородской биологической станции им. С.Н. Скадовского, был проведен тематический круглый стол, посвященный коллекциям микроводорослей и цианобактерий (куратор М.А. Синетова, ИФР РАН; докладчик А.Д. Темралеева, ИФХиБПП РАН). Руководители официальных и рабочих российских коллекций микроводорослей и цианобактерий обсудили проблемы их поддержания и развития и одобрили идею анкетирования в качестве первого шага по координации работы альгологических коллекций и возможного дальнейшего сотрудничества. Данная работа является личной инициативой авторов статьи, которые разработали анкету (табл. S1) и разослали ее всем давшим согласие на опрос респондентам. Подобранные вопросы позволили не только оценить текущее состояние коллекций микроводорослей и цианобактерий и перспективы их развития, но и выявить проблемы и пути улучшения коллекционной деятельности в России.

Всего было разослано в действующие официальные и рабочие коллекции микроводорослей и цианобактерий 27 приглашений к участию в опро-

се, из них не получено обратной связи от коллекции водорослей Сибири (АССС) Сибирского федерального университета и коллекции микроводорослей в ЦКП Ресурсная коллекция “Морской биобанк” Национального научного центра морской биологии Дальневосточного отделения РАН. Еще четыре коллекции по тем или иным причинам отказались участвовать в опросе (коллекции MSU_ALG_DMA, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова; BOROK, Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН; коллекция мутантных штаммов водорослей, Институт фундаментальных проблем биологии РАН и коллекция водорослей кафедры биологии растений, селекции и семеноводства, микробиологии Вятского государственного агротехнологического университета). В результате анкетирования прошли руководители или кураторы 21 коллекции микроводорослей и цианобактерий, часть из которых находится в одном учреждении (табл. 1). Последнее связано с оптимизацией и объединением многих научных институтов в более крупные федеральные исследовательские центры. Как правило, коллекции микроводорослей и цианобактерий учреждены в научных организациях, в вузах имеется только четыре коллекции микроводорослей и цианобактерий.

Подавляющее большинство коллекций созданы за последние два десятилетия, и только четыре из них (BAC, CALU, IPPAS, LABIK) организованы еще в прошлом веке. Всего в каталоге Всемирной федерации коллекций культур (World Federation for Culture Collections, WFCC) по состоянию на 2023 г. зарегистрировано 29 коллекций из России, из них 6 – альгологические, принявшие участие в опросе (<https://ccinfo.wdcm.org/>). На портале “Научно-технологическая инфраструктура Российской Федерации” (<https://ckp-rg.ru/>) в качестве уникальных научных установок (УНУ) зарегистрированы 6 коллекций: IPPAS, ACSSI, СКСМ, SYKOA в составе УНУ “Научный гербарий Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (SYKO)”, коллекция цианопрокариот в составе УНУ “Гербарий Полярно-альпийского ботанического сада-института (КРАВГ)”, коллекция агрономически полезных цианобактерий в составе УНУ “Крымская коллекция микроорганизмов”. Еще две – в качестве центров коллективного пользования (ЦКП): IRK-A в составе ЦКП “Биоресурсный центр СИФИБР СО РАН” и IBSS в составе ЦКП “Коллекция гидробионтов мирового океана”. Почти поровну разделились мнения об учредителе коллекции: 10 респондентов считают учредителем организацию или подразделение, 9 – физическое лицо, остальные затруднились ответить на этот вопрос.

Наибольшим фондовым объемом (4558 штаммов) обладает коллекция лаборатории молеку-

Таблица 1. Российские коллекции микроводорослей и цианобактерий, принявшие участие в анкетировании (в алфавитном порядке)

Наименование, акроним	Наименование организации, город	Год образования	Номер коллекции при регистрации в WFCC, тип и номер коллекции при регистрации на https://ckp-rf.ru/	Ссылка на сайт коллекции
Альгологическая коллекция ИФХиБПП РАН, ACSSI	Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино	2016	WFCC 1132, УНУ 761664	http://acssi.org/
Байкальская альгологическая коллекция, ВАС	Лимнологический институт, Иркутск	1998	–	–
Коллекция агрономически полезных цианобактерий	ФГБУН «НИИ сельского хозяйства Крыма», Симферополь	2012	УНУ 507484	https://niishk.site/unikalnye-nauchnye-ustanovki/unu-kollekciya-mikroorganizmov/
Коллекция биотехнологически значимых микроводорослей, NAMSU	Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва	2018	–	–
Коллекция водорослей БИН РАН, LAVIK	Ботанический институт РАН им. В.Л. Комарова, Санкт-Петербург	1985	–	–
Коллекция водорослей и цианобактерий БГПУ, ВСАС	Башкирский государственный педагогический университет имени М. Акмуллы, Уфа	2012	WFCC 1023	https://bcac.site/
Коллекция диатомовых водорослей Евро-Арктического региона в составе гербария ИППЭС КНЦ РАН, INEP	Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ, Апатиты	2012	–	https://inep.ksc.ru/index.php/mega/others-features/article-formats
Коллекция диатомовых водорослей Мирового океана (World Ocean Diatoms Collection), WODC	Карадagsкая научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН, филиал Федерального государственного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Феодосия	2022	–	https://ibss-ras.ru/about-ibss/structure-ibss/tsentry-kollektivnogo-polzovaniya/col-lection-of-diatoms-of-world-ocean/

Таблица 1. Продолжение

Наименование, акроним	Наименование организации, город	Год образования	Номер коллекции при регистрации в WFCC, тип и номер коллекции при регистрации на https://cfr-rg.ru/	Ссылка на сайт коллекции
Коллекция живых штаммов микроводорослей в составе научного гербария Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (SYKO), SYKOA	Институт биологии ФИЦ Коми НЦ УРО РАН, Сыктывкар	2010	WFCC 1125, УНУ 507466	https://ib.komisc.ru/sykoa
Коллекция культур водорослей в составе ЦКП "Биоресурсный центр СИФИБР СО РАН", IRK-A	Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск	2017	ЦКП 478196	http://www.sifibr.irk.ru/collec-tion.html
Коллекция культур микроводорослей и цианобактерий ЦКП "Коллекция гидробионтов Мирового океана", IBSS	ФИЦ "Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН", Севастополь	2000	WFCC 1201, ЦКП 466047	https://ibss-ras.ru/about-ibss/structure-ibss/tsentry-kollektivnogo-polzovaniya/col-lection-of-hydrobionts-of-world-ocean/index.php
Коллекция лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН	Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва	2011	—	—
Коллекция микроводорослей и цианобактерий, IPPAS	Институт физиологии растений им. К.А. Тимирязева РАН, Москва	1958	WFCC 596, УНУ 507532	http://cellreg.org/ecophysiology-of-microalgae/
Коллекция цианобактерий и водорослей лаборатории ботаники ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, VSA	Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток	2018	—	—
Коллекция цианобактерий, водорослей и паразитов водорослей в составе ресурсного центра "Культирование микроорганизмов", CALU	Научный парк Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург	1959	WFCC 461	https://researchpark.spbu.ru/col-lection-csem-rus/1628-csem-kollekciya-calu-rus

Таблица 1. Окончание

Наименование, акроним	Наименование организации, город	Год образования	Номер коллекции при регистрации в WFCC, тип и номер коллекции при регистрации на https://ckp-rg.ru/	Ссылка на сайт коллекции
Коллекция цианопрокариот лаборатории флоры и растительности в составе гербария Полярно-альпийского ботанического сада-института, КРАBG	Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина, Апатиты	2014	УНУ 499397	https://isling.org/cyano
Рабочая альгологическая коллекция научной лаборатории биотехнологий	Астраханский государственный университет им. В.Н. Тагичева, Астрахань	2010	–	–
Рабочая коллекция водорослей Е.С. Гусева	Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва	2011	–	–
Рабочая коллекция галоалкалофильных цианобактерий лаборатории реликтовых микробных сообществ ИНМИ РАН	ФИЦ “Фундаментальные основы биотехнологий” РАН, Москва	2007	–	–
Рабочая коллекция живых культур каротиногенных микроводорослей ФИЦ ИнБЮМ в составе коллекции культур микроводорослей и цианобактерий (IBSS) ЦКП “Коллекция гидробионтов Мирового океана”, IBSSca	ФИЦ “Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН”, Севастополь	2002	–	–
Сетевая коллекция симбионтных микроорганизмов и их консорциумов, СКСМ	Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза Уральского отделения РАН, Оренбург	2022	УНУ 3564372	https://ikvs.info/biobank/

Таблица 2. Характеристика фонда российских коллекций микроводорослей и цианобактерий

Общий фондовый объем			Количество типовых видов			Количество дублирующих образцов		Наличие каталога	
До 100 штаммов	От 100 до 500	Свыше 500	Нет	От 1 до 50	Более 50	Один	Два и более	Есть	Нет
8	9	4	11	7	3	0	21	16	5

лярной систематики водных растений ИФР РАН, но их оформление в виде каталога отсутствует. В целом, преобладают коллекции с небольшим (до 100 штаммов) или средним (до 500 штаммов) объемом фонда (табл. 2). При этом только 7 коллекций имеют более 50% фонда хранения, идентифицированного с помощью молекулярно-генетического анализа: ACSSI (78%), ВАС (60%), КРАВГ (61%), NAMSU (67%), VCA (77%), коллекция микроводорослей лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН (55%) и рабочая коллекция Е.С. Гусева (100%). В большинстве коллекций типовые виды водорослей отсутствуют или представлены небольшим количеством штаммов. Дублирующие образцы в коллекциях представлены, как минимум, в двух повторностях. Развитие в учреждениях информационных технологий находится на недостаточно высоком уровне: только 12 коллекций из 21 имеют свой сайт, и 11 коллекций поддерживают информацию о коллекционных фондах в форме каталога в открытом доступе. Информацию о некоторых коллекциях также можно найти в виде отдельных статей в журналах или сборниках, например ACSSI (Москаленко и соавт., 2015), CALU (Pinevich et al., 2004), IBSSca (Данцюк и соавт., 2021), INEP (Боровичёв и соавт., 2018), IPPAS (Владимирова и соавт., 1991), КРАВГ (Melekhin et al., 2019), LABIK (Андреева, Лукницкая, 1991), SYKOA (Новаковская, Патова, 2012), WODC (Давидович и соавт., 2017).

Таксономический состав фондов опрошенных российских альгологических коллекций охватывает практически все известные группы водорослей, включая прокариотические цианобактерии и эукариотические зеленые, харофитовые, диатомовые, эустигматофитовые, желто-зеленые, золотистые, криптофитовые, эвгленовые, гаптофитовые, динофитовые и красные водоросли (табл. 3). Некоторые коллекции специализируются на определенных группах водорослей: IBSSca, LABIK – только на Chlorophyta; INEP, WODC – только на Bacillariophyta; КРАВГ, коллекция агрономическая коллекция цианобактерий, рабочая альгологическая коллекция научной лаборатории биотехнологий, рабочая коллекция галоалкалофильных цианобактерий лаборатории реликтовых микробных сообществ ИНМИ РАН – только на Суа-

nobacteria. Часть коллекций имеют в своем фонде представителей пяти и более отделов водорослей: ACSSI, CALU, IBSS, IPPAS, SYKOA, VCA и коллекция лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН. Остальные занимают промежуточное положение. Кроме того, две из 21 коллекций – CALU и СКСМ – содержат в своих фондах помимо водорослей их паразитов (нефотосинтезирующих бактерий, протистов, микроскопических грибов и вирусов) и симбионтов (бактерий, архей и гетеротрофных протистов) соответственно.

Пресные водоемы являлись самым частым источником изоляции коллекционных культур водорослей (19 из 21 коллекций); далее шли почвы (15 из 21), биокорочки (13 из 21), морские водоемы (8 из 21) и снег и другие местообитания, например, лишайники, термальные источники, содовые и соленые озера, скальные ванны, обрастания камней, сок тополя и пр. (по 7 и 8 из 21 коллекции соответственно) (рис. 1.1). Две коллекции указали один профиль специализации, 8 коллекций – два, остальные – три и более, из них наиболее популярными были разнообразие и биотехнология – по 16 и 15 коллекций из 21 соответственно (рис. 1.2).

По данным анкетирования наиболее общепринятыми методами идентификации коллекционных экземпляров является морфологический и молекулярно-генетический анализы (20 и 18 коллекций соответственно), биохимический скрининг выполняют 8 коллекций из 21, ультраструктурный анализ – 2 из 21, и проверку на репродуктивную совместимость проводит только одна коллекция WODC (рис. 1.3). Результаты опроса подтвердили традиционный метод периодических пересевов в качестве основного и в большинстве случаев единственного метода поддержания коллекционных экземпляров (20 коллекций из 21). Это связано с простотой исполнения и дешевизной этого метода, хотя он достаточно времязатратный и не обеспечивает стабильного сохранения водорослей. Еще три российские коллекции микроводорослей и цианобактерий используют высушивание и две – приготовление постоянных препаратов. И только две коллекции (IPPAS и NAMSU) технически оснащены для реализации более современного и эффективного метода низкотемпературного хранения культур при $-70...-80^{\circ}\text{C}$ (рис. 1.4). Ни в

Таблица 3. Таксономический спектр фондов российских коллекций микроводорослей и цианобактерий по отделам

Коллекция	Bacillario	Charo	Chloro	Crypto	Cyano	Eugleno	Hapto	Mio	Ochro	Rhodo
ACSSI	1	12	303	0	97	0	0	0	11	0
Astr	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0
BAC	0	0	20	0	30	0	0	0	0	0
CALU	3	0	473	0	510	3	0	0	0	3
Gusev	0	0	92	65	0	0	0	0	50	0
IBSS	16	0	62	0	16	0	6	11	2	2
IBSSca	0	0	87	0	0	0	0	0	0	0
IPPAS	0	0	214	0	187	1	0	0	8	20
INER	3700*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
INMI	0	0	2	0	37	0	0	0	0	0
IRK-A	0	27	300	0	50	0	0	0	23	0
KPABG	0	0	0	0	310	0	0	0	0	0
LABIK	0	0	100	0	0	0	0	0	0	0
Molsyst	4182	72	263	9	0	11	0	0	21	0
Simp	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0
SYKOA	0	57	307	26	50	1	0	0	44	0
VCA	122	11	158	0	78	0	0	0	10	0
WODC	500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
СКСМ	2	0	29	0	3	0	0	0	0	0

Примечание. Bacillario – Bacillariophyta; Charo – Charophyta; Chloro – Chlorophyta; Crypto – Cryptista; Cyano – Cyanobacteria; Eugleno – Euglenozoa; Hapto – Haptophyta; Mio – Miozoa; Ochro – Ochrophyta, включая классы Chrysophyceae, Eustigmatophyceae и Xanthophyceae; Rhodo – Rhodophyta.

* Только постоянные препараты. BCAC, NAMSU – нет данных. Систематика водорослей дана согласно AlgaeBase (Guiry, Guiry, 2023).

Сокращения: Astr – рабочая альгологическая коллекция научной лаборатории биотехнологий, Астрахань; Gusev – рабочая коллекция водорослей Е.С. Гусева, Москва; INMI – рабочая коллекция галоалкалофильных цианобактерий лаборатории реликтовых микробных сообществ ИНМИ РАН, Москва; Molsyst – коллекция лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН; Simp – коллекция агрономически полезных цианобактерий, Симферополь; в остальных случаях указаны акронимы коллекций.

одной коллекции не используется криоконсервация, самый эффективный, но и самый дорогостоящий метод длительного хранения культур.

Общий объем фондов всех опрошенных российских коллекций микроводорослей и цианобактерий составляет более 25 тыс. единиц хранения, включая живые культивируемые штаммы, постоянные препараты и высушенные гербарные образцы. При этом дублирование коллекций по поддержанию примерно одинаковых специализированных фондов маловероятно. Наоборот, уникальность коллекционных фондов абсолютна, т.к. все без исключения коллекции пополняют свои фонды за счет самостоятельных работ по выделению водорослей из природных источников (рис. 2.1). Так, например, штаммы, изолированные с территории Евро-Арктического региона, содержат в своих фондах сразу три коллекции, которые, тем не менее, имеют таксономическую специализацию: основная доля фонда коллекции KPABG представлена цианобактериями, SYKOA – зелеными водорослями и INER – диатомовыми. Байкальский регион изучают сотрудники коллекций

BAC и IRK-A, причем первая коллекция – непосредственно озеро Байкал, а вторая – наземные экосистемы региона. Основной фонд коллекции LABIK собран с территории Северо-Запада России, ACSSI – с Европейской части России, VCA – с Дальнего Востока. Коллекции CALU, IPPAS и лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН отличает широкий перечень мест изоляции штаммов водорослей, как из различных регионов страны, так и всего мира. Остальные коллекции имеют профильную специализацию: рабочая коллекция водорослей Е.С. Гусева состоит из штаммов редких золотистых и криптофитовых водорослей тропических регионов; BCAC включает штаммы из наземных экстремальных местобитаний; рабочая коллекция галоалкалофильных цианобактерий лаборатории реликтовых микробных сообществ ИНМИ РАН – экстремофильные галофильные и алкалофильные цианобактерии, изолированные из соленых и содовых озер; СКСМ – галофильные и галотолерантные микроводоросли. Часть коллекций используют штаммы микроводорослей в качестве модельных объектов при изучении репродуктивной биологии (WODC) и

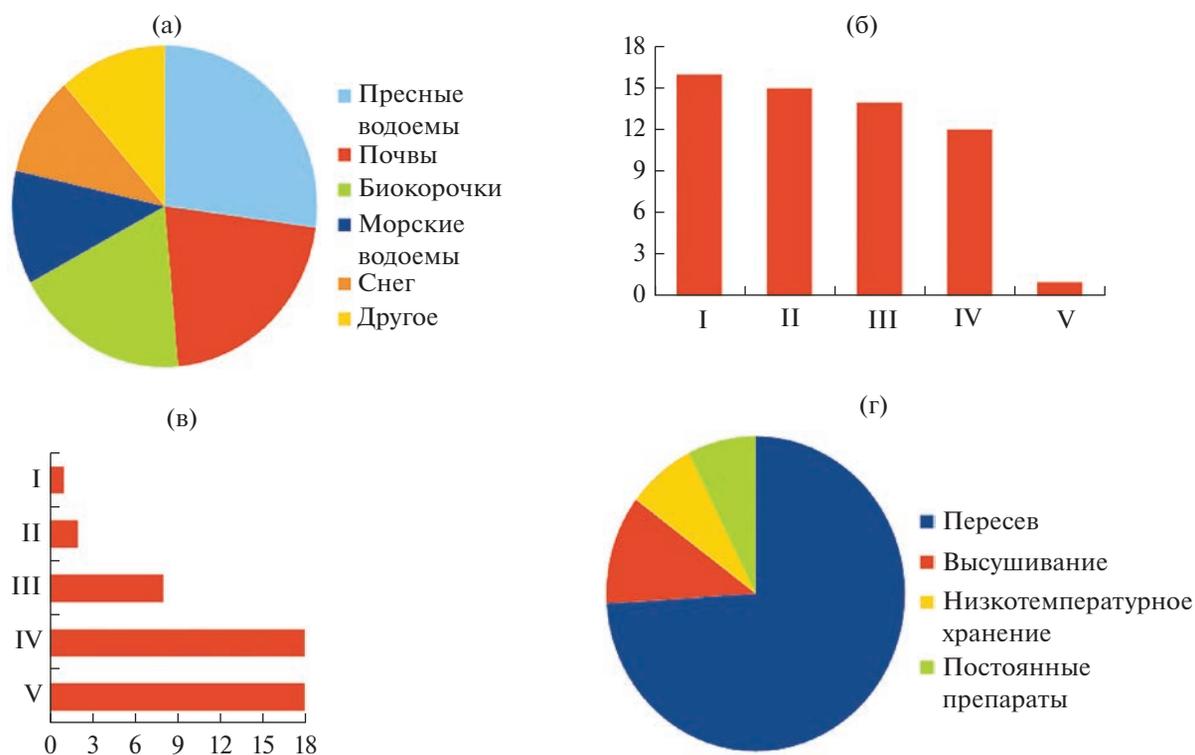


Рис. 1. Характеристика деятельности российских коллекций микроводорослей и цианобактерий. (а) – Биотопы, из которых выделены образцы хранения; (б) – специализация коллекции: I – разнообразие, II – биотехнология, III – экология, IV – систематика, V – репродуктивная биология; (в) – методы идентификации коллекционных экземпляров: I – репродуктивная совместимость, II – ультраструктурный анализ, III – биохимический скрининг, IV – молекулярно-генетический анализ, V – морфологический анализ; (г) – методы поддержания коллекционных экземпляров.

фотобиологии (IPPAS), а также в биотехнологических исследованиях (ACSSI, IBSS, IBSSca, IP-PAS, NAMSU, SYKOA, коллекция агрономически полезных цианобактерий, коллекция лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН, рабочая альгологическая коллекция научной лаборатории биотехнологий).

Приведенные примеры, безусловно, свидетельствуют о важности альгологических коллекций для сохранения биологического разнообразия и изучения функциональных возможностей микроводорослей и цианобактерий при решении прикладных задач. В качестве критериев, используемых при оценке целесообразности включения новых объектов в фонд коллекции, респонденты указывали: принадлежность к редким или доминирующим таксонам; новым для флоры или науки и требующим ревизии; специфическое местобитание; уникальные функциональные свойства; биотехнологическая значимость; возможность использования в образовательном процессе.

Основными мероприятиями по повышению качества фонда респонденты отмечали проверку жизнеспособности и уточнение таксономического положения штаммов водорослей (рис. 2.2). Большинство российских коллекций микроводорос-

лей и цианобактерий (13 из 21) предоставляют открытый доступ к фонду (штаммы предоставляются для научного и коммерческого использования по запросу), 9 коллекций – ограниченный (штаммы доступны только для научного использования) и 5 коллекций – закрытый, при котором штаммы используются только для внутренних исследований и не передаются третьим лицам (рис. 2.3). 76% коллекций используют грантовые средства в качестве источника финансирования своей деятельности, 62% – субсидии по госзаданию, более половины коллекций поддерживаются за счет личных вложений (52%) и 43% – за счет хозяйственной деятельности (рис. 2.4). При этом 38% коллекций осуществляют депонирование образцов, 76% – выдачу штаммов для любых нужд, повышением квалификации сторонних сотрудников занимаются 38% коллекций и 10% коллекций – консультированием и исключительно научным сотрудничеством.

Перечисленные услуги коллекции оказывают бесплатно. Платные услуги оказывают 13 коллекций из 21; в их перечень входят морфологическая и молекулярно-генетическая идентификация (24% респондентов), научно-исследовательские работы (48%), предоставление образцов для коммер-

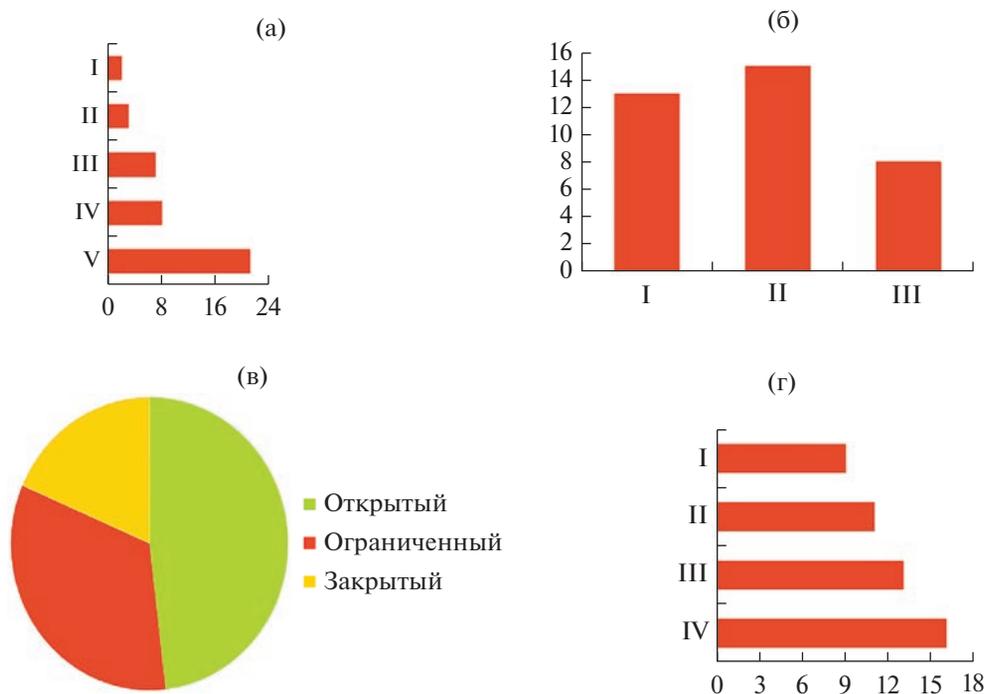


Рис. 2. Характеристика деятельности российских коллекций микроводорослей и цианобактерий. (а) – Основные источники формирования фонда коллекции: I – из коммерческих организаций, II – из других подразделений базовой организации, III – депонирование из других коллекций, IV – из других научных и образовательных организаций, V – из подразделения, поддерживающего коллекцию; (б) – типы работ по повышению качества фонда: I – проверка жизнеспособности, II – уточнение таксономического положения, III – проверка на аутентичность; (в) – варианты доступа к фонду коллекции; (г) – источники финансирования коллекции: I – хозяйственная деятельность, II – личные вложения, III – госзадание, IV – гранты.

ческого использования (52%) и биохимический скрининг (5%). При этом эффективными мерами по увеличению числа пользователей фондами и услугами коллекции респонденты считают увеличение количества сотрудников для работы со СМИ и повышения открытости и доступности информации о коллекции; разработку как индивидуальных сайтов коллекций, так и единой тематической информационной системы, включающей публикацию онлайн-каталогов коллекционных фондов и методических рекомендаций по работе биокolleкций, информацию об организации научных мероприятий, платформу для поиска потенциальных заказчиков со стороны инновационных предприятий и бизнес-структур; организацию и участие в тематических конференциях, написание статей, в том числе научно-популярных, патентование штаммов коллекций. 16 из опрошенных респондентов подтвердили обмен штаммами водорослей между коллекциями (рис. 3). Руководители Коллекции цианобактерий и водорослей лаборатории ботаники ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН (VCA), Коллекции диатомовых водорослей Евро-Арктического региона в составе гербария ИППЭС КНЦ РАН (INER), Коллекции диатомовых водорослей Мирового океана (WODC),

Коллекции лаборатории молекулярной систематики водных растений ИФР РАН и Сетевой коллекции симбионтных микроорганизмов и их консорциумов (СКСМ) указали в анкетах, что не осуществляют обмен штаммами с другими российскими коллекциями.

Основным направлением деятельности всех опрошенных коллекций являются научные исследования, меньше половины из них занимаются прикладными работами и участвуют в образовательном процессе. Штатная численность российских коллекций микроводорослей и цианобактерий составляет от 1 до 9 научных сотрудников (в среднем 2) и от 0 до 3 сотрудников технического персонала – лаборанты и инженеры (в среднем 0.4), в то время как для российских микробиологических коллекций этот показатель составляет 4.1 и 3.6 научных и технических сотрудников соответственно (Озерская и соавт., 2006). При этом почти половина коллекций не имеет собственного персонала, а только сотрудников-совместителей на долях ставки. Документооборот в коллекциях осуществляется при наличии следующих разработанных документов: Положение о коллекции – 48% коллекций, форма заявки на прием образцов – 29%, форма заявки на выдачу образцов – 38%,

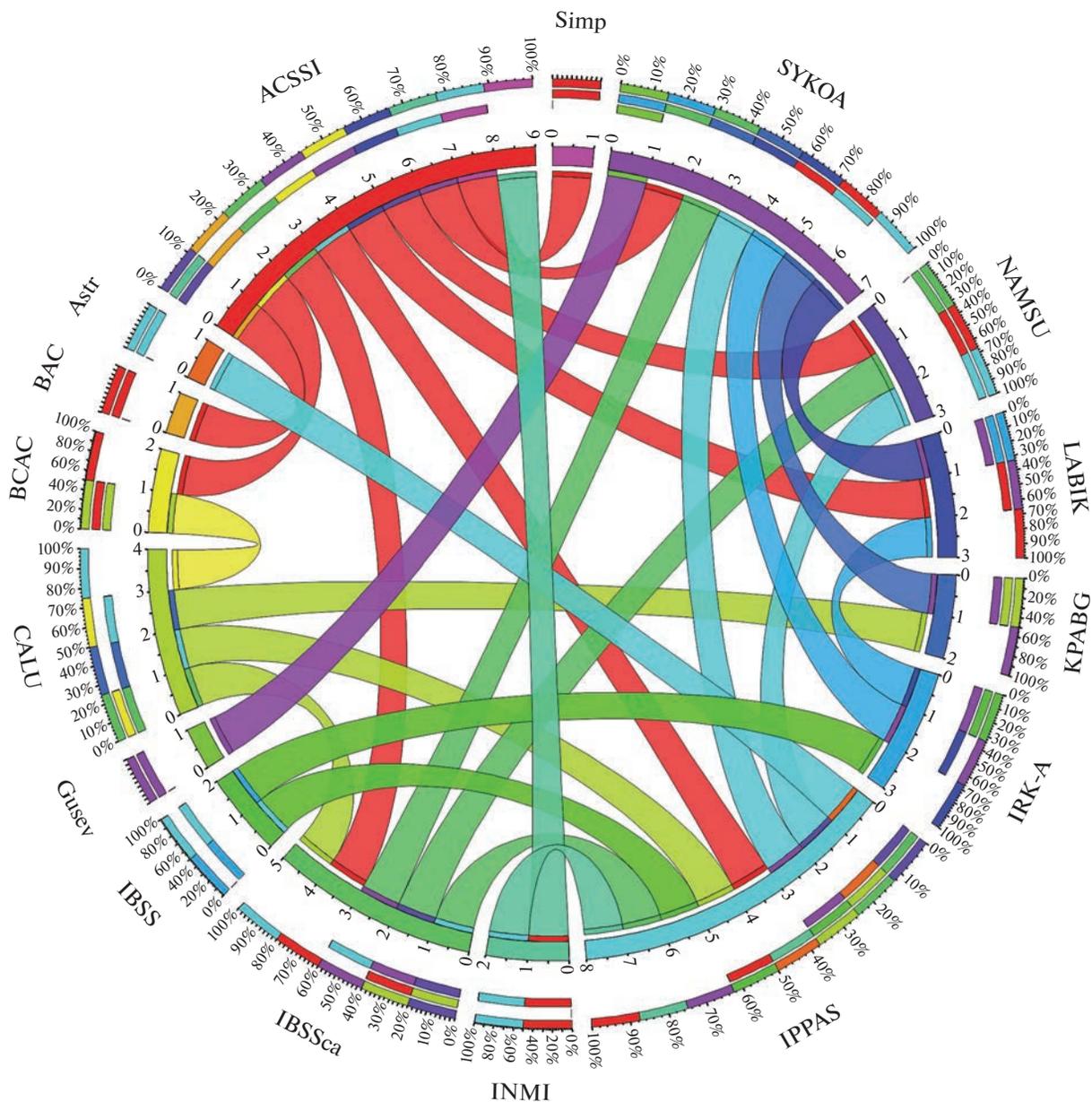


Рис. 3. Обмен образцами хранения между российскими коллекциями микроводорослей и цианобактерий. Цветовая гамма отображает исключительно взаимодействия между коллекциями. Сокращения: Astr – рабочая альгологическая коллекция научной лаборатории биотехнологий, Астрахань; Gusev – рабочая коллекция водорослей Е.С. Гусева, Москва; INMI – рабочая коллекция галоалкалофильных цианобактерий лаборатории реликтовых микробных сообществ ИНМИ РАН, Москва; Simp – коллекция агрономически полезных цианобактерий, Симферополь; в остальных случаях указаны акронимы коллекций.

паспорт образца хранения – 52%, технологический паспорт коллекции – 19%. Менее чем у трети официальных и рабочих коллекций отсутствуют или находятся в разработке документы, регламентирующие ее деятельность.

По данным анкетирования проблемы при работе коллекций, отмеченные 16 респондентами, можно разделить на несколько категорий, которые, несомненно, связаны между собой:

1) финансовые, такие как отсутствие целевого и постоянного государственного финансирования для поддержания деятельности коллекций и их развития; отсутствие системных масштабных конкурсов в рамках грантов Российского научного фонда или федеральных научно-технических программ Минобрнауки России по исследованию биологического разнообразия объектов с использованием биокolleкций, а также специальной программы грантов для научно-исследовательской

работы специалистов, включая молодых ученых, в биоресурсных центрах и фондах биокolleкций;

2) административные, такие как отсутствие и(или) нехватка помещений, специальных ставок для сотрудников коллекции (вместо работы по совместительству), отсутствие вспомогательного технического персонала (лаборанты, инженеры), отсутствие или критически малая доля молодых научных сотрудников (младше 39 лет);

3) юридические, такие как отсутствие федерального закона, полностью посвященного биологическим коллекциям, в частности, определяющего базовые юридические понятия, связанные с коллекциями, и их правовое положение, регулирующего создание, учет, хранение и ликвидацию биологических коллекций; сложные таможенные процедуры, используемые при ввозе биобъектов в Россию и их вывозе из России в целях межакадемического обмена;

4) организационные, такие как слабая координация работы коллекций как между собой, так и с руководящими организациями; подготовка в недостаточном объеме профильных специалистов-альгологов, изучающих конкретные группы микроводорослей; отсутствие финансовой и методической возможности молекулярно-генетической идентификации культур и использования омикс-технологий.

В качестве первоочередных мер для стабильного поддержания и развития коллекции их руководители и кураторы указывали: стабильное и регулярное бюджетное финансирование; увеличение штата сотрудников, включая как технический, так и научный персонал, в том числе подготовку квалифицированных специалистов по определенным таксонам микроводорослей; обновление приборной базы коллекций; обучение современным молекулярно-генетическим методам анализа; проведение методических исследований по борьбе с бактериальной и грибной контаминацией культур; освоение новых методов сохранения штаммов (криоконсервация, лиофилизация). Следует подчеркнуть, что 7 из 21 коллекции входят в состав более крупных подразделений, а именно: рабочая коллекция живых культур каротиногенных микроводорослей ФИЦ ИнБЮМ является частью коллекции живых культур планктонных микроводорослей (IBSS), которая, в свою очередь, является частью ЦКП “Коллекция гидробионтов Мирового океана”; коллекция цианобактерий, водорослей и паразитов водорослей (CALU) достояние ресурсного центра “Культивирование микроорганизмов”; коллекция цианопрокариот лаборатории флоры и растительности входит в состав гербария Полярно-альпийского ботанического сада-института; коллекция культур водорослей IRK-A принадлежит ЦКП “Биоресурсный центр СИФИБР СО РАН”; коллекция жи-

вых штаммов микроводорослей SYKOA – часть научного гербария Института биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН (SYKO); коллекция диатомовых водорослей Евро-Арктического региона – гербария ИППЭС КНЦ РАН (INER). Остальные являются независимыми подразделениями и решают свои проблемы самостоятельно.

На вопрос “Согласны ли вы участвовать в конкурсе на предоставление грантов по созданию и развитию биоресурсных коллекций от Минобрнауки России (при его объявлении) в составе консорциума альгологических коллекций?” только один респондент ответил отрицательно. Подавляющее большинство готовы участвовать или допускают такую возможность в зависимости от условий конкурса. В качестве критической проблемы выделяется большой риск утраты авторских личных коллекций с уходом из профессии или жизни их кураторов. Материал в коллекциях накапливается десятилетиями, но без должной поддержки утрачивается в течение нескольких лет. В этой связи концепция биологических ресурсных центров остается чрезвычайно актуальной. Биоресурсные центры представляют сеть организаций, включая коллекции и базы данных, предоставляющих услуги по хранению живых клеток, геномов, биоинформации (Калакуцкий, Озерская, 2011). Создание таких центров обеспечит стабильность существования биокolleкций, вне зависимости от кадрового и финансового дефицита, позволит качественно управлять биоресурсами и соблюдать единые стандарты и протоколы в коллекционной работе в соответствии с мировым уровнем.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубочайшую признательность всем представителям российских коллекций микроводорослей и цианобактерий, принявшим участие в анкетировании.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Андреева В.М., Лукницкая А.Ф. LABIK – коллекция культур зеленых водорослей в лаборатории альгологии Ботанического института им. В.Л. Комарова АН СССР // Каталог культур микроводорослей в коллекциях СССР / Отв. ред. Семенов В.Е. М.: ОНТИ Пушкинского научного центра РАН, 1991. С. 62–75.
- Боровичёв Е.А., Денисов Д.Б., Корнейкова М.В., Исаева Л.Г., Разумовская А.В., Химич Ю.Р., Мелехин А.В., Косова А.Л. Гербарий ИППЭС КНЦ РАН // Труды Кольского научного центра РАН. Прикладная экология Севера. 2018. Т. 9. № 6. С. 179–186.

Владимирова М.Г. Коллекции культур микроводорослей и их информационное обеспечение // Каталог культур микроводорослей в коллекциях СССР / Отв. ред. Семенов В.Е. М.: ОНТИ Пущинского научного центра РАН, 1991. С. 3–7.

Владимирова М.Г., Барцевич Е.Д., Жолдаков И.А., Епифанова О.О., Маркелова А.Г., Маслова И.П., Купцова Е.С. IRPAS-коллекция культур микроводорослей Института физиологии растений им. К.А. Тимирязева АН СССР // Каталог культур микроводорослей в коллекциях СССР / Отв. ред. Семенов В.Е. М.: ОНТИ Пущинского научного центра РАН, 1991. С. 8–61.

Давидович Н.А., Давидович О.И., Подунай Ю.А. Коллекция культур диатомовых водорослей Карадагской научной станции (Крым) // Морской биологический журн. 2017. Т. 2. № 1. С. 18–28.

<https://doi.org/10.21072/mbj.2017.02.1.03>

Данцок Н.В., Челебиева Э.С., Минюк Г.С. Рабочая коллекция живых культур каротиногенных микроводорослей Института биологии южных морей имени А.О. Ковалевского // Морской биологический журн. 2021. Т. 6. № 4. С. 3–18.

<https://doi.org/10.21072/mbj.2021.06.4.01>

Калакуцкий Л.В., Озерская С.М. Биологические ресурсные центры: современное состояние в России и мире, проблемы организации, перспективы развития // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. 2011. Т. 7. № 1. С. 28–40.

Москаленко С.В., Темралеева А.Д., Дронова С.А., Пинский Д.Л. Альгологическая коллекция Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН (АСССИ): состояние и перспективы развития // Вопросы современной альгологии. 2015. Т. 1. № 8. URL: <http://algology.ru/659>

Новаковская И.В., Патова Е.Н. Коллекция живых штаммов микроводорослей Института биологии Коми НЦ УрО РАН и перспективы ее использования // Известия Коми Научного Центра Уральского отделения РАН. 2012. Т. 2. № 10. С. 36–41.

Озерская С.М., Кочкина Г.А., Иванушкина Н.Е., Запретова К.М., Еремина С.С., Князева Е.В. Состояние коллекций микроорганизмов в России // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю.А. Овчинникова. 2006. Т. 2. № 3. С. 51–61.

Хлесткина Е.К., Захарова М.В., Нижников А.А., Гельтман Д.В., Чернецов Н.С., Михайлова Н.А., Готов А.С., Хлесткин В.К., Заварзин А.А., Мохов А.А., Тихонович И.А. Первый научный форум “Генетические ресурсы России” – о правовом регулировании в сфере биоресурсов и биологических коллекций // Биотехнология и селекция растений. 2022. Т. 5. № 2. С. 48–54.

<https://doi.org/10.30901/2658-6266-2022-2-02>

Guiry M.D., Guiry G.M. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. <https://www.algaebase.org>; searched on 27 February 2023.

Melekhin A.V., Davydov D.A., Borovichev E.A., Shalygin S.S., Konstantinova N.A. CRIS – service for input, storage and analysis of the biodiversity data of the cryptogams // Folia Cryptogamica Estonica. 2019. V. 56. P. 99–108.

<https://doi.org/10.12697/fce.2019.56.10>

Pinevich A.V., Mamkaeva K.A., Titova N.N., Gavrilova O.V., Ermilova E.V., Kvitko K.V., Pljusch A.V., Voloshko L.V., Averina S.G. St. Petersburg culture collection (CALU): four decades of storage and research with microscopic algae, cyanobacteria, and other microorganisms // Nova Hedwigia. 2004. V. 79. P. 115–126.

<https://doi.org/10.1127/0029-5035/2004/0079-0115>

Collections of Microalgae and Cyanobacteria in Russia: Present State, Problems, and Prospects

A. D. Temraleeva^{1, *} and M. A. Sinetova²

¹Pushchino Scientific Center for Biological Research, Russian Academy of Sciences, Pushchino, 142290 Russia

²Timiryazev Institute of Plant Physiology, Russian Academy of Sciences, Moscow, 127276 Russia

*e-mail: temraleeva.anna@gmail.com

Received May 5, 2023; revised May 29, 2023; accepted May 30, 2023

Abstract—Biological collections are systematic repositories of living cultures or fixed preparations and provide researchers with the material required both for basic and applied studies and for educational activities. A collection sample is the only reliable evidence of the existence of a living organism in time and space, whose multifunctionality allows it to be studied as a part of biodiversity and as a bioresource for the development of biotechnologies. Microalgae are an ancient ecological group of taxonomically diverse organisms (cyanobacteria, diatoms, charophytes, green and yellow-green algae, etc.), possessing unique physiology, broad ecological valency and plasticity, which results in their predominance in various habitats. This evolutionarily successful group is also in high demand for commercial applications in environmental monitoring, agriculture, bioenergetics, pharmacy, and the food industry. The analysis of data from an independent survey of 21 Russian collections of microalgae and cyanobacteria is provided. The survey included information on the main characteristics of the collections (funds, profile, methods, document management, etc.), emerging problems, and approaches to their solution.

Keywords: collections, microalgae, cyanobacteria, bioresources, survey