



ISSN 2414-4738

Научный журнал

Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

ЭКОСИСТЕМЫ



Флора и фауна
Биоценология
Биология и экология
видов
Охрана природы

40

2024

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КРЫМСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ В. И. ВЕРНАДСКОГО

ЭКОСИСТЕМЫ

2024

Выпуск 40

MINISTRY OF SCIENCE AND HIGHER EDUCATION
OF THE RUSSIAN FEDERATION

V. I. VERNADSKY CRIMEAN FEDERAL UNIVERSITY

EKOSISTEMY

2024

ISSUE 40

SCIENTIFIC JOURNAL • FOUNDED IN 1979 • PUBLISHED 4 TIMES PER YEAR • SIMFEROPOL

ISSN 2414-4738

Свидетельство о регистрации СМИ – ПИ № ФС 77 - 83395 от 15.06.2022 г. выдано Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Учредитель – ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского»
Адрес учредителя и издателя: 295007, Республика Крым, г. Симферополь,
пр-т Академика Вернадского, д. 4.

Печатается по решению Научно-технического совета
Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского, протокол №

Журнал включен в перечень ВАК по специальностям и соответствующим им отраслям науки:
1.5.9. Ботаника; 1.5.15. Экология

Адрес редакции: 295007, Республика Крым, г. Симферополь, пр-т Академика Вернадского, д. 4.
E-mail: ekotmu@list.ru

Полнотекстовые версии статей последних выпусков журнала в формате PDF и правила для авторов размещены на официальном сайте журнала по адресу: <http://ekosystems.cfuv.ru/>

Оригинал-макет: С. В. Леонов

На обложке: Молочай прибрежный *Euphorbia paralias* L. Крым, Опукский заповедник
(фото А. В. Фатерыги)

Подписано в печать _____. Формат 60×84/8. Усл. п. л. _____. Печать цифровая. Тираж 50 экз. Цена «Бесплатно».

Заказ № _____. Дата выхода в свет _____

Отпечатано в Издательском доме ФГАОУ ВО «КФУ им. В. И. Вернадского»
Адрес типографии: 295051, г. Симферополь, бул. Ленина, 5/7

Главный редактор

Иванов С. П., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Заместитель главного редактора

Котов С. Ф., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Технический редактор

Леонов С. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ответственный секретарь

Омельченко А. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Редактор текстов на английском и немецком языках

Шестакова Е. С., к. п. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Контент-менеджер сайта

Николенко В. В., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Члены редакционной коллегии

Багрикова Н. А., д. б. н., Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Белик В. П., д. б. н., профессор, Южный федеральный университет

Бескаравайный М. М., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Бугара И. А., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Будашкин Ю. И., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Воронин Л. В., д. б. н., доцент, Ярославский государственный педагогический университет имени К. Д. Ушинского

Гапонов С. П., д. б. н., профессор, Воронежский государственный университет

Довгаль И. В., д. б. н., профессор, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Егоров В. Н., д. б. н., академик РАН, Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Егорова Н. А., д. б. н., Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма

Ена А. В., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ермаков Н. Б., д. б. н., Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Захаренко Г. С., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Ивашов А. В., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Коба В. П., д. б. н., профессор, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Корженевский В. В., д. б. н., профессор, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Мацюра А. В., д. б. н., профессор, Алтайский государственный университет

Митрофанова И. В., д. б. н., чл.-корр. РАН, Главный ботанический сад им. Н. И. Цицина РАН

Назаров В. В., к. б. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Оберемок В. В., д. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Петришина Н. Н., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Пешич В., доктор наук, профессор, Университет Черногории (University of Montenegro), Черногория

Плугатарь Ю. В., д. с.-х. н., чл.-корр. РАН, Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН

Репецкая А. И., к. б. н., доцент, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Рябушко В. И., д. б. н., Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН

Русина Л. Ю., д. б. н., Московский государственный зоологический парк

Савельев А. П., д. б. н., Всероссийский НИИ охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова

Свольнский А. Д., к. б. н., Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

Синев С. Ю., д. б. н., Зоологический институт РАН

Фатерыга А. В., к. б. н., Карадагская научная станция имени Т. И. Вяземского – природный заповедник РАН

Чаттерджи Т., доктор наук (зоологии), Международная школа Хесент (Crescent), Индия

Чуян Е. Н., д. б. н., профессор, Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского

СОДЕРЖАНИЕ

Харчук И. А., Рылькова О. А. Морфометрические исследования культуры <i>Arthrospira platensis</i> при дефиците минерального питания	7
Найдыш А. В., Букреев Д. А. Интеллектуальные технологии как средство повышения качества подготовки ИТ-специалистов эксплуатации ветровых электростанций	14
Попов С. С., Никитина М. В., Хекимова Н. Б., Наквасина Е. Н. Оценка содержания нефтепродуктов в почвах некоторых островов архипелага Земля Франца-Иосифа	26
Моисеева А. А., Чекмарева О. В., Нечитайло К. С., Глуховская М. Ю. Биологическая оценка отходов от процесса карбонитрации металлов с последующим окислением при помощи бактериальной тест-системы.....	32
Черткова Е. П., Замолодчиков Д. Г. Оценка земельных ресурсов Алтайского государственного природного биосферного заповедника с учётом уникальности биоразнообразия и ценности экосистем	39
Ена А. В., Ена Я. А. К истории селекции культиваров плюща. IV	50
Зимина Т. Н., Ардабьева А. Г., Котельников А. В. Наиболее значимые виды фитопланктона в Каспийском море	58
Порабейкина О. О. Разнообразие и пространственная структура горно-степной растительности сопочного массива Саксары (Южно-Минусинская межгорная котловина) ..	62
Пристова Т. А. Запасы углерода в почве березово-елового молодняка средней тайги Республики Коми	76
Быкова Т. О., Ивашов А. В. Таксономическая структура бактериального метагенома в кишечнике рабочих медоносных пчел <i>Apis mellifera</i> L. в Крыму	84
Тимченко А. И., Сапронов В. В., Гилев А. В. Первые результаты изучения населения божьих коровок (Coleoptera, Coccinellidae) биостанции Уральского федерального университета: видовой состав, влияние сроков и методов сбора	98

CONTENT

Kharchuk I. A., Rylkova O. A. Morphometric Studies of <i>Arthrospira platensis</i> Culture at Deficiency of Mineral Nutrition	7
Naydysh A. V., Bukreev D. A. Intelligent Technologies as a Mechanism for Enhancing the Quality of Training for IT Specialists in the Operation of Wind Power Plants.....	14
Popov S. S., Nikitina M. V., Hekimova N. B., Nakvasina E. N. Assessment of the Oil Products Content in the Soils of the Franz Josef Land Archipelago Islands	26
Moiseeva A. A., Chekmareva O. V., Nechitailo K. S., Glukhovskaya M. Yu. Biological Assessment of Waste from the Process of Carbonitriding Metals Followed by Oxidation Using a Bacterial Test System	32
Chertkova E.P., Zamolodchikov D.G. Assessment of Land Resources of the Altai State Nature Biosphere Reserve Considering the Uniqueness of Biodiversity and the Value of Ecosystems	39
Yena A. V., Yena Ya. A. On the History of Selection of Ivy Cultivars. IV	50
Zimina T. N., Ardabyeva A. G., Kotelnikov A. V. The Most Significant Species of Phytoplankton in the Caspian Sea	58
Porabeikina O. O. The Diversity and Spatial Structure of Mountain-Steppe Vegetation of the Saksary Hill Massif (South Minusinsk Intermountain Basin)	62
Pristova T. A. Carbon Reserves in the Soil of Young Birch-Spruce Forests in the Middle Taiga of the Komi Republic	76
Bykova T. O., Ivashov A. V. Taxonomic Structure of Bacterial Metagenome in the Gut of Worker Honey Bees <i>Apis mellifera</i> L. in Crimea.....	84
A. I. Timchenko, V. V. Saprnov, A. V. Gilev. The Initial Findings from the Study on the Population of Ladybugs (Coleoptera, Coccinellidae) at the Biological Station of Ural Federal University: Influence of Time and Collection Methods	98

Морфометрические исследования культуры *Arthrospira platensis* при дефиците минерального питания

Харчук И. А., Рылькова О. А.

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН
Севастополь, Россия
kharchuk@ibss.su, ol.rylkova@ibss-ras.ru

Недостаток минерального питания относится к основным природным стрессовым факторам и играет важную роль в жизнедеятельности водных организмов. При культивировании микроводорослей и фототрофных прокариот при обеднении среды, в результате расхода питательных веществ для поддержания своей жизнедеятельности, организмы вынуждены вырабатывать различные приспособительные механизмы. В работе использованы стандартные методы культивирования цианобактерий, оптический и микроскопический подходы при исследовании *Arthrospira (Spirulina) platensis (Nordstedt) Gomont (1892)*. Целью данного исследования работы стало изучение морфометрических характеристик цианобактерий на стадии неактивного роста в условиях дефицита минерального питания. Экспериментально установлено, что плотность культуры *A. platensis* в течение эксперимента зависела от внешних условий: температуры (Т) и освещенности (Осв). При минимальной температуре и освещенности (вариант 1А) плотность культуры в период 1 – 28 суток плавно возрастала до 0,11 г·л⁻¹, при повышении и максимальных величинах Т и Осв (варианты 2А и 3А) кривая роста имела S-образный вид, наблюдали увеличение плотности *A. platensis* до 0,69 г·л⁻¹ и 1,3 г·л⁻¹. После выхода культуры *A. platensis* на стадию неактивного роста (29–85 сутки); сохранялась тенденция накопления биомассы: в варианте 1А продолжалось постепенное увеличение плотности цианобактерий до 0,42 г·л⁻¹; в вариантах 2А и 3А биомасса увеличивалась неравномерно и достигала 2,0 г·л⁻¹ и 5,5 г·л⁻¹. К концу эксперимента зафиксировано изменение цвета культуры с изумрудного на темно-зеленый, зелено-коричневый и желто-коричневый. Показано, что в варианте 1А с 36 по 85 сутки эксперимента чаще доминировали трихомы размером 50–100 мкм (44,4–61,3 %), доля нитей с минимальной длиной (менее 50 мкм) составляла 30–53,3 %. При повышении Т и Осв в периоды роста цианобактерий доминировали (43,4–85,1 %) мелкие трихомы, но появились и более крупные нити более 100 мкм (2,1–22 %); на стационарных стадиях – доля мелких трихом также была высока (51–93 %), крупных трихом обнаружено не было или их вклад снижался вдвое. Такая тенденция согласуется с данными, описанными ранее в литературе. Наиболее выраженные изменения вкладов морфологических групп наблюдалась при максимальных Т и Осв. Вероятно, недостаток биогенов запускал механизмы адаптации цианобактерий – фрагментацию трихом.

Ключевые слова: цианобактерии, *Arthrospira (Spirulina) platensis*, трихомы, адаптация, биомасса цианобактерий.

ВВЕДЕНИЕ

Факторы среды имеют минимальные и максимальные значения, за пределами которых организм не может существовать. Недостаток минерального питания относится к основным природным стрессовым факторам, который связан, прежде всего, с дефицитом азота, серы или фосфора, входящих в состав аминокислот, фотосинтетических пигментов, нуклеиновых кислот, коферментов, витаминов и других соединений (Гапочка, 1991). Минеральный стресс играет важную роль в жизнедеятельности фитопланктонных организмов, значительная часть которых обитает в обедненных биогенными элементами районах Мирового океана. Известно, что при культивировании микроводорослей и фототрофных прокариот, основными факторами для их роста и развития являются температура, освещенность и оптимальное насыщение культуральной среды биогенами. При обеднении среды, в результате расхода биогенов организмы вынуждены адаптироваться, чтобы поддерживать свою жизнедеятельность (Шахматов, Ефимова, 2005; Харчук, Алисиевич, 2010). В настоящий момент ощущается необходимость системных исследований структурно-функциональных изменений микроводорослей и цианобактерий в условиях дефицита минерального питания для выяснения основных стратегий, которые используются ими для адаптации к стрессу. Исследований, посвящённых изучению адаптационных свойств *Arthrospira platensis*, много

(Van Eykelburg, 1979; Кондратьева, 1989; Жарикова и др., 2018), однако лишь незначительное количество работ посвящено динамике размерного состава цианопрокариот (Шахматов, Ефимова, 2005; Харчук, Алисиевич, 2010).

Целью данной работы стало исследование динамики морфометрических характеристик *A. platensis* на стадии неактивного роста в условиях дефицита минерального питания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Растительный материал. Объектом исследования служила альгологически чистая неаксеничная культура *Arthrospira (Spirulina) platensis* (Nordstedt) Gomont (штамм IBBS-31) из коллекции отдела биотехнологии и фиторесурсов ФИЦ ИнБЮМ. Музейную культуру *A. platensis* концентрировали путем фильтрации через мельничный газ 100–105 ПЭ, затем трижды промывали дистиллированной водой (в соотношении 1:3) и дважды питательной средой. Для дальнейшего очищения пасту *A. platensis* помещали в пробирки с питательной средой и центрифугировали 5 мин при 3000 об·мин⁻¹ (центрифуга ОПН-3-УХЛ 42, Россия), супернатант удаляли, к осадку вновь добавляли питательный раствор, процедуру повторяли трижды. Далее пасту *A. platensis* (2 мл) переносили в стеклянные конические колбы объемом 0,5 дм³, объем среды составлял 0,3 дм³ при высоте слоя 6 см. Условия культивирования цианобактерий представлены в таблице 1, во всех вариантах для культивирования *A. platensis* использовали среду Заррук (Faucher et al., 1979).

Таблица 1

Условия культивирования *Arthrospira platensis*

№ пробы	Температура	Освещенность
1 А	14–16 °С	0,2 кЛк
2 А	20–22 °С	1,1 кЛк
3 А	25–27 °С	10 кЛк

Определение биомассы цианобактерий. Содержание сухого вещества (СВ) определяли расчетным методом по уравнению регрессии. Для перехода от единиц оптической плотности (D_{750}) к величине сухого вещества, использовали эмпирический коэффициент для *A. platensis* (Геворгиз и др., 2005).

Морфологические исследования. Микроскопические исследования трихом *A. platensis* осуществляли с помощью светового микроскопа Carl Zeiss («Axiostar plus», Германия), снабженного камерой («Canon A 620», Япония) при увеличении от $\times 200$ до $\times 630$. Размеры трихом *A. platensis* определяли с помощью программы Image J 1.50i program (National Institutes of Health, United States, Java 1.6.0_20 (32-bit)). Всего измерено 2400 трихом, рассчитан вклад каждой из размерных групп в общую численность.

Статистический анализ проводили в пакете STATISTICA (data analysis software system), версия 10 («StatSoft. Inc.», www.statsoft.com), построение графиков – в программах SigmaPlot 10,0 («SYSTAT Software. Inc.») и Grapher 8 («Golden Software, Inc.»).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В течение первых 28 суток эксперимента при минимальных температуре и освещенности (вариант 1А), прирост биомассы был постепенным и минимальным, плотность *A. platensis* составляла 0,11 г·л⁻¹. При повышении и максимальных Т и Осв (2А и 3А, соответственно) накопительная кривая имела S-образный вид, включающий: лаг-, лог-фазы, линейный рост, период замедления, стационарную фазу. Плотность биомассы в конце стационарной фазы роста для 2А составляла 0,69 г·л⁻¹, для 3А – 1,3 г·л⁻¹, что в 6,3 и 11,8 раза выше, чем в варианте 1А. После выхода на стационарную фазу, были продолжены наблюдения за культурами *A. platensis* уже вне стадии активного роста (29–85 суток). В варианте 1А биомасса культуры продолжала плавно нарастать (до 0,42 г·л⁻¹); при повышении температуры и освещенности

были выявлены скачкообразные периоды повышения плотности культуры цианобактерий: в варианте 2А к концу эксперимента биомасса составляла $2,0 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, в варианте 3А – $5,5 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$, то есть в 4,8 и 13,1 раз больше, чем при минимальных значениях Т и Осв.

Аналогичные кривые роста для штаммов *Arthrospira platensis* из коллекции ФИЦ ИнБЮМ (штаммы IBSS-31, IBSS-32; накопительное культивирование; $T=28-32 \text{ }^\circ\text{C}$, Осв=8 клк) были описаны ранее (Шахматов, Ефимова, 2005). Авторами показано, что до 27 суток кривая роста имела стандартный S-образный вид, максимальная биомасса (около $1,3 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$) была обнаружена на 45–53 сутки, далее (до 60 суток), происходило небольшое снижение плотности культуры цианобактерий до биомассы менее $1 \text{ г} \cdot \text{л}^{-1}$. Меньшие абсолютные величины, по сравнению с нашими данными, вероятно, были связаны с большим объемом культиватора (6 л) и, соответственно, неполным исчерпанием биогенных элементов в среде.

Размерная структура культуры *A. platensis*. Начиная с 36 по 85 сутки исследований, нами проведены морфологические исследования суспензии *A. platensis*. Установлено, что в культуре *A. platensis* встречались нити различных размеров (рис. 1 а – с), их диапазон изменялся от 4 мкм до 491 мкм, кроме того, визуализировались фрагменты разрушенных трихом, их максимальное количество обнаружено в варианте при максимальных Т и Осв.

Морфометрический анализ показал, что соотношение трихом различной длины в динамике роста было неодинаково. Так, при минимальной температуре и освещенности (1А) на протяжении всего эксперимента преобладали трихомы размером 0–50 мкм (33–54 %) и 50–100 мкм (44–63 %). Вклад трихом размером 100–150 мкм был незначителен и составлял 2–13 %. С 55 суток культивирования отмечено появление нитей размером 150–200 мкм (1–1,5 %) (рис. 2 а).

В культуре, выращиваемой при повышенной температуре и освещенности (2А), на 36 день эксперимента преобладали мелкие трихомы (0–50 мкм), составляя 50 % от общего числа нитей, к 41 суткам отмечено увеличение их доли до 90 %, вероятно, за счёт деструкции более крупных нитей 50–100 мкм. В этот период обнаружены три размерные группы – кроме мелких (85,2 %) и средних нитей (12,8 %) появились более крупные трихомы размером 100–150 мкм (2,1 %). Далее, к 48 – 62 суткам, также доминировали трихомы размером 0–50 мкм, отмечен количественный рост филаментов 50–100 мкм до 10–30 %, нити размером 100–150 мкм не зарегистрированы. На 70 сутки, на фоне снижения плотности культуры, зафиксировано увеличение доли трихом размером 0–50 мкм до 88,5 %. В период 77 – 85 суток выделяли только нити размером 0–50 мкм и 50–100 мкм, их соотношение варьировало 72–83 % и 28–17 %, соответственно (рис. 2 б).

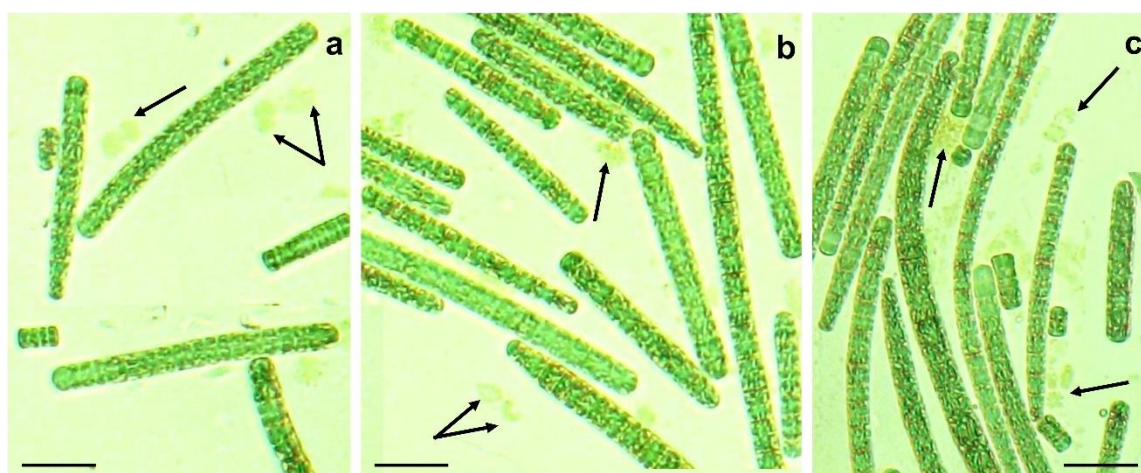


Рис. 1. Общий вид трихом в культуре *Arthrospira platensis* на 55 сутки эксперимента. Варианты: 1А (а); 2А (б); 3А (с). Стрелками указаны фрагменты разрушенных трихом. Масштабный отрезок – 10 мкм.

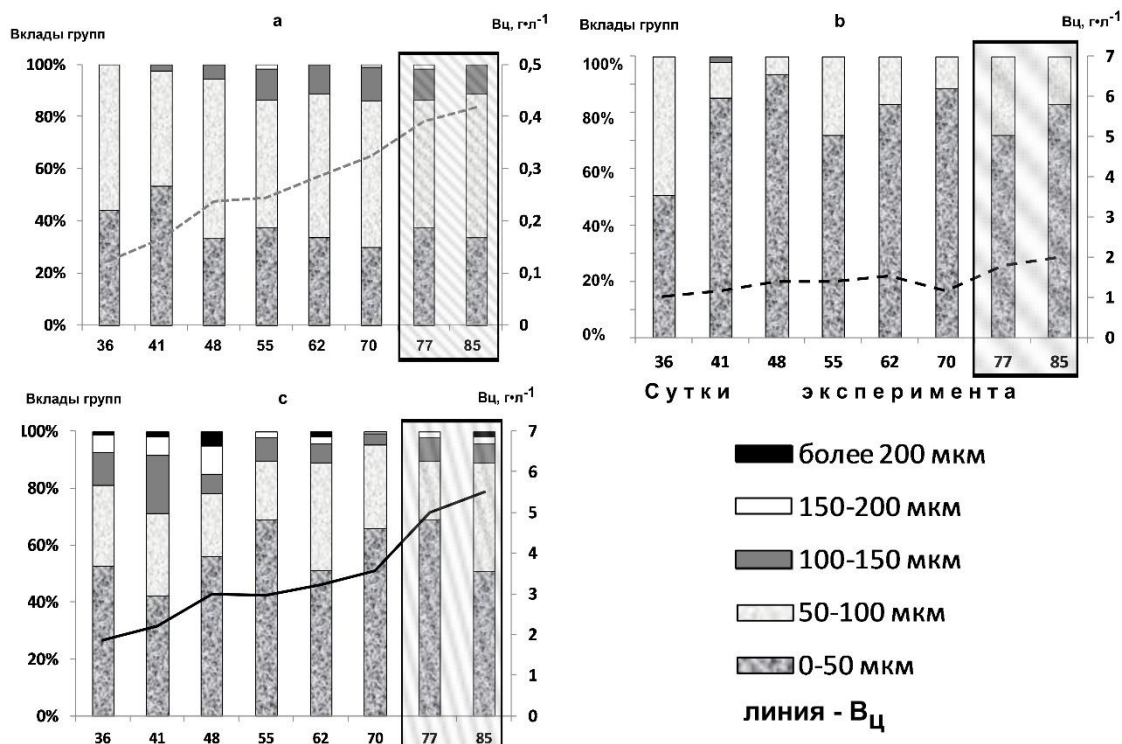


Рис. 2. Изменения биомассы цианобактерий (V_c) и распределение вкладов трихом различной длины в культуре *Arthrospira platensis* на протяжении 36–85 суток исследований. Варианты: 1А (а); 2А (b); 3А (с). Заштрихованная область – изменение цвета культуральной суспензии.

При максимальных T и $O_{св}$ (3А), на 36 – 41 сутки трихомы были представлены всеми размерными группами: 0–50 мкм: 50–100 мкм : 100–150 мкм : 150–200 мкм : 200 мкм и более, их соотношение варьировало в пределах 42,4–56 % : 22–28,8 % : 7–20,3 % : 6,3–10 % : 1–5 %. Характерно, что в период 48 – 62 суток (при стабилизации биомассы) долевого соотношения нитей размером более 100 мкм снижалось в 1,8–3 раза. При увеличении плотности культуры (70 – 77 суток) преобладали мелкие нити размером 0–50 мкм (64–68%) и 50–100 мкм (21–29 %), выявлены нити размером 100–150 мкм и 150–200 мкм, хотя их вклад был незначителен и составлял 4–8 % и 0,7–2% соответственно. К 85 суткам эксперимента отмечено появление нитей длиной более 200 мкм (1,8 %). Показатели для групп 0–50 мкм и 100–150 мкм снижались в 1,3 раза, а в группе размером 50–100 мкм и 150–200 мкм – увеличивались в 1,8 и 1,3 раза соответственно (рис. 2 с).

В целом, для варианта 1А зафиксировано доминирование трихом размером 50–100 мкм (53,6±4,7 %), тогда как при повышении T и $O_{св}$ максимальным был вклад самой мелкой фракции (до 50 мкм): 84,5±6,4 % и 55,8±7,6 %, соответственно для 2А и 3А.

Известно, что ультраструктура и морфология цианобактерий сильно зависят от условий среды и факторов питания. С повышением температуры культивирования увеличивались высота и диаметр спирали трихома, а оболочка, окружающая нить, начинала лучше обозначаться. Повышение освещенности способствовало удлинению трихом и фикобилисом (Van Eukelburg, 197; Жарикова и др., 2018). При исследовании размерных характеристик трихом различных штаммов *Arthrospira platensis*, начиная со стадии адаптации до стационарной фазы роста (около 30 суток), выявлена тенденция возрастания доли крупных трихом на линейной стадии роста и стабилизация показателей на стационарной фазе культивирования (Шахматов, Ефимова, 2005; Жарикова и др., 2018). Единичные исследования по изучению процессов роста после активной фазы накопления биомассы цианопрокариотов (Шахматов, Ефимова, 2005) показали, что во время культивирования

Arthrospira platensis IBSS-32 в течение 50–60 суток доминировали мелкие трихомы, на фазе отмирания доля коротких трихом увеличивалась за счёт снижения вклада длинных и средних нитей. Изменение морфологических характеристик цианобактерий на поздних этапах культивирования авторы связывали с исчерпанием биогенов из культуральной среды. Известно, что при полном исключении из питательной среды магния и азота происходила фрагментация трихом и уменьшение ширины оборота и длины спирали (Кондратьева, 1989; Жарикова и др., 2018).

В нашем исследовании (штамм IBSS-31), начиная с 36 суток, при минимальных Т и Осв весь период доминировали трихомы размером 50–100 мкм (49,3–61,3 %), короткие нити менее 50 мкм (30–53,3 %). А образцах, выращиваемых при повышенных Т и Осв (2А и 3А), после стадии активного роста цианобактерий доминировали мелкие трихомы (43,4–85,1 %), но появились и более крупные нити длиннее 100 мкм (2,1–22 %); при стабилизации абсолютных величин плотности культуры *Arthrospira platensis* доля мелких клеток также была высока (51–93 %), крупных трихом обнаружено не было или их вклад снижался вдвое, что согласуется с данными других исследователей (Шахматов, Ефимова, 2005; Жарикова и др., 2018).

Необходимо отметить, что во всех вариантах эксперимента в последние две недели мы наблюдали изменение цвета культуральной суспензии с изумрудного на темно-зеленый и зелено-коричневый (для 1А, 2А, соответственно); и желто-коричневый (3А) (рис. 2, заштрихованные области). Это согласуется с аналогичными исследованиями, когда при длительном культивировании *A. platensis* в исходном питательном растворе без пересева при истощении запасов биогенов наблюдали изменение окраски в сторону красноватых оттенков (Сиренко, Третьяков, 2005).

Измельчение трихом, полученное в нашем исследовании, вероятно, также было связано с недостатком биогенов, так как основная их часть была израсходована цианопрокариотами на поддержание своей жизнедеятельности (Харчук, Алисиевич, 2005). Такая фрагментация нитей, по-видимому, являлась реакцией культуры цианобактерий на недостаток минерального питания. Аналогичная тенденция дробления трихом *A. platensis* была описана и при других стрессовых условиях. Например, при добавлении в культуру цианобактерий, находящихся на длительной стационарной фазе роста, свежего питательного раствора, содержащего высокие концентрации биогенов, провоцировало их осмотический шок. Подобная фрагментация нитей цианобактерий происходила и в «старых» культурах, культивируемых более 30 суток и без добавки питательной среды (Харчук, Алисиевич, 2005). Вероятно, стрессовые ситуации, вызванные различными внешними факторами (недостаток или, наоборот, высокие концентрации биогенов), запускали однотипные механизмы адаптации – фрагментацию трихом.

Известно, что при небольших скоростях роста альгокультур обычно отсутствует эффект «затенения», и в среде присутствует достаточное количество биогенов (Тренкеншу, Лелеков, 2017). Это обнаружено нами при минимальном (но достаточном для осуществления процессов фотосинтеза) освещении и низкой температуре (1А), когда трихомы не ограничены в питании, делятся неинтенсивно, растут замедленно и достигают размеров более 150–200 мкм. При более благоприятных условиях для роста (варианты 2А, 3А), плотность культуры нарастает быстрее, в определённое время возникает лимит по освещению и биогенам (Тренкеншу, Лелеков, 2017), культура выходит на стационарную фазу роста и, вероятно, запускаются процессы адаптации. Трихомы разрываются по специальным некритическим клеткам (Vonshak, A., Ed., 1997), образуя маленькие филаменты, для жизнедеятельности которых условия освещенности и температуры оптимальны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментально установлено, что плотность культур *A. platensis* при длительном накопительном культивировании (85 суток) зависела от внешних условий: температуры и освещенности. Выращивание *A. platensis* (1А) при температуре и освещенности ниже оптимума, плотность культуры в период 1–28 суток плавно возрастала до 0,11 г·л⁻¹, при

повышении Т и Осв до оптимальных и выше (варианты 2А и 3А) кривая накопления биомассы имела S-образный вид, наблюдали увеличение до 0,69 г·л⁻¹ и 1,3 г·л⁻¹. После выхода культуры *A. platensis* на стадию неактивного роста (29–85 сутки) сохранялась тенденция накопления биомассы: в варианте 1А продолжалось постепенное увеличение плотности цианобактерий до 0,42 г·л⁻¹; в вариантах 2А и 3А биомасса увеличивалась неравномерно и достигала 2,0 г·л⁻¹ и 5,5 г·л⁻¹. К концу эксперимента зафиксировано изменение цвета культуры *A. platensis*, наиболее ярко выраженное в варианте, выращиваемом при максимальных Т и Осв. Морфометрический анализ филаментов показал, что на стадии неактивного роста, независимо от условий выращивания, в культурах преобладали мелкие трихомы размером 0–50 мкм (37,8–84,5 %) и 50–100 мкм (37,8–84,5 %). Доля трихом длиной 100–150 мкм варьировала в пределах 0,42–9,6 %. Трихомы размером 150–200 мкм и более 200 мкм были малочисленны: в 1А их доля составляла 0,5 %; в 3А – 4,8 % и 1,6%. В период возрастания оптической плотности культуры после завершения стандартного накопительного культивирования *A. platensis* обнаружено доминирование мелких, реже средних трихом, а также увеличение доли более крупных нитей; при стабилизации абсолютных величин плотности культуры *Arthrospira platensis* зафиксировано снижение вклада более крупных трихом. Вероятно, стрессовая ситуация, вызванная недостатком биогенов, запускала механизм адаптации цианопрокариот – фрагментацию трихом.

Работа выполнена в рамках государственного задания ФИЦ ИнБЮМ по теме «Комплексное исследование экологических и физиолого-биохимических особенностей микроводорослей различных таксономических групп при адаптации к меняющимся условиям среды» (№ гос. регистрации 124021300070-2).

Список литературы

- Faucher O., Coupal B., Leduy A. Utilization of seawater – urea as a culture medium for *Spirulina maxima* // Canadian Journal of Microbiology – 1979. – Vol. 25. – P. 752–759.
- Гапочка Л. Д. Об адаптации водорослей. – М.: Изд. Моск. ун., 1981. – 80 с.
- Геворгиз Р. Г., Алисеевич А. В., Шматок М. Г. Оценка биомассы *Spirulina platensis* (Nordst.) Geitl по оптической плотности культуры // Экология моря. – 2005. – № 70. – С. 96–106.
- Жарикова Г. Г., Елисеева Л. Г., Рыжакова А. В., Ширшов А. Т., Скрипникова М. И., Юрина О. В., Леонова И. Б. Инновационные белковые продукты на основе спирулины – решение продовольственной проблемы. – М.: КноРус, 2018. – 218 с.
- Харчук И. А., Алисиевич А. В. Адаптация *Spirulina platensis* к изменениям культуральной среды // Экология моря. – 2010. – Т. 80. – С. 92–99.
- Шахматов А. П., Ефимова Т. В. Динамика размерного состава нитчатой цианобактерии *Spirulina platensis* в накопительной культуре // Экология моря. – 2005. – Т. 70. – С. 84–89.
- Кондратьева Н. В. Морфология популяций прокариотических водорослей. – Киев: Наук. думка 1989. – 175 с.
- Кондратьева Н. В. Строение протопласта клеток Cyanophyta (Обзор литературных данных) // Альгология. – 1994. – Т. 4, № 2. – С. 84–98.
- Сиренко Л. А., Третьяков О. Л. Спирулина и ее использование в биотехнологии // Экология моря. – 2005. – Т. 70. – С. 42–48.
- Тренкеншу Р. П., Лелеков А.С. Моделирование роста микроводорослей в культуре. – Белгород: ООО «КОНСТАНТА», 2017. – 152 с.
- Van Eykelenburg, C. The ultrastructure of *Spirula platensis* in relation to temperature and light intensity. // Antonie Van Leeuwenhoek. – 1979. – V. 45. – P. 369–390.
- Vonshak A. Spirulina: Growth, Physiology and Biochemistry // *Spirulina platensis* (*Arthrospira*): Physiology, Cell-biology and Biotechnology. – London: Taylor & Francis, 1997. – P. 43–65.

Kharchuk I. A., Rylkova O. A. Morphometric Studies of *Arthrospira Platensis* Culture at Deficiency of Mineral Nutrition // Ekosistemy. 2024. Iss. 40. P. 7-13.

Lack of mineral nutrition belongs to the main natural stress factors and plays an important role in the life activity of aquatic organisms. In the cultivation of microalgae and phototrophic prokaryotes, organisms are forced to develop various adaptive mechanisms when the environment is depleted as a result of nutrient consumption to maintain their vital activity. Standard methods of cyanobacteria cultivation, optical and microscopic approaches were used in the study of *Arthrospira (Spirulina) platensis (Nordstedt) Gomont* (1892). The aim of this research was to examine morphometric characteristics of cyanobacteria during long-term accumulative cultivation under conditions of mineral nutrition deficiency. It was experimentally revealed that the density of *A. platensis* culture during the experiment depended on the external conditions: temperature (T) and illumination (I_{lm}). During the period of 1–28 days, the density of the culture increased gradually to 0.11 g·l⁻¹ at minimum temperature and illumination (variant 1A); the curve of biomass accumulation had an S-shaped form, an increase to 0.69 g·l⁻¹ and 1.3 g·l⁻¹ was observed at increasing and maximum values of T and I_{lm} (variants 2A and 3A). After *A. platensis* culture entered the stage of inactive growth (29–85 days), the biomass accumulation trend continued: in variant 1A, the gradual increase of cyanobacteria density up to 0.42 g·l⁻¹ continued; in variants 2A and 3A, the biomass increased unevenly and reached 2.0 g·l⁻¹ and 5.5 g·l⁻¹, respectively. By the end of the experiment, the colour of culture changed from emerald to dark green, green-brown and yellow-brown. It was revealed that between days 36 and 85 of the experiment in variant 1A, trichomes with the size of 50–100 μm (44.4–61.3 %) dominated more often, the share of cells with minimal filament length (less than 50 μm) was 30–53.3 %. At increasing T and I_{lm} during the periods of cyanobacteria biomass growth, small trichomes dominated (43.4–85.1 %), but larger filaments over 100 μm also appeared (2.1–22 %); at stationary stages, the share of small cells was also high (51–93 %), large trichomes were not found or their contribution was halved. This trend is consistent with the data described earlier. The most pronounced changes in the contributions of morphological groups were observed at maximum T and I_{lm}. Probably, the lack of biogens triggered adaptation mechanisms of cyanobacteria – trichome fragmentation.

Key words: cyanobacteria, *Arthrospira (Spirulina) platensis*, trichomes, adaptation, cyanobacterial biomass.

Поступила в редакцию 15.10.24
Принята к печати 31.10.24

Интеллектуальные технологии как средство повышения качества подготовки ИТ-специалистов эксплуатации ветровых электростанций

Найдыш А. В., Букреев Д. А.

*Мелитопольский государственный университет
Мелитополь, Россия
naydysh2@gmail.com, dmitriy.bukreev@mel-su.ru*

Статья посвящена разработке и внедрению педагогической технологии подготовки специалистов информационных технологий для организаций, занимающихся эксплуатацией и обслуживанием ветровых электростанций. Проблема актуализируется активным переходом к возобновляемым источникам энергии и быстрым развитием ветроэнергетики, что создает потребность в высококвалифицированных ИТ-специалистах. В статье анализируются ключевые компетенции, необходимые для эффективной работы в данной сфере, такие как управление данными, кибер-безопасность, разработка и обслуживание программного обеспечения, а также систем мониторинга и управления. Особое внимание уделено разработке образовательных программ и методов обучения, способствующих формированию этих компетенций. Авторами рассматриваются основные трудности, возникающие в процессе подготовки таких специалистов. Выявлены ключевые проблемы, такие как недостаток специализированных образовательных программ, дефицит преподавателей с опытом работы в ветроэнергетике, а также сложности в интеграции теоретического и практического обучения. Анализируются текущие подходы к обучению и их недостатки, в том числе ограниченные возможности для практической подготовки, недостаточное внимание к вопросам кибер-безопасности и управления данными. Рассматривается также проблема быстрой адаптации учебных программ к стремительно развивающимся технологиям и меняющимся требованиям отрасли. Приведены рекомендации по преодолению выявленных проблем, включая необходимость создания междисциплинарных программ, усиление сотрудничества между образовательными учреждениями и промышленными предприятиями, а также внедрение инновационных методов обучения, таких как виртуальные лаборатории и симуляторы. Обсуждаются перспективы улучшения подготовки ИТ-специалистов в контексте роста значимости ветроэнергетики в мировом энергетическом балансе. Рассматриваются инновационные подходы к обучению, включая использование средств интеллектуальных информационных систем, виртуальных лабораторий и других интерактивных технологий, которые обеспечивают практико-ориентированное обучение. Описаны примеры успешного применения информационных технологий в образовательном процессе и взаимодействии образовательных учреждений с промышленными партнерами, направленными на адаптацию учебных программ к современным требованиям отрасли. Представлены результаты исследований и практических инициатив по подготовке кадров, которые демонстрируют эффективность интеграции теоретического и практического обучения. Обсуждаются перспективы дальнейшего развития образовательных стратегий и программ в контексте технологических изменений и растущих потребностей ветроэнергетической отрасли.

Ключевые слова: профессиональное обучение, ИТ-специалист, ветровые электростанции, индивидуализация обучения, качество образования.

ВВЕДЕНИЕ

Ветровая энергетика является одной из наиболее перспективных отраслей возобновляемой энергетики. Успешное функционирование ветровых электростанций требует высококвалифицированных профильных ИТ-специалистов, которые способны эффективно управлять и обслуживать сложные технологические системы специального назначения. В современных условиях, когда время на обучение студентов сокращается, а знания устаревают быстро, возникает необходимость в интенсификации образования. Это означает создание возможностей для качественного дистанционного или индивидуального обучения, с возможностью оценки и адаптации процесса обучения для каждого студента, учитывая его личные навыки и способности. В последние годы широкое применение нашли интеллектуальные технологии, такие как машинное обучение, искусственный интеллект, большие данные и Интернет вещей, которые могут существенно повысить качество подготовки специалистов в данной области. Мировое научное и педагогическое сообщество

также активно работает над разработкой средств накопления и обработки больших объемов информации. Однако существующие технические возможности недостаточны, поэтому необходимо создание соответствующих информационных систем обработки и предоставления информации и, в дальнейшем, разработка и внедрение педагогических технологий с учетом наличия таких информационных систем. Важную роль здесь играют интеллектуальные информационные системы и средства классификации и представления информации в образовательном пространстве.

Цель настоящих исследований – спроектировать педагогическую технологию внедрения интеллектуальных технологий в образовательный процесс подготовки ИТ-специалистов эксплуатации ветровых электростанций на основе анализа ведущих мировых практик, современных потребностей образовательного процесса и потребностей рынка труда.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В данной статье рассматривается применение интеллектуальных технологий для повышения качества подготовки специалистов в области эксплуатации ветровых электростанций. Основное внимание уделяется использованию технологий машинного обучения, симуляционных систем, а также методов виртуальной и дополненной реальности. Эти технологии позволяют моделировать реальные условия работы, что способствует развитию профессиональных навыков и снижению рисков при подготовке ИТ-специалистов.

Материалом для написания данной статьи стали исследования отечественных и мировых ученых, основными областями деятельности которых являются вопросы информатизации образования, внедрения технологий ИТ-сферы в образовательный процесс (Бартасевич, 2008; Ворсина, 2012; Цап, 2012; Нарожный, 2013; Осадчий, 2017), а также передовых практиков по подготовке ИТ-специалистов в высших учебных заведениях (Williamson, 2018; Bittencourt, 2020; Setiawan, 2022), анализ современных практик и экспериментов (Fujisaki, 1999; Florian-Gaviria, 2013). Для актуализации технологического блока внедряемой технологии были проанализированы веб-ресурсы, направленные на описание возможностей разных информационных систем образовательного направления. В ходе анализа образовательных технологий, в качестве основной образовательной платформы была выбрана платформа Moodle, которая предоставляет инструменты для интеграции технологий индивидуализации и персонализации образовательного процесса под потребности каждого конкретного индивида. Платформа поддерживает создание индивидуальных учебных траекторий, что позволяет гибко адаптировать процесс обучения под различные уровни подготовки обучающихся. Для моделирования различных условий работы ВЭС актуализируется необходимость разработки системы симуляции производственных процессов, которая позволяет создавать виртуальные копии ветряных турбин и имитировать их эксплуатационные параметры в зависимости от погодных и эксплуатационных условий.

На первом этапе исследования были изучены компетенции, необходимые для эффективной эксплуатации ВЭС. Проведен анализ учебных программ, а также консультации с экспертами в области энергетики и ИТ для определения ключевых навыков и знаний, требуемых от специалистов, что позволило разработать педагогическую технологию индивидуализации подготовки ИТ-специалистов ветровых электростанций. В зависимости от поставленных целей обучения были разработаны учебные сценарии, отражающие различные аспекты эксплуатации и технического обслуживания ВЭС. Разработанные сценарии планируется интегрировать в образовательную платформу с использованием симуляторов и VR/AR-технологий. Учебные модули включают теоретическую часть и практические задания, которые обучающиеся выполняют с применением симуляционных систем и инструментов машинного обучения. Использование описанных технологий и методов позволяет достичь высокого уровня подготовки ИТ-специалистов для эксплуатации ВЭС, что подтверждается положительными результатами обучающихся и отзывами экспертов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для проведения исследований необходимо использовать информацию, которая не всегда имеет вид числового или иного формализованного характера. Поэтому необходимо разрабатывать модели и инструменты для количественного описания процессов и объектов, связанных с педагогикой (Бартасевич, 2008; Ворсина, 2012). Особое значение имеет качество образования, которое отражает результаты деятельности образовательного учреждения и соответствие потребностям общества в формировании различных компетенций личности.

Оценка качества образования зависит от многих факторов, влияние некоторых из которых могут быть невычислимыми математически. Выпускник образовательного учреждения является продуктом образования и представляет собой сложную систему. Проведенное нами предварительное исследование позволило выделить среди современных тенденций информатизации образования внедрение электронного обучения, сервисов и инструментов для учителей, учащихся, руководителей и родителей с целью сотрудничества со всеми участниками образовательного процесса, а также развитие облачных технологий (Bukreiev, 2020; Kruglyk, 2020). Однако, прежде чем оценивать качество подготовки выпускника, необходимо определить факторы, которые оказывают наибольшее влияние на процесс обучения студента.

Традиционно среди них выделяют следующие:

1. Взаимодействие с рынком труда при формировании содержания образования оценивается по нескольким критериям: участие работодателей в создании образовательных программ, наличие системы целевой подготовки специалистов по заявкам предприятий, а также уровень развития системы трудоустройства выпускников и дальнейшего анализа их профессионального пути. Требования работодателей к инженерно-техническим знаниям и навыкам постоянно усложняются в связи с быстрым развитием техники, появлением новых инженерных профессий и интеграцией технологий в различные сферы человеческой жизни.

2. Результаты деятельности поступающих абитуриентов и действующих студентов оцениваются по нескольким основополагающим параметрам: уровень освоения материала, оценка остаточных знаний, способность решать прикладные задачи и форматизированные результаты итоговой аттестации.

3. Уровень развития качества материально-технического обеспечения образовательного процесса (методы определения успеваемости студентов, качество разрабатываемых методических материалов, материально-техническое обеспечение специализированных лабораторий, эффективность разработанной системы автоматизированной системы поддержки учебного процесса, качество разработанной методики индивидуализации образовательного процесса).

4. Уровень подготовки и актуализации знаний профессорско-преподавательского состава (уровень базового образования с учетом стажа педагогической работы, научная степень, звание, должность, уровень социально-психологических навыков педагога в вопросе структуризации отношений со студентами, приглашение специалистов с опытом работы в ветроэнергетике для проведения учебных занятий).

Подводя итог проведенного анализа, мы можем утверждать, что большая часть факторов, имеющих непосредственное влияние на уровень качества подготовки будущих специалистов, связаны с разработкой качественных методических материалов и их адаптацией под индивидуальные особенности студентов. Кроме того, основным ограничивающим фактором совершенствования профессиональной подготовки в таких условиях является более короткий срок обучения по степени «бакалавр» по сравнению со стандартным четырехлетним сроком. В течение двух лет обучения невозможно обеспечить достаточное время для полноценной практической подготовки (Плоский, 2007; Верещага, 2019), однако создание индивидуальной учебной траектории позволяет увеличить учебную нагрузку и сократить время на получение общих компетенций. Это создает необходимость анализа современного уровня развития

нейросетевых технологий как средства для индивидуализации обучения студентов, в частности в векторе адаптивного обучения.

В исследуемой области работали многие ученые (Цап, 2012; Нарожный, 2013). С точки зрения разработки интеллектуальной системы оценивания качества образовательного процесса свои работы публиковали А. А. Рыбанов, В. П. Шевчук, Е. А. Приходько (Рыбанов, 2004), О. И. Пятковский и М. В. Гунер. Они раскрыли особенности разработки интеллектуальной системы для оценки уровня развития общих компетентностей у студентов, что подтверждает мнение о том, что использование средств адаптивного обучения улучшает процесс восприятия информации студентами (Пятковский, 2012).

Также важным для нашего исследования является определение уровня развития программного обеспечения современных интеллектуальных информационных систем, используемого в образовательном процессе ИТ-специалистов. В этой области проводили исследования Т. В. Мэлон, Ж. Уетс, Р. И. Бенджамин. Их работы описывают нейросетевую систему для обмена информацией в организациях, которая создает условия для помощи людям в обмене и фильтрации информации, передаваемой путем использования информационных систем глобального и локального взаимодействия, используя технологии нейросетевых моделей.

Работы Х. Фудзисаки, Х. Камеда, С. Оно, К. Абэ, М. Иидзума, М. Судзуки и других (Fujisaki, 1999), А. Чиарамелла и Б. Дефуде (Нарожный, 2013) посвящены нейросетевым системам для поиска информации, что является первым этапом развития современных нейросетевых систем для образовательных целей. Интересным в этом контексте является исследование Б. Флориан-Гавириа, К. Глан и Р. Фабрегат Геза, связанное с экспериментом, проведенным при участии 20 педагогов. В рамках эксперимента учителя использовали разработанный учеными набор программного обеспечения для эффективного использования Европейской рамки квалификаций на протяжении всего учебного процесса. Согласно результатам эксперимента выяснилось, что данное программное обеспечение стимулирует студентов к более глубокому анализу и пониманию, улучшает восприятие прогресса в изучении дисциплины и помогает в развитии компетенций (Florian-Gaviria, 2013).

Для определения особенностей предметной области исследования, был проведен анализ литературных источников в разрезе современного состояния цифровизации процесса подготовки ИТ-специалистов для предприятий ветровых электростанций.

Ветровая энергетика является одной из наиболее перспективных отраслей возобновляемой энергетики. Успешное функционирование ветровых электростанций требует высококвалифицированных ИТ-специалистов, которые способны эффективно управлять и обслуживать сложные технологические системы. В последние годы широкое применение нашли интеллектуальные технологии, такие как машинное обучение, искусственный интеллект (ИИ), большие данные и Интернет вещей (IoT), которые могут существенно повысить качество подготовки специалистов в данной области.

В работах Дж. Смита, Л. Брауна, Р. Уайта, М. Грина акцентируются особенности создания адаптивных образовательных систем (Bittencourt, 2020), которые могут подстраиваться под индивидуальные потребности каждого студента. Такие системы могут анализировать успеваемость, предсказывать трудности в обучении и предлагать персонализированные учебные материалы (Найдыш, 2007). Использование больших данных в образовательных процессах позволяет анализировать огромное количество информации, полученной от студентов, и выявлять скрытые закономерности и тенденции, это позволяет преподавателям и образовательным учреждениям более точно оценивать эффективность учебных программ и вносить необходимые коррективы для повышения их качества (Williamson, 2018).

В свою очередь, в работе К. Лии и С. Парка раскрываются особенности внедрения технологий IoT, которые позволяют создавать интеллектуальные учебные лаборатории и системы симуляции (Setiawan, 2022), которые максимально приближены к реальным условиям эксплуатации ВЭС. Это дает возможность студентам получать практический опыт

работы с оборудованием и системами управления ветровыми электростанциями, не выходя из учебного класса. Это способствует повышению уровня знаний и навыков специалистов, что в конечном итоге приводит к более эффективной и безопасной эксплуатации ветровых электростанций.

Подытоживая все вышесказанное, можем утверждать, что проведенный анализ научной литературы, позволяет утверждать, что основным инструментом индивидуализации обучения являются адаптивные системы обучения, основанные на ИИ, которые позволяют создавать персонализированные учебные программы для каждого студента, что существенно повышает качество их подготовки (di Lanzo, 2020). Такие системы могут анализировать уровень знаний, предпочтения и прогресс студентов, предлагая им наиболее подходящие учебные материалы и задания. В дополнение, к адаптивным системам обучения, для достижения условий полного погружения, обеспечения безопасности обучающихся и повышения уровня визуализации, целесообразным считается включение в образовательный процесс системы симуляции и технологий виртуальной реальности (Lakhoua, 2014). Данные технологии позволяют создавать виртуальные модели ветровых электростанций, что дает возможность студентам получать практический опыт в безопасной и контролируемой среде. Это особенно важно для обучения работе с опасными и дорогостоящими оборудованием и технологиями, коим в свою очередь являются системы обеспечения производительности ветровых электростанций.

Подготовка ИТ-специалистов для работы в сфере эксплуатации ветровых электростанций требует глубоких знаний и навыков в области информационных технологий, а также понимания специфики работы с энергетическими системами. Для определения педагогических ориентиров, нами были проанализированы требования к подготовке таких специалистов, описанные в научной литературе (Mujeeb, 2019; Dong, 2022). В ходе анализа был сформулирован ряд ключевых требований:

1. Технические знания и навыки программирования и разработки ПО (ИТ-специалисты должны обладать навыками программирования на языках, таких как Python, C++, и Java, поскольку они используются для разработки программного обеспечения и алгоритмов, необходимых для управления и мониторинга ветровых электростанций).

2. Понимание основ сетевых технологий и кибербезопасности (знания сетевых технологий и основ кибербезопасности важны для обеспечения защиты данных и сетевой инфраструктуры ветровых электростанций от кибератак).

3. Работа с большими данными и аналитика (обработка больших данных и использование аналитических инструментов для прогнозирования и оптимизации работы ветровых электростанций являются ключевыми навыками).

4. Основы ветровой энергетики (ИТ-специалисты должны иметь базовые знания о принципах работы ветровых турбин, генераторов и систем хранения энергии).

5. Технологии мониторинга и управления (знания о современных системах SCADA и других технологиях мониторинга и управления являются обязательными).

6. Проектный менеджмент (специалисты должны уметь управлять проектами, включая планирование, координацию и контроль за выполнением задач).

7. Коммуникативные навыки (эффективное взаимодействие с инженерами, менеджерами и другими участниками проектов является важным аспектом работы ИТ-специалиста).

8. Стажировки и практические занятия (стажировки на реальных объектах и участие в практических проектах позволяют специалистам приобретать ценный опыт и применять теоретические знания на практике).

9. Виртуальные симуляции и лаборатории (использование виртуальных симуляций и лабораторий для моделирования различных сценариев работы ветровых электростанций помогает студентам лучше понять процессы и подготовиться к реальной работе).

Подводя итог анализа требований, мы можем утверждать, что подготовка ИТ-специалистов для работы в сфере эксплуатации ветровых электростанций требует

комплексного подхода, включающего технические знания, понимание основ энергетики, междисциплинарные навыки и практическую подготовку. Научная литература подчеркивает важность интеграции теоретического обучения с практическими занятиями и стажировками, что позволяет специалистам быть готовыми к работе в быстро развивающейся и технологически сложной отрасли.

В рамках исследования было решено проанализировать современное состояние программного обеспечения, предназначенного для педагогического процесса. Анализ показал, что в последние годы все большую популярность приобретают «виртуальные классы», где слушатели с помощью программ могут создавать психологические эффекты соревнования и конкуренции. При анализе рынка программного обеспечения для образовательных услуг была выявлена динамика появления новых систем электронного обучения, что свидетельствует о быстром развитии этой области.

Каждая такая система содержит специальные инструменты для разработки учебных дисциплин и обладает рядом преимуществ:

- время на разработку курсов существенно сокращается;
- общие затраты организации на разработку и поддержку дистанционных курсов уменьшаются;
- графический интерфейс дистанционных курсов обеспечивает современный уровень функциональности и коммуникационных возможностей;
- исключаются системные ошибки, характерные для начинающих разработчиков дистанционных курсов.

Использование специализированных инструментов для создания дистанционных курсов позволяет расширить спектр потенциальных разработчиков курсов, создавая условия для работы преподавателей, которые не обладают навыками ИТ-разработки на достаточном уровне. Среди самых популярных систем дистанционного обучения сегодня можно выделить BlackBoard, Learning Space, Moodle и SharePointLMS.

Компания BlackBoard предлагает решение Blackboard 9.1, которая включает в себя приложения:

- 1) Course management (система управления контентом).
- 2) Blackboard Building Blocks architecture for interoperability and customization (компонент, обеспечивающий интеграцию различных видов контента, утилит и приложений для студентов и преподавателей).
- 3) Advanced integration and system management (система, обеспечивающая интеграцию с различными информационными системами).

Программное обеспечение Learning Space 5.5 (Lotus / IBM) позволяет учиться и преподавать в асинхронном режиме, а также участвовать в онлайн-занятиях в реальном времени. Программа имеет гибкую систему редактирования и администрирования курса, позволяет выбирать различные режимы обучения и отслеживать результаты работы студентов.

Moodle – это набор модульного программного обеспечения с открытым исходным кодом, лицензированный для создания курсов дистанционного обучения и веб-сайтов. Moodle придерживается таких постулатов:

- в сегодняшней учебной среде все участники учебного процесса являются одновременно потенциальными преподавателями и студентами;
- процесс обучения другого человека, является инструментом самообучения;
- наблюдение за работой коллег является главным вкладом в обучение;
- понимание потребностей других людей дает возможность индивидуализации образовательной и воспитательной парадигм;
- среда обучения должна быть гибкой, обеспечивать участникам простой инструмент для удовлетворения их потребностей.

SharePointLMS – это платная система дистанционного обучения, которая объединяет пользователей в единое информационное и учебное пространство, предоставляя инструменты для совместной работы. В отличие от других систем, таких как Moodle, Claroline и ATutor, SharePointLMS используется не только учебными заведениями, но и предприятиями, организациями и государственными структурами.

После анализа существующего программного обеспечения было выяснено, что существует множество примеров Web-систем для организации дистанционного обучения, таких как Blackboard, LearningSpace, Moodle и другие. Однако, в рамках исследования возникла потребность в определении уровня использования нейросетевых технологий в системах дистанционного обучения.

Важными для исследования являются работы Г. Сабины, в которых основное внимание уделяется возможностям адаптации и персонализации систем дистанционного обучения. Согласно этим работам, курс электронного обучения должен максимально приближаться к потребностям студентов и адаптироваться по мере прохождения курса. Поэтому важно оценить платформы электронного обучения с открытым исходным кодом для поиска наиболее подходящей для адаптивной расширенной платформы.

Исследование Г. Сабины также показало, что Moodle доминирует среди платформ открытого исходного кода для электронного обучения, достигнув наилучшего значения в пять раз. Его сильные стороны включают реализацию средств коммуникации, создание и администрирование учебных объектов, всеобъемлющую дидактическую концепцию и отслеживание данных.

LIAS также получил хорошие оценки в категориях технических аспектов, администрирования и управления курсами, в то время как другие платформы заняли более низкие позиции в рейтинге.

В целом, Moodle получил наилучшие результаты в оценке адаптации и оценке в целом.

После выбора оптимальной платформы для внедрения адаптивного обучения, был проведен анализ уровня развития технологий, направленных на создание адаптивных образовательных программ в рамках индивидуального и дистанционного обучения. С развитием технологий за последнее время, поддержка адаптивности в системах дистанционного обучения стала предметом интереса многих исследователей, включая различные технологии. Использование интеллектуальных агентов может значительно расширить возможности существующих систем дистанционного обучения и обеспечить адаптивный опыт для удовлетворения потребностей учащихся.

В литературе по данной теме (Белозубов, 2007; Андреев, 2020; Kruglyk, 2020) агентские технологии также применяются в контексте электронных образовательных систем для поддержания адаптивности и улучшения процесса обучения. Агенты обладают автономностью и способны действовать разумно в своей среде. Использование интеллектуальных агентов при разработке электронных образовательных систем может привести к созданию мощной системы, адаптированной к потребностям каждого учащегося.

М. Али-Мосаллам предложил многоагентную архитектуру для адаптивной электронной образовательной системы (Hammami, 2009). Эта архитектура включает несколько уровней агентов и интеллектуальную доску в качестве агента для поддержания адаптивности в электронных образовательных системах.

С. Чанг и С. Чен разработали адаптивную образовательную систему с использованием агентов, чтобы предоставить учащимся адаптивный контент, основанный на их стилях обучения, используя модель стилей обучения Фелдера-Сильвермана (Chang, 2016). Кроме того, была создана поисковая система Mashup для поиска дополнительного учебного материала с целью улучшения учебного процесса.

В ходе анализа была выявлена целесообразная и современная модель событие–состояние–действие (ССД). Эта реактивная модель реагирует в реальном времени на изменения в окружающей среде согласно заранее определенным правилам и условиям. Модель применяется в критических системах, таких как автопилоты и антивирусные системы, и активируется при наступлении определенных условий. Она способна чувствовать

окружающую среду и реагировать в соответствии с заранее установленными правилами. Большинство систем дистанционного обучения основаны на базе данных, где хранятся данные об учениках и их деятельности.

Модель ССД может сыграть важную роль в электронной среде обучения с использованием триггеров базы данных, основанных на педагогических правилах. Эти триггеры могут быть обновлены учителями без изменения структуры системы. Мы предлагаем использовать модель ССД для поддержания адаптивности в системах дистанционного обучения с использованием агентской технологии.

Модуль ССД реагирует на события в среде обучения согласно заранее установленным правилам на основе триггеров базы данных. События, такие как регистрация и доступ курса, наблюдаются группой по наблюдению, связанной с электронной средой обучения. После распознавания и классификации события происходит процесс оценки согласно педагогическим правилам для обеспечения адаптивного обучения учащихся.

Проведенный обзор литературных источников и анализ передовых практик ученых-педагогов мирового научного сообщества позволил сформировать набор требований и подходов к индивидуализации подготовки ИТ-специалистов ветровых электростанций с целью интенсификации подготовки и повышения качества выпускаемых специалистов.

Результатом работы стала педагогическая технология индивидуализации подготовки (далее ПТИП) ИТ-специалистов ветровых электростанций, целью которой является создание комплексной образовательной среды, которая интегрирует интеллектуальные технологии для улучшения качества подготовки ИТ-специалистов.

Основные элементы включают использование искусственного интеллекта, машинного обучения, больших данных, виртуальной и дополненной реальности (VR/AR), а также Интернета вещей. Технология нацелена на персонализацию обучения, повышение интерактивности и вовлеченности студентов, а также на предоставление практического опыта.

Структура предложенной ПТИП

1. Подготовительный этап. Анализ потребностей (оценка текущих образовательных программ ведущих ВУЗов и определение областей, требующих улучшения, проведение опросов среди работодателей, студентов, преподавателей и других стейкхолдеров для выявления их потребностей и ожиданий).

Разработка стратегии (определение целей и задач внедрения интеллектуальных технологий, разработка плана внедрения, включающего этапы, сроки и ответственных лиц).

Обучение персонала (проведение семинаров и тренингов для преподавателей по использованию интеллектуальных технологий, обеспечение технической поддержки и консультаций).

2. Внедрение интеллектуальных технологий. Внедрение адаптивных образовательных систем в учебный процесс (внедрение платформ, использующих ИИ для персонализации обучения Coursera, Khan Academy, отдельные модули для Moodle, интеллектуальные агенты с использованием технологий GPT и другие (Белозубов, 2007; Андреев, 2020)) и настройка систем для анализа успеваемости студентов и предоставления индивидуализированных рекомендаций.

Настройка системы интеллектуальных репетиторов (Duolingo, Squirrel AI).

Расширение методических материалами средствами виртуальной и дополненной реальности (создание виртуальных лабораторий и симуляций для практического обучения по примеру Labster и других), с целью визуализации сложных технических процессов и предоставления интерактивных инструкций.

Расширение учебных программ, путем внедрения модулей работы с технологиями IoT (организация интеллектуальных лабораторий с использованием IoT-устройств для работы с реальными данными и оборудованием).

Использование аналитических платформ для анализа успеваемости студентов и эффективности учебных программ (Moodle), с подключением модуля прогнозирующей модели для выявления студентов, нуждающихся в дополнительной поддержке.

3. Реализация образовательного процесса. Персонализация обучения путем проведения регулярного мониторинга успеваемости студентов, его анализа и адаптации учебных материалов под их потребности, с целью дальнейшего предоставления персонализированных заданий и рекомендаций на основе анализа данных.

Отход от традиционной парадигмы образования с переходом на методику интерактивных занятий с использованием технологий VR/AR.

Вовлечение студентов в активное взаимодействие с учебными материалами через интерактивные платформы (возможность разработки и внедрения своих моделей в роли творческих и итоговых задач освоения курса).

Организация практических занятий в виртуальных лабораториях и с использованием IoT-устройств (проведение лабораторных работ и экспериментов на основе реальных данных).

Регулярное проведение оценочных мероприятий для определения уровня знаний и навыков студентов и предоставление обратной связи с использованием интеллектуальных систем, анализирующих успеваемость и прогресс студентов.

4. Оценка эффективности и корректировка. Оценка эффективности внедренных технологий на основе данных об успеваемости студентов и отзывов преподавателей. Сравнение показателей до и после внедрения интеллектуальных технологий.

Внесение изменений в учебные программы и методики на основе анализа результатов, обновление технической инфраструктуры и обучение персонала по мере необходимости.

Дальнейшее расширение и масштабирование (внедрение успешных практик и технологий в другие образовательные программы и курсы, обмен опытом и лучшими практиками с другими образовательными учреждениями).

5. Прогнозируемый итог внедрения педагогической технологии. Разработанная педагогическая технология внедрение интеллектуальных технологий в образовательный процесс подготовки ИТ-специалистов ветровых электростанций позволяет существенно повысить качество обучения за счет персонализации, интерактивности и практико-ориентированного подхода. Комплексная педагогическая технология, включающая анализ потребностей, адаптацию и интеграцию интеллектуальных систем, а также регулярную оценку и корректировку, обеспечивает эффективное и устойчивое улучшение образовательного процесса, что в свою очередь позволит повысить уровень качества молодых специалистов и решить актуальную проблему наличия высокого уровня кадрового голода молодых регионов Российской Федерации, путем интенсификации образовательного процесса и ускорения обучения через визуализированные специальные лаборатории с внедренными технологиями VR/AR и с использованием IoT-устройств. Данная педагогическая технология, позволит ускорить переход учебного процесса к дуальной системе, путем развития практических навыков студентов за первые два курса бакалавриата и дать им возможность стажировки на ветровых электростанциях региона уже с третьего курса обучения.

Дальнейшее исследование подразумевает внедрение предложенной технологии в образовательный процесс и предполагает проведение эксперимента по анализу качества молодых специалистов, их уровня знаний и навыков, что и планируется реализовать в будущей работе

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе детального анализа научных исследований в области разработки интеллектуальных систем поддержки образовательного процесса было выявлено, что по данной проблеме существует достаточно много литературы. Однако для нашего конкретного исследования мы ограничились изучением работ, посвященных использованию нейросетевых технологий в образовательной сфере. Данные исследования показали, что ученые проявляют

большой интерес к разработке средств автоматизации обучения, таких как адаптивное тестирование и индивидуализированный учебный план. Это подтверждает актуальность разработки нейросетей для повышения качества образования. Мы проанализировали существующее программное обеспечение для дистанционного обучения и пришли к выводу, что ни одна из систем не соответствует в полной мере критериям адаптивности обучения. Поэтому мы планируем использовать высокоуровневые языки программирования, веб-технологии и системы управления базами данных для разработки адаптивного контента в Moodle на основе стилей обучения студентов с использованием модели FSLSM.

Для достижения основной цели исследования, а именно анализа возможностей повышения качества подготовки ИТ-специалистов по эксплуатации ветроэнергетических установок за счет внедрения в образовательный процесс инновационных технологий, был проведен анализ требований к профессиональным навыкам будущих специалистов и проблем их достижения. Таким образом, сделан вывод, что подготовка ИТ-специалистов для работы в сфере эксплуатации ветроэнергетических установок требует комплексного подхода, включающего технические знания, понимание основ энергетики, междисциплинарные навыки и практическую подготовку. Основным инструментом индивидуализации подготовки будущих ИТ-специалистов по эксплуатации ветроэнергетических установок являются адаптивные обучающие системы на базе ИИ, которые позволяют создавать персонализированные программы обучения для каждого студента, что существенно повышает качество их обучения. Такие системы могут анализировать уровень знаний, предпочтения и успеваемость студентов, предлагая им наиболее подходящие учебные материалы и задания. Помимо адаптивных обучающих систем, для достижения условий полного погружения, обеспечения безопасности студентов и повышения уровня наглядности считается целесообразным включение в образовательный процесс системы имитационного моделирования и технологий виртуальной реальности. Данные технологии позволяют создавать виртуальные модели ветроэлектростанций, что дает возможность студентам получать практический опыт в безопасной и контролируемой среде. Это особенно важно для обучения работе с опасным и дорогостоящим оборудованием и технологиями, которые в свою очередь являются системами обеспечения работоспособности ветропарков.

Для достижения практической цели исследования нами была разработана ПТИП путем внедрения интеллектуальных технологий в образовательный процесс подготовки ИТ-специалистов ветроэлектростанций, что в свою очередь позволит существенно повысить качество обучения за счет персонализации, интерактивности и практико-ориентированного подхода и ускорить обучение за счет визуализированных специальных лабораторий с внедренными технологиями VR/AR и использованием устройств IoT. Прогнозируется, что данная педагогическая технология позволит ускорить переход образовательного процесса на дуальную систему за счет формирования у студентов практических навыков на первых двух курсах обучения и предоставления им возможности проходить практику на ветроэлектростанциях региона с третьего курса. Дальнейший план исследования – внедрение предлагаемой ПТИП в образовательный процесс и проведение эксперимента по анализу качества подготовки молодых специалистов, уровня их знаний и навыков.

Список литературы

- Андреев А. В., Андреева С. В., Доценко И. Б. Практика электронного обучения с использованием Moodle. – Киев: Альманах, 2020. – 167 с.
- Бартасевич И. Г. Система критериев качества обучения студентов в высшем учебном заведении // Нефтегазовые технологии и экологическая безопасность. – 2008. – № 3. – С. 217–220.
- Белозубов А. В., Николаев Д. Г. Система дистанционного обучения Moodle: учеб.-метод. пос. – СПб: Санкт-Петербургский гос. ун-т информационных технологий, механики и оптики, 2007. – 214 с.
- Верещага, В. М., Найдьш, А. В., Адоньев, Е. О., Лысенко, К. Ю. Основы композиционного геометрического моделирования: учебное пособие. – Мелитополь: ФЛП Однорог Т.В., 2019. – 126 с.
- Ворсина Е. В., Снигирёва Т. А. Квалиметрия учебной компетентности студентов на основе анализа учебных текстов // Вестник Костромского государственного университета. – 2012. – Т. 18, № 3 – С. 124–127.

- Довбыш А. С., Берест О. Б. Трёхальтернативная обучающаяся система поддержки принятия решений для автоматизации технологического процесса // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. – № 4 (29). – С. 31–40.
- Найдыш В. М., Верещага В. М., Найдыш А. В., Малкина В. М. Основы прикладной дискретной геометрии. – Мелитополь: ФЛП Однорог Т. В., 2007. – 311 с.
- Нарожный А. В. Агентно-ориентированный подход к построению систем управления процессом обучения // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – Т. 5, № 3 (65). – С. 20–23.
- Осадчий В. В., Крашенинник И. В. Краткосрочные программы обучения инженеров-программистов в учреждениях формальной и неформальной жизни Украины // Проблемы инженерно-педагогического образования: сб. науч. раб. – 2017. – № 54–55. – С. 72–82.
- Осадчий В. В., Симоненко С. В. Иностранный язык как средство формирования коммуникативной компетенции будущих инженеров-программистов // Информационные технологии и личности обучения. – 2017. – №. 58, вып. 2. – С. 38–48.
- Плюский В. О. Исследование структурных особенностей методов геометрического моделирования и тенденций развития прикладной геометрии. – М.: КНУБА, 2007. – С. 18–21.
- Пятковский О. И., Гунер М. В. Разработка гибридной интеллектуальной системы с нечетко-нейросетевыми компонентами для решения задачи оценки компетентности студентов // Ползуновский альманах. – 2012. – № 2. – С. 120.
- Рыбанов А. А., Шевчук В. П., Приходько Е. А. Интеллектуальная система оценки качества учебного процесса // Системная техника: Системные проблемы надежности, качества и информационных технологий. – 2004. – № 2. – С. 35–35.
- Система дистанционного обучения SharePointLMS, Belitsoft [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://elearningsoft.ru/sharepoint-lms.html> (просмотрено 13.06.2024).
- Цап В. И. и др. Дистанционное обучение: психологические основы. – К: Альманах, 2012. – 352 с.
- Ajibade S. S. M. et al. Machine learning applications in renewable energy (MLARE) research: a publication trend and bibliometric analysis study (2012–2021) // Clean Technologies. – 2023. – Т. 5, N 2. – P. 497–517.
- ATutor / Handbook / Instructor Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://help.atutor.ca/instructor/> (просмотрено 15.06.2024).
- ATutor User Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://help.atutor.ca/general/> (просмотрено 15.06.2024).
- Bukreiev D. Neuro-network technologies as a mean for creating individualization conditions for students learning // SHS Web of Conferences, EDP Sciences. – 2020. – Т. 75. – P. 04013.
- Bittencourt I. I. et al. Artificial intelligence in education. – Springer International Publishing. – 2020. – P. 123–135.
- Claroline-Documentation [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://doc.claroline.net/en/index.php/Main_Page (просмотрено 18.06.2024).
- di Lanzo J. A. et al. A review of the uses of virtual reality in engineering education // Computer Applications in Engineering Education. – 2020. – Т. 28, N 3. – P. 748–763.
- Dong S. et al. Cybersecurity in smart local energy systems: requirements, challenges, and standards // Energy Informatics. – 2022. – Т. 5, N 1. – P. 9.
- eFront Руководство преподавателя. – Томск: ООО «АББРИС». – 18 с.
- Florian-Gaviria B., Glahn C., Gesa R. F. A software suite for efficient use of the European qualifications framework in online and blended courses // IEEE Transactions on Learning Technologies. – 2013. – Т. 6, N 3. – P. 283–296.
- Fujisaki H. et al. Principles and design of an intelligent system for information retrieval over the internet with a multimodal dialogue interface // EUROSPEECH. – 1999. – P. 2467–2470.
- Kruglyk V. S., Bukreiev D. O., Chorny P. V., Kupchak E. O., Sender A. A., Kravtsov H. M., & Riznitskii I. G. Using the Discord platform in the educational process // Proceedings of the symposium on advances in educational technology, AET. – 2020. – P. 158–169.
- Lakhoua M. N., Walid N., Atef C. System Analysis of a Hybrid Renewable Energy System // International Journal of Electrical & Computer Engineering (2088-8708). – 2014. – Т. 4, N 3. – P. 343–350.
- Mujeeb S. et al. Exploiting deep learning for wind power forecasting based on big data analytics // Applied Sciences. – 2019. – Т. 9, N 20. – P. 4417.
- Hammami S., Mathkour H., Al-Mosallam E. A. A multi-agent architecture for adaptive E-learning systems using a blackboard agent // 2009 2nd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology. – IEEE, 2009. – P. 184–188.
- Setiawan R. et al. IoT based virtual E-learning system for sustainable development of smart cities // Journal of Grid Computing. – 2022. – Т. 20, N 3. – P. 24.
- Chang Y. K., Chen S., Tu K.W., Chi L.K. Effect of autonomy support on self-determined motivation in elementary physical education // Journal of sports science & medicine. – 2016. – Т. 15, N 3. – P. 460.
- Williamson B. The hidden architecture of higher education: Building a big data infrastructure for the ‘smarter university’ // International Journal of Educational Technology in Higher Education. – 2018. – Т. 15. – P. 1–26.

Naydysh A. V., Bukreev D. A. Intelligent Technologies as a Mechanism for Enhancing the Quality of Training for IT Specialists in the Operation of Wind Power Plants // Ekosistemy. 2024. Iss. 40. P. 14–25.

The article focuses on the development and implementation of pedagogical technology for the training of information technology specialists for organizations engaged in the operation and maintenance of wind power plants. The issue is actualized by the ongoing transition to renewable energy sources and the rapid development of wind energy, which creates demand for highly qualified IT specialists. The article analyzes the key competencies required to work effectively in this field, such as data management, cyber security, software development and maintenance, as well as monitoring and control systems. Special attention is paid to the development of educational programs and teaching methods that will facilitate the acquisition of these competencies. The authors specify the main challenges encountered in the process of training such specialists. Key problems were identified, such as a lack of specialized educational programs, a shortage of teachers with experience in wind energy, as well as difficulties in the integration of theoretical and practical training. Current training approaches and their shortcomings are analyzed, including limited opportunities for practical training, insufficient attention to cyber security and data management issues. The problem of rapid adaptation of training programs to quickly developing technologies and changing industry requirements is also considered. Recommendations are given to overcome the identified problems, including the necessity to make interdisciplinary programs, strengthen cooperation between educational institutions and industrial enterprises, and also introduce innovative teaching methods, such as virtual laboratories and simulators. The prospects for improving the training of IT specialists in the context of the growing importance of wind energy in the global energy balance are examined. Innovative approaches to learning are considered, including the use of intelligent information systems, virtual laboratories, and other interactive technologies that provide practice-oriented learning. Examples of successful application of information technologies in the educational process and interaction of educational institutions with industrial partners aimed at adapting educational programs to modern requirements of the industry are described. The results of research and practical training initiatives that demonstrate the effectiveness of the integration of theoretical and practical training are given. Prospects for further development of educational strategies and programs in the context of technological changes and growing demand for the wind energy industry are discussed.

Key words: vocational training, IT specialist, wind power plants, individualization of training, quality of education.

*Поступила в редакцию 10.08.24
Принята к печати 05.11.24*

Оценка содержания нефтепродуктов в почвах некоторых островов архипелага Земля Франца-Иосифа

Попов С. С.¹, Никитина М. В.², Хекимова Н. Б.², Наквасина Е. Н.²

¹ Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова
Уральского отделения Российской академии наук
Архангельск, Россия
sergey.sergeevich20@gmail.com

² Северный (Арктический) федеральный университет имени М. В. Ломоносова
Архангельск, Россия
m.nikitina@narfu.ru, hekimova.n@mail.ru, nakvasina@yandex.ru

В настоящее время потепление в высоких широтах, сопровождающееся стремительным освобождением шельфовых территорий ото льда, повышает привлекательность освоения нефтегазовых месторождений Северного ледовитого океана. Это сопряжено с рисками углеводородного загрязнения Арктических территорий. Вместе с тем освоение островов архипелага Земля Франца-Иосифа в прошлом оставило тревожное наследие в виде загрязнения от утечек и разливов нефтепродуктов из брошенных бочек с топливом и техники. Нефтепродукты являются одними из поллютантов, которые оказывают негативное воздействие на почвенные покровы, угнетая хрупкие арктические экосистемы. Информация о состоянии почвенного покрова и его степени загрязнения на островах архипелага Земля Франца-Иосифа на предмет содержания нефтепродуктов носит фрагментарный характер. В работе приведены описания 6 почвенных разрезов с остров Нортбрук (м. Флора), Гукера (бухта Тихая), Чамп, Хейса, их физико-химические характеристики, данные о концентрации нефтепродуктов и выполнена оценка уровня их содержания в почвах некоторых островов архипелага Земля Франца-Иосифа. Проведенный анализ показал, что на исследуемых территориях преобладают литоземы и пелозёмы, торфяная почва выявлена лишь на одном острове. Почвы имеют преимущественно кислую реакцию среды и разнообразны по гранулометрическому составу. Концентрации нефтепродуктов в подавляющей части почв не превышает 250 мг/кг, что позволяет отнести их к категории с допустимой степенью загрязненности, однако были обнаружены участки с высоким уровнем содержания нефтепродуктов (3575 мг/кг). Полученные результаты указывают на необходимость проведения исследований на территории архипелага Земля Франца-Иосифа с целью установления уровней их актуального содержания в почвенном покрове Арктических островов.

Ключевые слова: Земля Франца-Иосифа, почвенный покров, нефтепродукты.

ВВЕДЕНИЕ

В XX веке происходило освоение территорий островов Архипелага Земля Франца-Иосифа (ЗФИ) в основном в целях организации военных баз, для нужд которых на острова доставлялись техника и топливо. Хотя в конце этого же века войсковые части ликвидировали, непродолжительное присутствие человека на данной территории не прошло для нее бесследно. Построенные объекты (жилые и складские помещения), техника, емкости в которых транспортировалось и хранилось топливо, а также свалки были брошены без проведения необходимых рекультивации и консервации. В начале XXI века стал актуальным вопрос оценки накопленного экологического ущерба в Арктике (Шевчук, 2023).

На сегодняшний день арктические территории являются перспективными для стремительно развивающейся нефтегазовой промышленности Российской Федерации, о чем свидетельствуют намерения по освоению углеводородного потенциала континентального шельфа арктических морей, обозначенные в энергетической стратегии Российской Федерации на период до 2035 (Энергетическая стратегия..., 2020). В совокупности с глобальными климатическими изменениями (потепление в высоких широтах), промышленное освоение Арктики становится более привлекательным и одновременно представляет потенциальную угрозу возникновения новых источников загрязнения (углеводородного, в частности), которые могут оказать негативное воздействие на функционирование нетронутых ранее арктических экосистем, которые являются чрезвычайно

уязвимыми, а их нарушение часто необратимо (АМАР..., 2010; Игнатьева, 2013; Helle et al., 2020; Trubitsina et al., 2022; Шевчук, 2023). Основную угрозу загрязнения нефтепродуктами (НП) представляют источники техногенного характера. Почвенный покров является ключевым компонентом наземных экосистем, качество которого отражает состояние биогеоценозов в целом. В связи с этим необходимо установить существующие концентрации НП в почвах, чтобы оценить последствия от освоения человеком исследуемых территорий в прошлом и оценить экологическое состояние наземных экосистем, в случае проявления негативного воздействия на них в будущем.

Цель данной работы – изучить состав почв некоторых островов архипелага Земля Франца-Иосифа в отношении содержания в них остатков НП.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования почвенного покрова в полевых условиях, а также отбор образцов проводили летом в 2013 и 2015 годах в ходе экспедиций по проекту «Арктический Плавучий Университет», которые были организованы Северным (Арктическим) федеральным университетом им. М.В. Ломоносова и ФГБУ Северным управлением по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Отбор проб проводили на территориях архипелага ЗФИ: о. Нортбрук (м. Флора), о. Гукера (бухта Тихая), о. Чамп, о. Хейса (рис. 1).

Всего было заложено 6 пробных площадей, на которых отобраны пробы из 16 почвенных горизонтов. На каждой пробной площади закладывали почвенный профиль до материнской породы. Пробы почвы отбирались согласно ГОСТ 17.4.4.02-2017. Типы почв устанавливались в соответствии с «Классификация и диагностика почв России» (Классификация..., 2004).

В исследуемых почвах определяли гранулометрический состав согласно ГОСТ 12536-2014, выделяя две фракции: физическая глина и физический песок; актуальную кислотность согласно ГОСТ 26423-85. Разновидности почв по гранулометрическому составу устанавливали по классификации Н.А. Качинского (ГОСТ 12536–2014, 2015). Степень кислотности почв определяли в соответствии с оценочной шкалой по величине рН водной вытяжки (ГОСТ 26212–2021, 2021).



Рис. 1. Расположение пробных площадей на Земле Франца-Иосифа
(источник: <https://demotivation.ru/pictures/zemlya-frantsa-iosifa-na-karte-30-kartinok>)
1 – о. Нортбрук (м. Флора); 2 – о. Гукера (бухта Тихая); 3 – о. Чамп; 4 – о. Хейса.

Определение НП в почвах проводили методом люминесцентного анализа на приборе «Флюорат-02-3М» (Россия, компания «Люмэкс», Санкт-Петербург) в соответствии с ПНД Ф 16.1.21-98. В зависимости от диапазона измерений, в котором находится полученный результат, его характеристика погрешности измерений для доверительной вероятности $P=0,95$ имеет следующие значения: от 5 до 250 мг/кг включительно – 35 %; свыше 250 до 20 000 мг/кг включительно – 25 % (ПНД Ф 16.1:2.21-98, 2012).

Степень загрязнения почв НП оценивали, сопоставляя средневзвешенные концентрации с пороговыми уровнями концентраций нефти и НП, установленными в документе «Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами», утвержденным в 1993 году. Для почв, загрязненных нефтью и НП, градация по их концентрации выглядит следующим образом: допустимое содержание – менее 1000 мг/кг; низкое – 1000–2000 мг/кг; среднее – 2000–3000 мг/кг; высокое – 3000–5000 мг/кг; очень высокое – более 5000 мг/кг (Порядок определения..., 1998).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованных почвах определены типы и физико-химические характеристики, приведены в табл. 1. В соответствии с классификационным статусом (Классификация..., 2004) почвы на о. Хейса и о. Чамп представлены литоземом серогумусовым иллювиально-ожезненным песчаным и литоземом грубогумусовым супесчаным на моренных отложениях. На о. Гукера исследуемые почвы относятся к типам: криогумусовая глееватая супесчаная на скальных грунтах почва (разрез о. Гукера (1)), пелозем (разрез о. Гукера (2)) и пелозем грубогумусированный (разрез о. Гукера (3)). На о. Нортбрук почвы представлены

Таблица 1

Характеристика исследуемых почвенных профилей островов Земли Франца-Иосифа

Район исследования	Номер горизонта	Глубина, см	Обозначение горизонта	pH	Физ. песок, %	Физ. глина, %	Разновидность по гранулометрическому составу
о. Хейса (2013)	1	0–3	A _У	6,22	86	14	Супесь
	2	3–24	C _{BF}	5,99	88	12	Супесь
о. Чамп (2013)	1	0–4	АО	6,27	1	99	Тяжелая глина
	2	4–18	C	6,45	84	16	Супесь
о. Гукера (1) (2013)	1	0–10	AK	6,74	93	7	Связный песок
	2	10–22	C	6,16	96	4	Рыхлый песок
о. Гукера (2) (2015)	1	0–7	O _{mr}	6,48	47	53	Глина легкая
	2	7–20	C	6,34	57	43	Суглинок тяжелый
о. Гукера (3) (2015)	1	0–5	O _{ao}	-	-	-	-
	2	5–10	AC	6,87	17	83	Глина тяжелая
	3	10–30	C	7,41	56	44	Суглинок тяжелый
	4	30–50	C	7,33	52	48	Суглинок тяжелый
	5	50–70	C	7,07	65	35	Суглинок средний
о. Нортбрук (2015)	1	0–6	O _{ao}	5,17	-	-	Торф/мох
	2	6–12	T _{mr}	5,42	-	-	Торф/мох
	3	12–23	C _g	6,25	1	99	Глина тяжелая
	4	23–30	±C _g	6,01	2	98	Глина тяжелая

иловато-торфяной глееватой дренированной мерзлотной почвой. Глубина заложенных профилей не превышает 30 см (за исключением одного профиля на о. Гукера – 70 см), а число горизонтов варьирует от двух до пяти.

На основании классификации по гранулометрическому составу было определено, что среди исследованных почв распространены глинистые (31 %) и песчаные/супесчаные (31 %) почвы, суглинистые составляют 25 % от общего числа исследуемых образцов, моховым чехом или оторфованным материалом представлены 13 % образцов.

На исследуемых территориях о-ов ЗФИ доли типов почв от общего числа по величине pH водной вытяжки в соответствии с оценочной шкалой имеют следующее распределение: преобладают слабокислые (56 %), которые встречаются на всех участках исследуемых территорий; 31 % представлены нейтральными горизонтами, характерными для почв, отобранных на территории о. Гукера; два верхних почвенных горизонта разреза на о. Нортбрук являются сильнокислыми – 13 %.

На основании данных, представленных в таблице 1, можно увидеть, что содержание физической глины и величины pH в целом имеют тенденцию к снижению в пределах почвенного профиля.

Результаты анализа почв на содержание НП в исследованных образцах приведено в таблице 2, а их распределение по горизонтам представлено на рисунке 2.

Содержание НП для 94 % образцов почв не превышает 250 мг/кг, что в соответствии с оценочной шкалой позволяет определить степень загрязненности НП образцов почв как допустимую (минимальное значение 13,3 мг/кг, максимальное – 245 мг/кг). Исключением является высокая концентрация НП (3575 мг/кг) в горизонте (5–10 см) разреза 3 на о. Гукера, что соответствует категории высокой загрязненности, подобного рода большие концентрации НП как правило имеют техногенное происхождение, которое в данном случае может быть связано с деятельностью человека в период освоения данной территории, или же быть следствием оставления здесь объектов, содержащих НП, из которых затем произошла утечка.

Концентрация НП в 3 разрезе о. Гукера убывает с глубиной (рис. 2). Такое распределение можно объяснить высоким содержанием физической глины в горизонте, где наблюдается максимальная концентрация НП, что препятствует перемещению НП в нижележащие горизонты и обуславливает горизонтальную локализацию углеводородного загрязнения в слое 5–10 см.

Однозначной тенденции в распределении НП в почвенном профиле исследуемых образцов не выявлено. Вне зависимости от гранулометрического состава наблюдается как снижение содержания НП в почвенном профиле, так и его увеличение. Хотя в самом глубоком профиле (5–70 см) о. Гукера (3) содержание НП с глубиной уменьшается при снижении доли физической глины в нем. Влияние величины pH так же, как и содержания физической глины, на распределение НП в почвенном профиле статистически не значимо ($p > 0,1$). И все же можно отметить некоторые закономерности изменения содержания НП в почвах в зависимости от гранулометрического состава – на песчаных почвах происходит большее промывание НП в

Таблица 2

Концентрации НП в почвах островов Земли Франца-Иосифа

Район исследования	$C_{НП\ мин.}, \text{ мг/кг}$	$C_{НП\ макс.}, \text{ мг/кг}$	$C_{НП\ ср. \text{ в.з.}}, \text{ мг/кг}$
о. Хейса	35,2±12,3	187,5±65,6	51,9±18,2
о. Чамп	157,5±55,1	175,0±61,3	160,6±56,2
о. Гукера (1)	25,0±8,8	245,0±85,8	163,9±57,4
о. Гукера (2)	13,3±4,7	14,2±5,0	13,9±4,9
о. Гукера (3)	18,2±6,4	3575,0±893,8	369,8±92,5
о. Нортбрук	98,0±34,3	203,5±71,2	136,9±47,9

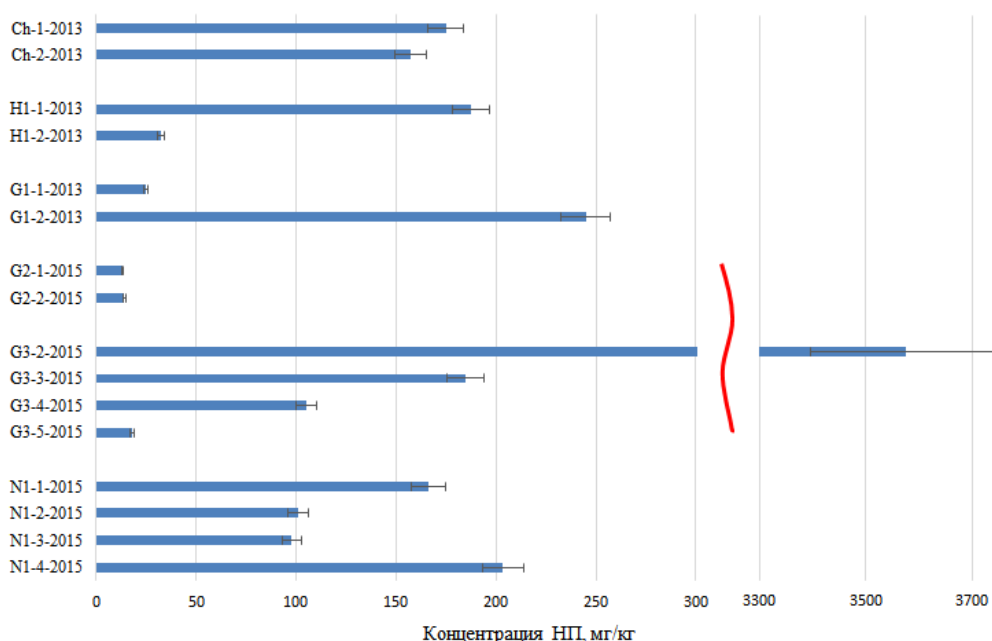


Рис. 2. Распределение НП по горизонтам почв островов Земли Франца-Иосифа. Буквами обозначены места пробоотбора (Ch – о. Чамп; Н – о. Хейса; G – о. Гукера; N – о. Нордбрук), первая цифра – номер разреза, вторая цифра – номер почвенного горизонта, третье число – год отбора.

нижние горизонты. На глинистых – чаще их накопление происходит в верхних горизонтах. На торфяной почве, подстилаемой глиной – наблюдается проникновение НП в нижние горизонты, где они и накапливаются.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, исследование почвенных профилей, заложенных на островах Земли Франца-Иосифа, представленных в работе, показало, что среди почв данных территорий преобладают в основном литоземы и пелозёмы, торфяная почва выявлена лишь на о. Нордбрук. Исследованные почвы имеют незначительную глубину и состоят в своем строении чаще из двух горизонтов, второй из которых представлен почвообразующей породой разного гранулометрического состава. По степени актуальной кислотности почвы имеют преимущественно кислую реакцию среды.

Концентрации НП в 94 % исследованных образцах почв являются невысокими и не превышают 250 мг/кг. Несмотря на то, что почти все исследуемые образцы почвенного покрова в соответствии с нормами по определению размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами классифицируются как почвы с допустимой степенью загрязненности, тем не менее, обнаруживаются участки с высоким (3000–5000 мг/кг) уровнем загрязнения НП. Это может свидетельствовать о возможном локальном антропогенном воздействии на почвенный покров от освоения Арктики в прошлом.

Однозначной тенденции в распределении НП по почвенному профилю не выявлено. Влияние величины рН так же, как и содержания физической глины, на распределение НП в почвенном профиле статистически не значимо ($p > 0,1$). Однако замечено, что локализация НП связана с типами почв, гранулометрическим составом и строением почвенного профиля.

Полученные результаты подтверждают необходимость проведения мониторинговых исследований Арктических территорий, которые позволят оценить уровни имеющихся загрязнений с целью предотвращения их возникновения в будущем.

Список литературы

- ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. – М.: Стандартинформ, 2011. – 6 с.
- ГОСТ 12536-2014. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Стандартинформ, 2011. – 19 с.
- ГОСТ 17.4.4.02-2017 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки почв для химического, бактериологического и гельминтологического анализа. – М.: Стандартинформ, 2018. – 10 с.
- ГОСТ 12536-2014. Грунты. Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава. – М.: Стандартинформ, 2015. – 24 с.
- ГОСТ 26212-2021. Межгосударственный стандарт. Почвы. Определение гидrolитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. – М.: Российский институт стандартизации, 2021. – 10 с.
- Игнатъева И. А. Проблемы правового обеспечения охраны окружающей среды в условиях развития энергетики в Арктической зоне Российской Федерации // Бизнес, менеджмент и право. – 2013. – № 2. – С. 60–65.
- Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 341 с.
- Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами утвержден Минприроды России от 27 декабря 1993 г. N 04-25/61-5678. – 33 с.
- ПНД Ф 16.1:2.21-98. Количественный анализ почв. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в пробах почв и грунтов флуориметрическим методом с использованием анализатора жидкости «Флюорат-02» – ООО «Льюмэкс – маркетинг», 2012. – 33 с.
- Шевчук А.В. Проблемы оценки и ликвидации накопленного экологического ущерба на загрязненных островах архипелага Земля Франца-Иосифа в период 2011–2017 годов. – М.: Издательский дом «Белый ветер», 2023. – 160 с.
- Энергетическая стратегия Российской Федерации на период до 2035 года утверждена распоряжением Правительства РФ от 09.06.2020 № 1523-р. [электронный ресурс]. – Информационно-правовой портал Гарант.ру. – 2020. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74148810/> (просмотрено 9.10.2024).
- AMAP. Assessment 2007: Oil and Gas Activities in the Arctic - Effects and Potential Effects // Arctic Monitoring and Assessment Programme: Oslo, Norway. – 2010. – Vol. 1. – 423 p.
- Inari Helle, Jussi Mäkinen, Maisa Nevalainen, Mawuli Afenyo, Jarno Vanhatalo. Impacts of oil spills on Arctic marine ecosystems: A quantitative and probabilistic risk assessment perspective // Environmental Science & Technology. – 2020. – Vol. 54, № 4. – P. 2112–2121.
- Trubitsina O.P., Bashkin V.N. Geocological and Geopolitical Risks for the Oil and Gas Industry in the Arctic: Challenges and threats. Environmental Pollution // Springer Nature. – 2022. – Vol. 29. – 156 p.

Popov S. S., Nikitina M. V., Hekimova N. B., Nakvasina E. N. Assessment of the Oil Products Content in the Soils of the Franz Josef Land Archipelago Islands // Ekosistemy. 2024. Iss. 40. P. 26–31.

Currently, warming in high latitudes, accompanied by rapid release of shelf areas from ice, increases the attractiveness of the oil and gas fields' development in the Arctic Ocean. This is associated with the risks of hydrocarbon pollution of the Arctic territories. However, the development of the islands of the Franz Josef Land archipelago in the past left pollution from leaks and spills of oil products from abandoned barrels of fuel and equipment. Oil products are the pollutants that have a negative impact on the soil cover and fragile Arctic ecosystems. Information of the current soil cover state and the degree of its pollution on the Franz Josef Land archipelago islands by the oil product content is fragmentary. The paper provides descriptions of six soil profiles from the Northbrook Island (Cape Flora), Hooker Island (Tikhaya Bay), Champ Island, and Hayes Island, their physical and chemical characteristics, data on the oil products concentration and an assessment of their content in the soils of some islands of the Franz Josef Land archipelago. The analysis showed that lithozems and pelozems predominate in the studied areas, peat soil was found only on one island. The soils are predominantly acidic and diverse in granulometric composition. Concentrations of oil products in the soils do not exceed 250 mg/kg. This allows classifying them as having an acceptable degree of pollution, but areas with a high level of oil products (3575 mg/kg) were found. The results indicate the need to conduct research on the territory of the Franz Josef Land archipelago in order to establish the current levels of their content in the soil cover of the Arctic islands.

Key words: Franz Josef Land, soil cover, oil products.

*Поступила в редакцию 14.10.24
Принята к печати 27.11.24*

Биологическая оценка отходов от процесса карбонитрации металлов с последующим оксидированием при помощи бактериальной тест-системы

Моисеева А. А.¹, Чекмарева О. В.¹, Нечитайло К. С.^{1,2}, Глуховская М. Ю.¹

¹ Оренбургский государственный университет
Оренбург, Россия

² Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий РАН
Оренбург, Россия

moiseiang@yandex.ru, olyachek@mail.ru, k.nechit@mail.ru, ecolog@mail.osu.ru

Машиностроительная отрасль занимает одну из лидирующих позиций в экономике страны. Во многом, ассортимент и качество изделий, выпускаемый данной отраслью, влияют и на развитие других отраслей экономики. Немаловажно, при производстве металлических изделий повышать такие показатели как долговечность, надежность, эксплуатационных свойств деталей различного назначения. Также, каждый этап производства должен быть направлен на минимизацию экологического воздействия на объекты окружающей среды. Для достижения упрочняющих свойств металла применяют процесс карбонитрации с последующим химическим оксидированием, в результате которого образуются отходы: отходы при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей (далее P1); отходы обработки металлических поверхностей методом химического оксидирования (далее P2). Исследование токсичных свойств отходов проводилось при помощи генно-инженерных люминесцирующих бактерий *Echerichia coli* K12 TG1, конститутивно экспрессирующие luxCDABE-гены природного морского микроорганизма *Photobacterium leiognathi* 54D10 (НВО «Иммунотех», г. Москва, Россия) в лиофилизированном состоянии под коммерческим названием «Эколом 10». Токсичные свойства образца P1 при тушении биосенсора ≥ 50 % зафиксированы при концентрациях от 100 % до 6,25 % в течение всего эксперимента, далее при разведении 3,13 % в начале исследования формируется люминесцентный отклик 20 %, но уже к 60 минуте экспозиции происходит тушение биосенсора более чем на 50 %. В диапазоне концентраций от 0,75 % до 0,10 % в первые минуты эксперимента образец P1 не проявляет токсичного действия, хотя в дальнейшем на всем временном промежутке наблюдается 20 % тушение свечения биосенсора по сравнению с контролем, токсичные свойства образца при данных концентрациях не зафиксированы. Оценка характера свечения бактерий позволила установить степень токсичности образца P2 после контакта *E. coli* K12 TG1 с клонированными luxCDABE-генами *P. leiognathi* 54 D10. В диапазоне концентраций от 100 % до 0,39 % образец P2 оказывает токсическое воздействие в течение всего эксперимента. При концентрации 0,20 % показатель токсичности полностью нивелируется на 60 минуте эксперимента, и далее в диапазоне концентраций от 0,098 % до 0,012 % токсичные свойства исследуемого образца отхода не фиксируются.

Ключевые слова: отходы, биолюминесценция, биологическая активность, карбонитрация, химическое оксидирование.

ВВЕДЕНИЕ

В наши дни машиностроительная отрасль занимает одну из лидирующих позиций в экономике страны. Во многом, ассортимент и качество изделий, выпускаемый данной отраслью, влияют и на развитие других отраслей экономики, поэтому, качество производимой продукции должно соответствовать требованиям надежности и долговечности.

Сегодня большое внимание производителей металлических изделий направлено на снижение металлоемкости при повышении таких показателей, как долговечность, надежность, эксплуатационных свойств деталей различного назначения. Для достижения этих показателей применяют всевозможные технологии химико-термической обработки металлов, одна из которых – карбонитрация. Данная технология поверхностного упрочнения является вариантом низкотемпературного цианирования, протекающая при температурах в диапазоне от 540 °C до 580 °C в расплавах цианатов. Процесс карбонитрации является альтернативой

газового азотирования, в результате которого происходит повышение эксплуатационных свойств деталей за более короткий временной промежуток (Цих, 2008, 2010).

Во многих случаях, для защиты металла от коррозии, после процесса карбонитрации применяют различные технологии оксидирования, в следствии чего на поверхности металла образуется защитная пленка.

От процесса карбонитрации с последующим химическим оксидированием образуются жидкие и твердые отходы в кусковой форме, опасность и токсичность которых не изучена до конца. Информация в доступных литературных источниках не в полной мере характеризует отходы от данных технологий. Поэтому, целью настоящих исследований является биологическая оценка отходов от процесса карбонитрации металлов с последующим оксидированием при помощи бактериальной тест-системы.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Процесс карбонитрации проводят в расплаве солей карбоната калия и цианата в температурном диапазоне от 560 °С до 600 °С, время процесса выдержки обусловлено требуемой величиной упрочняющего слоя и может находиться в интервале от 5 минут до 6 часов.

Состав ванн карбонитрации:

- поташ K_2CO_3 – 2,2 части, меламин $C_3H_6N_6$ – 1 часть, или
- поташ K_2CO_3 – 2,5 части, мелем $C_3H_3N_5$ – 1 часть.

В результате реакций образуется цианат калия.

Для нанесения антикоррозионного покрытия после технологии карбонитрации применяют химическое оксидирование.

Состав ванны химического оксидирования:

- едкий натр ГОСТ Р 55064-2012 (ГОСТ..., 2012) (700-800 г/л);
- нитрит натрия ГОСТ 19906-74 (ГОСТ..., 1974) (200-250 г/л);
- нитрат натрия ГОСТ 828-77 (ГОСТ..., 1977) (50-70 г/л) (Куксанов, 2019).

Для биологической оценки отходов от процесса карбонитрации металлов с последующим оксидированием были использованы:

- отходы при очистке ванн карбонитрации металлических поверхностей (далее P1);
- отходы обработки металлических поверхностей методом химического оксидирования (далее P2);
- генно-инженерные люминесцирующие бактерии *Echerichia coli* K12 TG1, конститутивно экспрессирующие *luxCDABE*-гены природного морского микроорганизма *Photobacterium leiognathi* 54D10 (НВО «Иммунотех», г. Москва, Россия) в лиофилизированном состоянии под коммерческим названием «Эколюм 10».

Исследования проводились при помощи микропланшетного анализатора Infinite 200 PRO ("Tecan Austria GmbH", Австрия) с программным обеспечением Magellan ("Tecan Austria GmbH", Австрия).

До проведения эксперимента штамм восстановили с помощью охлажденной дистиллированной воды, после чего, при температуре 2–4 °С его выдержали в течение 30 минут.

В дальнейшем, подготовленную суспензию с люминесцентными бактериями «Эколюм 10» и экстрактом, исследуемых образцов отходов в соотношении 1:1 внесли на 96-ти луночный планшет в трех параллелях. При помощи метода ступенчатого разведения с использованием дистиллированной воды были получены разведения, которые также нанесли на планшет (Данилов, 2002; Зарубина, 2005; Дерябин, 2009).

Пороговые уровни индекса токсичности определяли как:

- $T < 20$ – допустимая степень токсичности;
- $20 \leq T < 50$ – исследуемая проба токсична;
- $50 \leq T$ – проба сильно токсична (Ulitzur, 2002; Vetrova, 2007; Sizova, 2015).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования с применением генно-инженерных люминесцирующих бактерий *Escherichia coli* K12 TG1, конститутивно экспрессирующие luxCDABE-гены природного морского микроорганизма *Photobacterium leiognathi* 54D10 (НВО «Иммунотех», г. Москва, Россия) в лиофилизированном состоянии под коммерческим названием «Эколюм 10» позволили определить биологическую активность образцов отходов от процесса карбонитрации металлов с последующим окислением.

При контакте образца P1 с клонированными lux CDABE-генами *P. leiognathi* 54 D10 были зафиксированы следующие результаты:

- при концентрации разведения образца P1 в диапазоне от 100 % до 50 % наблюдается полное тушение биосенсора (рис. 1);
- при концентрации 25 % вначале эксперимента фиксируется положительный люминесцентный отклик биосенсора, который в дальнейшем полностью нивелируется;
- при концентрации 12,5 % вначале опыта установлена положительная динамика свечения биосенсора, которое при истечении времени уменьшается и к завершению эксперимента (180 мин.) стабилизируется на уровне интенсивности бактериальной биолюминесценции, что составляет 6,92 % относительно контроля (табл. 1).

Характерной картиной начала эксперимента уровня относительной биолюминесценции *E. coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *P. leiognathi* 54 D10 при контакте с образцом P1 является отрицательная динамика свечения биосенсора по отношению к контролю. В дальнейшем на 60-ой минуте экспозиции при концентрациях 0,0010 %, 0,0005 % фиксируется положительный люминесцентный отклик биосенсора и к концу эксперимента относительное значение биолюминесценции стабилизируется на показателях 89,55 % и 90,56 % соответственно (табл. 1).

При исследовании образца P2 были получены следующие результаты динамики свечения *E. coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *P. leiognathi* 54 D10:

- в диапазоне концентрации разведения от 100 % до 1,56 % зафиксировано полное тушение биосенсора;
- при концентрации 0,78 % на 30-ой минуте экспозиции фиксируется положительная динамика свечения;
- на 60-ой минуте экспозиции при концентрации 0,20 % уровень люминесценции бактерий достиг уровня контрольного образца (рис. 3).

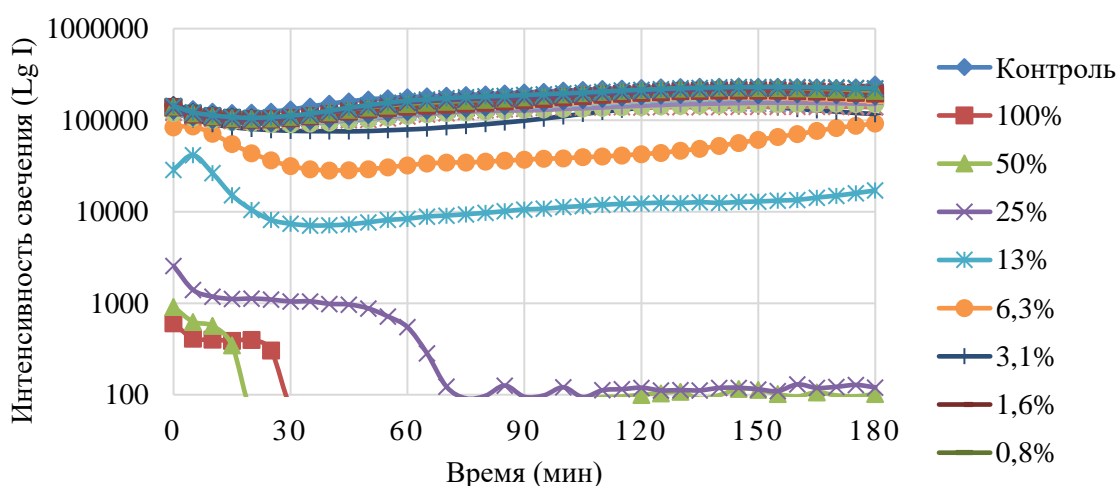


Рис. 1. Динамика свечения *Escherichia coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *Photobacterium leiognathi* 54 D10 при контакте с образцом P1

Таблица 1

Относительное значение биолюминесценции образца P1 после контакта *Echerichia coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *P. leiongnathi* 54 D10

Время, мин	Концентрация, %												
	100	50	25	12,5	6,25	3,13	1,56	0,78	0,39	0,20	0,10	0,05	0,02
0	0,41	0,63	1,76	19,71	57,47	84,12	96,27	100,28	100,43	95,91	92,87	84,43	82,71
30	0,06	0,06	0,80	5,64	24,08	58,52	78,90	84,75	81,33	78,33	79,34	74,16	73,09
60	0,03	0,05	0,31	4,68	17,97	44,22	66,47	71,25	71,92	71,14	73,55	67,69	61,71
90	0,03	0,04	0,05	5,26	18,41	49,09	67,94	69,43	69,17	74,14	75,72	78,10	66,53
120	0,04	0,04	0,05	5,46	18,88	60,22	64,79	71,50	70,68	78,68	78,92	74,37	61,29
150	0,04	0,05	0,05	5,54	26,11	60,88	65,37	75,91	74,74	78,62	79,55	64,91	59,92
180	0,03	0,04	0,05	6,92	37,27	47,35	61,09	72,16	72,29	76,09	72,88	56,65	56,32

Превышение уровня свечения по отношению к контрольной пробе при всех концентрациях разведения, на всем временном промежутке эксперимента не зафиксировано (рис. 2).

При дальнейших разведениях, в частности при концентрациях 0,098 % и 0,049 % вначале эксперимента уровень относительной биолюминесценции *E. coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *P. leiongnathi* 54 D10 составляет 69,86 % и 91,63 % соответственно, а уже на 30-ой минуте экспозиции данный показатель превышает уровень биолюминесценции контрольной пробы (табл. 2).

Такая же картина с превышением уровня относительной биолюминесценции *E. coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *P. leiongnathi* 54 D10 контрольной пробы зафиксирована при концентрации 0,024 %. При данной концентрации превышение уровня относительной биолюминесценции контрольной пробы наблюдается вначале эксперимента и

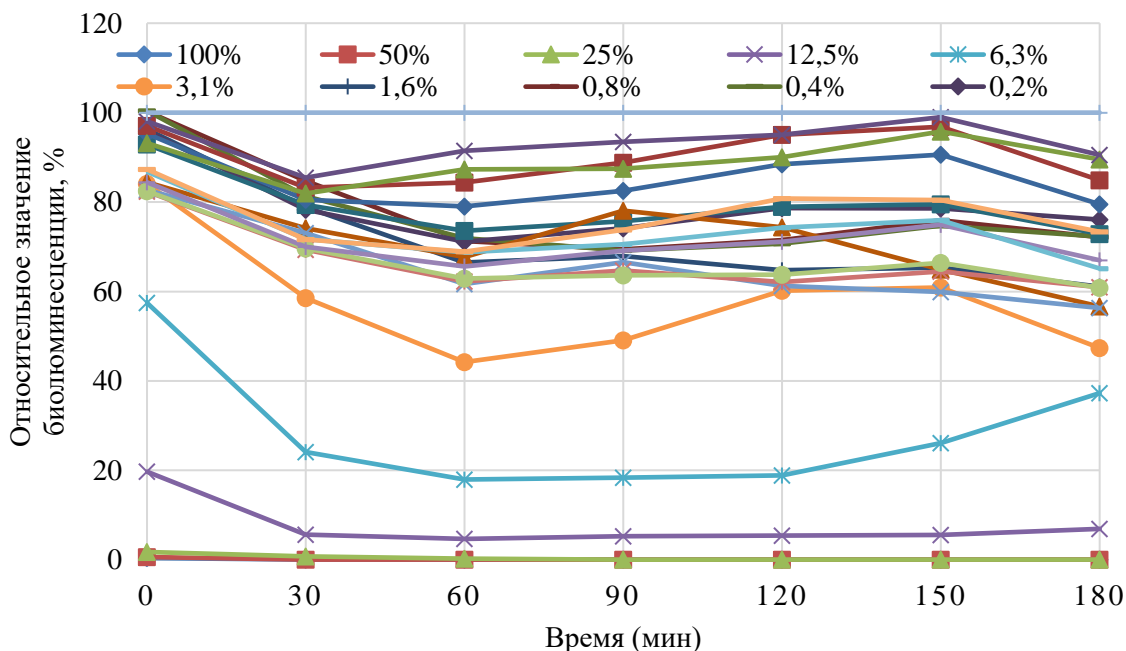


Рис. 2. Динамика относительной биолюминесценции *Echerichia coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *Photobacterium leiongnathi* 54 D10 при контакте с образцом P1

к концу времени экспозиции (60 минут) составляет 225,68 %. Возможно, полученные результаты эксперимента говорят о патологическом воздействии исследуемого образца P2 на бактерии (рис. 4).

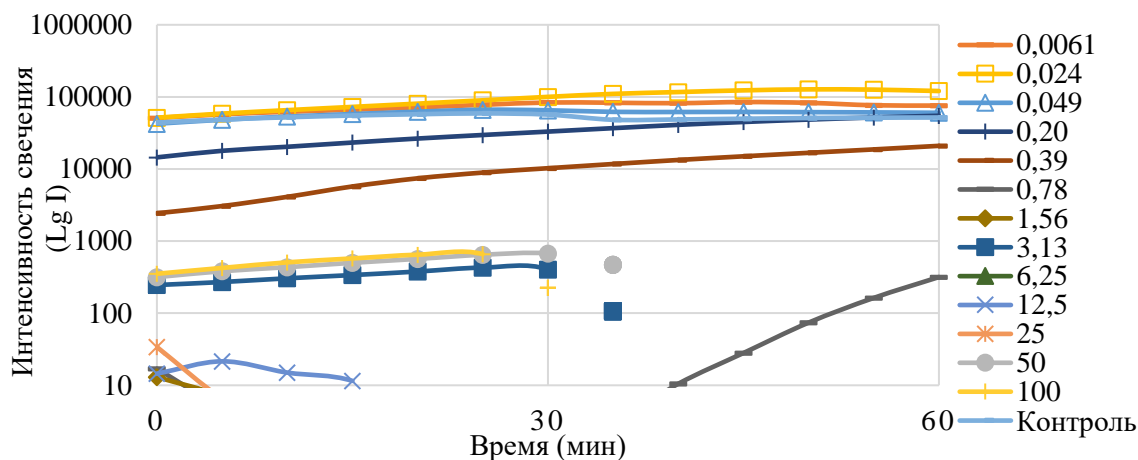


Рис. 3. Динамика свечения *Echerichia coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *Photobacterium leiognathi* 54 D10 при контакте с образцом P2

Таблица 2

Относительное значение биолуминесценции образца P2 после контакта *Echerichia coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *Photobacterium leiognathi* 54 D10

Время, мин	Концентрация, %													
	0,024	0,049	0,098	0,20	0,39	0,78	1,56	3,13	6,25	12,5	25	50	100	
0	111,21	91,63	69,86	31,29	5,25	0,04	0,03	0,53	0,02	0,03	0,07	0,68	0,76	
30	190,26	123,96	109,32	62,75	19,47	0,00	0,00	0,77	0,00	0,00	0,00	1,28	0,43	
60	225,68	112,59	123,96	102,47	39,19	0,59	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

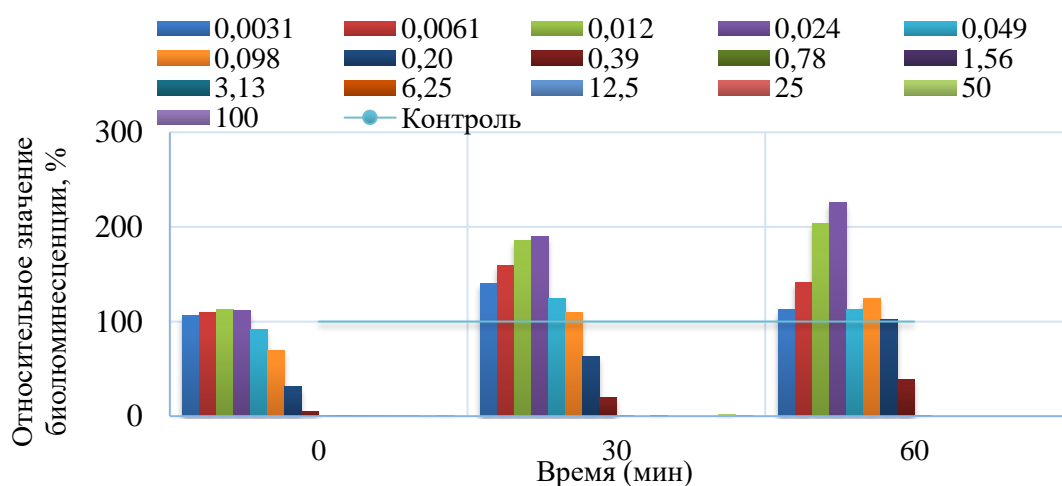


Рис. 4. Динамика относительной биолуминесценции *Echerichia coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *Photobacterium leiognathi* 54 D10 при контакте с образцом P2

На основании порогового уровня токсичности были определены токсичные свойства экстракта образцов при различных концентрациях:

- тушение люминесценции <20 % – образец «не токсичен»;
- тушение люминесценции находится в диапазоне от 20 % включительно и до 50 % – образец относительно токсичен;
- тушение люминесценции ≥ 50 % – образец токсичен.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Токсичные свойства образца P1 при тушении биосенсора ≥ 50 % зафиксированы при концентрациях от 100 % до 6,25 % в течение всего эксперимента, далее при разведении 3,13 % в начале исследования формируется люминесцентный отклик 20 %, но уже к 60 минуте экспозиции происходит тушение биосенсора более чем на 50 %. В диапазоне концентраций от 0,75 % до 0,10 % в первые минуты эксперимента образец P1 не проявляет токсичного действия, хотя в дальнейшем на всем временном промежутке наблюдается 20 % тушение свечения биосенсора по сравнению с контролем, токсичные свойства образца при данных концентрациях не зафиксированы. При дальнейших разведениях (от 0,05 % до 0,0061 %) формируется люминесцентный отклик в 50 % к середине эксперимента, возможно такая нехарактерная картина эксперимента говорит о патологическом действии образца P1. Дальнейшие разведения не оказывают токсичного воздействия при контакте *E. coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *P. leiognathi* 54 D10.

Оценка характера свечения бактерий позволила установить степень токсичности образца P2 после контакта *E. coli* K12 TG1 с клонированными lux CDABE-генами *P. leiognathi* 54 D10. В диапазоне концентраций от 100 % до 0,39 % образец P2 оказывает токсическое воздействие в течение всего эксперимента. При концентрации 0,20 % показатель токсичности полностью нивелируется на 60 минуте эксперимента, и далее в диапазоне концентраций от 0,098 % до 0,012 % токсичные свойства исследуемого образца отхода не фиксируются.

Список литературы

- ГОСТ 19906-74. Нитрит натрия технический. Технические условия (с Изменениями № 1-5). – Введ. 1976-01-01. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 21 с.
- ГОСТ Р 55064-2012. Натр едкий технический. Технические условия. – Введ. 2013-10-01. – М.: Стандартинформ, 2013. – 50 с.
- ГОСТ 828-77. Натрий азотнокислый технический. Технические условия (с Изменениями № 1-5). – Введ. 1979-01-01 – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 22 с.
- Данилов В. С., Зарубина А. П., Ерошников Г. Е., Соловьева Л. Н., Карташев Ф. В., Завильгельский Г. Б. Сенсорные биолюминесцентные системы на основе lux-оперонов разных видов люминесцентных бактерий // Вестник Московского университета. Сер. Биологическая. – 2002. – № 3. – С. 20–24.
- Дерябин Д. Г. Бактериальная биолюминесценция: фундаментальные и прикладные аспекты // М.: Наука. – 2009. – 246 с.
- Зарубина А. П., Мажуль М. М., Новоселова Л. А., Гапочка М. Г. Бактериальный люминесцентный биотест // Сенсор. – 2005. – № 3. – С. 14–21.
- Куксанов В. Ф., Моисеева А. А., Чекмарева О. В., Оценка токсичности отходов от процесса химического оксидирования металлов // Экономика строительства и природопользования. – 2019. – № 3 (72). – С. 76–82
- Цих С. Г., Лисицкий В. Н. Опыт применения карбонитрации стальных деталей и инструмента в машиностроении // Вестник МГТУ им. Г. И. Носова. – 2008. – № 4. – С. 32–38.
- Цих С. Г., Лисицкий В. Н., Глебова Ю. А. Современные технологии химико-термической обработки в машиностроении // Современные технологии химико-термической обработки в машиностроении. – 2010. – № 1. – С. 66–70.
- Vetrova E. et al. A bioluminescent signal system: detection of chemical toxicants in water // Luminescence. – 2007. – Vol. 22, N 3. – P. 206–214.
- Sizova E. et al. Comparative characteristic of toxicity of nanoparticles using the test of bacterial bioluminescence // OSPC – Biosciences, Biotechnology Research Asia – Vol. 12 (Spl. End. 2). – P. 361–368.
- Ulitzur S., Lahav T., Ulitzur N. A novel and sensitive test for rapid determination of water toxicity // Environmental Toxicology – 2002. – Vol. 17, N 3. – P. 291–296.

Moiseeva A. A., Chekmareva O. V., Nechitailo K. S., Glukhovskaya M. Yu. Biological Assessment of Waste from the Process of Carbonitriding Metals Followed by Oxidation Using a Bacterial Test System // Ekosistemy. 2024. Iss. 40. P. 32–38.

The machine engineering industry holds one of the leading positions in the country's economy. In many ways, the range and quality of products manufactured by this industry influence the development of other sectors of the economy. It is crucial to enhance indicators such as durability, reliability, and operational properties of parts intended for various applications during the production of metallic products. Furthermore, each stage of the production process should be aimed at minimizing negative impact on environment. To achieve the strengthening properties of the metal, the carbonitriding process with subsequent chemical oxidation is used, which results in waste production: waste from cleaning the carbonitriding baths of metal surfaces (hereinafter P1); waste from processing metal surfaces by the chemical oxidation method (hereinafter P2). The study of the toxic properties of the waste was carried out using genetically engineered luminescent bacteria *Echerichia coli* K12 TG1, constitutively expressing *luxCDABE* genes of the natural marine microorganism *Photobacterium leiongnathi* 54D10 (NVO Immunotech, Moscow, Russia) in a lyophilized state marketed under the commercial name "Ecolum 10". Toxic properties of sample P1 with biosensor quenching $\geq 50\%$ were recorded at concentrations ranging from 100 % to 6.25 % throughout the experiment. Then, at a dilution of 3.13 %, a luminescent response of 20 % was initially observed, but by the 60th minute of exposure the biosensor was quenched by more at the beginning of the study than 50 %. In the concentration range from 0.75 % to 0.10 % in the first minutes of the experiment sample P1 does not exhibit any toxic effect. However, later over the entire time interval, a 20 % quenching of the biosensor glow was observed compared to the control. Toxic properties of the sample at these concentrations were not recorded. The assessment of the nature of the bacteria glow allowed determine the degree of toxicity of sample P2 after contact of *E. coli* K12 TG1 with cloned *lux CDABE* genes of *P. leiongnathi* 54 D10. In the concentration range from 100% to 0.39%, sample P2 had a toxic effect throughout the experiment.

Key words: waste, bioluminescence, biological activity, carbonitration, chemical oxidation.

Поступила в редакцию 23.10.24
Принята к печати 28.11.24

Оценка земельных ресурсов Алтайского государственного природного биосферного заповедника с учётом уникальности биоразнообразия и ценности экосистем

Черткова Е. П., Замолодчиков Д. Г.

*Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН
Москва, Россия
tchertkova.elena@yandex.ru, dzamolod@mail.ru*

Оценка земель особо охраняемых природных территорий, играет важную роль в создании эффективной системы государственного земельного кадастра и обеспечении сохранности уникальных экосистем, является неотъемлемой частью управления природными ресурсами и позволяет определить стоимость земельных участков, учитывая их экологическую ценность. Объектом исследования является Алтайский государственный природный биосферный заповедник. Нами разработан новый научный подход для кадастровой оценки земельных ресурсов особо охраняемых природных территорий с учетом состояния почв и почвенного покрова и рефугиумной функции. В работе соединены 2 методики, прямая оценка, содержащая в себе кадастровую стоимость территорий и косвенная, которая сочетает поправочные коэффициенты ценности и уникальности особо охраняемых природных территорий. Данные методики нами модернизированы и адаптированы для оценки заповедников дополнительными коэффициентами: состояние почв и почвенного покрова (Кп); рефугиумная функция (Крф) Особо охраняемых природных территорий, за счет которых мы увеличили ценность земель Алтайского государственного заповедника. В итоге расчетов стоимость земельных ресурсов Алтайского заповедника увеличена более чем в 2 раза и составила 531 млрд. руб. Без нововведенных коэффициентов стоимость составляла 217 млрд. руб. С помощью ПО QGIS оцифрована карта почв заповедника и кадастровая карта. В Алтайском заповеднике преобладает почвенный комплекс – подбуры тундровые (20,3 %), которые формируются под мохово-лишайниковой кустарничковой растительностью и бурые лесные кислые почвы (15,7 %), залегающие под массивом хвойных лесов. Описаны факторы, обуславливающие формирование богатого разнообразия экосистем и экосистемных услуг в резервате.

Ключевые слова: Алтайский государственный заповедник, земельные ресурсы, почвы, рефугиум, экосистемы, кадастровая оценка, коэффициент ценности экосистем, коэффициент уникальности биоразнообразия.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире углубленное изучение системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) становится все более актуальным. Однако, несмотря на важность ООПТ, вопрос оценки стоимости таких земель остается одними из самых сложных, так как традиционные методы оценки, используемые для рыночной недвижимости, оказываются неэффективными для ООПТ, поскольку они не учитывают специфику и многообразие функций, выполняемых этими землями. Стандартные методы оценки, ориентированные на рыночную стоимость, не могут адекватно отразить эти функции, поскольку они базируются на принципах спроса и предложения, которые не применимы к неповторимым благам предоставляемых ООПТ. В связи с этим, для объективной оценки стоимости ООПТ необходимо применять усовершенствованные комплексные методы и подходы, которые учитывают их многофункциональность и общественную ценность, являются актуальной задачей как для научного сообщества, так и для государственных органов, ответственных за управление природными ресурсами. Решение этой задачи позволит не только обеспечить более объективную оценку стоимости ООПТ, но и создать условия для их эффективного сохранения и устойчивого развития в интересах нынешних и будущих поколений (Иванова, 2010).

Кадастровая классификация ООПТ Российской Федерации (РФ) в настоящее время считается одним из важнейших направлений деятельности органов кадастрового управления. Земельный реестр охраняемых территорий – это банк знаний, который служит основой для создания инновационной базы ООПТ РФ (Казьменков, 2007).

Очевидно, что необходимо поддерживать нетронутые территории, экосистемы которых являются типичными и могут послужить основой для сохранения генофонда и поддержания биоразнообразия (Санников, 2012).

Проблему оценки кадастровой стоимости земель ООПТ в своих работах затрагивают следующие авторы (Власов, 2013; Нешатаев, 2013; Новых, 2013; Петрова, 2021).

Анализ литературных источников показал, что перечень работ по оценке кадастровой стоимости именно ООПТ не велик и на сегодняшний день данная проблема остается актуальной и требует ценовой защиты природных территорий. Кадастровая оценка поможет определить ценность заповедных земель и ввести стоимость их использования. Такое решение сможет разрешить конфликты между ООПТ и бизнесом, а также обеспечить финансовую поддержку для защиты природных ресурсов. Это позволит сбалансировать интересы всех сторон, обеспечит устойчивое развитие территории и принесет пользу всему обществу.

Цель работы – провести кадастровую оценку земельных ресурсов Алтайского государственного природного биосферного заповедника (АГПБЗ) с учетом уникальности биоразнообразия и ценности экосистем, усовершенствовать методику и внедрить в оценку дополнительные (повышающие ценность) коэффициенты состояния почв и почвенного покрова и рефугиумной функции.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для оценки земельных ресурсов АГПБЗ использовались методические рекомендации (Приказ Минэкономразвития..., 2005; Цифровая версия..., 2007, 2019; Власов, 2013; Проект организации..., 2004; Наблюдение и изучение явлений..., 2021; Лесохозяйственный регламент..., 2022).

Кадастровая оценка земельных ресурсов АГПБЗ проведена с помощью разработанного нами комплексного метода, включающий в себя удельный показатель кадастровой стоимости земли (руб./м²) с учётом уникальности биоразнообразия и ценности экосистем, и 2 дополнительных коэффициента: состояние почв и почвенного покрова; рефугиумная функция.

Объектом исследования является Алтайский государственный заповедник: оазис нетронутой природы в сердце Сибири, один из крупнейших резерватов созданный в 1932 году, расположен на Северо-Восточном и Восточном Алтае. Заповедник охватывает обширную территорию в 871207,6 га, что составляет внушительные 10% от площади Республики Алтай, включает в себя правую часть акватории Телецкого озера. Границы заповедника прочерчены высокогорными хребтами – Шапшальским, Абаканским и хребтом Чихачёва, создавая естественную изоляцию для его уникальной экосистемы. На востоке он граничит с республиками Тыва и Хакасия, что подчеркивает его важность в сохранении биоразнообразия региона (Малешин, 1999). С 5 декабря 1988 года АГПБЗ входит в список ЮНЕСКО «Золотые горы Алтая» и с 26 мая 2009 года во Всемирную сеть биосферных резерватов по программе МАБ «Человек и Биосфера» (Акимова, 2017).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для того чтобы максимально провести оценку кадастровой стоимости земельных ресурсов АГПБЗ и воспользоваться повышающими коэффициентами, нами подробно проанализирована уникальность биоразнообразия и ценность экосистем резервата.

Ценность и уникальность экосистем Алтайского заповедника. Заповедная территория является уникальным местом, благодаря своему разнообразию природных и климатических поясов, почвенному покрову и богатому биологическому миру.

На территории Алтайского заповедника научные сотрудники отмечают 3601 вид сосудистых растений, 39 из них включены в Красную книгу РФ. В границах АГПЗ обитает 71 вид млекопитающих, 16 из которых отмечены в красных книгах РФ и Республики Алтай (РА). Орнитофауна включает 338 видов, 72 из которых включены в Красную Книгу региона, а 41 вид – в Красную Книгу РФ. В разделе ихтиофауна заповедника, зарегистрировано 15 видов рыб, один из них – в списке Красных Книг РФ и РА. Герпетофауна представлена двумя видами амфибий и шестью видами рептилий, один из которых отмечен в Красной Книге РА.

Богатство заповедника не ограничивается только позвоночными животными. На территории АГПБЗ обитает 338 видов беспозвоночных, которые играют важную роль в заповедной экосистеме, а также являются важной частью фауны охраняемой территории (Черткова, 2019).

Разнообразие озёрных экосистем АГПБЗ насчитывает – 2560 водоемов, отличающихся по площади и глубине. Самым крупным из них является Телецкое озеро, которое привлекает внимание своей величественностью и кристально чистой водой (Малешин, 1999).

Формирование богатого разнообразия экосистем и экосистемных услуг в резервате обусловлено следующими факторами:

1. Площадь охраняемой заповедной территории и высота над уровнем моря – один из главных показателей увеличивающий разнообразие экосистем. Площадь ООПТ внушительная – составляет 871207,6га. В АГПБЗ можно выделить три основные высотные зоны: низкогорье, среднегорье и высокогорье. Низкогорье начинается на уровне поверхности Телецкого озера, на высоте 436 метров н.у.м. Среднегорье находится примерно на высоте 1500 метров н.у.м., а высокогорье достигает максимальной отметки в 3148 метров, где расположены самые высокие вершины Шапшальского хребта.

2. Микроклимат – наличие большого водного объекта – оз. Телецкое, разнообразие высот н.у.м., распределяет климат Алтайского заповедника на множество микроклиматов, благодаря которым, в каждом формируется своя особенная экосистема с уникальными функциями и услугами;

3. Ландшафтное разнообразие АГПБЗ представлено следующими экосистемами: водные; гляциально-нивальные – высокогорные; тундровые, высокогорно-тундровые, тундрово-степные – высокогорные; субальпийские и альпийские, луговые-высокогорные; лесные среднегорные; болотно-лесные; луговые.

4. Лесные земли – представлены огромной экосистемой и занимают 51,16% (445703,6 га) территории АГПБЗ. Породный состав исследуемой территории достаточно разнообразен, основными лесобразующими породами являются: кедр (47,8 %) и лиственница (9,7 %). В совокупности хвойные породы занимают 243870,1 га (61 %); береза кустовая (ерники) – 149432,1 га (37,3 %); мягколиственные – 7360,2 га (1,8 %) (Проект организации..., 2004).

5. Рефугиум – на территории АГПБЗ от устья реки Кыга до реки Баяс, захватывая склон горы Малая Колюш-Ту Чульшманского нагорья, на высотах от 450 до 2000 метров н.у.м. расположился Кыгинский рефугиум, где в определенных метеоусловиях экологического оптимума образовалась исконно-коренная, разного возраста популяция кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour, 1803). Благодаря климаторегулирующим экосистемным услугам Телецкого озера, Кыгинский рефугиум локально защищен горными хребтами от воздушных масс холодного потока ветра и перегревания каменистых берегов и скал, за счет этого его среднегодовая температура чуть выше +7 °С (Селегей, 2009). Произрастающие реликты третичной флоры на территории Кыгинского рефугиума подтверждают, что здесь в течение

многих столетий не было крупномасштабных пожаров и оледенения. Кедр сибирский можно расценивать в качестве прародителя при «засеменении» Северо-Восточного Алтая и всей Западной Сибири (Земляной, 2010).

6. Почвы – в отличие от растительности и животного мира почвы Алтайского заповедника изучены слабо, несмотря на то что почва – это звено, связывающее между собой все экосистемы. Почвенный покров характеризуется широтной и высотной зональностью. Почвы Республики Алтай в «Красной книге почв России», относятся к особоценным почвам Сибири и Дальнего Востока (Красная книга почв..., 2009).

Почвы Алтайского заповедника слабо изучены, но есть работы авторов прямо или косвенно затрагивающих территорию резервата: Гопп Н. В. исследует почвы юго-западной части Джулукульской котловины, Республика Алтай (Гопп, 2025). Ковалев Р.В. с соавторами изучают почвы Горно-Алтайской автономной области (Ковалев, 1973). Петров Б. Ф. в своей монографии описывает почвы Алтайско-Саянской области (Петров, 1952).

Естественные почвы северной и части южной территории АГПБЗ в основном, относятся к Алтайской горной провинции Чулышманского округа. Почвы, расположенные на Чулышманском плато у южной границы заповедника в районе озера Джулукуль принадлежат Южно-Алтайской горной провинции Укокско-Чихачевского округа (Карта..., 2013).

На основе Цифровой версии почвенной карты РФ в масштабе 1 : 2 500 000 (Цифровая версия..., 2007), справочника по почвам заповедников и нацпарков РФ (Почвы заповедников..., 2012), а также рукописи Гопп Н.В., где описаны результаты исследования почв Джулукульской котловины РА (Гопп, 2015), автором данной статьи разработана и оцифрована карта почв АГПБЗ (рис. 1).

По данным карты видно, что в заповеднике преобладает почвенный комплекс – подбуры тундровые (20,3%), которые формируются под мохово-лишайниковой кустарничковой растительностью и бурые лесные кислые почвы (15,7%), залегающие под массивом хвойных лесов.

Кадастровая оценка земель Алтайского заповедника с учетом ценности и уникальности экосистем. Согласно Летописи природы за 2023 г., земли АГПБЗ составляют 871207,06 га и включают в себя 2 района: Турочакский и Улаганский (основная территория приходится именно на этот район) (Наблюдение и изучение..., 2021). Подробное описание кадастровых номеров земельных участков и их площади представлено в таблице 1 и рисунке 2.

Ценность и стоимостная оценка земельных ресурсов ООПТ определяется 3 показателями: местонахождением и площадью участка, продуктивностью или плодородием почв и экологической ценностью. Первые 2 показателя измеряются физически-инструментальным путем, а третий с помощью коэффициентов ценности экосистем (Кц) и уникальности биоразнообразия (Ку), которые расписаны в методических рекомендациях Власова А.Д. в приложении 11, где каждому типу экосистем присваивается коэффициент (Методические рекомендации..., 2005; Власов, 2013). АГПБЗ по приложению 11, относится к двум типам экосистем, фрагмент из приложения описан в таблице 2.

Турочакский район мы отнесли к первому типу экосистем – Алтай-Саянские леса, а Улаганский район к экосистемам Центрального Алтая.

Для определения кадастровой стоимости участков АГПБЗ мы воспользовались формулой представленной в Методических рекомендациях Власова А.Д. [$УПКСЗ_{оопт} = УПКСЗ \times Кц \times Ку$] и предприняли попытку усовершенствовать ее, добавив следующие коэффициенты:

1. Кп – состояние почв и почвенного покрова, из исследования Новых И. Е. (Новых, 2012). Автор для оценки земель особо охраняемых территорий и объектов, использовал коэффициент равный 2. По мнению эксперта Мартынова А. С. из центра эколого-экономических исследований и информации при Минприроды России, также следует увеличивать оценку земель ООПТ за счет применения коэффициента – 2;

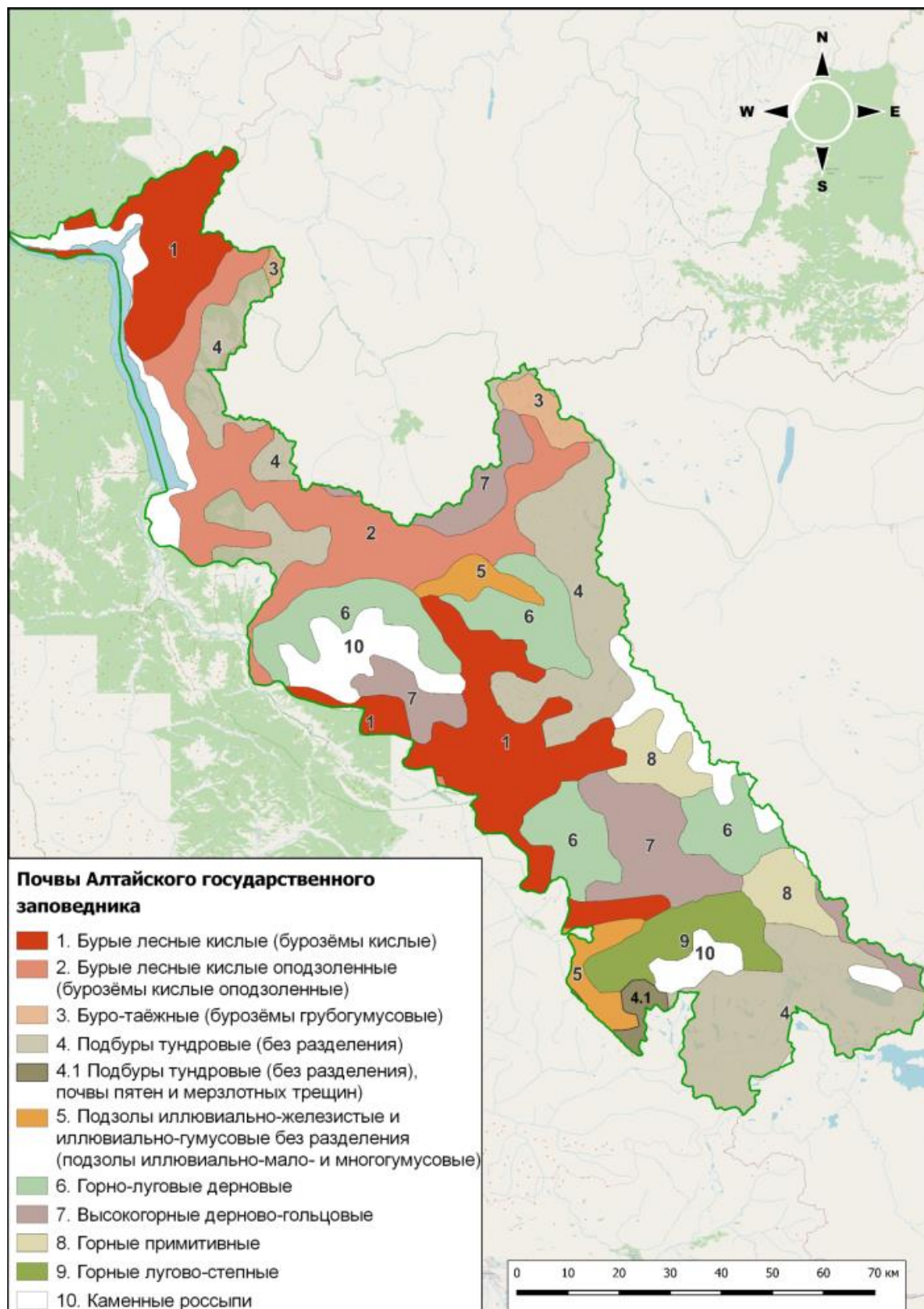


Рис. 1. Типы и комплексы почв Алтайского государственного заповедника (карта Е. П. Чертковой)

Таблица 1

Кадастровые номера земельных участков Алтайского государственного заповедника и их площади (Летопись природы, 2021 г.)

№	Кадастровый номер земельного участка	Район	Площадь земельного участка, м ²
1	04:03:090801:1	Турочакский район	953 134000
2	04:09:010101:1	Улаганский район	1 866 165 820
3	04:09:010101:23	Улаганский район	202237
4	04:09:010101:24	Улаганский район	50167
5	04:09:000000:4*	Улаганский район	5 892 518400
5.1	04:09:010201:11**	Улаганский район	2 914 591 938
5.2	04:09:010301:1**	Улаганский район	1 709 544200
5.3	04:09:030202:1**	Улаганский район	993 056 362
5.4	04:09:030201:3**	Улаганский район	275 325 900
Всего			8 712 070624

Примечание к таблице. * – Кадастровый номер единого землепользования (ЕЗП). ** – Земельные участки в составе ЕЗП.

2. Крф – рефугиумная функция, Стишов М. С. в своей методике оценивает рефугиумную функцию ООПТ с помощью коэффициента значимости равный 2 (Стишов, 2012). Учитывая, что рефугиум это уникальный участок земной поверхности, мы данный коэффициент применили к земельному участку с кадастровым номером 04:09:010101:1, так как именно здесь располагается Кыгинский рефугиум.

Итак, удельный показатель кадастровой стоимости земель особо охраняемой природной территорий (УПКСЗ_{оопт}), мы высчитали по формуле:

$$\text{УПКСЗ}_{\text{оопт}} = \text{УПКСЗ} \times \text{Кц} \times \text{Ку} \times \text{Кп} \times \text{Крф}$$

где: УПКСЗ – удельный показатель кадастровой стоимости вида угодий, занимающего наибольший удельный вес в структуре видов угодий земельного участка; Кц – коэффициент ценности экосистемы для преобладающего на земельном участке типа экосистемы; Ку – коэффициент уникальности биоразнообразия для преобладающего на земельном участке типа экосистемы; Кп – коэффициент состояния почв и почвенного покрова; Крф – коэффициент рефугиумной функции (табл. 3).

УПКСЗ, руб./м² для каждого участка нами взято из Приказа Минэкономразвития Республики Алтай от 18 ноября 2020 г. N 257-ОД (Приказ..., 2022).

В итоге расчетов по усовершенствованной нами формулы Власова А. Д., получается, что стоимость земельных ресурсов Алтайского заповедника увеличена более чем в 2 раза и составила 531 млрд. руб. Без нововведенных коэффициентов стоимость составляла 217 млрд. руб. Таким образом, модернизацию формулы считаем оправданной и рекомендуем ее для кадастровой оценки земельных ресурсов ООПТ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Земельные ресурсы Алтайского заповедника – это инвестиции в естественный природный Проект под названием «Экосистемные услуги АГПБЗ», которые успешно окупаются в разнообразии ландшафтов, экосистем, флоры и фауны. Они выражаются материально в продукционные, рекреационные, средообразующие ЭУ (то есть их можно измерить в стоимостной или бальной оценке) и нематериально в информационных ЭУ, которые несут в себе образовательные, научные, духовные ценности.

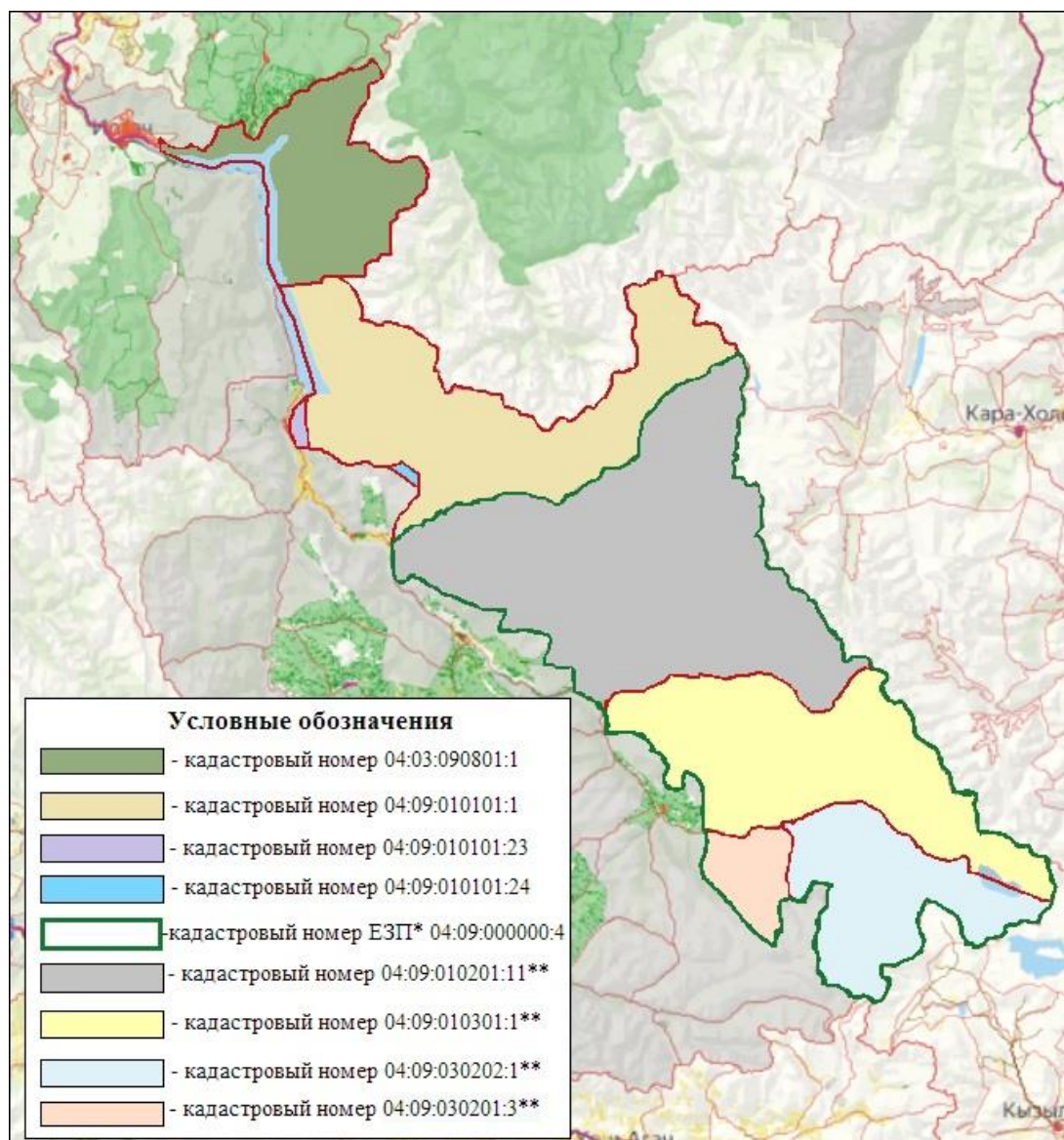


Рис. 2. Кадастровая карта земельных участков Алтайского государственного заповедника (карта Е. П. Чертковой)

* – Кадастровый номер единого землепользования (ЕЗП). ** – Земельные участки в составе ЕЗП.

Возможность сопоставления разных методик позволило максимально оценить степень эталонности земельных ресурсов Алтайского заповедника. В работе мы соединили 2 методики, прямую оценку, содержащую в себе кадастровую стоимость территорий и косвенную, которая сочетает поправочные коэффициенты ценности и уникальности АГПБЗ, а также усовершенствовали методику и добавили коэффициенты: состояние почв и почвенного покрова, и рефугиумную функцию, за счет чего увеличили ценность заповедника более чем в 2 раза.

Проанализировав литературные источники и интернет-ресурсы, нам удалось определить комплексы почва Алтайского заповедника и нанести их на карту с помощью ПО Qgis.

Оценка земель ООПТ играет важную роль в создании эффективной системы государственного земельного кадастра и обеспечении сохранности уникальных экосистем, является неотъемлемой частью управления природными ресурсами и позволяет определить

Таблица 2

Коэффициенты уникальности биоразнообразия и ценности экосистем по типам экосистем Алтайского государственного заповедника (Власов, 2013)

Тип экосистем	Характеристика экосистем	Коэффициент уникальности биоразнообразия	Коэффициент ценности экосистем
20а*Алтай-Саянские леса	Горно-таежные (черневая тайга), таежные леса с фрагментами лесостепи	1,11	10,79
20б* Экосистемы Центрального Алтая	Горно-таежные, лесостепные, субальпийские и альпийские сообщества	1,22	13,93

Примечание к таблице. * – данные цифры и буквы обозначают порядковые номера типов экосистем в работе Власова А. Д., приложение 11, стр. 68 (Власов, 2013).

Таблица 3

Удельные показатели стоимости земельных участков Алтайского государственного заповедника

Кадастровый номер земельного участка	Удельный показатель кадастровой стоимости земли, руб./м ²	Коэффициент уникальности биоразнообразия	Коэффициент ценности экосистемы	Коэффициент состояния почв и почвенного покрова	Коэффициент рефугиумной функции	Удельный показатель кадастровой стоимости земли АГПЗ, руб./м ²
04:03:090801:1	1,52	1,11	10,79	2	0	36,4
04:09:010101:1	1,52	1,22	13,93	2	2	103,3
04:09:010101:23	1,52	1,22	13,93	2	0	51,6
04:09:010101:24	1,52	1,22	13,93	2	0	51,6
04:09:010201:11	1,52	1,22	13,93	2	0	51,6
04:09:010301:1	1,52	1,22	13,93	2	0	51,6
04:09:030202:1	1,52	1,22	13,93	2	0	51,6
04:09:030201:3	1,52	1,22	13,93	2	0	51,6

стоимость земельных участков, учитывая их экологическую ценность. Это важно для разработки эффективных стратегий по сохранению природных богатств и устойчивому развитию регионов.

Полученные УПКСЗ_{АГПЗ} мы применили для оценки земельных участков Алтайского заповедника (табл. 4).

Одной из задач оценки земель АГПЗ является определение экологической стоимости земельных ресурсов. Это включает в себя оценку природных ресурсов, биологического разнообразия, уникальности ландшафта и других факторов, которые отражают экологическую ценность территории. Такая информация позволяет принимать обоснованные решения по использованию земель ООПТ с учетом их значимости для сохранения природы.

Таблица 4

Результаты кадастровой оценки земельных участков Алтайского государственного заповедника

Кадастровый номер земельного участка	Удельный показатель кадастровой стоимости земли ООПТ, руб./м ²	Площадь земельного участка, м ²	Кадастровая стоимость земельных участков, руб.
04:03:090801:1	36,4	953 134000	34694077600,00
04:09:010101:1	103,3	1 866 165 820	192774929206,00
04:09:010101:23	51,6	202237	10435429,20
04:09:010101:24	51,6	50167	2588617,20
04:09:010201:11	51,6	2 914 591 938	150392944000,80
04:09:010301:1	51,6	1 709 544200	88212480720,00
04:09:030202:1	51,6	993 056 362	51241708279,20
04:09:030201:3	51,6	275 325 900	14206816440,00
Всего		8 712 066 000	531535980292,40

Работа выполнена в рамках государственного задания ЦЭПЛ РАН (регистрационный номер 1022090800034-7-1.6.19) в соответствии с распоряжением Правительства Российской Федерации № 2515-р от 2 сентября 2022 г. в целях реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения, направленного на создание единой национальной системы мониторинга климатически активных веществ, а также в рамках научно-исследовательского проекта госзадания Минприроды РФ «Изучение естественного хода процессов и явлений в целях обеспечения сохранения природной среды, в том числе естественных экологических систем, объектов животного и растительного мира в Алтайском заповеднике (№ 1-22-2-1).

Список литературы

- Акимова Т. А. Исторические предпосылки придания Алтайскому заповеднику статуса «биосферный» // Биосферное хозяйство: теория и практика. – 2017. – № 2(3). – С. 5–14.
- Власов А. Д., Власов И. А. Методические рекомендации по определению рыночной стоимости земельных участков особо охраняемых территорий и объектов. – Краснообск: Агро-Сибирь, 2013. – 82 с.
- Гопп Н. В. Почвы юго-западной части Джунгульской котловины, Республика Алтай // Почвоведение. – 2015. – № 6. – С. 656. DOI 10.7868/S0032180X15060040
- Земляной А. И. Девственные кедровники Кыгинского рефугиума – перспективный объект для генетико-селекционных исследований // Хвойные бореальной зоны. Теоретический и научно-практический журнал. – 2010. – Т. XXVII, № 1–2. – С. 73–76.
- Иванова Е. Н. Вопросы государственного кадастрового учета земель особо охраняемых природных территорий // Журнал российского права. – 2010. – № 12. – С.110–116.
- Казьменков Д. А. Проблемы и перспективы кадастровой оценки ООПТ // Вестник СНО. – 2007. – № 11. – С.41–45.
- Карта почвенно-экологического районирования Российской Федерации : Масштаб 1:2500000 / И. С. Урусевская, И. О. Алябина, В. П. Винюкова и др. / [Под ред. Г. В. Добровольского, И. С. Урусевской]. – М.: Талка, 2013. – 16 с.
- Красная книга почв России: Объекты Красной книги и кадастра особо ценных почв / [Науч. ред. Добровольский Г. В., Никитин Е. Д.]. – М.: МАКС Пресс, 2009. – 576 с.
- Ковалев Р. В., Хмелев В. А., Волковинцер В. И. Почвы Горно-Алтайской автономной области. – Новосибирск: Наука, 1973. – 350 с.
- Лесохозяйственный регламент ФГБУ «Алтайский государственный природный заповедник», Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации. – Горно-Алтайск, 2022 г. – 90 с.
- Малешин Н. А., Золотухин Н. А., Яковлев В. А., Собанский Г. Г., Стахеев В. А., Сыроечковский Е. Е., Рогачева Э. В. Алтайский заповедник // Заповедники Сибири. – 1999. – Т. 1. – С. 58–72.
- Мартынов А. С. О методах и методике кадастровой оценки земель особо охраняемых природных территорий / Biodat // Центр эколого-экономических исследований и информации при МПР России – Режим доступа: <http://www.biodat.ru/doc/lib/agro03.htm> (просмотрено 13.03.2024).

Методические рекомендации по государственной кадастровой оценке земель особо охраняемых территорий и объектов [Электронный ресурс]: приказ Минэкономразвития от 23.06.2005 № 138 // СПС «Консультант Плюс» (просмотрено 13.03.2024).

Наблюдение и изучение явлений и процессов в природном комплексе заповедника по программе Летописи природы: научный отчет. ФГБУ «Алтайский государственный заповедник». – Горно-Алтайск. – 2021. – Т. 51. – 452 с.

Нешатаев М. В. Методика кадастровой оценки земель особо охраняемых природных территорий с учетом природоохранной ценности лесных экосистем // Записки Горного института. 2013. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodika-kadaastrovoy-otsenki-zemel-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territoriy-s-uchetom-prirodoohrannoy-tsennosti-lesnyh-ekosistem> (дата обращения: 13.03.2024).

Новых И. Е. Совершенствование кадастровой оценки земель региональных особо охраняемых природных территорий на основе учёта особенностей их почвенного покрова на примере Белгородской области: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.26 Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – Белгород: Воронеж. гос. пед. ун-т, 2012. – 23 с.

Петров Б. Ф. Почвы Алтайско-Саянской области. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – 247 с.

Петрова Л. Е. Государственный кадастровый учёт особо охраняемых природных территорий: проблемы и перспективы // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gosudarstvennyu-kadaastrovu-u-uchyot-osobo-ohranyaemyh-prirodnih-territoriy-problemy-i-perspektivy> (дата обращения: 13.03.2024).

Приказ Минэкономразвития РФ от 23.06.2005 № 138 «Об утверждении Методических рекомендаций по государственной кадастровой оценке земель особо охраняемых территорий и объектов» (Электронная версия) URL:https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_55258/b468c6128e73fee4543ba2e823fa6a501fe31705/ (дата обращения: 19.05.2024).

Приказ Минэкономразвития РА от 18.11.2020 N 257-ОД «Об утверждении результатов определения кадастровой стоимости земельных участков в составе земель промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, земли для обеспечения космической деятельности, обороны, безопасности и иного специального назначения, особо охраняемых территорий и объектов на территории Республики Алтай» (Электронная версия) URL:<https://www.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi?req=doc&base=RLAW916&n> (дата обращения: 03.06.2024).

Проект организации и ведения лесного хозяйства Алтайского государственного природного заповедника Республики Алтай «Западно-Сибирское государственное лесостроительное предприятие» Омский филиал. – Омск, 2004. – 375 с.

Почвы заповедников и национальных парков Российской Федерации. – М.: Фонд «Инфосфера» – НИИ-Природа, 2012. – С. 292.

Санников П. Ю. Актуальные проблемы сети охраняемых природных территорий Пермского края // Географический вестник. – 2012. – № 4 (23). – С.60–80.

Селегей В. В. Телецкое озеро. Очерки истории. Книга первая. – Новосибирск – Горно-Алтайск, 2009. – 118 с.

Стишов М. С. Методика оценки природоохранной эффективности особо охраняемых природных территорий и их региональных систем. – М.: WWF России, 2012. – 284 с.

Цифровая версия карты почвенно-экологического районирования Российской Федерации. Масштаб 1:8 000000 / [Под ред. И. С. Урусевской]. – Авторы: И. С. Урусевская, И. О. Алябина, С. А. Шоба; 2019. – URL: <https://soil-db.ru/map/eco> (дата обращения: 17.07.2023).

Цифровая версия почвенной карты РСФСР масштаба 1:2500000 (под ред. Фридланд с соавторами, 1988; оцифровка Почвенного ин-та имени В. В. Докучаева; скорректированная цифровая версия, 2007) – URL: <https://soil-db.ru/map/fridland> (дата обращения: 28.07.2023).

Черткова Е. П. Инвентаризация флоры и фауны территории Алтайского государственного заповедника за период с 2000–2019 гг. // Мониторинг состояния природных комплексов и многолетние исследования на особо охраняемых природных территориях. – 2019. – № 3. – С. 110–117.

Chertkova E.P., Zamolodchikov D.G. Assessment of Land Resources of the Altai State Nature Biosphere Reserve Considering the Uniqueness of Biodiversity and the Value of Ecosystems // *Ekosistemy*. 2024. Iss. 40. P. 39–49.

The assessment of lands of protected areas lays an important role in establishing an effective system of state land cadaster and ensuring the preservation of unique ecosystems. It is an integral part of natural resource management and facilitates the determination of land plots value, taking into account their ecological significance. The subject of this research is the Altai State Nature Biosphere Reserve. The authors developed a new scientific approach for cadastral assessment of land resources of protected areas, which considered the state of soils and soil cover, as well as the refugium function of these areas. The study combined two methodologies: direct assessment, which incorporated the cadastral value of the territories; and indirect assessment, which integrated adjustment coefficients of the value and uniqueness of protected areas. These methodologies were modernized and adapted for the assessment of reserves by introducing additional coefficients: the state of soils and soil cover (Ks); refugium function of protected areas (Krf). These adjustments resulted in a more than twofold increase in the value of the land within the Altai State Reserve, raising it to 531 billion rubles, compared to the previous valuation of 217 billion rubles without the new coefficients. With the help of QGIS software, the soil map of the reserve and the cadastral map were digitized. The predominant soil complex in the Altai Reserve consists of tundra entic podzols (20.3 %), which develop under moss-lichen shrub vegetation, and brown forest acid soils (15.7 %), found beneath coniferous forest canopies. The factors that determine the formation of a rich diversity of ecosystems and ecosystem services in the reserve are described.

Key words: Altai State Nature Reserve, land resources, soils, refugium, ecosystems, cadastral assessment, ecosystem value coefficient, biodiversity uniqueness coefficient.

Поступила в редакцию 19.10.24

Принята к печати 30.11.24

К истории селекции культиваров плюща. IV

Ена А. В., Ена Я. А.

Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского
Симферополь, Республика Крым, Россия
an.yena@gmail.com, yaroslavyena2005@gmail.com

Происхождение более чем половины культиваров рода *Hedera* L., известных на сей день, не задокументировано. Предположения о родстве культиваров традиционно строились на основе умозрительной оценки их морфологической схожести, однако этот способ, как показывают наши исследования, часто оказывается ненадёжным. Мы разработали метод историко-морфологического анализа вегетативных мутаций, или спортов, с помощью которого в ряде случаев оказывается возможным с высокой достоверностью установить названия материнских (предковых) сортов. Методика основана на следующих положениях: сорта плюща в историческом (генеалогическом) аспекте образуют линейную последовательность; вегетативные мутации подразделяются на новые и повторные; повторные мутации воспроизводят комбинации признаков, присущих уже известным сортам; квалификация повторных мутаций как материнских (либо дочерних) осуществляется путём сопоставления годов обнаружения названий соответствующих культиваров. Неоднократно наблюдавшиеся нами случаи реверсий, подтверждающих задокументированное прежде происхождение ряда известных сортов, свидетельствуют о правильности нашего подхода. На основе метода историко-морфологического анализа вегетативных мутаций установлены ранее не известные материнские сорта у трёх культиваров *Hedera helix*: ‘Pittsburgh’ – у ‘Triton’ и ‘Lullingen’; ‘Golden Ingot’ – у ‘Golden Nugget’. Всего с помощью такой методики с высокой степенью достоверности определены материнские сорта уже у двенадцати культиваров *H. helix*, что позволяет рассчитывать на дальнейшее сокращение «белых пятен» в истории селекции этой важной декоративной культуры. Полученные данные позволяют расширить представления об изменениях признаков, происходящих при спортообразовании у плющей, и дают дополнительные возможности для исследования закономерностей эволюционного морфогенеза при анагенетической эволюции на основе её сальтационных моделей.

Ключевые слова: *Hedera helix*, спорт, сорт, повторная мутация, происхождение культивара.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время насчитывается свыше 1350 культиваров рода *Hedera* L. (Ена, Ена, 2024б), более половины из которых – неизвестного происхождения. Столь внушительный дефицит данных связан прежде всего с тем, что многие сорта получены в коммерческих питомниках, где научная документация селекционных событий, как правило, не ведётся. Кроме того, история селекции плюща имеет большие пробелы, отражающие колебания профессионального, коммерческого и общественного интереса к этому декоративному растению. Нельзя не признать крайнюю ограниченность выбора литературы по культуре плюща. Крупных коллекций, вмещающих хотя бы треть или половину современного ассортимента плюща, равно как и специалистов по плющу во всём мире можно пересчитать по пальцам одной руки.

Вместе с тем, плющ является одним из древнейших декоративных растений. История его культивирования в Европе насчитывает более двух тысяч лет, а сегодня он занимает весомую долю глобального цветочного рынка. Плющи широко используются в вертикальном озеленении и топиарном искусстве, в качестве почвопокровных растений и горшечной культуры.

Изучение истории селекции плюща имеет важное теоретическое значение для познания закономерностей наследования признаков при анагенетическом спортообразовании (Ена, 2022а).

Специалисты, занимающиеся изучением плюща, вынуждены строить умозрительные гипотезы относительно генеалогии многих культиваров, опираясь сугубо на признаки внешнего сходства. Мы разработали подход, позволяющий более объективно судить о межсортовом родстве.

В первых трёх опубликованных статьях этой серии (Ена, Ена, 2022б, 2023, 2024а) мы провели апробацию методики и продемонстрировали результаты историко-морфологического анализа мутаций у девяти сортов плюща обыкновенного, что позволило впервые установить их материнские или, в ряде случаев, предковые сорта. Данная статья является продолжением этой работы.

Цель настоящих исследований – на основе выработанного нами метода установить неизвестные ранее материнские сорта для трёх сортов плюща обыкновенного.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Базой для исследований послужила наша коллекция плющей «Hederena» в Симферополе, где растения выращиваются в открытом грунте. Мы фиксировали и документировали появление вегетативных мутаций (спортов) у разных сортов *Hedera helix* L., а их признаки тщательно сравнивали с признаками других сортов коллекции либо с признаками, зафиксированными в литературе. Типичные листья сортов и спортов отбирали с середины элементарных побегов. Описания формы листовой пластинки соответствуют классической терминологии (Фёдоров и др., 1956), тип пёстролистности определялся по методике проведения экспертизы сортов плюща (Ена, 2016).

Историко-морфологический анализ вегетативных мутаций (Ена, Ена, 2022б, 2023) имеет следующую методологическую основу. Селекционная работа в роде *Hedera* ведётся не с помощью гибридизации, а путём выявления, отбора и закрепления спонтанных вегетативных мутаций, или спортов. Поскольку эти мутации приводят к образованию одного культивара из другого, то на временной, или эволюционной шкале все они размещаются в линейной последовательности. Спорты подразделяются на новые и повторные. Новые отличаются ранее не наблюдавшимися комбинациями признаков и пригодны для описания нового сорта. Повторные же характеризуются уже известными комбинациями признаков и соответственно подразделяются по отношению к анализируемому культивару на мутации с признаками материнского сорта, то есть реверсии, и мутации с признаками дочернего сорта. Квалификация повторных мутаций, как материнских, так и дочерних, осуществляется путём сравнения года находки либо регистрации, либо интродукции соответствующих культиваров, то есть с помощью анализа их взаимного расположения на линейной эволюционной шкале. Мы также опирались на закономерность, согласно которой в исторической последовательности сортов одни признаки не могут появиться раньше других (Ена, 2022а), а одна и та же комбинация признаков не может возникнуть у неродственных сортов.

Квалифицируя повторные мутации как идентичные, а не аналогичные уже существующим сортам, мы действуем в полном соответствии со ст. 2.20 Международного Кодекса номенклатуры культивируемых растений (International Code..., 2016).

Цель настоящих исследований – на основе выработанного нами метода установить историю селекции ряда сортов плюща обыкновенного.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдение за вегетативными мутациями и их последующая научная интерпретация позволили нам установить материнские сорта ещё у трёх культиваров плюща обыкновенного, происхождение которых не было известным.

'**Triton**' – необычный культивар с жилковатыми, слегка волнистыми пальчатораздельными листьями, доли которых длинно оттянуты и направлены вперёд. Верхушки долей заострённые, немного изогнуты вниз, выемки глубокие, волнистые, основание листа клиновидное, черешок достигает половины пластинки. Размеры листовых пластинок в среднем 11×10 см. Стебли зигзагообразные, они не бывают ползучими или цепляющимися, а кустятся или свободно свисают.

Морфология этого культивара метко отражена в его эпитете: Тритон – сын древнегреческого бога морей Посейдона.

'Triton' был известен в США уже к 1960 году (Hatch, 2022), а впервые упоминается в 1965 году Х. Й. ван дер Лааром (H. J. van der Laar) в одном из нидерландских журналов по цветоводству (McAllister, Marshall, 2017). Питер Роуз (Rose, 1996), а затем Лоренс Хатч (Hatch, 2022), опираясь на определённое внешнее сходство, предполагали, что 'Triton' – мутация 'Green Ripple' (рис. 1*д*), однако вопрос о происхождении этого сорта до сих пор оставался открытым. Отмечалось только (Hönemann, 2018), что 'Triton' «поразительно часто» возвращается к типичной форме листьев плюща, такой, как у 'Pittsburgh' (рис. 1*б*), а также формирует химерные листья, наполовину как 'Triton', наполовину как 'Pittsburgh' (рис. 1*е*).

По-видимому, именно из-за огромных морфологических различий этих двух культиваров хедеристы не решались предположить, что первый из них происходит непосредственно от второго. Вместе с тем, И. Хайек (Heieck, 1980), не высказываясь о материнском сорте 'Тритона' в тексте, напрямую связывает 'Triton' и 'Pittsburgh' в своей уникальной схеме генеалогического древа культиваров плюща.

'Triton' в нашей коллекции выращивается с 2012 года, но за это время мы ни разу не наблюдали реверсий, которые напоминали бы 'Green Ripple', зато все возникавшие спорты соответствовали морфологии 'Pittsburgh', включая половинки химерных листовых пластинок (рис. 1*а–в*). В последние два года подобные спорты регулярно появлялись на разных побегах куста, и единственное отличие их листьев от стандарта 'Pittsburgh' состояло в более крупном размере пластинки – до 11×11 см против обычных 5×6 см.

Мы полагаем, что 'Triton' непосредственно возник из родоначальника многих культиваров, сорта 'Pittsburgh', появившегося в период 1915–1920 годов (Heieck, 1980). На это указывает единообразие реверсивных спортов у сорта 'Triton', идентичных 'Pittsburgh', а также регулярное появление на нём химерных листовых пластинок, словно составленных из половинок листьев этих двух культиваров. Подтверждением нашего вывода может также служить тот задокументированный факт, что миниатюрное подобие сорта 'Triton', сорт 'Troll' (рис. 1*з*), интродуцированный в Дании в 1989 году, возник как спорт 'Pittsburgh' (McAllister, Marshall, 2017).

Таким образом, гипотеза, согласно которой визуально похожие сорта 'Triton' и 'Green Ripple' связаны родством, не подтверждается.

Примечательно, что архетип «листа-вилочки» воплощался у сортовых линий плюща разной степени родства неоднократно и ярко выражен у таких разновозрастных культиваров *H. helix*, как, например, 'Green Ripple' (1939 г.) (рис. 1*з*), 'Ate' (1994 г.), 'Jessica' (1998 г.) (McAllister, Marshall, 2017) и даже у *H. hibernica* 'Cuspidata Major' (рис. 1*д*) селекции XIX века (Hibberd, 1872). Несомненно, подобные случаи находят объяснение в рамках закона гомологических рядов в наследственной изменчивости (Вавилов, 1987).

'Lüllingen' – зелёнолистный культивар с пальчато-лопастными крупнозубчатыми листовыми пластинками 3,5(5)×4(5) см, в очертании округлыми или широко-яйцевидными, слегка воронковидными. Верхушки лопастей острые, основание листа сердцевидное, причём базальные лопасти часто перекрываются. Жилки светлые, слегка приподнятые. Медленнорастущее, слабоветвящееся растение.

Плющ с такими признаками был обнаружен в 2008 году немецким коллекционером плющей Марио Холлманом (Mario Hollmann) на оптовом рынке декоративных растений в городе Люллинген (Германия), название которого было позднее присвоено новому сорту. Предковая форма не известна.

Данный сорт мы получили из коллекции президента Немецкого общества плюща Андреаса Хёнеманна (Andreas Hönemann) в 2013 году. За прошедшее время из отклоняющихся форм мы наблюдали лишь нежизнеспособные фасциации. В 2023 году впервые был замечен побег с цельнокрайними пальчатыми листьями, по морфологии оказавшимися практически идентичными сорту 'Pittsburgh', который, по всей вероятности, может рассматриваться как материнский по отношению к 'Lüllingen' (рис. 2).

'Golden Nugget' относится к пёстролистным культиварам и имеет трех-пятилопастные листовые пластинки с едва выраженными вырезками, тупыми верхушками лопастей и сердцевидным основанием (рис. 3*а*). Размеры листьев в среднем 3(5)×4(6) см. В переводе с



Рис. 1. Листья сортов *Hedera helix* (a–d) и *H. hibernica* (e)
a – 'Triton' (вверху) и его спорт, идентичный 'Pittsburgh' (внизу); б – 'Pittsburgh'; в – химерная листовая пластинка с признаками 'Triton' и 'Pittsburgh'; г – 'Troll'; д – 'Green Ripple'; е – 'Cuspidata Major'. Фото: a–в, д, е – авторов; г – А. Hönemann (Hönemann, 2018).

Рис. 2. Листья *Hedera helix*

a – сорт 'Lüllingen'; *б* – спорт сорта 'Lüllingen', идентичный сорту 'Pittsburgh'. Фото авторов.

английского название означает «Золотой самородок», что метко отражает замечательную окраску тёмно-зеленых листьев культивара, изобильно покрытых крупными разорванными ярко-желтыми пятнами, сливающимися в центре. Неровные зеленые сектора, расходящиеся от основания к выемкам, часто придают всему золотому пятну очертания расплавленного креста.

Считается (Hönnemann, 2018), что этот плющ возник до 1993 года в Великобритании у хедериста Рональда Уайтхауса (Ronald Whitehouse), однако какие-либо более подробные данные отсутствуют. Некоторые авторы высказывали предположение, что данный сорт произошёл от культивара 'Midas Touch' со схожим характером жёлтой пёстролистности. 'Midas Touch' (рис. 3б) появился в начале 1980-х годов без какой-либо сопроводительной генеалогии (McAllister, Marshall, 2017). Вместе с тем, в отличие от 'Midas Touch', 'Golden Nugget' имеет пальчато-лопастные, а не сердцевидные листья, кожистые, а не бумажистые по консистенции, а также заметные зелёные сектора, которые никогда не проявляются у 'Midas Touch'. К сожалению, 'Midas Touch' отсутствует в нашей коллекции, и мы не имеем возможности анализировать особенности его спортообразования в культуре. Другой морфологически схожий сорт, 'Golden Ingot', впервые представленный на европейском рынке в 1987 году, характеризуется листьями с зелёным центром, окружённым широкой неравномерной ярко-жёлтой зоной и тонко-прерывистым зелёным ободком по самому краю.

'Golden Ingot' выращивается в нашей коллекции с 2012 года, и иногда у него появляются листья с жёлтыми пятнами по зелёному центру или же полностью жёлтые листья с истончённым зелёным ободком по краю (рис. 3в), очень редко полностью зелёные; нами никогда не фиксировались спорты, напоминавшие бы 'Golden Nugget'. 'Golden Nugget' у нас в коллекции с 2004 года, с тех пор продуцировал исключительно зелёнолистные спорты, известные как 'Green Ingot'.

Проблему происхождения 'Golden Nugget' удалось решить благодаря цветоводу-любителю Т. Г. Бабич из Красноярска, у которой мы приобрели в 2024 году через платформу «Авито» саженец, полностью отвечающий признакам 'Golden Nugget'. Она, в частности,



Рис. 3. Листья сортов *Hedera helix*

a – 'Golden Nugget', *б* – 'Midas Touch'; *в* – 'Golden Ingot' (вверху) со спортом, идентичным 'Golden Nugget' (внизу); *г* – 'Golden Gate'; *д* – 'Fool's Gold'; *е* – 'Twenty Four Karats'. Фото *а*, *д* – авторов; *б*, *е* – А. Нөнemann (Нөнemann, 2018); *в* – Т. Г. Бабич; *г* – С. Ф. Котова.

сообщила, что данный лот представлял собой мутировавший побег ‘Golden Ingot’. В доказательство были предоставлены снимки маточного растения, на которых ясно видны две ветви, одна из которых морфологически соответствовала ‘Golden Ingot’, а другая – ‘Golden Nugget’ (рис. 3е). Данный случай позволяет нам считать доказанным, что второй из упомянутых сортов произошёл от первого.

Родословная ‘Golden Ingot’ хорошо известна и представляет собой цепочку следующих культиваров: ‘Pittsburgh’ → ‘Chicago’ → ‘Chicago Variegata’ → ‘Goldchild’ → ‘Golden Ingot’ (Hönnemann, 2018).

От сорта ‘Golden Ingot’ произошёл не только ‘Golden Nugget’, но и целая серия схожих по окраске культиваров, отличающихся преимущественно особой стереометрией, величиной и текстурой листовой пластинки. Все они возникли примерно в один период с ‘Golden Nugget’ – в первой половине 1990-х годов (McAllister, Marshall, 2017).

‘Golden Gate’ – компактный, медленнорастущий датский сорт селекции 1992 года с мелкими, волнистыми, с преобладанием жёлтой окраски листьями, которые в массе придают всему растению особенный декоративный эффект (рис. 3з).

‘Fool’s Gold’ был идентифицирован как новый сорт Расселом Уиндлом в 1994 году из материала, присланного в Американское общество плюща английским хедеристом Рональдом Уайтхаусом (Ronald Whitehouse) и этикетированного как ‘Golden Ingot’. Рисунок и форма листа совершенно аналогичны материнскому культивару, но края мелко волнистые, чуть гофрированные и несколько хрящеватые (рис. 3д). Вероятно, к этому же культивару относится название ‘Golden Curl’, имеющее хождение в Нидерландах и Великобритании, тогда как в Дании и США идентичные растения известны как ‘Golden Caecilia’, а в Великобритании как ‘Richard John’ (McAllister, Marshall, 2017). Мы полагаем, что три последних названия следует считать поздними синонимами ‘Fool’s Gold’.

‘Twenty Four Karats’ (оригинатор Russell Windle, 1995) представляет собой медленнорастущую версию ‘Golden Nugget’ с искривлёнными, пузырчато-зернистыми, неравномерно-надорванными, асимметрично окрашенными листьями (рис. 3е).

Примечательно, что три последних культивара демонстрируют довольно нестабильный рисунок листовой пластинки, не выходящий, однако, за рамки изменчивости их материнского сорта – ‘Golden Ingot’.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Родословную культиваров плюща мы представляем как линейную цепь сортов, возникших из вегетативных мутаций (спортов). В некоторых случаях возможны ответвления от этой цепи, если на одном и том же сорте образовались разные спорты. В любом случае, в рамках искусственного отбора конкретному спорту (сорт) исторически предшествует другой конкретный спорт (сорт). Это соответствует анагенетической эволюции на основе её сальтационных моделей.

До последнего времени об анагенетическом родстве культиваров судили на основе умозрительной оценки их морфологической схожести. Такой способ, как показывают наши исследования, часто оказывается ненадёжным. Благодаря повторным вегетативным мутациям мы получили возможность значительно более надёжного, научно хорошо обоснованного выявления недостающих звеньев в родословной культиваров. Неоднократно наблюдавшиеся нами случаи реверсий, подтверждающих задокументированное прежде происхождение сортов, свидетельствуют о правильности нашего подхода.

На основе разработанного нами метода историко-морфологического анализа мутаций определены с высокой степенью достоверности материнские сорта уже у двенадцати культиваров плюща обыкновенного, что позволяет рассчитывать на дальнейшее сокращение «белых пятен» в истории селекции этой важной декоративной культуры.

Список литературы

- Вавилов Н. И. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. Л.: Наука, 1987. 256 с.
- Ена А. В. Методика проведения экспертизы сортов плюща звичайного (*Hedera helix* L.) на відмінність, однорідність і стабільність // Методика проведення експертизи сортів рослин групи декоративних на відмінність, однорідність і стабільність. – 2016. – С. 798–810.
- Ена А. В. Анагенез при искусственном отборе: история сортов плюща // Эмбриология, генетика и биотехнология: Материалы VI Международной Школы-конференции для молодых учёных. Крым (Ялта, 19–23 сентября 2022 г.). – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2022а. – С. 12–14.
- Ена А. В., Ена Я. А. К истории селекции культиваров плюща. I // Экосистемы. – 2022б. – Вып. 31. С. 34–38.
- Ена А. В., Ена Я. А. К истории селекции культиваров плюща. II // Экосистемы. – 2023. – Вып. 35. – С. 155–161.
- Ена А. В., Ена Я. А. К истории селекции культиваров плюща. III // Экосистемы. – 2024а. – Вып. 37. – С. 147–153.
- Ена А. В., Ена Я. А. География селекции плюща (*Hedera* L.) // Plant Biology and Horticulture: theory, innovation. – 2024б. – № 1 (170). – С. 26–33.
- Фёдоров Ал. А., Кирпичников М. Э., Артюшенко З. Т. Атлас по описательной морфологии высших растений. Лист. – М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1956. – 304 с.
- Hatch L. C. The IvyFile. – Cultivar.org. New Ornamentals Society, Raleigh, North Carolina. – 2022 // www.cultivar.org. – Accessed 07.10.2022.
- Heieck I. Hedera Sorten. Ihre Entstehung und Geschichte dargestellt am Sortiment der Gärtnerei Abtei Neuburg. – Heidelberg, 1980. – 134 s.
- Hibberd S. The Ivy. A Monograph. – London: Groombridge & Sons, 1872. – 116 p.
- Hönemann A. Arten und Sorten // Informationen der Deutschen Efeu-gesellschaft e.V. <http://efeu-ev.org/>. – Accessed 08.02.2018.
- International Code of Nomenclature for Cultivated Plants. Ninth edition / [C. D. Brickell (ed.)] // Scripta Horticulturae. – 2016. – N 18. – xvii + 190 p.
- McAllister H., Marshall R. *Hedera*. The complete guide. – London: RHS, 2017. – 430 p.
- Rose P. Q. The Gardener's Guide to Growing Ivies. – Portland: Timber Press, 1996. – 160 p.

Yena A. V., Yena Ya. A. On the History of Selection of Ivy Cultivars. IV // Ekosistemy. 2024. Iss. 40. P. 50–57.

The origins of over half of the currently known cultivars within the genus *Hedera* L. remains undocumented. Assumptions about the relationship of cultivars have traditionally been based on a speculative assessment of their morphological similarity; however, our research indicates that this approach is often unreliable. The authors have developed a method for the historical and morphological analysis of vegetative mutations, or sports, which in some cases makes it possible to identify the names of ancestral cultivars with high reliability. The method is based on the following provisions: ivy cultivars form a linear sequence in a historical (genealogical) context; vegetative mutations are divided into new and repeated ones; repeated mutations reproduce combinations of features inherent in already known varieties; the qualification of repeated mutations as ancestral or descendant is carried out by comparing the years of the corresponding cultivars' names being published. The repeated cases of observed reversions, confirming the previously documented origin of a number of known cultivars, substantiate the validity of this approach. Based on the method of historical and morphological analysis of vegetative mutations, previously unknown ancestral varieties were identified in three cultivars of *Hedera helix*: 'Pittsburgh' – in 'Triton' and 'Lullingen'; 'Golden Ingot' – in 'Golden Nugget'. In total, using this method, ancestral cultivars have already been identified with a high degree of reliability in twelve cultivars of *H. helix*, which allows expecting a further reduction gaps in the history of selection of this important ornamental plant. The findings enhance understanding of the changes in traits that occur during sport formation in ivy, and provide additional opportunities for studying the patterns of evolutionary morphogenesis during anagenetic evolution based on its saltation models.

Key words: *Hedera helix*, sport, cultivar, repeated mutation, origin of cultivars.

Поступила в редакцию 28.10.24

Принята к печати 02.12.24

Наиболее значимые виды фитопланктона в Каспийском море

Зими́на Т. Н.¹, Ардабе́ева А. Г.¹, Котельников А. В.²

¹ Волжско-Каспийский филиал Всероссийского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства
Астрахань, Россия

tanyshka_0704@mail.ru, ardabeva202@mail.ru

² Астраханский государственный технический университет

Астрахань, Россия

kotas@inbox.ru

Значение фитопланктона в формировании биологической продуктивности Каспийского моря подтверждается многолетними литературными данными. Изучение всех групп микроводорослей этого своеобразного водоема позволило выделить два наиболее значимых вида из групп диатомовых и динофитовых водорослей планктона. В многочисленных работах о *Pseudosolenia calcar-avis* (B. G. Sundström 1986) отмечается большое значение этого вселенца в общей массе фитопланктона, несмотря на спорный вопрос об истинном его влиянии на качественный состав фитопланктона в целом. Ценность *Prorocentrum cordatum* (J. D. Dodge 1976) подтверждается предпочтением организмами последующих трофических уровней данного вида водорослей. Доля *P. calcar-avis* и *P. cordatum* в общей массе и численности заметно снизилась. Изменения в количественных показателях было вызвано, вероятно, разного рода причинами. В Среднем Каспии наблюдалась разница в развитии их по разрезам. Минимальные значения в последнее время чаще обнаруживались в центральной части моря. В Северном Каспии *P. calcar-avis* вегетирует в весенне-осенний период, главным образом, на границе со Средним Каспием. *P. cordatum* встречается по всей акватории Северного Каспия, многочисленна в летний период. Отмеченное изменение в количественных показателях за последние годы подтверждает важность изучения динамики фитопланктона Каспийского моря.

Ключевые слова: Продуктивность, биомасса, фитопланктон, условия обитания, Каспийское море.

ВВЕДЕНИЕ

Каспийское море – это уникальный водоем, как с точки зрения ресурсного состава, так и по своим морфометрическим характеристикам, представляет собой важный объект для изучения (Катунин, 2014). Море вытянуто в меридиональном направлении на 1200 км, наибольшая его ширина составляет 560 км. Каспий является глубоководным водоемом с максимальной отметкой 1026 м в южно-каспийской котловине (Зенкевич, 1963).

Особенности географического положения и происхождения Каспия обуславливают значительную динамику условий среды в течение года и изменение уровня Каспия. В свою очередь это определяет интенсивность продукционно-деструкционных процессов во взаимосвязи с гидрохимической структурой моря.

Одним из важнейших принципов изучения водоема является установление закономерностей преобразования вещества и энергии в водных экосистемах, при этом необходима оценка биологической продуктивности, где существенна роль фитопланктона (Мухутдинов, 2013). Фитопланктон – фотосинтезирующие организмы, живущие в толще воды и оказывающие прямое воздействие на функционирование и продукцию последующих трофических звеньев морской экосистемы как продуценты первичной продукции (Константинов, 1972; Логинова, Лопух, 2011).

Растительный планктон в водной экосистеме является продуцентом органического вещества, первичным звеном в трофической цепи, предшествуя гетеротрофным потребителям. Изменения природно-климатических условий и факторов влияют на состав фитопланктона и его численные характеристики, в связи, с чем важно проводить исследования этих гидробионтов.

Каспийское море является высокопродуктивным водоемом в первую очередь за счет создаваемого фитопланктоном запаса автохтонного органического вещества, обеспечивающего энергетическую основу функционирования биологических сообществ (Яблонская, 2007).

Цель настоящих исследований – изучить роль *Prorocentrum calcar-avis* и *P. cordatum* в формировании биологической продуктивности Каспийского моря по многолетним данным и за летний период 2019–2022 годов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор проб фитопланктона проводился в летний период 2019–2022 годы в Северном и Среднем Каспии. В районе Северного Каспия пробы отбирались по стандартной сетке станций (77 станций); Среднего Каспия по разрезам: город Махачкала – мыс Сагындык, город Дербент – мыс Песчаный, поселок Дивичи – бухта Кендерли. Пробы отбирались гидрозондом Seabird SBE 19 с горизонтов 0, 10, 25, 50, 100, 200 м. Всего собрано и обработано в соответствии с общепринятой методикой (Усачев, 1961) 405 проб. Идентификация видов осуществлялась с помощью определителей (Забелина, 1951; Прошкина-Лавренко, Макарова, 1968). Количественный анализ изучаемых фитопланктонных организмов проводили счетно-объемным методом, с помощью микроскопа Микромед-2.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Каспийском море биомассу фитопланктона, на основании многолетних данных, формируют два основных вида – *P. calcar-avis* и *P. cordatum*. Средиземноморский вселенец *P. calcar-avis* впервые был обнаружен осенью 1934 года в южной части Каспия. Вселение этого вида произошло случайно, предположительно, при акклиматизации черноморской кефали или с водоплавающими птицами (Зиминая, 2022). Являясь крупноклеточной водорослью, вселенец практически сразу занял большую часть общей массы фитопланктона, конкурируя с эндемиком Каспия *Dactyliosolen fragilissimus* (Hasle 1996) (Левшакова, 1972б; Яблонская, 2007), который до появления *P. calcar-avis* относился к числу доминирующих, а сейчас встречается в незначительных количествах. Массовое распространение *P. calcar-avis* обусловлено его адаптацией к широкому спектру солености и температуры.

P. calcar-avis – эвригалитный вид, присутствующий в планктоне круглогодично. Наибольшего развития достигает в открытом море над глубинами 100 м, в слое термоклина и над ним, особенно в периоды вертикальной циркуляции – весной и осенью (Санина, 1991).

Другим значимым видом для фитопланктонного сообщества является представитель динофитовых водорослей эндемик Каспийского моря *P. cordatum*. Ранее занимал до 50 % от биомассы, являясь при этом мелкоклеточным видом водорослей. Однако далее стал уступать доминирующие позиции диатомовым водорослям. *P. cordatum* – это ценный кормовой вид, который активно потребляется зоопланктоном, тем самым повышая продуктивность водоема (Крючкова, 1974).

Роль этих двух важнейших организмов в Каспийском море проявляется по-разному. Мелкоклеточный вид *P. cordatum*, потребляемый зоопланктоном, обеспечивает переход значительного количества питательных веществ в цепи питания или же в виде растворенного органического вещества в толще воды. Роль *P. calcar-avis* остается спорным вопросом. Исследователи полагают, что, в связи с крупными размерами, *P. calcar-avis* в Каспийском море не потребляется планктоном, а в трофические цепи включается только после отмирания. Массовое развитие ее приводит к снижению полезной продукции фитопланктона. Отличное мнение (Яблонская, 2007) основано на косвенном увеличении кормовой базы планктонных животных в связи с потреблением *P. calcar-avis* в виде детрита, а не при непосредственном употреблении этого вида в пищу. Придерживаясь мнения о важности *P. calcar-avis* в Каспии, в том числе и в виде детрита, нужно подчеркнуть влияние ее и на качественный состав

фитопланктона в целом. Изменение видового состава в конкурентных отношениях, вероятно, способно вызвать изменения в трофической цепи.

По литературным данным, наибольшие скопления *P. cordatum* наблюдались летом и осенью при солености 9–12 ‰, *P. calcar-avis* – весной и летом при солености 6–7 ‰. Следовательно, ни во времени, ни в пространстве они не являются конкурентами.

В общей массе фитопланктона Северного Каспия *P. calcar-avis* в период до зарегулирования стока реки Волги составляла 26–42 % или 0,5–2,7 г/м³, в 1976 году – 60 % или 0,5 г/м³. В последующие годы наблюдалось ее уменьшение вследствие опреснения. В настоящее время количество ее находится на низком уровне (5,8–27,1 мг/м³). Несмотря на это в отдельные годы (2018, 2022 годы) биомасса ее составляла 158,7 и 236,4 мг/м³. Количественные показатели *P. cordatum* за ряд лет изменялись от 2,3 до 2,9 млн кл./м³ по численности и от 4,6 до 5,8 мг/м³ по биомассе. В последние годы биомасса этого вида варьировала от 2,1 до 10,5 мг/м³, то есть наметилась тенденция к увеличению.

В Среднем Каспии биомасса *P. calcar-avis* в летний период самого низкого уровня моря (1970-е годы) достигала 78–86 % массы всего фитопланктона (Караева, 2004). В 1980–1990-е годы биомасса ее составляла 79–82 %. В современный период высокие температуры поверхностного слоя, слабое конвективное перемешивание, большое количество биогенов угнетающе сказывалось на развитии *P. calcar-avis* (Карпинский, 2010). За последние семь лет исследований уровень биомассы *P. calcar-avis* носил скачкообразный характер: наибольшие показатели отмечены в 2016 году (620,8 мг/м³), наименьшие – в 2021 году (1,74 мг/м³). В 2021–2022 годах на разрезах поселок Дивичи – бухта Кендерли и город Дербент – мыс Песчаный *P. calcar-avis* отсутствовала. Стоит отметить, что при минимальном развитии в Каспии, в 2021 году *P. calcar-avis* была обнаружена на участке коренного русла реки Волги. Ее биомасса достигала здесь значительных показателей (100 мг/м³).

В предыдущие годы *P. cordatum* в Среднем Каспии доминировала среди динофитовых водорослей, составляя 132,1–338,4 мг/м³ (80 % биомассы динофитовых). В исследуемый период количественные показатели вида варьировали в зависимости от района и разреза. Высокие значения этот вид имел на разрезах город Махачкала – мыс Сагындык и поселок Дивичи – бухта Кендерли. На разрезе город Дербент – мыс Песчаный количество ее было менее значимым. И если в целом по изучаемому району Среднего Каспия в 2019 году *P. cordatum* занимала до 60 % от общих значений фитопланктона и динофитовых в частности, то в 2022 году ее показатели были значительно ниже.

Изменения в развитии микроводорослей, в особенности двух рассмотренных ранее видов, может быть обусловлено как влиянием биогенного состава вод, так и взаимосвязью с другими гидробионтами, например, иными видами-вселенцами (Полянинова, 2003; Карпинский, 2010).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значение фитопланктона в формировании биологической продуктивности Каспийского моря подтверждается многолетними литературными данными. Изучение всех групп микроводорослей этого своеобразного водоема позволило выделить два наиболее значимых вида из групп диатомовых и динофитовых водорослей планктона. В многочисленных работах о *Pseudosolenia calcar-avis* (B. G. Sundström 1986) отмечается большое значение этого вселенца в общей массе фитопланктона, несмотря на спорный вопрос об истинном его влиянии. на качественный состав фитопланктона в целом. Ценность *Prorocentrum cordatum* (J. D. Dodge, 1976) подтверждается предпочтением организмами последующих трофических уровней данного вида водорослей. Доля *P. calcar-avis* и *P. cordatum* в общей массе и численности заметно снизилась. Изменения в количественных показателях было вызвано, вероятно, разного рода причинами. В Среднем Каспии наблюдалась разница в развитии их по разрезам. Минимальные значения в последнее время чаще обнаруживались в центральной части моря. В Северном Каспии *P. calcar-avis* вегетирует в весенне-осенний период, главным образом, на границе со Средним Каспием. *P. cordatum* встречается по всей акватории

Северного Каспия, многочисленна в летний период. Отмеченное изменение в количественных показателях за последние годы подтверждает важность изучения динамики фитопланктона Каспийского моря.

Таким образом, на современном этапе относительно прошлых лет исследования в развитии двух наиболее значимых для Каспия видов фитопланктона отмечено снижение количественных показателей, хотя они по-прежнему остаются в числе доминантов, особенно на акватории Среднего Каспия. Причины таких изменений нуждаются в дальнейших исследованиях.

Список литературы

- Зенкевич Л. А. Биология морей СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 739 с.
- Забелина М. М. Определитель пресных водорослей СССР. – М., 1951. – 619 с.
- Зими́на Т. Н., Ардабьева А. Г., Котельников А. В. Характеристика современного состояния фитопланктонных вселенцев Каспийского // Водное хозяйство России. – 2022. – № 3. – С. 101–110.
- Кату́нин Д. Н. Гидроэкологические основы формирования экосистемных процессов в Каспийском море и дельте Волги Астрахань. – ФГУП КаспНИРХ, 2014. – 478 с.
- Карпинский М. Г. *Pseudosolenia calcar-avis* (Bacillariophyta, Centrophyceae) в Каспии // Российский журнал биологических инвазий. – 2010. – № 1. – С. 2–11.
- Караева Н. И. Снижение кормовой ценности каспийского фитопланктона в связи с инвазией *Pseudosolenia calcar-avis* (Schulze) Sundstrom // Современные проблемы биологических ресурсов Каспийского моря. Материалы межд. конф., посвященной 90-летию юбилею Азерб. научно-исслед. ин-та рыбного хоз-ва (15-17 сентября 2003 г.). – Баку, 2004. – С. 297–299.
- Константинов А. С. Общая гидробиология. – М.: Высшая школа, 1972. – 472 с.
- Крючкова Н. М. О составе пищи и размере пищевых частиц, потребляемых планктонными животными-фильтраторами // Гидробиологический журнал. – 1974. – Т. 10, № 3. – С. 117–124.
- Левшакова В. Д. Некоторые экологические особенности фитопланктона Северного Каспия // Труды КаспНИРХ. – 1972б. – Т. 26. – С. 67–82.
- Логинова Е. В., Лопух П. С. Гидроэкология: курс лекций. – Минск: БГУ, 2011. – 300 с.
- Мухутдинов В. Ф. Продуктивность фитопланктона и гидрохимический режим Юмагузинского водохранилища (р. Белая, Башкортостан) в первые годы его существования: автореф. дис. ...канд. биол. наук: спец. 03.02.10 Гидробиология. – Борок, 2013. – 21 с.
- Полянинова А. А. Гидробиологическая обстановка в Среднем и Южном Каспии при биологическом загрязнении водоема чужеродным видом – гребневиком *Mnemiopsis leidyi* // Сборник трудов: Рыбохозяйственные исследования на Каспии. – Астрахань, 2003. – С. 121–134.
- Прошкина-Лавренко А. И., Макарова И. В. Водоросли планктона Каспийского моря. – М.: Наука, 1968. – 291 с.
- Санина Л. В. Летний фитопланктон Среднего Каспия // Рыбохозяйственные исследования планктона. Часть II. Каспийское море: Сб. научных трудов / [Ред. Кузьмичева В. И.] – М.: Изд-во ВНИРО, 1991. – С. 77–95.
- Усачев П. И. Количественная методика сбора и обработки фитопланктона // Труды ВГБО АН СССР. – 1961. – Т. 11. – С. 411–415.
- Яблонская Е. А. Биология Каспийского моря. – М.: Изд-во ВНИРО, 2007. – 142 с.

Zimina T. N., Ardabyeva A. G., Kotelnikov A. V. The Most Significant Species of Phytoplankton in the Caspian Sea // Ekosistemy. 2024. Iss. 40. P. 58–61.

Biological productivity, broadly defined, refers to the rate of biomass production by plant and animal organisms within an ecosystem. The significance of phytoplankton in the formation of the biological productivity of the Caspian Sea is well-documented over many years. Comprehensive studies of all groups of microalgae in this peculiar reservoir made it possible to identify the two most important species within the diatom and dinoflagellate plankton groups. Numerous studies on *Pseudosolenia calcar-avis* highlight the substantial role of this invasive species in the total mass of phytoplankton, despite ongoing debates regarding its true ecological impact. The significance of *Prorocentrum cordatum* (J.D.Dodge 1976) is confirmed by the preference of this type of algae by organisms of subsequent trophic levels. The proportion of *P. calcar-avis* and *P. cordatum* in the total mass and abundance decreased considerably. Changes in quantitative indicators were probably caused by various reasons. In the Middle Caspian, there was a difference in their development across sections. Recently, the minimum values have increasingly been recorded in the central part of the sea. In the Northern Caspian Sea, *P. calcar-avis* proliferates during the spring and autumn seasons, particularly along the boundary with the Middle Caspian Sea. Conversely, *P. cordatum* is distributed throughout the Northern Caspian Sea and is abundant in summer. The observed fluctuations in quantitative indicators emphasize the necessity for ongoing dynamic studies of phytoplankton in the Caspian Sea.

Key words: Productivity, biomass, phytoplankton, habitat conditions, Caspian Sea

Поступила в редакцию 05.10.24

Принята к печати 10.12.24

УДК 581.526.53

DOI: 10.29039/2413-1733-2024-40-62-75

Разнообразие и пространственная структура горно-степной растительности сопочного массива Саксары (Южно-Минусинская межгорная котловина)

Порабейкина О. О.

*Хакасский государственный университет имени Н. Ф. Катанова
Абакан, Россия
onea90@mail.ru*

В статье представлены результаты изучения пространственной организации растительного покрова сопочного массива Саксары с использованием космических снимков Landsat-8. Проведена классификация растительности в системе Браун-Бланке, создана ординационная модель связей растительных сообществ с ведущими экологическими факторами, а также оригинальная крупномасштабная геоботаническая картографическая модель. На основе результатов градиентного анализа выявлены ведущие экологические факторы, определяющие разнообразие степных сообществ и обуславливающие пространственное распределение степей – высота над уровнем моря, экспозиция склона и петрографический состав субстрата. С использованием космических снимков высокого разрешения выявлены фитоценохоры в ранге микрокомбинаций, представляющие сочетания фитоценозов, обусловленные особенностями рельефа, почвенного покрова и влажности. Информационные подходы позволили представить сконцентрированные сведения о типологическом составе растительных сообществ, особенностях их экологии и пространственной организации на изучаемом полигоне. Максимально полное представление об объеме и характере первичных геоботанических данных, примененных методах классификации и ординации дает возможность лучше понять закономерности пространственной организации растительности, что также упрощает процесс совершенствования картографической модели, отражая в ней новые важные особенности и закономерности растительности, которые выявляются при вовлечении новых дополнительных материалов.

Ключевые слова: фиторазнообразие, степная растительность, ординация растительности, крупномасштабное картографирование, Хакасия, Саксары.

ВВЕДЕНИЕ

В начале 90-х годов XX века антропогенная нагрузка на растительность сопочного массива резко сократилась и его растительность практически восстановилась после использования территории в качестве пастбищ в советское время. Однако в конце первого десятилетия нашего века пастбищная нагрузка на данную территорию вновь возросла (Макунина, 2013). Поэтому высокое научное и прикладное значение имеет изучение фитоценотического разнообразия, флористического состава, экологии и пространственной организации растительности этой территории. Основой решения этих задач выступает представление новых данных о закономерностях формирования пространственной структуры растительного покрова.

Целью настоящего исследования выступает систематизация фитоценотического разнообразия степной растительности сопочного массива Саксары (эталонного для степного пояса Минусинской межгорной котловины) и создание крупномасштабной геоботанической карты с использованием данных дистанционного зондирования.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Сопочный массив Саксары расположен в западной части Южно-Минусинской котловины в дождевой тени Абаканского хребта. Он ограничен реками Уйбат, Абакан и Камышта. Массив представляет собой овал, к которому с северо-запада примыкает протянувшаяся в этом же направлении сопочная гряда. Массив вытянут с запада на восток на 22 км, с севера на юг – на 20 км. В северной его части расположены две широко-

ориентированные сопочных гряды – хребет Большой Саксыр и хребет Малый Саксыр (вершины 800–900 м н. у. м.). К северу массив продолжается неширокой полосой из отдельных сопков, вершины которых понижаются к периферии от 550 до 450 м н. у. м. На юг от хребтов Большой и Малый Саксыр отходит серия субмеридиональных сопочных гряд (вершины 600–700 м н. у. м.), разделенных узкими долинами. В центре массива на высоте 650–700 м н. у. м. расположен выположенный участок, от которого на юго-запад и юг-юго-восток отходят две широкие межсопочные долины, постепенно снижающиеся к периферии массива. Абсолютные высоты подгорного шлейфа, окружающего массив с юга и востока, повышаются от 350 до 450 м н. у. м. Массив лишен рек и ручьев, лишь в глубоких логах, где накапливается снег, есть небольшие холодные ключи (Макунина, 2013).

Климат резкоконтинентальный. Средняя годовая температура около 0 °С, минимальная – –52 °С, максимальная – +39 °С. Сумма температур выше 10 °С составляет 1 600 °С, годовая сумма осадков 250–300 мм. Наибольшее количество осадков выпадает летом. Зимой незначительное количество снега сдувается со склонов и скапливается в понижениях. В левобережной части Минусинских котловин, находящихся в дождевой тени их западного обрамления, верхняя граница степного пояса проходит на высоте 600 м н. у. м. (Куминова и др., 1976). Высоты до 600 м характерны только для периферии массива Саксары. Основная, центральная часть расположена в диапазоне высот от 600 до 800 м н. у. м. Тем не менее, ее растительный покров носит степной характер, отдельные группы деревьев встречаются лишь в привершинных частях северных склонов самых высоких сопков (Макунина, 2013). В результате исследования флоры массива было выявлено 248 видов высших сосудистых растений, относящихся к 42 семействам и 164 родам.

Материалом для классификации послужили 80 описаний горно-степных растительных сообществ, выполненных на площадках в 100 м² в мае – июле 2024 года на территории сопочного массива Саксары. Заложение пробных площадей и изучение состава растительности осуществлялось методом маршрутных геоботанических исследований (Полевая геоботаника, 1964). При выполнении описаний особое внимание уделялось полному учёту флористического состава, а также выявлению закономерностей приуроченности растительных сообществ к элементам рельефа. Для геопозиционирования геоботанических описаний использовался GPS-навигатор Garmin 64ST.

Из всех выполненных геоботанических описаний была создана база данных на основании стандартного европейского пакета TURBOVEG. Количественная классификация геоботанических описаний осуществлялась в пакете JUICE 7.0 методом кластерного анализа TWINSPAN (Hill, 1979). Классификация растительных сообществ выполнена методом Ж. Браун-Бланке (Westhoff, Maarel, 1973). Использованы комбинации диагностических видов, включающие характерные и дифференциальные. Обилие-покрытие видов дано по 7-балльной шкале Ж. Браун-Бланке; класс постоянства определён по шкале: «+» – вид встречен в 1–10 % описаний, «I» – 11–20 %, «II» – 21–40 %, «III» – 41–60 %, «IV» – 61–80 %, «V» – 81–100 %. Названия видов сосудистых растений приведены по сводке С. К. Черепанова (1995) и по Конспекту флоры Сибири (2005), также приведены авторы видов.

Определение ведущих экологических факторов (градиентный анализ), обуславливающих разнообразие и пространственную организацию степной растительности, выполнено на основе DCA-ординации (Detrended Correspondence Analysis), реализованной в программе DECORANA (Hill, 1979).

Изучение пространственной организации степной растительности ключевого полигона осуществлено с использованием многоспектральных снимков, полученных со спутников Landsat-8 с разрешением от 15 до 30 м в видимой, ближней инфракрасной (VNIR) и коротковолновой инфракрасной (SWIR) зонах спектра, включающих в себя 11 спектральных каналов, что гарантирует отображение различий в состоянии растительности, в том числе и временные изменения. В рамках работы была использована методика автоматизированного обучения и визуального картирования территории. В качестве основы был взят цветовой синтез снимков в системе естественных цветов (RGB). Изображение представляет собой

цветное синтезированное изображение с комбинацией каналов 5, 6 и 4 (1 пиксел = 10×10 м). Для анализа снимков использовался модуль Orfeo ToolBox программного пакета QGIS 3.22.5.

Для картографирования использована классификация без обучения (метод K-means) в сочетании каналов 5-6-4. По спектральным диапазонам 5 канал показывает ближний ИК (Near Infrared, NIR) с длиной волны 0,845–0,885 мкм, 6 – ближний ИК (Short Wavelength Infrared, SWIR 2) с длиной волны 1,560–1,660 мкм, а 4 – красный (Red) с длиной волны 0,630–0,680 мкм. Выбор этих длин волн основан на максимальных значениях отражательных характеристик объектов в красном спектре длин волн и минимальных – в ближнем инфракрасном спектре, где растительность и почва имеют максимальные значения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам классификации установлено, что разнообразие степной растительности представлено двумя высшими географическими категориями, соответствующими классам *Cleistogenetea squarrosae* Mirkin et al. ex Korotkov 1991 (центральноазиатские степи) и *Festuco – Brometea* Br.-Bl. et Tx. ex Soó 1947 (степи европейско-сибирского типа), 3 порядкам, 6 союзам, 7 ассоциациям и 2 субассоциациям, ранее описанным в различных работах (Макунина, 2013; Ларионов, 2014, Королюк, 2022) (табл. 1).

Таблица 1

Синоптическая таблица сообществ петрофитно-степной растительности сопочного массива Саксары

Название вида	Синтаксоны									
	Ярус	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество описаний		2	10	11	8	6	12	9	12	10
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10
Диагностические виды ассоциации <i>Dryado oxyodontae – Festucetum valesiacae</i> Larionov et al. 2015										
<i>Dryas oxyodonta</i> Juz.	hl	II	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Saussurea schanginiana</i> (Wydler) Fisch. ex Serg	hl	II	.	I	.	.	I	.	.	.
<i>Oxytropis bracteata</i> Basil	hl	II	II	.	.	.	I	.	.	I
<i>Pedicularis lasiostachys</i> Bunge	hl	II	.	.	.	.	.	.	.	.
Диагностические виды ассоциации <i>Androsaco dasyphyllae – Caricetum pediformis</i> Korolyuk et Makunina 1998										
<i>Silene tuvinica</i> Sobolevsk.	hl	.	II	I	.	.	.	.	.	.
<i>Gypsophila patrinii</i> Ser.	hl	II	IV	I	I	.	.	.	.	.
<i>Allium vodopjanovae</i> N. Friesen	hl	.	III	.	I	I	I	III	.	.
<i>Arctogeron gramineum</i> (L.) DC.	hl	II	IV	.	I	II	.	.	.	.
Диагностические виды союза <i>Eritrichio pectinate – Selaginellion sanguinolentae</i> Ermakov et al. 2006										
<i>Adenophora rupestris</i> Reverd. f. minor Reverd	hl	II	III	.	.	I	.	.	I	I
<i>Allium stellerianum</i> Willd.	hl	III	II	.	I	.	.	.	.	.
<i>Pseudoroegneria geniculata</i> (Trin.) Á. Löve	hl	V	V	.	IV	.	IV	.	.	.
<i>Minuartia gerardii</i> (Willd.) Fritsch	hl	III	I	II	.	.	.	.	.	.
<i>Orostachys spinosa</i> (L.) C.A. Mey	hl	IV	III	.	I	.	.	.	I	III
<i>Polygala sibirica</i> L.	hl	IV	III	.	.	I	II	I	.	.
<i>P. tenuifolia</i> Willd.	hl	II	I	.	.	.	.	.	.	.
<i>Potentilla sericea</i> L.	hl	III	II	.	I	I	.	I	II	.
<i>Silene tenuis</i> Willd.	hl	III	IV	I	II	III	.	.	.	.
Диагностические виды ассоциации <i>Achnathero sibirici – Stipetum krylovii</i> Ermakov et al. 2012										
<i>Achnatherum sibiricum</i> (L.) Keng ex Tzvelev	hl	IV	.	III	I	.	.	.	.	.
<i>Allium clathratum</i> Ledeb.	hl	.	I	V	.	.	.	I	.	.
<i>A. odorum</i> L. Moench	hl	.	II	V	.	I	I	.	.	.
<i>Elytrigia lolioides</i> (Kar. & Kir.) Nevski	hl	.	III	V	.	III	I	I	I	.
<i>Cimicifuga squarrosa</i> (Ledeb.) Zuev	hl	I	.	I	.	.	.	.	.	.
<i>Scutellaria scordifolia</i> Fisch. ex Schrank	hl	.	.	I	.	.	.	.	.	.
<i>Thermopsis lanceolata</i> R. Br.	hl	I	I	II	.	.	.	II	.	.

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Диагностические виды порядка <i>Helictotrichetalia schelliani</i> Hilbig 2000										
<i>Artemisia commutata</i> Besser	hl	II	I	V	.	III	I	I	.	I
<i>Coluria geoides</i> (Pall.) Ledeb.	hl	.	I	IV	.	I	.	.	I	I
<i>Galium verum</i> L.	hl	.	II	III	.	.	II	.	.	.
<i>Oxytropis strobilacea</i> Bunge	hl	.	.	II	.	I	.	.	.	.
<i>Peucedanum vaginatum</i> Ledeb.	hl	.	.	III	I	I	.	.	.	.
<i>Potentilla elegantissima</i> Polozhij	hl	II	.	IV	.	.	.	.	.	.
<i>P. humifusa</i> Willd. ex D.F.K. Schtdl	hl	.	.	V	.	.	.	II	I	.
<i>Thalictrum foetidum</i> L.	hl	.	.	V	.	I	II	.	.	.
Диагностические виды союза <i>Festuco valesiacae</i> – <i>Caricion pediformis</i> Ermakov et al. 2012										
<i>Caragana pygmaea</i> (L.) DC	hl	IV	II	V	.	II	.	.	.	.
<i>Festuca valesiaca</i> Gaudin	hl	III	II	V	II	I	III	.	.	.
<i>Limonium speciosum</i> (L.) Kuntze	hl	.	II	V	.	I	I	.	.	.
<i>Helictotrichon altaicum</i> Tzvelev	hl	.	.	V	.	.	.	.	.	.
<i>Sibbaldianthe bifurca</i> (L.) Kurtto & T.Erikss	hl	.	IV	IV	I	I	.	.	.	.
Диагностические виды ассоциации <i>Elytrigio geniculatae</i> – <i>Stipetum orientalis</i> Makunina in Korolyuk et Makunina 2009										
<i>Ptilotrichum elongatum</i> (DC.) C.A. Mey.	hl	.	.	II	V	.	.	.	.	.
<i>Dracocephalum discolor</i> Bunge	hl	II	.	I	V	.	.	.	.	.
<i>Eritrichium jenseense</i> Turcz. ex A. DC	hl	III	II	I	V	.	.	.	.	.
<i>Kitagawia baicalensis</i> (I. Redowsky ex Willd.) Pimenov	hl	.	II	.	V	II	.	.	.	.
<i>Youngia tenuifolia</i> (Willd.) Babc. & Stebbins	hl	.	IV	.	V	I	.	.	I	.
Диагностические виды союза <i>Thymion gobici</i> Mirkin et al. ex Hilbig 2000										
<i>Odontarrhena obovata</i> C.A. Mey.	hl	II	I	II	III	.	.	.	.	.
<i>Androsace dasyphylla</i> Bunge	hl	II	.	.	III	.	.	.	.	.
<i>Chrysanthemum sibiricum</i> Turcz. ex DC.	hl	.	.	I	II	.	.	.	.	.
<i>Festuca sibirica</i> Hack. ex Boiss	hl	.	II	.	V	II	I	.	.	.
<i>Kobresia filifolia</i> (Turcz.) C.B. Clarke	hl	III	I	II	V	.	.	.	.	.
<i>Leibnitzia anandria</i> (L.) Turcz.	hl	.	.	I	II	.	I	.	.	.
<i>Patrinia sibirica</i> (L.) Juss.	hl	II	.	.	IV	I	.	.	.	.
<i>Organum serpyllum</i> (L.) Kuntze	ml	I	.	II	V	.	.	.	.	.
Диагностические виды субассоциации <i>Artemisia frigidae</i> – <i>Stipetum krylovii artemisietosum scopariae</i> Korolyuk et Makunina 2009										
<i>Artemisia scoparia</i> Waldst. & Kit.	hl	.	I	.	II	V	.	.	.	.
<i>Iris humilis</i> Georgi	hl	.	II	I	.	V	.	.	.	.
Диагностические виды ассоциации <i>Artemisia frigida</i> – <i>Stipetum krylovii</i> Korolyuk et Makunina 2009										
<i>Artemisia frigida</i> Willd.	hl	.	.	.	II	I	V	.	II	.
<i>Carex duriuscula</i> C.A. Mey	hl	.	.	III	.	I	V	.	.	.
<i>Poa attenuata</i> Trin.	hl	.	.	I	II	.	V	.	.	.
<i>Potentilla acaulis</i> L.	hl	.	.	I	III	II	V	.	.	.
<i>Stipa krylovii</i> Roshev	hl	.	.	.	IV	.	V	.	I	.
Диагностические виды порядка <i>Stipetalia krylovii</i> Kononov et al. 1985, союза <i>Stipion krylovii</i> Kononov et al. 1985										
<i>Agropyron cristatum</i> (L.) Gaertn	hl	II	I	II	I	V	V	.	.	.
<i>Allium anisopodium</i> Ledeb.	hl	.	.	I	.	III	III	.	.	.
<i>A. senescens</i> L.	hl	.	.	.	.	II	I	.	.	.
<i>A. tenuissimum</i> L.	hl	.	.	.	.	II	III	.	.	.
<i>Bupleurum bicaule</i> Helm.	hl	.	I	.	II	V	III	.	.	.
<i>B. scorzonifolium</i> Willd.	hl	.	.	I	I	IV	III	.	.	.
<i>Carex korshinskyi</i> Kom.	hl	.	.	.	.	II	III	.	.	.
<i>Chamaerhodos micrantha</i> J. Krause	hl	.	.	.	.	.	II	.	.	.
Диагностические виды класса <i>Cleistogenetea squarrosae</i> Mirkin et al. ex Korotkov et al. 1991										
<i>Cleistogenes squarrosa</i> (Trin.) Keng	hl	V	.	III	V	V	V	.	.	.
<i>Tretorrhiza decumbens</i> (L. f.) Á. Löve & D. Löve	hl	V	II	II	I	II	II	.	.	.
<i>Hedysarum gmelinii</i> Ledeb.	hl	V	III	IV	III	.	II	.	.	.

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Poa botryoides</i> (Trin. ex Griseb.) Kom.	hl	V	V	V	IV	III	I	.	.
<i>Pulsatilla turczaninovi</i> Krylov & Serg.	hl	.	II	.	I	.	I	.	.
<i>Saussurea salicifolia</i> (L.) DC.	hl	I	.	II	III	.	.	.	.
<i>Sibbaldianthe adpressa</i> (Bunge) Juz.	hl	III	II	.	II	I	I	.	.
<i>Stevenia cheiranthoides</i> DC.	hl	I	.	I	.	I	II	.	.
<i>Atriplex aristata</i> (L.) Crantz	hl	.	.	I	I	.	.	.	.
Диагностические виды субассоциации <i>Artemisia glaucae</i> – <i>Caricetum pediformis iridetosum ruthenicae</i> Makunina 2006									
<i>Artemisia tanacetifolia</i> L.	hl	.	.	.	.	.	I	V	II
<i>Iris ruthenica</i> Ker Gawl	hl	.	.	.	.	I	.	V	II
<i>Bupleurum multinerve</i> DC.	hl	.	.	II	I	.	.	V	I
Диагностические виды ассоциации <i>Artemisia glaucae</i> – <i>Caricetum pediformis</i> Makunina 2006									
<i>Artemisia glauca</i> Pall. ex Willd.	hl	.	.	.	.	.	.	II	V
<i>Carex pediformis</i> C.A. Mey.	hl	II	.	II	I	II	.	IV	V
<i>Helictotrichon desertorum</i> (Less.) Nevski	hl	.	.	.	.	.	I	II	III
<i>Potentilla viscosa</i> Donn ex Lehm.	hl	.	.	.	.	.	I	III	V
Диагностические виды союза <i>Veronico incanae</i> – <i>Helictotrichion desertorum</i> Korolyuk et Makunina in Korolyuk 2007									
<i>Carex supina</i> Willd. ex Wahlenb.	hl	.	.	.	II	.	.	V	IV
<i>Galatella angustissima</i> (Tausch) Novopokr	hl	.	.	.	.	.	.	III	II
<i>Heteropappus altaicus</i> (Willd.) Novopokr.	hl	.	.	.	.	I	.	V	V
<i>Veronica incana</i> L.	hl	.	.	III	.	I	I	V	V
Диагностические виды ассоциации <i>Bupleuro multinervi</i> – <i>Helictotrichetum desertorum</i> Makunina in Korolyuk et Makunina 2001									
<i>Achillea asiatica</i> Serg.	hl	.	.	.	II	.	.	.	V
<i>Aconitum barbatum</i> Pers.	hl	.	II	.	.	.	.	.	III
<i>Galium boreale</i> L.	hl	.	.	.	.	.	I	I	IV
<i>Hieracium umbellatum</i> L.	hl	.	.	.	.	.	.	II	III
<i>Auganthus cortusoides</i> (L.) Soják	hl	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	hl	.	.	.	.	.	.	II	III
Диагностические виды союза <i>Aconito barbate</i> – <i>Poion transbaicalicae</i> Korolyuk et Makunina 2001									
<i>Artemisia laciniata</i> Willd.	hl	.	.	.	.	.	II	V	V
<i>Campanula glomerata</i> L.	hl	.	.	.	.	.	.	V	III
<i>Ruyschiana spicata</i> Mill.	hl	.	.	.	.	I	.	I	II
<i>Elymus gmelinii</i> (Ledeb.) Tzvelev	hl	.	.	I	.	III	.	V	V
<i>Filipendula stepposa</i> Juz.	hl	.	.	.	I	.	.	III	.
<i>Gentiana macrophylla</i> Pall.	hl	.	.	.	.	.	.	I	I
<i>Geranium pratense</i> L.	hl	.	.	.	.	I	.	V	III
<i>G. pseudosibiricum</i> J. Mayer	hl	.	.	.	.	.	.	III	III
<i>Avena pubescens</i> Huds.	hl	.	.	.	II	.	.	V	V
<i>Lathyrus altaicus</i> Ledeb.	hl	.	.	.	.	.	.	I	I
<i>Lupinaster pentaphyllus</i> (Ser.) Spreng	hl	.	.	.	.	I	.	III	V
<i>Primula macrocalyx</i> Bunge	hl	.	.	.	.	.	.	I	I
<i>Ranunculus polyanthemos</i> L.	hl	.	.	.	.	I	.	III	II
<i>Tragopogon melanatherus</i> Klokov	hl	.	.	.	.	.	II	II	V
<i>Veratrum nigrum</i> L.	hl	.	.	.	.	.	.	.	II
<i>Vicia unijuga</i> A. Braun	hl	.	.	II	.	II	.	III	V
Диагностические виды порядка <i>Stipetalia sibiricae</i> Korolyuk et Makunina 2001									
<i>Aconitum anthoroideum</i> DC.	hl	.	.	.	.	.	.	III	IV
<i>Artemisia gmelinii</i> Weber ex Stechm.	hl	.	.	.	II	I	.	V	V
<i>A. sericea</i> Weber ex Stechm.	hl	III	I	.	I	.	.	V	V
<i>Aster alpinus</i> L.	hl	II	.	.	.	.	.	V	V
<i>Cotoneaster melanocarpus</i> Fisch. ex Blytt	sl	.	.	.	.	.	I	II	I
<i>Gypsophila altissima</i> L.	hl	.	.	.	.	I	.	II	V
<i>Avena schelliana</i> Hack.	hl	.	.	.	.	.	II	V	V
<i>Potentilla chrysantha</i> Trevir.	hl	.	.	.	.	.	.	II	I
<i>Schizonepeta multifida</i> (L.) Briq.	hl	.	.	IV	.	.	II	II	V
<i>Thalictrum petaloideum</i> L.	hl	.	.	.	II	II	.	V	IV
<i>Veronica krylovii</i> Schischk.	hl	.	.	.	.	I	.	IV	III

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Vicia nervata</i> Sipliv.	hl	.	I	.	.	II	II	IV	V
Диагностические виды класса <i>Festuco – Brometea</i> Br.-Bl. et R. Tx. in Br.-Bl. 1947									
<i>Anemonoides sylvestris</i> (L.) Galasso, Banfi & Soldano	hl	.	.	.	.	.	I	III	I
<i>Artemisia latifolia</i> Ledeb.	hl	.	.	.	I	II	V	V	III
<i>Astragalus danicus</i> Retz.	hl	.	.	.	.	.	III	I	I
<i>Campanula sibirica</i> L.	hl	.	.	.	I	I	V	III	II
<i>Dianthus versicolor</i> Fisch. ex Link	hl	I	.	.	.	I	II	II	III
<i>Fragaria viridis</i> Weston	hl	.	.	.	.	II	I	II	I
<i>Koeleria macrantha</i> (Ledeb.) Schult.	hl	.	I	I	II	II	V	V	V
<i>Medicago falcata</i> L.	hl	.	.	.	.	.	III	I	I
<i>Onobrychis arenaria</i> (Kit.) DC	hl	.	.	.	.	.	II	III	II
<i>Onosma simplicissima</i> L.	hl	.	.	.	.	.	I	I	.
<i>Oxytropis pilosa</i> (L.) DC.	hl	.	.	.	.	.	.	II	.
<i>Peucedanum morisonii</i> Besser ex Spreng.	hl	.	.	.	.	.	II	I	.
<i>Phleum phleoides</i> (L.) H. Karst.	hl	.	.	.	.	I	V	V	V
<i>Phlomoidea tuberosa</i> (L.) Moench	hl	.	.	I	I	.	III	V	II
<i>Plantago urvillei</i> Opiz	hl	.	.	.	.	.	II	I	.
<i>Poa angustifolia</i> L.	hl	.	.	.	.	I	V	V	IV
<i>Polygala comosa</i> Schkuhr.	hl	.	.	.	.	.	I	I	.
<i>Salvia stepposa</i> Des.-Shost.	hl	.	.	.	.	.	I	I	I
<i>Scabiosa ochroleuca</i> L.	hl	.	.	.	.	.	IV	III	IV
<i>Seseli libanotis</i> (L.) W.D.J. Koch	hl	.	.	.	.	.	II	I	.
<i>Stipa capillata</i> L.	hl	.	I	.	I	I	V	V	II
<i>S. pennata</i> L.	hl	.	.	.	.	.	II	I	.
<i>Tephroseria integrifolia</i> (L.) Holub	hl	.	.	.	I	II	IV	.	I
<i>Achyrophorus maculatus</i> (L.) Scop.	hl	.	.	I	.	.	II	.	.
Прочие виды									
<i>Androsace multiflora</i> Lam.	hl	I	.	.	.	IV	.	.	.
<i>Chamaerodos erecta</i> (L.) Bunge	hl	.	I	.	IV	.	.	.	.
<i>Astragalus adsurgens</i> Pall.	hl	.	.	V	.	V	.	III	.
<i>Potentilla tanacetifolia</i> Willd. ex D.F.K. Schltld.	hl	.	IV	II	IV	.	I	.	.
<i>Lychnis sibirica</i> L.	hl	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Silene amoena</i> L.	hl	.	I	I	.	I	IV	.	.
<i>Viola arenaria</i> DC.	hl	.	.	.	.	.	.	.	I
<i>Plantago depressa</i> Willd.	hl	.	.	.	I	IV	.	.	.
<i>Lappula stricta</i> (Ledeb.) Gürke.	hl	.	I	.	.	.	.	.	.
<i>Oxytropis oxyphylla</i> (Pall.) DC.	hl	I	.	.	II	I	.	.	.
<i>Dontostemon micranthus</i> CA Mey	hl	.	.	III	.	I	.	.	.
<i>Linaria debilis</i> Kuprian.	hl	.	.	.	.	I	.	I	IV
<i>Spiesia intermedia</i> (Bunge) Kuntze	hl	.	.	.	.	.	.	IV	IV
<i>Astragalus versicolor</i> Pall.	hl	.	.	.	I	.	.	.	.
<i>Oxytropis bracteata</i> Basil.	hl	I	I	.	.	I	.	.	.
<i>Rosa acicularis</i> Lindl.	hl	.	.	.	.	.	IV	.	.
<i>Bromopsis inermis</i> (Leyss.) Holub	hl	.	.	.	I	I	.	IV	.
<i>Draba nemorosa</i> L.	hl	.	.	.	.	IV	.	.	.
<i>Astragalus miklaschewskii</i> Turcz. ex Bunge	hl	.	.	.	.	.	.	III	.
<i>Scorzonera austriaca</i> Willd.	hl	.	.	.	II	IV	.	.	.
<i>Lappula squarrosa</i> (Retz.) Dumort.	hl	.	IV	IV	II	I	I	.	.
<i>Androsace lactiflora</i> Fisch. ex Willd.	hl	.	I	.	II	.	.	.	.
<i>Linum perenne</i> L.	hl	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Thalictrum minus</i> L.	hl	.	III	.	IV	I	I	I	.
<i>Iris biglumis</i> Vahl	hl	IV	III	III	.	.	IV	IV	.
<i>Galatella dahurica</i> DC.	hl	.	.	.	.	.	.	IV	.
<i>Leontopodium ochroleucum</i> Beauverd	hl	.	.	.	I	I	.	.	.
<i>Kochia prostrata</i> (L.) Beck	hl	.	III	III	IV	III	.	.	.
<i>Linaria acutiloba</i> Fisch. ex Rchb.	hl	.	.	.	I	III	.	.	.
<i>Astragalus melilotoides</i> Pall.	hl	.	.	.	I	.	.	.	.
<i>Scorzonera radiata</i> Fisch. ex Ledeb.	hl	V	II	II	.	IV	I	I	.
<i>Patrinia rupestris</i> (Pall.) Dufr.	hl	.	.	.	.	.	.	.	.

Таблица 1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Dianthus superbus</i> L.	hl	.	.	.	IV	.	.	.	.
<i>Delphinium grandiflorum</i> L.	hl	IV	.	.	.	.	.	.	.
<i>Convolvulus ammannii</i> Desr.	hl	II	.	.	IV	.	.	.	.
<i>Acrocentron scabiosa</i> (L.) Á. Löve & D. Löve	hl	II	.	.	.	.	.	I	I
<i>Panzeria lanata</i> (L.) Bunge	hl	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Linum sibiricum</i> DC.	hl	IV	.	I	.	.	.	.	.
<i>Festuca ovina</i> L.	hl	IV	.	I	.	.	IV	IV	.
<i>Senecio ambraceus</i> Turcz. ex DC.	hl	.	.	I	.	.	.	.	.
<i>Stipa orientalis</i> Trin.	hl	.	III	I	.	IV	.	.	.
<i>Festuca lenensis</i> Drobow	hl	IV	.	.	II	II	.	.	.
<i>Cerastium arvense</i> L.	hl	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Pulsatilla patens</i> (L.) Mill.	hl	.	II	.	.	.	I	I	II
<i>Scutellaria galericulata</i> L.	hl	I	.	.	.	.	I	I	.
<i>Sagina saginoides</i> (L.) Karst.	hl	.	.	.	.	.	I	I	.
<i>Poa stepposa</i> (Krylov) Roshev.	hl	.	.	IV	IV	.	.	.	.
<i>Vicia multicaulis</i> Ledeb.	hl	.	IV	IV	.	.	.	.	.
<i>Spiraea trilobata</i> L.	hl	IV	.	.	.	.	.	.	.
<i>Krascheninnikovia latens</i> J.F. Gmel.	hl	IV	IV	.	.	.	.	.	.
<i>Clausia aprica</i> (Stephan) Korn.-Trotzky	hl	.	I	I	.	.	.	.	.
<i>Tragopyrum compactum</i> (Ledeb.) C. Presl	hl	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Noccaea cochleariformis</i> (DC.) Á. Löve & D. Löve	hl	.	.	II	.	.	.	.	.
<i>Taraxacum officinale</i> F.H. Wigg.	hl	.	II	II	.	.	.	.	.
<i>Adenophora stenanthina</i> (Ledeb.) Kitag.	hl	.	.	.	IV	.	.	.	.
<i>Nonea rossica</i> Steven	hl	.	.	I	.	.	.	I	.
<i>Jacobaea vulgaris</i> Gaertn.	hl	.	.	.	.	IV	.	.	.
<i>Plantago media</i> L.	hl	.	.	.	.	II	.	.	.

Примечание к таблице. **Единично встреченные виды:** *Ephedra monosperma* 1 (+), *Dracocephalum peregrinum* 3 (+), *Euphorbia tshuiensis* 3 (+), *Eritrichium pectinatum* 3 (+), *Pedicularis sibirica* 3 (+), *Allium strictum* 3 (+), *Linaria altaica* 3 (+), *Hedysarum turczaninowii* 3 (+), *Sedum aizoon* 4 (+), *Oxytropis reverdattoi* 4 (+), *Euphorbia alpina* 4 (+), *Euphrasia stricta* 4 (+), *Astragalus ionae* 4 (+), *Phlox sibirica* 4 (+), *Astragalus austriacus* 4 (+), *Vincetoxicum sibiricum* 4 (+), *Sedum hybridum* 5 (+), *Silene nutans* 5 (+), *Bromopsis pumPELLIANA* 6 (+), *Veronica spicata* 6 (+), *Axyris hybrida* 6 (+), *Oxytropis campanulate* 6 (+), *Androsace maxima* 6 (+), *Achnatherum splendens* 6 (+), *Serratula marginata* 6 (+), *Viola dissecta* 6 (+), *Thesium refractum* 6 (+), *Carum carvi* (+), *Oxytropis muricata* 6 (+), *Lithospermum officinale* 6 (+), *Glycyrrhiza uralensis* 6 (+), *Leontopodium leontopodioides* 6 (+), *Dracocephalum nutans* 8 (+), *Calamagrostis epigeios* 8 (+), *Linaria vulgaris* 8 (+), *Myosotis imitate* 8 (+), *Galatella biflora* 8 (+), *Silene wolgensis* 8 (+), *Potentilla flagellaris* 8 (+), *Potentilla argentea* 8 (+), *Valeriana rossica* 8 (+), *Inula salicina* 8 (+), *Viola hirta* 8 (+), *Adenophora lamarckii* 8 (+), *Geum aleppicum* 8 (+), *Tulipa uniflora* 8 (+). **Обозначения столбцов, номера синтаксонов:** 1 – *Dryado oxyodontae* – *Festucetum valesiacaе* Larionov et al. 2015; 2 – *Androsaco dasyphyllae* – *Caricetum pediformis* Korolyuk et Makunina 1998; 3 – *Achnathero sibirici* – *Stipetum krylovii* Ermakov et al. 2012; 4 – *Elytrigio geniculatae* – *Stipetum orientalis* Makunina in Korolyuk et Makunina 2009; 5 – *Artemisio frigidaе* – *Stipetum krylovii artemisietosum scopariae* Korolyuk et Makunina 2009; 6 – *Artemisio frigidaе* – *Stipetum krylovii* Korolyuk et Makunina 2009; 7 – *Artemisio glaucae* – *Caricetum pediformis iridetosum ruthenicae* Makunina 2006; 8 – *Artemisio glaucae* – *Caricetum pediformis* Makunina 2006; 9 – *Bupleuro multinervi* – *Helictotrichetum desertorum* Makunina in Korolyuk et Makunina 2001.

Ассоциация *Artemisio frigidaе* – *Stipetum krylovii* Korolyuk et Makunina 2009

Диагностические виды: *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Artemisia frigida* Willd., *Caragana pygmaea* (L.) DC, *Carex duriuscula* C.A. Mey, *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr., *Iris humilis* Georgi, *Poa attenuata* Trin., *Potentilla acaulis* L., *P. bifurca* L., *Stipa krylovii* Roshev.

Ассоциация объединяет мелкодерновинные настоящие степи. Они представляют фоновый поясно-зональный тип сообществ настоящих степей, где они покрывают выровненные участки склонов, днища котловин (Ларионов, 2014).

Травостой этих степей создают степные мелкодерновинные злаки и разнотравье: *Festuca valesiaca* Gaudin, *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult., *Poa botryoides* (Trin. ex Griseb.) Kom., *Artemisia frigida* Willd., *Potentilla acaulis* L., *Carex duriuscula* C.A. Mey, *Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr., *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Stipa krylovii* Roshev.

Флористическая насыщенность составляет до 40 видов на 100 м². Всего обнаружено 78 видов. Проективное покрытие составляет до 80 %.

Субассоциация *Artemisia frigidae* – *Stipetum krylovii artemisietosum scopariae* Korolyuk et Makunina 2009

Диагностические виды: *Artemisia scoparia* Waldst. & Kit., *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Iris humilis* Georgi, *Agropiron cristatum* (L.) Gaertn.

Представляет поясно-зональный тип степных сообществ.

Высота сообществ небольшая, в среднем до 50–60 см. Основа травостоя сконцентрирована в нижнем подъярусе и представлена видами *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult., *Carex duriuscula* C.A. Mey, *Artemisia frigida* Willd., *Artemisia scoparia* Waldst. & Kit., *Iris humilis* Georgi.

Флористическая насыщенность составляет 39 на 100 м². Всего обнаружен 91 вид. Проективное составляет 60–80 %.

Ассоциация *Elytrigia geniculatae* – *Stipetum orientalis* Makunina in Korolyuk et Makunina 2009.

Диагностические виды: *Ptilotrichum elongatum* (DC.) C.A. Mey., *A. obovatum* C.A. Mey., *Dracosephalum discolor* Bunge, *Eritrichium jensense* Turcz. ex A. DC., *Gypsophila patrinii* Ser., *Kitagawia baicalensis* (I. Redowsky ex Willd.) Pimenov, *Polygala tenuifolia* Willd., *Potentilla sericea* L., *Silene tenuis* Willd., *Origanum serpyllum* (L.) Kuntze, *Youngia tenuifolia* (Willd.) Babc. & Stebbins.

Сухие петрофитные степи, занимающие каменистые склоны южных экспозиций в наиболее сухих частях Минусинских котловин. Ассоциация приурочена к крутым каменистым южным склонам сопочных массивов или гривам горных хребтов в северо-западной части Южно-Минусинской котловин (Ларионов, 2014).

В верхнем подъярусе преобладают *Stipa orientalis* Trin. и *Pseudoroegneria geniculata* (Trin.) Á. Löve. Нижний подъярус сложен в основном побегами *Artemisia frigida* Willd. и *Potentilla acaulis*. Велика роль полукустарничков *Kochia prostrata* (L.) Beck и *Sibbaldianthe adpressa* (Bunge) Juz. Для ассоциации характерно преобладание петрофитов *Pseudoroegneria geniculata* (Trin.) Á. Löve, *Odontarrhena obovata* C.A. Mey., *Youngia tenuifolia* (Willd.) Babc. & Stebbins, *Stipa orientalis* Trin.

Флористическая насыщенность составляет 21–36 видов на 100 м². Всего обнаружено 60 видов. Проективное покрытие разреженное, составляет 40 %.

Ассоциация *Achnathero sibirici* – *Stipetum krylovii* Ermakov et al. 2012 (Syn. *Thalictro foetidi*–*Festucetum valesiacaе* Makunina 2006)

Диагностические виды: *Achnatherum sibiricum* (L.) Keng ex Tzvelev, *Allium clathratum* Ledeb., *A. ramosum* L., *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Elytrigia lolioides* (Kar. & Kir.) Nevski, *Cimnalis squarrosa* (Ledeb.) Zuev., *Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr., *Scutellaria scordiifolia* Fisch. ex Schrank, *Thermopsis lanceolata* R. Br.

Представляет луговые степи, описанные из южной части Минусинской котловины (Ermakov et al., 2014).

Сообщества преобладают на пологих (крутизна 1–10°) склонах северной, западной и восточной экспозиций, а также на выровненных и слабо волнистых местоположениях. Они характеризуются средней высотой в 40 см. Травостой сложен побегами *Achnatherum sibiricum* (L.) Keng ex Tzvelev, *Artemisia commutate* Besser, *Festuca valesiaca* Gaudin и луговостепным разнотравьем *Allium odorum* (L.) Moench., *Bupleurum multinerve* DC., *Elytrigia lolioides* (Kar. & Kir.) Nevski, а также *Carex pediformis* C.A. Mey., *Sibbaldianthe bifurca* (L.) Kurtto & T.Erikss, *Veronica incana* L.

Флористическая насыщенность составляет 28–36 видов на 100 м². Всего обнаружено 92 вида. Проективное покрытие варьирует от 60 до 70 %.

Ассоциация *Androsaco dasyphyllae* – *Caricetum pediformis* Korolyuk et Makunina 1998. (Syn. *Youngio tenuifoliae* – *Agropyrietum cristati* Makunina 2006)

Диагностические виды: *Patrinia sibirica* (L.) Juss., *Silene tuvinica* Sobolevsk., *Festuca sibirica* Hack. ex Boiss., *Ptilotrichum elongatum* (DC.) C.A. Mey., *Veronica pinnata* L., *Androsace*

dasyphylla Bunge, *Gypsophila patrinii* Ser., *Allium vodopjanovae* N. Friesen, *Arctogeron gramineum* (L.) DC.

Отмечается на каменистых склонах южной экспозиции. Уклон сильный – до 40°. Состоит из мелкодерновинных злаков *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Festuca sibirica* Hack. ex Boiss, *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult. и *Poa botryoides* (Trin. ex Griseb.) Kom. Также преобладает петрофитное разнотравье *Potentilla sericea* L., *Youngia tenuifolia* (Willd.) Babc. & Stebbins, *Odontarrhena obovata* C.A. Mey., *Silene tenuis* Willd., *Eritrichium jenisseense* Turcz. ex A. DC, *Orostachys spinosa* (L.) C.A. Mey. Характерными видами являются *Allium stellerianum* Willd., *Gypsophila patrinii* Ser., *Kobresia filifolia* (Turcz.) C.B. Clarke.

Флористическая насыщенность составляет 38 видов на 100 м². Всего – 92 вида. Проективное покрытие обычно не превышает 50 %, на более равнинных участках – до 70 %.

Ассоциация *Dryado oxyodontae* – *Festucetum valesiacaе* Larionov et al. 2015

Диагностические виды: *Dryas oxyodonta* Juz., *Pulsatilla ambigua* (Maxim.) Pavlov, *Saussurea schanginiana* (Wydler) Fisch. ex Serg., *Kobresia myosuroides* (Vill.) Fiori, *Oxytropis bracteata* Basil., *Pedicularis lasiostachys* Bunge.

Небольшая группа степей с реликтовыми и высокогорными видами, распространенная небольшими участками в степном поясе низкогорий Абаканского хребта и восточного макросклона Кузнецкого Алатау (Ершова, Маскаев, 1999)

Доминируют *Dryas oxyodonta* Juz., *Festuca valesiaca* Gaudin, *Kobresia filifolia* (Turcz.) C. B. Clarke. Также отмечаются луговостепные *Carex pediformis* C. A. Mey., *Aster alpinus* L., *Potentilla sericea* L., *Scorzonera radiata* Fisch. ex Ledeb., *Gentiana decumbens* L. f. Отмечены петрофиты *Odontarrhena obovata* C. A. Mey., *Gypsophila patrinii* Ser., *Patrinia sibirica* (L.) Juss. Характерной чертой ассоциации является высокая встречаемость альпийских видов *Dryas oxyodonta* Juz., *Minuartia gerardii* (Willd.) Fritsch, *Patrinia sibirica* (L.) Juss., *Pedicularis lasiostachys* Bunge, *Saussurea schanginiana* (Wydler) Fisch. ex Serg.

Флористическая насыщенность составляет до 32 видов на 100 м². Всего обнаружено 46 видов. Проективное покрытие обычно составляет не более 50 %.

Ассоциация *Artemisio glaucae* – *Caricetum pediformis* Makunina 2006

Диагностические виды: *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Carex pediformis* C.A. Mey., *Galatella angustissima* (Tausch) Novopokr., *Helictotrichon desertorum* (Less.) Nevski, *Heteropappus altaicus* (Willd.) Novopokr., *Iris ruthenica* Ker Gawl, *Sibbaldianthe bifurca* (L.) Kurtto & T.Erikss, *P. longifolia*, *Schizonepeta multifida* (L.) Briq., *Veronica incana* L.

Ассоциация центрального типа, на территории Южно-Минусинской котловины распространена повсеместно, западной границей ареала является р. Кия. Объединяет преимущественно крупнодерновинные степи, представляющие фонный поясо-зональный элемент северных котловин. В степном поясе Южно-Минусинской котловины сообщества приурочены к северным склонам и ложбинам, не образуя крупных массивов (Королюк, 2022).

В верхнем ярусе подъярусе доминируют *Stipa capillata* L., *Helictotrichon desertorum* (Less.) Nevski, *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub, *Phleum phleoides* (L.) H. Karst. В нижнем подъярусе высотой до 20 см доминирует *Carex pediformis* C. A. Mey.

Флористическая насыщенность составляет до 45 видов на 100 м². Всего обнаружено 114 видов. Проективное покрытие обычно составляет 80 %.

Субассоциация *Artemisio glaucae* – *Caricetum pediformis iridetosum ruthenicae* Makunina 2006

Диагностические виды: *Artemisia tanacetifolia* L., *Iris ruthenica* Ker Gawl, *Aster alpinus* L., *Vupleurum multinerve* DC.

Субассоциация объединяет обедненные луговые степи в условиях степного пояса Минусинских котловин. Встречаются по склонам северной экспозиции небольшими разреженными участками с явно различимыми следами вытаптывания скотом.

Доминируют генеративные побеги злаков – *Helictotrichon desertorum* (Less.) Nevski, *Stipa capillata* L., *Carex pediformis* C.A. Mey. Травостой степей сложен преимущественно

дерновинными злаками *Stipa capillata* L., *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult. Немногочисленное разнотравье представлено луговостепными видами *Campanula sibirica* L., *Medicago falcata* L., *Phlomis tuberosa* (L.) Moench. Значительную роль играют степные ксерофиты *Stipa capillata* L., *Artemisia glauca* Pall. ex Willd., *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult.

Флористическая насыщенность составляет до 42 видов на 100 м². Всего обнаружено 117 видов. Проективное покрытие обычно не превышает 60 %.

Ассоциация *Bupleuro multinervi* – *Helictotrichetum desertorum* Makunina in Korolyuk et Makunina 2001

Диагностические виды: *Achillea asiatica* Serg., *Aconitum barbatum* Pers., *Carex pediformis* C.A. Mey., *Galium boreale* L., *Gentiana macrophylla* Pall., *Hieracium umbellatum* L., *Iris ruthenica* Ker Gawl., *Auganthus cortusoides* (L.) Soják, *Sanguisorba officinalis* L.

Представляет поясочно-зональный тип луговых степей лесостепного пояса Минусинских котловин. Также встречается в Красноярской и Канской островных лесостепях (Makunina, 2006).

До 10 % общего проективного покрытия занимает *Cotoneaster melanocarpus* Fisch. ex Blytt.

Доминируют *Achillea asiatica* Serg., *Galium boreale* L., *Sanguisorba officinalis* L., часто встречается *Aconitum barbatum* Pers. Также встречаются *Festuca valesiaca* Gaudin, *Fragaria viridis* Weston, *Avena schelliana* Hack., *Iris ruthenica* Ker Gawl., *Phleum phleoides* (L.) H. Karst., *Poa angustifolia* L. В составе разнотравья преобладают ксеромезофиты *Aconitum barbatum* Pers., *Fragaria viridis* Weston, *Iris ruthenica* Ker Gawl., *Phlomis tuberosa* (L.) Moench, *Pulsatilla patens* (L.) Mill. Реже встречаются мезоксерофиты *Gypsophila altissima* L. и *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC.

Видовая насыщенность составляет 44 вида на 100 м². Всего обнаружено 82 вида. Проективное покрытие составляет не более 60 %.

На высшем уровне классификационной системы петрофитно-степная растительность сопочного массива Саксары относится к двум классам: *Cleistogenetea squarrosae* и *Festuco – Brometea*. О принадлежности к классу центральноазиатских степей *Cleistogenetea squarrosae* свидетельствует абсолютное преобладание и высокое постоянство диагностических видов, таких как *Agropyron cristatum* (L.) Gaertn., *Allium anisopodium* Ledeb., *Bupleurum bicaule* Helm., *Carex duriuscula* C.A. Mey., *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng, *Koeleria macrantha* (Ledeb.) Schult., *Poa botryoides* (Trin. ex Griseb.) Kom., *Potentilla acaulis* L., *P. sericea* L. и *Stipa krylovii* Roshev. Эти сообщества, благодаря региональным мезоклиматическим условиям центральной части Минусинской котловины – высокой степени аридности и континентальности климата, формируют здесь «островную» часть ареала, оторванную от их основного распространения в Туве, юго-восточном Алтае, Монголии, Забайкалье и Якутии.

К классу *Festuco – Brometea* относятся ксеротермные и гемиксеротермные степи западной Палеарктики. Диагностическую комбинацию в районе исследования составляют *Artemisia latifolia* Ledeb., *A. sericea* Weber ex Stechm., *Astragalus danicus* Retz., *Fragaria viridis* Weston, *Medicago falcata* L., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC, *Phleum phleoides* (L.) H. Karst., *Phlomis tuberosa* (L.) Moench, *Plantago urvillei* Opiz, *Poa angustifolia* L., *Polygala comosa* Schkuhr., *Potentilla argentea* L., *P. humifusa* Willd. ex D.F.K. Schldtl., *Scabiosa ochroleuca* L., *Seseli libanotis* (L.) W.D.J. Koch, *Stipa dasyphylla* (Lindem.) Trautv., *S. pennata* L., *S. zaleskii* (P.A. Smirn.) Tzvelev и *Tephrosia integrifolia* (L.) Holub. На территории Южно-Минусинской котловины привязаны к более гумидным частям лесостепного пояса со средним количеством осадков 400 мм в год.

Продромус

Класс *Cleistogenetea squarrosae* Mirkin et al. ex Korotkov et al. 1991

Порядок *Stipetalia krylovii* Kononov et al. 1985

Союз *Stipion krylovii* Kononov et al. 1985

Ассоциация *Artemisio frigidae* – *Stipetum krylovii* Korolyuk et Makunina 2009

Субассоциация *Artemisio frigidae* – *Stipetum krylovii artemisietosum scopariae* Korolyuk et Makunina 2009

Союз *Thymion gobici* Mirkin et al. ex Hilbig 2000

- Ассоциация *Elytrigio geniculatae* – *Stipetum orientalis* Makunina in Korolyuk et Makunina 2009
 Порядок *Helictotrichetalia schelliani* Hilbig 2000
 Союз *Festuco valesiacae* – *Caricion pediformis* Ermakov et al. 2012
 Ассоциация *Achnathero sibirici* – *Stipetum krylovii* Ermakov et al. 2012
 Союз *Eritrichio pectinate* – *Selaginellion sanguinolentae* Ermakov et al. 2006
 Ассоциация *Androsaco dasyphyllae* – *Caricetum pediformis* Korolyuk et Makunina 1998
 Ассоциация *Dryado oxyodontae* – *Festucetum valesiacae* Larionov et al. 2015
 Класс *Festuco* – *Brometea* Br.-Bl. et R. Tx. in Br.-Bl. 1947
 Порядок *Stipetalia sibiricae* Korolyuk et Makunina 2001
 Союз *Aconito barbatae* – *Poion transbaicalicae* Korolyuk et Makunina 2001
 Ассоциация *Bupleuro multinervi* – *Helictotrichetum desertorum* Makunina in Korolyuk et Makunina 2001
 Союз *Veronico incanae* – *Helictotrichion desertorum* Korolyuk et Makunina in Korolyuk 2007
 Ассоциация *Artemisio glaucae* – *Caricetum pediformis* Makunina 2006
 Субассоциация *Artemisio glaucae* – *Caricetum pediformis iridetosum ruthenicae* Makunina 2006

Ординационная модель связей растительности с ведущими экологическими факторами

В результате проведенной DCA-ординации всех 80 геоботанических описаний получена диаграмма, на которой представлено распределение геоботанических описаний и единиц степной растительности вдоль ведущих осей 1 и 2, представляющих градиенты ведущих экологических факторов. Результаты представлены на рисунке 1.

Ось 1 продемонстрировала замещение синтаксонов от ксерофитных степей центрально-азиатского типа – класс *Cleistogenetea squarrosae* (крайне левое положение, синтаксоны 1, 4) последовательно через синтаксоны 3, 2 до наиболее влажных луговых степей евросибирского типа – класс *Festuco* – *Brometea* (крайне правое положение, синтаксоны 7, 8, 9). Поэтому она была проинтерпретирована как градиент фактора влажности местообитаний – от наименьшей к наибольшей. Центральную часть градиента как по оси 1, так и по оси 2, занимают синтаксоны 3, 7, 8, представляющие собой поясочно-зональный тип луговых степей. Крайнее нижнее положение по оси 2 занимают синтаксон 1, представляющий собой сухие петрофитные степи, занимающие каменистые склоны южных экспозиций в наиболее сухих частях Минусинских котловин (Ларионов, 2014). Переходное положение занимают синтаксоны 3, 7 и 8, которые, как правило, присутствует на пологих склонах и выровненных местоположениях. Крайнее верхнее положение по оси 2 заняли сообщества синтаксонов 5 и 6, для которых характерно распространение в местообитаниях с хорошо развитыми почвами. Их последовательное замещение позволяет интерпретировать ось 2 как градиент петрофитности (каменистости) местообитаний.

Таким образом, в результате выполненной ординации выявлены экологические ряды степной растительности по фактору увлажнения, а также параллельные ряды петрофитности местообитаний в пределах крупных экологических и синтаксономических единиц ранга классов растительности.

Схема растительности массива Саксары в масштабе 1:300000

В результате проведенного полуавтоматического дешифрирования спектрально-зональных космических снимков среднего разрешения Landsat-8 и анализа распространения синтаксонов в связи с формами рельефа создана картографическая модель пространственной организации разнообразия степной растительности участка и получено генерализованное синтезированное изображение (рисунок 2) и составлена легенда к нему (табл. 2). Стоит отметить, что ассоциация *Dryado oxyodontae* – *Festucetum valesiacae* Larionov et al. 2015 представлена незначительно (2 описания) поэтому в легенду генерализованной картографической схемы она не вошла.

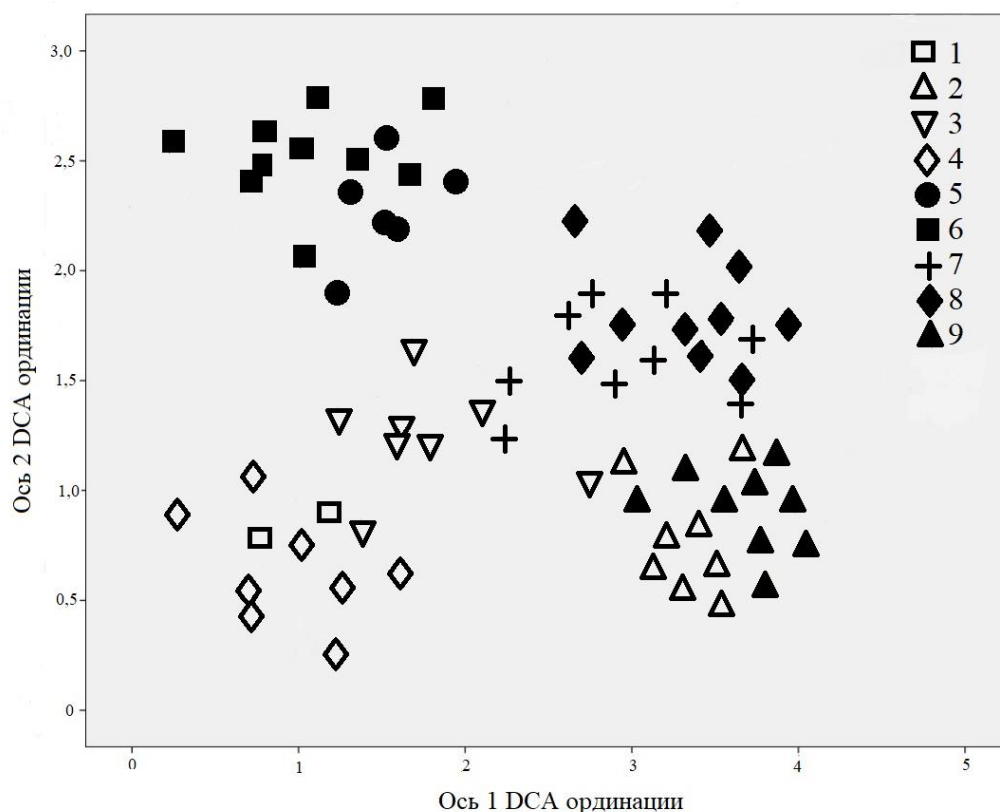


Рис. 1. Результаты DCA-ординации растительности сопочного массива Саксары

Обозначения синтаксонов: 1 – *Dryado oxyodontae – Festucetum valesiacae* Larionov et al. 2015, 2 – *Androsaco dasyphyllae – Caricetum pediformis* Korolyuk et Makunina 1998, 3 – *Achnathero sibirici – Stipetum krylovii* Ermakov et al. 2012, 4 – *Elytrigio geniculatae – Stipetum orientalis* Makunina in Korolyuk et Makunina 2009, 5 – *Artemisio frigidae – Stipetum krylovii artemisietosum scopariae* Korolyuk et Makunina 2009, 6 – *Artemisio frigidae – Stipetum krylovii* Korolyuk et Makunina 2009, 7 – *Artemisio glaucae – Caricetum pediformis. iridetosum ruthenicae* Makunina 2006, 8 – *Artemisio glaucae – Caricetum pediformis* Makunina 2006, 9 – *Bupleuro multinervi – Helictotrichetum desertorum* Makunina in Korolyuk et Makunina 2001.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Инвентаризация фитоценотического разнообразия сопочного массива Саксары, результатом которой стала база данных на основе пакета Turboveg, состоящая из 80 геоботанических описаний степной растительности, позволила создать ординационную модель связей растительности с ведущими экологическими факторами в программе DECORANA. Создана оригинальная картографическая модель растительности сопочного массива в масштабе 1:300000 и легенда к ней в программном пакете QGis – 3.22.5. Модель отражает дифференциацию пространственных единиц растительности, обусловленную тремя основными эколого-топографическими факторами – высотой над уровнем моря, экспозицией склона и петрографическим составом субстрата. В основу легенды картографической модели положены выделенные при классификации единицы растительности ранга ассоциации и субассоциации. Проведенный ординационный анализ выявил закономерности экологической дифференциации степных сообществ по градиентам ведущих факторов каменистости субстрата и влагообеспеченности, определил их связи с элементами микрорельефа.

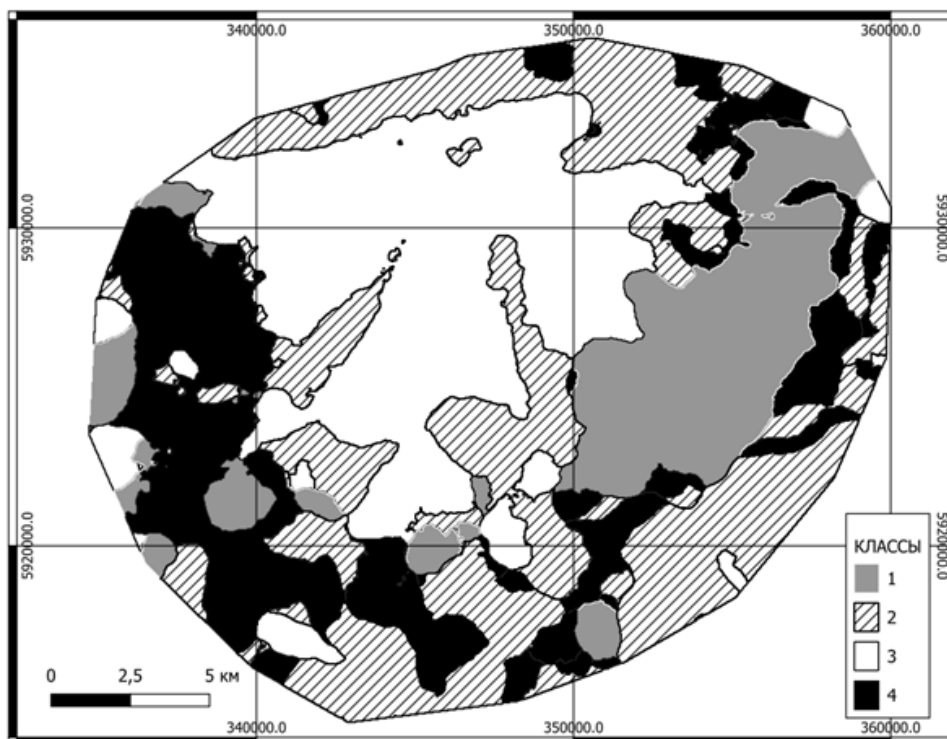


Рис. 2. Результаты классификации растительности по методу K-means (Landsat – 8),
08.07.2024

Таблица 2
Классы района исследования по методу K-means по данным Landsat-8

Номер класса	Название единиц растительности/характеристика поверхности
1	Преимущественно сочетание луговых степей <i>Achnathero sibirici</i> – <i>Stipetum krylovii</i> Ergakov et al. 2012 с отдельными кустами <i>Caragana pygmaea</i> и <i>Artemisio glaucae</i> – <i>Caricetum pediformis</i> Makunina 2006 по пологим склонам всех экспозиций
2	Преимущественно сочетание разреженных петрофитных степей <i>Bupleuro multinervi-Helictotrichetum desertorum</i> Makunina in Korolyuk et Makunina 2001 и <i>Artemisio glaucae</i> – <i>Caricetum pediformis iridetosum ruthenicae</i> Makunina 2006 на щебнистых пологих склонах
3	Преимущественно сочетания петрофитных степей восточносибирско-центральноазиатского типа <i>Androsaco dasyphyllae</i> – <i>Caricetum pediformis</i> Korolyuk et Makunina 1998 и <i>Elytrigio geniculatae</i> – <i>Stipetum orientalis</i> Makunina in Korolyuk et Makunina 2009 на крутых каменистых склонах с уклоном до 50 ° с и выходами дресвы до 80 %
4	Преимущественно сочетания луговых восточносибирско-центральноазиатского типа степей <i>Artemisio frigidae</i> – <i>Stipetum krylovii</i> Korolyuk et Makunina 2009 с включениями <i>Artemisio frigidae</i> – <i>Stipetum krylovii artemisietosum scopariae</i> Korolyuk et Makunina 2009 на подгорном массиве

Использование данных дистанционного зондирования Земли дало возможность отразить сложную гетерогенную структуру горностепного пояса исследуемого участка на уровне фитоценозов и максимально раскрыть ландшафтные позиции каждого из них. Созданная картографическая модель в детальном крупном масштабе выступает достоверной основой мониторинга состояния редких растительных сообществ, а также оценки динамических трендов в растительном покрове с высоким фитоценотическим разнообразием и сложноорганизованной комплексной структурой.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда по проекту № 22-17-20012, <https://rscf.ru/project/22-17-20012/> с равной финансовой поддержкой правительства Республики Хакасия.

Список литературы

- Ершова Э. А., Маскаев Ю. М. Типчаково-дриадовые тундростепи (*Festuca pseudovina* + *Dryas oxyodonta*) [Электронный ресурс]. – Электронный атлас «Биоразнообразие животного и растительного мира Сибири». – Новосибирск: Наука, 1999. – Режим доступа: <http://www.sbras.nsc.ru/win/elbib/bio/green/26.html> (просмотрено 15.06.2024).
- Конспект флоры Азиатской России: Сосудистые растения / [Ред. К. С. Байков]. – Новосибирск: Наука. 2005. – 362 с.
- Королюк, А. Ю. Степи Назаровско-Минусинской межгорной впадины: синтаксономическая ревизия // Растительный мир Азиатской России. – 2022. – № 3. – С. 171–190.
- Куминова А. В., Маскаев Ю. М. Геоботаническое районирование // Растительный покров Хакасии / [Под ред. А. В. Куминовой]. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 390–368.
- Ларионов А. В. Разнообразие степной растительности на градиенте континентальности климата в Хакасии: дисс. ... канд. биол. наук: спец. 03.02.01 Ботаника. – Новосибирск: Центральный сибирский ботанический сад СО РАН Новосибирск, 2014. – 246 с.
- Макунина, Н. И. Степные сообщества сопочного массива Саксары (Хакасия) // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2013. – № 2 (22). – С. 84–100.
- Миркин, Б. М., Наумова Л. Г. Современное состояние основных концепций науки о растительности. – Уфа: АНРБ, Гилем, 2012. – 488 с.
- Плантариум: открытый онлайн атлас-определитель растений и лишайников России и сопредельных стран [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.plantarium.ru/> (дата обращения 14.12.2024).
- Полевая геоботаника. Методическое руководство. Т. 3 / [Ред. Е. М. Лавренко]. – Новосибирск: Издательство Академии Наук СССР, 1964. – 530 с.
- Шихов А. Н., Герасимов А. П., Пономарчук А. И., Перминова Е. С. Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения. – Пермь: ПГНИУ, 2020. – 191 с.
- Czerepanov S. K. Vascular plants of Russia and adjacent states (the former USSR) // University Press, Cambridge. – 1995. – P. 97–287.
- Ermakov N., Larionov A., Polyakova M., Pestunov I., Didukh Ya. Diversity and spatial structure of cryophytic steppe of the Minusinskaya basin in Southern Siberia (Russia) // Tuexenia. – 2014. – Vol. 34. – P. 431–446.
- Hennekens, S. M. TURBO(VEG). Software package for input, processing, and presentation of phytosociological data: User's guide // University of Lancaster. – 1996. – 59 p.
- Hill, M. O. DECORAN TWINSpan, for ordination and classification of multivariate species data: a new edition, together with supporting programs, in FORTRAN 77 // Huntington: Inst. of Terrestrial Ecology. – 1979. – 58 p.
- Westhoff, V. The Braun – Blanquet approach // Handbook of Vegetation Science. – 1973. – Vol. 5. – P. 617–726.

Porabeikina O. O. The Diversity and Spatial Structure of Mountain-Steppe Vegetation of the Saksary Hill Massif (South Minusinsk Intermountain Basin) // Ekosistemy. 2024. Iss. 40. P. 62–75.

The article presents the results of studying the spatial organization of the vegetation cover within the Saksary hill massif using Landsat-8 satellite images. The classification of vegetation was carried out in the Braun-Blanquet system, an ordination model of connections between plant communities and predominant environmental factors was created. Additionally, an original large-scale geobotanical cartographic model was designed. Based on the results of gradient analysis, key environmental factors were identified that influence the diversity of steppe communities and determine the spatial distribution of steppes: altitude above sea level, slope exposure and petrographic composition of the substrate. High-resolution satellite imagery facilitated the identification of phytocenoses at the microcombination level representing combinations of phytocenoses determined by the characteristics of the terrain, soil cover and humidity. The implemented information approaches made enabled the synthesis of concentrated knowledge about the typological composition of plant communities, features of their ecology and spatial organization within the study area, as represented in a cartographic model. Complex understanding of the volume and nature of primary geobotanical data, the applied classification and ordination methods, enhances the comprehension of the patterns of spatial organization of vegetation. This also simplifies the process of improving the cartographic model, introducing and reflecting new important features and patterns of vegetation that are revealed when new additional materials are involved.

Key words: phytodiversity, steppe vegetation, ordination, large-scale mapping, Khakassia, Saksary.

Поступила в редакцию 23.08.24

Принята к печати 15.12.24

Запасы углерода в почве березово-елового молодняка средней тайги Республики Коми

Пристова Т. А.

*Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН
Сыктывкар, Россия
pristova@ib.komisc.ru*

Проведена оценка запасов углерода в метровом слое торфянисто-подзолисто-глееватой почвы 12-летнего березово-елового молодняка, произрастающего на месте вырубki ельника чернично-долгомошного. Напочвенный покров исследуемого молодняка различается в зависимости от технологических элементов рубки: на пасечных участках доминируют кустарнички и травы, на трелевочных участках из-за переувлажнения – сфагнум и кукушкин лен. Установлено, что концентрация общего углерода в почве резко убывает вниз по профилю от 39 % в верхнем слое подстилки до 0,2–0,5 % в минеральном слое почвы на глубине 30–100 см. Выявлено, что помимо концентрации углерода запасы углерода определяются плотностью почвенного горизонта. В минеральном слое почвы плотность изменяется незначительно от 0,9 до 1,2 г/см³, подстилка характеризуется более низкой плотностью, за счет более рыхлого строения (0,14–0,21 г/см³). Согласно проведенным расчетам, в верхнем метровом слое почвы запасы углерода составляют 72,80±12,27 тС/га, при этом в минеральной толще сосредоточено 86, в органогенном – 14 % от общего количества углерода, аккумулируемого в метровой толще почвы. Показано, что в верхнем наиболее корненасыщенном слое почвы (0–30 см) аккумулируется значительная часть почвенного углерода – 68 %, в корнеобитаемом слое (0–50 см) – 73 % от общих запасов почвенного углерода в метровом слое почвы. В целом, запасы углерода в нижнем слое почвы (50–100 см) вдвое ниже, чем в верхнем (7–50 см). Особенность распределения углерода в исследуемом объекте проявляется в относительно высоком содержании и запасах углерода в элювиальном потечно-гумусовом горизонте.

Ключевые слова: тайга, послерубочные леса, лесная подстилка, запасы углерода в почве.

ВВЕДЕНИЕ

Аккумуляция углерода в почве является важной экосистемной функцией. Почвы являются основным резервуаром углерода в биосфере (Подвезенная, Рыжова, 2010). На запасы углерода в почве оказывают влияние помимо абиотических и биотических факторов – антропогенные (Кузнецова, 2021). Деятельность человека, влияющая на эти процессы, может привести к потере углерода или, наоборот, к его накоплению. Углерод, выбрасываемый в атмосферу в результате сокращения лесов, включает в себя углерод, выделяемый при разложении наземной фитомассы и в результате разложения почвенного органического вещества (ПОВ). Разложение ПОВ происходит из-за активности сообщества микробных деструкторов при одновременном отсутствии поступления углерода в результате роста лесной растительности, а также из-за повышенных температур почвы в результате ее перегрева после рубки леса. Углерод в почве может быть органическим или неорганическим. Последний состоит из элементарных углеродных и карбонатных материалов. Основными пулами углерода в почвах лесных экосистем являются: дебрис (пополняется за счет отпада), пул углерода подстилки (за счет наземного опада), пул углерода лабильного гумуса (за счет гетеротрофной деструкции пула дебриса и подстилки), пул углерода стабильного гумуса почвы (за счет минерализации лабильного гумуса и частичного перехода в стабильный гумус) (Кудеяров и др., 2007). Таким образом, основным источником органического углерода почвы является растительность. Особое внимание в формировании почвенного углерода лесных экосистем уделяется корням (Кузнецова, 2021). Существует мнение, что источником большей части органического вещества почвы, особенно с увеличением глубины являются корни (Rasse et al., 2005).

На территории России к настоящему времени проведены оценки запасов углерода в почвах лесного фонда (Честных и др., 1999), созданы цифровые карты, однако, почвы

бореальных лесов в отношении концентрации углерода обладают высокой пространственной изменчивостью (Подвезенная, Рыжова, 2010). В настоящее время, несмотря на большое количество публикаций, в которых приводятся данные по запасам углерода в почвах, для лесных экосистем на территории РФ этот вопрос до конца не изучен (Кулагина и др., 2023). В связи с этим в последнее время большое значение уделяется региональным данным по аккумуляции углерода, которые требуют проведения локальных исследований (Наквасина, Шумилова, 2021). Также есть определенная проблема, связанная с использованием различных методик по расчету запасов углерода, кроме натуральных – по справочным данным и почвенным картам, при этом данные, полученные разными методами, могут различаться в 2–3 раза (Кулагина и др. 2023).

В Республике Коми запасы углерода в метровом слое почвы хорошо изучены в хвойных (Пастухов, Каверин, 2013; Бобкова и др., 2014; Осипов, 2017; Дымов, 2020; Бобкова, Кузнецов, 2022), смешанных средневозрастных и спелых лиственно-хвойных и хвойно-лиственных лесах (Пастухов, Каверин, 2013; Бобкова и др., 2014; Дымов, 2020). Для среднетаежных лиственных молодняков Коми определены запасы углерода в подстилках (Дымов, 2020; Пристова, 2023), однако, данные по его запасам в метровом слое почвы для послерубочных березово-еловых насаждений в нашем регионе единичны (Osipov et al., 2021).

Цель работы – оценить запасы углерода в метровом слое торфянисто-подзолисто-глеевой почвы березово-елового молодняка, формирующемся на еловой вырубке.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в Княжпогостском районе Республики Коми, в окрестностях д. Кылтово (62°19' с. ш. 50°55' в. д.). Объект – березово-еловый молодняк, расположенный на территории кв. 51 Кылтовского участкового лесничества ГУ РК «Железнодорожное лесничество», относится к эксплуатационным лесам. Ежегодно на территории Железнодорожного лесничества размер естественного лесовосстановления составляет 74,1 % от общего количества земель, нуждающихся в лесовосстановительных мероприятиях, искусственное лесовосстановление – 3,9 %, комбинированное – 22 %. Естественное лесовозобновление, в большинстве случаев приводит к формированию лиственных насаждений. По состоянию на 2008 год площадь, занятая лиственными породами (преимущественно березой), составляет 29,3 % от общей лесопокрытой площади Железнодорожного лесничества (Лесохозяйственный..., 2008).

Состав древостоя 12-летнего березово-елового молодняка разнотравного – 8Б2Е ед. С ед. Ос (рис. 1). Возраст березы на момент проведения таксационных измерений составлял в среднем 12 лет, ивы – 10 лет, ели – от 5 до 45 лет. Во время рубки оставлена ель разного возраста от 8 до 30 лет. До рубки на месте исследуемого насаждения произрастал 150–190-летний ельник чернично-долгомошный, с составом древостоя 8Е2Б, подроста – 10Е (по данным Кылтовского участкового лесничества ГУ РК «Железнодорожное лесничество»).

Древесный ярус березово-елового молодняка сложный и представлен доминирующими *Betula pendula* Roth., *B. pubescens* Ehrh., *Picea obovata* Ledeb., *Salix* sp. и *Sorbus aucuparia* L., а также немногочисленными – *Populus tremula* L., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* Ledeb. Подлесок малоразвит и состоит из *Rosa acicularis* Lindl., в основном высотой до 0,5 м, и единичных экземпляров *Lonicera pallasii* L. от 0,6 до 1 м высотой. В подросте доминирует *Picea obovata* Ledeb. разной высоты. Напочвенный покров березово-елового молодняка отличается высокой мозаичностью и насчитывает 28 видов. Общее проективное покрытие (ОПП) – 100 %, в том числе трав – 30 %, кустарничков – 5 %, мхов – 65 %. Среди кустарничков доминируют: *Vaccinium myrtillus* L. и *V. vitis-idaea* L., среди трав – *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., *Juncus filiformis* L., среди мхов: *Polytrichum commune* Hedw., *Sphagnum* sp., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al. Напочвенный покров на месте различных технологических элементов рубки, значительно отличается.



Рис. 1. Березово-еловый молодняк (a) и почвенный разрез (b)

На месте трелевочных волоков в молодняке развивается моховой покров, преимущественно из *Sphagnum sp.* и *Polytrichum commune* (проективное покрытие 80 %). Пасечные участки, напротив, отличаются менее развитым моховым покровом с преобладанием трав и кустарничков с проективным покрытием до 70 %.

В исследуемом березово-еловом молодняке заложены три круговые пробные площади размером 300 м² каждая, на которых проведены таксационные измерения и геоботаническое описание. Закладка почвенного разреза для описания и отбора почвенных образцов на химический анализ и объемный вес проведена по общепринятым методам изучения почв (рис. 1) (Теория..., 2006). На каждой из трех круговых пробных площадей дополнительно с помощью бура до глубины 1 м отбирали образцы почв на определение концентрации углерода и плотности почвы. При отборе образцов учитывались технологические элементы проведенной рубки (трелевочные и пасечные участки). Согласно современной классификации, почва торфянисто-подзолисто-глееватая (Шишов и др., 2004). Объемный вес почвы определен методом режущего кольца (ГОСТ 5180-2015). Плотность почвы (г/см³) определена по формуле:

$$\rho = (m_1 - m_0) / V$$

где: m_0 – масса кольца; m_1 – масса почвы с кольцом; V – внутренний объем кольца.

Определение плотности почвы и концентрации углерода проведено в 5-кратной повторности. Химический анализ почв проведен по стандартной методике (Теория..., 2006). Содержание углерода в почве (C) рассчитывали на толщину 0-100 см, с использованием показателя плотности почвы (ρ) по формуле (Бобкова и др., 2014):

$$C_{[m \text{ га}^{-1}]} = C \% \rho h$$

где: ρ – плотность почвы; h – мощность слоя почвы, в котором сосредоточен запас углерода.

Подстилку отбирали шаблоном: площадью 400 или 878,9 см² в 10–20-кратной повторности в разных частях на трех круговых пробных площадях. Лесная подстилка подразделялась на подгоризонты A01 и A02, из нее удалялись минеральные примеси, живые части мхов и корни. Собранные образцы подстилки высушивались до абсолютно-сухого состояния при 105 °С. Из средних проб отбирались образцы для химического анализа и измельчались при помощи электрической мельницы и сит (Родин и др., 1968).

Оценка содержания общего углерода в почвенных образцах проводилась методом газовой хроматографии на автоматическом анализаторе азота ANA – 1500 фирмы Карло Эрба (Италия). Для статистической обработки данных применены стандартное отклонение генеральной совокупности (Sx) и стандартная ошибка (σx).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рассматриваемом участке почва имеет профиль, характерный для торфянисто-подзолисто-глеевой. Особенностью почвы является пропитанность подзолистого горизонта гумусом (табл. 1). Содержание гумуса в подзолистом горизонте – 3,34 % и далее происходит его уменьшение с глубиной, хотя в горизонте EL содержание гумуса сохраняется достаточно высоким – 1,24 % за счет потёчного гумуса. Реакция верхних горизонтов почвы сильноокислая ($pH_{\text{водн.}}$ 3,7–4,2), наибольшая актуальная кислотность ($pH_{\text{сол.}}$ 3,4) наблюдается в горизонте EL_{hi} . В подстилке происходит биогенное накопление обменного кальция и магния, подвижных форм железа и алюминия. Наличие карбонатов в почвообразующей породе не оказывает существенного влияния на почвообразование и кислотность.

Таблица 1

Химический состав торфянисто-подзолисто-глеевой почвы березово-елового молодняка

Горизонт	Глубина, см	pH		Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	P ₂ O ₅	K ₂ O	По Тамму, %		Гумус, %*
		Водный	Солевой	ммоль/100 г почвы		мг/100 г почвы		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	
O (F+H)	5-7(12)	3,69	3,09	13,37±1,00	4.28±0,32	18,51±2,78	51,25±5,13	0,51	0,54	-
EL _{hi}	7(12)-20	4,15	3,40	1,76±0,16	0,84±0,08	3,92±0,59	7,08±1,06	0,32	0,23	3,34±0,50
EL	20-27	4,31	3,52	1,69±0,15	0,60±0,06	3,80±0,57	7,49±1,12	0,36	0,25	1,24±0,25
BT	27-35	4,78	3,78	1,39±0,12	0,56±0,06	5,11±0,77	2,64±0,40	0,34	0,13	0,28±0,10
BC _{ca}	35-84	5,96	4,72	14.46±1,08	6,03±0,45	7,05±1,06	10,82±1,62	0,16	0,17	0,29±0,06
C _{ca}	84-120	7,55	6,90	-	-	12,75±1,91	11,23±1,68	0,11	0,14	0,91±0,18

Примечание к таблице. * – содержание гумуса рассчитано по концентрации углерода.

Почва на рассматриваемой территории ранее формировалась под ельником чернично-долгомошным. После рубки, почва развивается под влиянием листовых пород, преимущественно березы и ивы. Почвенный покров был трансформирован в процессе рубки, поэтому в настоящее время характеризуется значительной неоднородностью, границы верхнего слоя неровные (рис. 1). Подстилочный горизонт имеет разную мощность в пределах насаждения от 5–7 см до 10–12 см. Наименьшая мощность подстилки наблюдается под кронами листовых пород на пасечных участках, наибольшая – на месте трелевочных волоков. Мозаичность напочвенного покрова, влияет на мощность подстилки и неоднородность верхних слоев почвы. Почва на более увлажненных участках (на месте трелевочных волоков) с преобладанием в напочвенном покрове сфагнома и кукушкиного льна преобразуется в направлении увеличения гидроморфизма. Как известно, в почвах послерубочных березовых молодняков, особенно в микропонижениях на месте трелевочных волоков, активизируются процессы оглеения (Дымов, 2007).

Концентрация общего углерода в почве исследуемого березово-елового молодняка резко убывает вниз по профилю от 39 % в верхнем слое подстилки до 0,2–0,5 % в минеральном слое почвы 30–100 см (табл. 2). Согласно представленным данным, наиболее высокое содержание углерода характерно для подстилки – 12–39 %, значительно ниже в минеральных слоях

почвы – 0,2–2,8 %. Плотность минерального слоя почвы изменяется незначительно от 0,9 до 1,2 г/см³. Для подстилки характерна более низкая плотность: верхний подгоризонт более рыхлый (0,14 г/см³), что связано с большим количеством слаборазложившегося древесного опада прошлых лет, нижний – более плотный (0,21 г/см³), так как представлен хорошо разложившимся опадом.

Запасы углерода в верхнем метровом слое почвы березово-елового молодняка составляют 72,80±12,27 тС/га, в том числе в минеральном слое – 62,67±7,34, в органогенном – 10,13±1,01 тС/га (табл. 2). Для подстилок березовых молодняков среднетаежной подзоны приводятся более высокие показатели запасов углерода – от 14 тС/га в Республике Коми (Дымов, 2020) до 21,8 тС/га в Вологодской области (Соколов, 1962). Для средней тайги Республики Коми довольно близкие показатели запасов углерода в метровом слое почвы приводятся для средневозрастных смешанных лиственных-хвойных лесов с преобладанием березы в составе древостоя – 67±32 тС/га (мощность подстилки 7 см) (Пастухов, Каверин, 2013) и для более молодого березово-елового леса – 64,6 тС/га (Osipov et al., 2021). Более высокие показатели приводятся для приспевающего хвойно-лиственного насаждения, в древостое которого высокая доля участия осины – 130 тС/га. Если сопоставить полученные результаты со среднетаежными ельниками Республики Коми, то запасы углерода в почве в них выше: для чернично-сфагнового типа – 81 (Бобкова, Кузнецов, 2022), разнотравно-черничного – 85 тС/га (Бобкова и др., 2014). В целом же запасы углерода в метровом слое почвы в хвойных лесах Республики Коми в зависимости от гидрологических условий и гранулометрического состава могут существенно варьировать от 29 до 121 тС/га (Дымов, 2020), достигая 161 тС/га (Пастухов, Каверин, 2013).

В верхнем наиболее насыщенном корнями слое почвы (0–30 см) сосредоточено 49,66 тС/га, что составляет 68 % от общих запасов почвенного углерода в метровом слое почвы. Согласно О.В. Честных с соавт. (1999), в березняках слой почвы 0–30 см может содержать до 80 % от общих запасов углерода в метровом слое почвы. В корнеобитаемом слое 0–50 см аккумулируется значительная часть почвенного углерода – 52,96 тС/га или 73 % от запасов углерода в метровом слое. В условиях средней тайги Республики Коми в хвойно-лиственном насаждении в этом слое сосредоточено 71 % (Бобкова и др., 2014), в хвойных

Таблица 2

Плотность почвы, концентрация и запасы углерода торфянисто-глеевато-подзолистой почвы березово-елового молодняка

Глубина, см	Плотность почвы (ρ), г/см ³	Концентрация углерода, %	Запас углерода, т С/га ¹	Доля от метрового слоя, %	
				включая подстилку	без подстилки
Подстилка*					
0–3	0,14±0,03	39,00±4,00	6,63±2,90	9,1	-
3–7	0,21±0,03	12,20±1,20	3,50±1,89	4,8	-
Всего	-	-	10,13±1,01	13,9	-
Минеральный слой почвы					
7–20	0,90±0,12	2,80±0,40	32,76±4,03	45,0	52,3
20–30	0,94±0,23	0,72±0,18	6,77±1,66	9,3	10,8
30–50	0,97±0,16	0,17±0,04	3,30±0,54	4,5	5,3
50–85	1,17±0,05	0,30±0,05	12,29±0,53	16,9	19,6
85–100	0,95±0,09	0,53±0,13	7,55±0,72	10,4	12,0
Всего	-	-	62,67±7,34	86,1	100,0
Итого	-	-	72,80±12,27	100,0	-

Примечание к таблице. * – расчет проведен через запасы подгоризонтов подстилки.

лесах это значение ниже или приблизительно такое же: в ельниках разнотравно-черничных – 55, в ельнике чернично-сфагновом – 73 (Бобкова, Кузнецов, 2022), в сосняках черничных – 75 % от общих запасов углерода в метровом слое (Осипов, 2017).

Запасы углерода в минеральной части почвы березово-елового молодняка резко убывают вниз по профилю до 100 см, что связано с гумусово-аккумулятивным характером распределения органического углерода (рис. 2). Согласно представленным данным, запасы углерода в нижнем слое почвы (50–100 см) в 2 раза ниже, чем в верхнем (7–50 см).

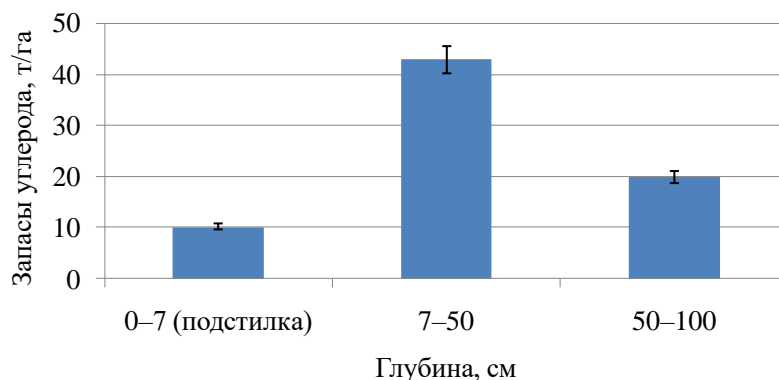


Рис. 2. Распределение запасов углерода по профилю почвы

Особенности вертикального распределения углерода в метровом слое почвы, исследуемого молодняка обусловлены растительностью. Влияние рубки затрагивает преимущественно верхние слои почвы и обусловлено «перемешиванием» слоев подстилки и подзолистого горизонта, а также наличия порубочных остатков в почве. Существует три основных пути перехода углерода из пула растительности в пул почвы: 1) переработка надземного и подземного опада почвенной фауной и микробиотой; 2) вертикальная стратификация корней деревьев, корневой опад и его оборот, корневые экссудаты; 3) выщелачивание растворенного органического вещества из живых растений и лесной подстилки (Кузнецова, 2021). Первый путь связан с непосредственным поступлением растительного опада. Как показано ранее, в исследуемом молодняке ежегодно с надземным опадом, на поверхность почвы поступает в среднем 1,1 тС/га, около половины которого высвобождается в течение года (Пристова, 2023). При этом следует отметить, что количество поступающего опада зависит от сезона и погодных условий года, в которые проводятся исследования (Пристова, 2021). Предыдущими исследованиями показано, что в разложении опада и подстилки участвует более 30 видов микромицетов, а показатель C/N (21-30) указывает на активную роль микробиоты в разложении растительного опада и подстилки (Виноградова и др., 2024).

Второй путь перехода углерода из растительности в почву связан с корнями. В углеродном цикле лесных экосистем, корням придается особое значение, в связи с тем, что при их отмирании и разложении углерод переходит непосредственно в подстилку и нижележащие почвенные слои (Ruess, 1999; Kurtz et al., 1996). В 40-сантиметровом слое почвы исследуемого молодняка, ранее были определены подземные запасы углерода растений ТКЯ и древесных корней диаметром до 20 мм, которые составили около 3 тС/га (Пристова, 2024). Также показано, что в исследуемом березово-еловом молодняке ежегодно с корневым опадом в почву поступает 2,1 т/га углерода и в процессе разложения высвобождается 0,9 тС/га, также установлено, что скорость разложения корней деревьев (9–24 % в год), ниже, чем их листьев (37–47% в год) (Пристова, 2023). Это приводит к тому, что органический углерод, поступающий с корневым опадом, находится дольше в почве и стабилизирует углерод корней в почве (Rasse et al., 2005).

Третий путь перехода углерода в почву связан с водной миграцией. Согласно ранее проведенным исследованиям, в березово-еловом молодняке концентрация органического углерода в подкроновых водах в 2-4 раза выше, чем в атмосферных осадках, поступающих на открытом месте, за счет вымывания из древесной растительности (Пристова, 2022). Высокая концентрация углерода в подзолистом горизонте (А2) (7–20 см) исследуемой почвы и его запасы, достигающие 51 % от углерода минерального слоя – результат вымывания гумусовых веществ из подстилки, а также проявление особенности подзолообразовательного процесса – более выраженная эллювиальность этого горизонта, по сравнению с другими (Пономарева, 1964). Воздействие рубки на верхние слои исследуемой почвы, и последующие процессы оглеения в исследуемом молодняке также могли сказаться на концентрациях углерода в данном горизонте.

Безусловно, растительность является одним из основных источников поступления органического вещества в почву, но содержание углерода в нижних горизонтах почвы исследуемого молодняке связано не только с органическим веществом, как в верхних слоях почвы, но и с неорганическим и обусловлено содержанием карбоната кальция.

Таким образом, проведенные исследования показали, что концентрация углерода и его запасы вниз по профилю почвы снижаются, при этом основная часть запасов углерода сосредоточена в слое 0-50 см. Особенностью распределения углерода, в почве исследуемого березово-елового молодняке, является высокое содержание и запасы углерода в эллювиально потечно-гумусовом (подзолистом) горизонте.

Заключение

Проведенное исследование почвы березово-елового молодняке показало, что концентрация углерода резко убывает вниз по профилю от 39 % в верхнем слое подстилки до 0,2–0,5 % в нижних минеральных почвенных горизонтах. Согласно оценкам, запасы углерода в метровом слое почвы исследуемого молодняке составили $72,80 \pm 12,27$ тС/га, из которых 86 % углерода сосредоточено в минеральном слое. Вертикальное распределение запасов углерода отличается преобладающим накоплением в верхнем 30-сантиметровом слое почвы (68 %).

Работа выполнена в рамках госзадания Института биологии Коми НЦ УрО РАН, тема «Зональные закономерности динамики структуры и продуктивности первичных и антропогенно измененных фитоценозов лесных и болотных экосистем европейского северо-востока России» (122040100031-8).

Список литературы

- Бобкова К. С., Машика А. В., Смагин А. В. Динамика содержания углерода органического вещества в среднетаежных ельниках на автоморфных почвах / [Ред. Лукина Н. В]. – СПб.: Наука, 2014. – 270 с.
- Бобкова К. С., Кузнецов М. А. Бюджет углерода в экосистемах среднетаежных коренных ельников // Журнал общей биологии. – 2022. – Т. 83, № 6. – С. 434–449.
- Виноградова Ю. А., Ковалева В. А., Пристова Т. А. Комплекс почвенных микромицетов в лесной подстилке лиственных насаждений при естественном лесовозобновлении среднетаежных лесов Республики Коми // Лесной вестник. – 2024. – Т. 28, № 4. – С. 19–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2024-4-19-30
- Дымов А. А. Сукцессии почв в бореальных лесах Республики Коми / [Ред. Милановский Е. Ю.]. – М.: ГЕОС, 2020. – 336 с.
- Кудеяров В. Н., Заварзин Г. А., Благодатский С. А., Борисов А. В. и др. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. – М.: Наука, 2007. – 315 с.
- Кузнецова А. И. Влияние растительности на запасы почвенного углерода в лесах (обзор) // Вопросы лесной науки. – 2021. – Т. 4, № 4. – С. 1–54.
- Кулагина В. И., Александрова А. Б., Рязанов С. С., Шагидуллин Р. Р., Андреева А. А., Кольцова Т. Г. Запасы органического углерода в почвах Раифского участка Волжск-Камского заповедника // Ученые записки Крымского федерального университета им. Вернадского. Биология. Химия. – 2023. – Т. 9 (75), № 1. – С. 143–158.
- Лесохозяйственный регламент ГУ «Железнодорожное лесничество» Комитета лесов Республики Коми, 2008. Режим доступа: <http://www.komles.rkomi.ru>.
- Наквасина Е. Н., Шумилова Ю. Н. Динамика запасов углерода при формировании лесов на постагрогенных

землях // Известия вузов. Лесной журнал. – 2021. – № 1. – С. 46–59.

Осипов А. Ф. Запасы и потоки органического углерода в экосистеме спелого сосняка черничного средней тайги // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 2. – С. 70–80.

Пастухов А. В., Каверин Д. А. Запасы почвенного углерода в тундровых и таежных экосистемах Северо-Восточной Европы // Почвоведение. – 2013. – № 9. – С. 1084–1094.

Пристова Т. А. Аккумуляция углерода в подстилках среднетаежных лиственных лесов Республики Коми // Самарский научный вестник. – 2023. – Т.12, № 2. – С. 81–85.

Пристова Т. А. Динамика поступления надземного опада древесных растений в березово-еловом молодняке средней тайги Республики Коми // Экосистемы. – 2021. – № 26. – С. 55–61.

Пристова Т. А. Запасы органического вещества и углерода в подземной фитомассе среднетаежных лиственных фитоценозов // Принципы экологии. – 2024. – № 2. – С. 59–71. DOI: 10.15393/j1.art.2024.14842

Пристова Т. А. Химический состав атмосферных осадков, подкровных и поверхностных вод в среднетаежных лиственных насаждениях послерубочного происхождения // Теоретическая и прикладная экология. – 2022. – С. 63–69. DOI:10.25750/1995-4301-2022-2-063-069

Пономарева В. В. Теория подзолообразовательного процесса. М.-Л.: Наука, 1964. – 380 с.

Подвезенная М. А., Рыжова И. М. Зависимость вариабельности запасов углерода в почве от пространственной структуры растительного покрова лесных биогеоценозов // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. – 2010. – № 4. – С. 3–9.

Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. – 143 с.

Соколов Д.Ф. Состав и подвижность органического вещества в почвах ельников и березняков Кадниковского лесничества Вологодской области // Труды Института леса и древесины. Типы леса и почвы северной части Вологодской области. М.-Л.: Изд-во АН СССР. – 1962. – Т. LII. – С. 263–282.

Теория и практика химического анализа почв /под ред. Л. А. Воробьевой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.

Честных О. В., Замолодчиков Д. Г., Уткин А. И., Коровин Г. Н. Распределение запасов органического углерода в почвах лесов России // Лесоведение. – 1999. – № 2. – С. 13–21.

Шишов Л.Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И.И., Герасимова М. И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 2004. 341 с.

Kurtz W. A., Beukema S. J., Apps M. J. Estimation of root biomass and dynamics for the carbon budget model of the Canadian forest sector // Canadian Journal of Forest Research. – 1996. – Vol. 26, N 11. – P. 1973–1979. DOI: 10.1139/x26-223.

Osipov A. F., Bobkova K. S., Dymov A. A. Carbon stocks of soils under forest in the Komi Republic of Russia // Geoderma Regional. – 2021. – Vol. 27. – P. e00427. DOI: 10.1016/j.geodrs.2021.e00427

Rasse D. P., Rumpel C., Dignac M. F. Is soil carbon mostly root carbon? Mechanisms for a specific stabilization // Plant and soil. – 2005. – Vol. 269, N 1. – P. 341–356.

Ruess R. W., Van Cleve K., Yarie J., Viereck L. A. Contributions of fine root production and turnover to the carbon and nitrogen cycling in taiga forests of the Alaskan interior // Canadian Journal of Forest Research. – 1996. – Vol. 26, N 8. – P. 1326–1336. DOI: 10.1139/x26-148.

Pristova T. A. Carbon Reserves in the Soil of Young Birch-Spruce Forests in the Middle Taiga of the Komi Republic // Ekosistemy. 2024. Iss. 40. P. 76–83.

An assessment of carbon reserves was conducted in a meter-thick layer of peaty-podzolic-gleyic soil of 12-year-old young birch-spruce forests, growing at the site of a felled bilberry-long-moss spruce forest. The ground cover of the studied young forests varied depending on the technological elements of felling: shrubs and grasses predominated on apiary plots, whereas sphagnum and hair moss were more prevalent on skidding plots, due to excessive moisture. It was found that the concentration of total carbon in the soil decreased sharply down the soil profile from 39 % in the upper litter layer to 0.2–0.5 % in the mineral soil layer at a depth of 30–100 cm. It was revealed that in addition to carbon concentration, carbon reserves were determined by the density of the soil horizon. In the mineral soil layer, the density changed insignificantly, ranging from 0.9 to 1.2 g/cm³, the litter was characterized by a lower density due to a looser structure (0.14–0.21 g/cm³). Calculations indicated that carbon reserves in the upper meter of soil amounted to 72.80±12.27 tC/ha, with 86 % of the total carbon concentrated in the mineral layer and 14% in the litter. The findings demonstrated that a significant portion of soil carbon (68%) accumulated in the uppermost root zone (0-30 cm), while in the rooting layer (0-50 cm), it constituted 73% of the total soil carbon reserves within the one-meter soil profile. In general, the carbon reserves in the lower soil layer (50–100 cm) were twice as low as in the upper (7–50 cm). The peculiarity of carbon distribution in the studied object is manifested in the relatively high content and reserves of carbon in the eluvial humus horizon.

Key words: taiga, post-harvest forests, forest litter, carbon accumulation in the soil.

Поступила в редакцию 05.10.24

Принята к печати 11.12.24

Таксономическая структура бактериального метагенома в кишечнике рабочих медоносных пчел *Apis mellifera* L. в Крыму

Быкова Т. О., Ивашов А. В.

Институт биотехнологий, экологии и фармации Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского
Симферополь, Республика Крым, Россия
t.o.bykova@mail.ru, aivashov@mail.ru

Секвенирование методом «дробовика» применено для определения маркерных возможностей участка ДНК гена, кодирующего 16S рРНК малой субъединицы бактериальной рибосомы. Определен таксономический состав бактериального метагенома в кишечнике медоносных пчел (*Apis mellifera* L.) Крыма. В кишечниках всех проанализированных пчел присутствует облигатное ядро, состоящее из 7 основных родов домена бактерий, относящихся к 4 типам, 5 классам, 6 порядкам и 6 семействам. Наибольшей долей видов в ядре метагенома бактерий представлено семейство *Orbaceae*. Наибольшим числом видов в этом семействе обладают роды *Gilliamella* и *Frischella* – 39,8 и 20,4 % видов соответственно. Вторую позицию с очень близкими долями видов занимают роды *Snodgrassella* и *Lactobacillus* (соответственно 1,9 и 13,0 % видов). В третью группу родов вошли роды *Bartonella* и *Bifidobacterium*, с 5,8 и 2,21 % видов, соответственно. Замыкает список род *Commensalibacter* с долей менее одного процента видов (0,4 %). На основе литературных данных составлен список видов, относящихся к соответствующим семи родам. На основании анализа литературных источников установлено, что в мероконсорцию метагенома *A. mellifera* с семью родами входит минимум по одному виду. Исключение составляют род *Bifidobacterium*, он представлен тремя видами, и род *Lactobacillus* – семью. Таксоны домена архебактерий представлены 1 типом, 1 классом, 2 порядками, 2 семействами и 3 родами. Однако, их доля в метагеноме не превышала сотые доли процента. Таким образом, можно считать эти бактерии случайным компонентом, не характерным для кишечного микробиома *A. mellifera*.

Ключевые слова: *Apis mellifera*, бактерии, архебактерии, таксономический состав, метагеном, Крым.

ВВЕДЕНИЕ

Еще в середине прошлого века независимо друг от друга зоолог В. Н. Беклемишев (1951) и ботаник Л. Г. Раменский (1952) предложили научному сообществу учение о консорции. Не вдаваясь в детали двух точек зрения этих исторически значимых русских ученых, отметим, что оба они, по сути, определили консорцию как совокупность разнородных живых организмов, обитающих на или в достаточно крупном организме — ядре индивидуальной консорции. Сегодня бурное развитие молекулярной генетики и прежде всего разработка и применение ДНК-технологий с использованием ПЦР и секвенирование методом «дробовика» позволяет получать сведения о подавляющем большинстве микроорганизмов, обитающих в различных органах многоклеточных организмов — мероконсорциях. Благодаря этому, на стыке микробиологии, молекулярной генетики, и экологии развивается новая междисциплинарная наука «экологическая метагеномика», методы которой позволяют получать сведения о таксономическом составе микробных сообществ и функциональной роли отдельных его видов в различных средах, включая организменную. Это позволяет рассматривать ее одним из самых динамично развивающихся разделов современной экологии (Вечерский и др., 2022).

Во многих странах с конца прошлого века и до сегодняшнего времени, проводятся исследования бактериальных метагеномов кишечника медоносной пчелы *Apis mellifera* L. Было установлено оригинальное сочетание бактериальных микроорганизмов в мероконсорции ее кишечника, которое отличается от большинства видов животных, своим очень простым таксономическим разнообразием (Shi et al., 2010; Engel, Moran, 2012; Anderson

et al., 2014; Zheng et al., 2017; Moran et al., 2019). Это позволяет использовать медоносных пчел в качестве модельных объектов в экспериментальных исследованиях по выяснению функциональной роли тех или иных участников микробного сообщества (Kamran et al., 2017; Kwong et al., 2017; Kirsten et al., 2019; Moran et al., 2019; Nowak et al., 2021). Социальность медоносных пчел поддерживает постоянство состава микрофлоры кишечника (Kwong et al., 2017).

В метаболическом плане большинство членов микробного сообщества в кишечнике пчел являются ферментативными, расщепляя богатую углеводами (нектар, мед) и белками (пыльца, перга) пищу пчел. Эти ферментирующие микроорганизмы играют большую роль в обеспечении питания хозяев. Нормальная микробиота кишечника пчелы способствует снижению ее пораженности патогенами, что уменьшает риски гибели пчелы-хозяина.

Микробиота кишечника также как и физиология взрослых рабочих пчел заметно различается у кормилиц, собирателей и зимних пчел. Зимние пчелы имели самое низкое α -разнообразие среди трех типов пчел, что объясняется наличием меньшего количества условно-патогенных колонизаторов, таких как *Apibacter*, *Bombella* или *Lactobacillus kunkeei* (Edwards et al., 1998). Микробиоту кишечника пчелы можно культивировать *in vitro*, а пчел-гнотобиотиков можно легко получить, изолируя новорожденных особей, что делает пчел удобной моделью для изучения симбиоза кишечных микроорганизмов (Kwong et al., 2016).

Перспективно выделение определенных штаммов для производства пре- и пробиотиков, парапробиотиков и постбиотиков, ингредиентов в фармакологических препаратах и персонализированных продуктах питания (Ильясов и др., 2021). Однако, несмотря на все возрастающее количество публикаций по бактериальным метабеномам кишечника пчелы медоносной, все еще мало данных по таксономическому представительству бактерий у пчел в разных регионах нашей большой страны, и в том числе на Крымском полуострове, где еще в середине прошлого века массово использовалась аборигенная пчела, описанная профессором МГУ В. В. Алпатовым как *Apis mellifera taurica* Alpatov (Алпатов, 1938, 1948). В дальнейшем сюда на протяжении многих десятилетий завозились и скрещивались между собой различные породы. Как под влиянием человека, так и независимо от него формировались беспородные семьи, хорошо адаптированные к местным экологическим факторам (Быкова и др., 2016; Вукова et al., 2020). Часто их можно встретить не только на пасеках, но среди семей, заселивших дупла деревьев в лесу или полости в скальных обнажениях (Ивашов, 2016; Вукова et al., 2020).

На территории полуострова Крым, до сих пор не проводились исследования бактериальных сообществ в кишечнике медоносных пчел.

Цель данного исследования — выявить таксономическую структуру бактериального микробиома в кишечнике рабочих пчел крымских пасек.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Для получения общего представления о таксономическом составе микробиомов кишечника *A. mellifera* и определения минимального (облигатного) набора родов обеспечивающего жизнедеятельность хозяина взяли в работу пчел из трех семей разного породного происхождения, которые имелись на одной из крымских пасек. Так же препарировали целый кишечник, хотя известно, что в разных его отделах концентрируются специфические наборы бактериальных родов (Kwong, Moran, 2016). Кроме того, на каждом этапе нисходящего анализа таксонов отбрасывали те из них, которые встречались не у всех проанализированных особей. В результате решалась задача получения перечня родов с дополнением их видами, которые обнаружены у медоносных пчел авторами. Таким образом, полученные результаты, как мы надеемся, можно будет считать исходной точкой отсчета для постановки экспериментов в дальнейших исследованиях крымских и других пчел.

Исследование бактериального метабенома кишечника рабочих пчел проводили у особей, отобранных из трех семей разного породного происхождения (Крым, Бахчисарайский район, устье Бельбекского каньона, окрестности села Танковое, пасека М. Н. Люманова). Это были

семьи, происходящие от серой горной кавказской (*A. mellifera caucasica* Gorb, второе поколение), карники (*A. mellifera carnica*, второе поколение.) и беспородной горной дикой пчелы (*A. mellifera*, второе поколение). Беспородная крымская пчела происходила от отводка, полученного из расплода, извлеченного из семьи, обитавшей в полости скального отвеса горы Крокодил в Крымских горах. Эту семью наблюдал в течение двух лет крымский пчеловод И. С. Эмирсинов (Вукова et al., 2020), который организовал отбор сот с расплодом, а затем получение пчел второго поколения на своей пасеке, после чего эти семьи были переданы на пасеку пчеловода-любителя М. Н. Люманова. Если первые две семьи по своим морфометрическим показателям строго соответствовали своему статусу, то последняя имела совокупность признаков характерных для разных пород (Быкова и др., 2016; Вукова et al., 2020; Триселева и др., 2023)

В общей сложности анализу подвергались 12 пчел по четыре из каждой семьи. Все семьи были примерно одинаковой силы и содержались в одинаковых условиях. Для отбора пчел применялся метод окулирования, затем все образцы помещали в промаркированные стерильные контейнеры.

После усыпления пчел с помощью хлороформа, и дезинфекции 70 % этиловым спиртом с помощью ножниц и пинцета извлекался полностью кишечник (средняя, тонкая, толстая кишка), которые по 4 штуки от каждой категории породности собирали в отдельные пробирки.

Определение бактериального метагенома в кишечнике пчел выполняли в Центре Коллективного Пользования «Геномные технологии, протеомика и клеточная биология» ФГБНУ «Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии».

Тотальную ДНК выделяли из кишечников пчел набором PowerSoil DNA isolation kit (Qiagen, Германия) основанным на методе очистки с помощью спин-колонок с мембранным фильтром по протоколу производителя. Для разрушения образцов использовали настольный гомогенизатор Vortex-Genie® 2 (США).

Очищенные препараты ДНК использовали для создания библиотек маркерного гена 16S рРНК методом ПЦР с применением универсальных праймеров на вариабельный участок V4: F515/R806 (GTGCCAGCMGCCGCGGTAA /GACTACVSGGGTATCTAAT) (Bates et al., 2010), а также присоединением адаптеров и уникальных баркодов компании Illumina. Последующая подготовка библиотек и секвенирование проводились в соответствии с рекомендациями производителя на платформе «Illumina MiSeq» (Illumina, США) с использованием набора реагентов MiSeq® ReagentKit v3 (600 cycle) с двусторонним чтением (2*300 н).

Первоначальная обработка полученных данных, а именно, демультимплексирование образцов и удаление адаптеров, проводилась ПО Illumina (Illumina, США). Для последующего денойзинга, объединения последовательностей, удаления химерных прочтений, восстановления исходных флотипов (ASV, Amplicon sequence variant) и дальнейшей таксономической классификации полученных ASV использовались программные пакеты dada2 (Bolger et al., 2014), phyloseq (McMurdie and Holmes, 2013) и DECIPHER, работа которых осуществлялась в программной среде R. Для представления данных таксономического анализа использовались средства программного пакета QIIME (Caporaso et al., 2010).

Полученные данные были представлены большим количеством прочтений (фрагментов ДНК, прочитанных секвенатором). По количеству этих прочтений определяли мажорных (присутствующих во всех 12-ти образцах) и минорных (редко встречающихся в образцах) представителей бактерий. Затем рассчитали долю каждого мажорного таксона бактерий в образцах – сумма прочтений данной бактерии, деленную на общую сумму основных таксонов бактерий, выраженную в процентах. Частота встречаемости рассчитывалась как количество образцов пчел, содержащих данный таксон бактерий, также в процентах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Домены и типы бактерий. В процессе исследования идентифицировались маркеры, указывающие на присутствие в кишечном метагеноме медоносных пчел представителей домена Archaea. Однако они отмечались не у всех пчел и их представленность была крайне низкой. Скорее всего, они попадали в кишечник с пищей. Следует отметить, что представители этого домена (Archaea; Crenarchaeota; Nitrososphaeria; Nitrososphaerales; Nitrososphaeraceae; Candidatus Nitrocosmicus) постоянно присутствует в почвах Крыма, причем в значительных концентрациях (около 10 %), тогда как в метагеноме кишечника у некоторых из проанализированных пчел их доля в метагеноме не превышала 0,01 %. Таким образом, можно считать эти бактерии случайным компонентом не характерным для микробиома. В дальнейшем при подготовке табличных данных и рисунков также как и не идентифицированные таксоны, не учитывались. В итоге в домене Bacteria идентифицировали четыре типа (табл. 1).

Таблица 1

Ранжированный ряд встречаемости типов бактерий в обобщенном метагеноме кишечника медоносных пчел крымской пасеки и пасек Китая*

Типы (филы)	Встречаемость типов бактерий, %	
	Крымская пасека	Университетские пасеки (Китай)*
Proteobacteria	83,9	63,2
Firmicutes	12,9	17,6
Actinobacteriota	2,2	4,1
Bacteroidota	0,8	1,7

Примечание к таблице.* – по С. Вангу с соавторами (Wang et al., 2020a).

Как и ожидалось, протеобактерии (*Proteobacteria*) занимает лидирующее положение. Это как известно, наиболее многочисленная группа бактерий. В систематике в нее входит примерно треть от всех известных видов бактерий, но у наших пчел доля этого типа гораздо выше и колебалась от 70,8 до от 87,2 %. Таким образом, из 24 известных типов имеющих в царства бактерий в дальнейшей работе используем только эти четыре.

Обращает на себя внимание тот факт, что тип Firmicutes в отличие от метагенома человека в разы уступает протеобактериям. Аналогично тип Actinobacteriota в разы уступает типу Firmicutes, а ему также уступает тип Bacteroidota.

Из многочисленных литературных источников для сравнения этих результатов использовали достаточно свежие данные, полученные китайскими исследователями из Хубэйского Университета и Китайского университета геонаук (Ухань, Китай) (Wang et al., 2020a; Wang et al., 2020b). Они представлены также в таблице 1. Их сравнение с нашими результатами показывает достаточно высокое сходство, хотя крымские пчелы показали более выраженное доминирование типа Proteobacteria.

Классы бактерий. Всего выделено 5 классов представленных у всех проанализированных пчел. Причем тип Proteobacteria представлен двумя классами. Наиболее высокая доля наблюдалась у класса Gammaproteobacteria. В несколько раз меньше регистрировалось доля класса Alphaproteobacteria.

Обобщенные данные по классам выделенных бактерий у всех крымских пчел представлены на рисунке 2А. На диаграмме Б для сравнения использовали данные, полученные международной группой исследователей из Пакистана, Саудовской Аравии и Китая. При исследовании рабочих медоносных пчел (*A. mellifera*), собранных на пчеловодческих фермах, расположенных в районах Кохат, Карак и Банну на северо-западе Пакистана (Anjum et al., 2017).

Как можно видеть на рисунке 1, пчелы, находящиеся на разных континентах, достаточно сильно отличаются по доле участия всех классов. Особенно сильные отличия по классу

Gamma proteobacteria. Причем соотношение наиболее представительных классов Bacilli и Gamma proteobacteria у медоносных пчел из Пакистана (Anjum, 2017) как 1:1,2, тогда как у крымских пчел оно выражено во много раз сильнее 1:6. Почти в 6 раз у крымских пчел меньше доля Actinobacteria. Что касается класса Alphaproteobacteria то его представительство сходное. Кроме того, у крымских пчел отсутствовал класс Betaproteobacteria.

Ранее в метагеномном исследовании кишечника *A. mellifera* была выявлена устойчивая кишечная бактериальная флора в семьях широкого географического происхождения, включая Африку, Германию и Швейцарию (Cox-Foster et al., 2007). Используя порог идентификации 16S-последовательности, равный 97 %, исследователи идентифицировали 8 различных филогенов бактерий из 5 классов, включая актиномицеты (*Bifidobacterium*), альфа-протеобактерии (α -1 и α -2), бациллы (*Lactobacillus Firm-4* и *Lactobacillus Firm-5*), бета-протеобактерии (*Snodgrassella*) и гамма-протеобактерии (γ -1 и γ -2). В совокупности эти типы бактерий составляют более 95 % бактерий кишечника медоносной пчелы (Cox-Foster et al., 2007).

В таблице № 2 представлены общие данные по порядкам бактерий, с разными долями встречаемости у 12 образцов медоносных пчел из исследуемой крымской пасеки.

Как видно из данных, представленных в этой обобщающей таблице, заслуживают внимания для дальнейшего рассмотрения, следующие первые 7 порядков, которые присутствовали у всех 12 особей. На их долю приходится 99,8 % метагенома.

Не у всех особей, а только у двух третей, найдены представители порядка Pseudomonadales причем в достаточно заметной концентрации, варьирующей около чуть больше одного процента. Считать этот порядок облигатным участником метагенома, по видимому, нельзя, хотя его представители могут играть пока еще неизвестную роль в

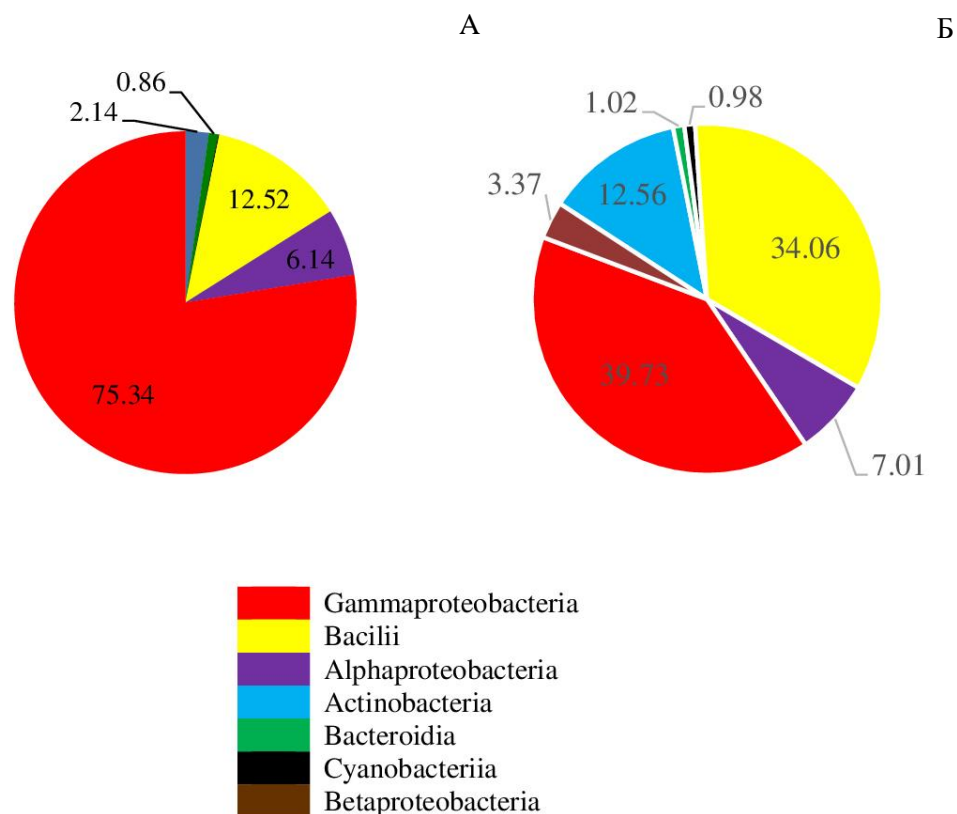


Рис 1. Доля классов бактерий (в %) у рабочих медоносных пчел
 А – медоносные пчелы из Крыма (средние величины по трем семьям); Б – медоносные пчелы из северо-западного Пакистана (Anjum et al., 2017).

Таблица 2

Ранжированный ряд порядков бактерий по частоте встречаемости в обобщенном метабеноме кишечника медоносных пчел и представленность их среди 12 проанализированных особей

Тип	Класс	Порядок	Доля, %	Частота Встречаемости, %
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Orbales	61,31	100
		Burkholderiales	13, 10	100
Firmicutes	Bacilli	Lactobacillales	13,34	100
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Rhizobiales	5,747	100
Acidobacteriota	Actinobacteria	Bifidobacteriales	2,165	100
Bacteroidota	Bacteroidia	Flavobacteriales	0,780	100
Proteobacteria	Alphaproteobacteria	Acetobacterales	0,709	100
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Pseudomonadales	1,214	67,7
Proteobacteria	Gammaproteobacteria	Enterobacteriales	0,389	91,6
Acidobacteriota	Actinobacteria	Propionibacteriales	0,160	91,6
Cyanobacteria	Cyanobacteriia	Leptolyngbyales	0,065	91,6
Bacteroidota	Bacteroidia	Bacteroidales	0,051	83,3
		Chitinophagales	0,044	66,7
Cyanobacteria	Cyanobacteriia	Cyanobacteriales	0,001	33,3
Acidobacteriota	Blastocatellia	Blastocatellales	0,007	41,6
Acidobacteriota	Actinobacteria	Micrococcales	0,007	25,0

сообществе. В качестве доминирующего таксона можно видеть абсолютного лидера порядок Orbales. Данный порядок относится к классу Gammaproteobacteria и типу Proteobacteria. Эти бактерии относительно недавно получили свой статус порядка (Volkman et al., 2010; Kwong et al., 2013; Martinson et al., 2014) именно этот порядок определяет специфику пчелиного метабенома.

Семейства бактерий. По данным (Moran et al., 2015; Anderson et al., 2017; Romero et al., 2019) у медоносной пчелы (*A. mellifera*) в кишечнике в основном доминируют следующие шесть семейств бактерий:

1. Lactobacillaceae,
2. Acetobacteraceae (*Parasaccharibacter apis*),
3. Rhizobiaceae (*Bartonella apis*),
4. Bifidobacteriaceae
5. Neisseriaceae (*Snodgrassella alvi*)
6. Orbaceae (*Gilliamella apicola*, *Frischella perrara*)

Представленность семейств в бактериальном метабеноме крымских пчел можно видеть в таблице 3.

Таблица 3

Ранжированный ряд основных семейств по встречаемости и доли бактерий в обобщенном метагеноме кишечника медоносных пчел

Семейство	Доля в бактериальном метагеноме, %	Частота встречаемости среди 12 пчёл крымской пасеки, %
Основные семейства		
Orbaceae	60,68	100
Neisseriaceae	13,93	100
Lactobacillaceae	13,02	100
Rhizobiaceae	5,76	100
Bifidobacteriaceae	2,11	100
Acetobacteraceae	0,42	100
Дополняющие семейства		
Weeksellaceae	0,78	91,6
Acetobacteraceae	0,26	41,7
Leuconostocaceae	0,20	75
Propionibacteriaceae	0,14	83,3
Prevotellaceae	0,05	50

По данным (Bleau et al., 2020) Acetobacteriaceae (*Bombella* sp., *Commensalibacter* sp.), Bifidobacteriaceae, Enterobacteriaceae (*Arsenophonus* sp., *Pantoea* sp.), Lactobacillaceae, Neisseriaceae (*Snodgrassella* sp.), Orbaceae (*Frischella* sp., *Gilliamella* sp.) и Rhizobiaceae (*Bartonella* sp.) составляют основную микробиоту *A. mellifera* в Канаде. Но бывают и исключения: как отметили упомянутые авторы, у медоносных пчел изученных семей, обитающих на северо-востоке Канады, летом семейство Enterobacteriaceae (*Arsenophonus* sp., *Pantoea* sp.), составляли почти 40 % микробиоты кишечника. Но поскольку это была единственная семья, в которой было обнаружено это бактериальное семейство, авторы исключили его из анализа (Bleau et al., 2020). У наших пчел доля бактерий этого семейства не превышала 0,19, и оно встречалось не у всех пчел, и не было включено в перечень основных.

Ряд авторов пришли к заключению о том, что у медоносной пчелы в кишечнике преобладает простая основная микробиота, в которой в основном доминируют шесть семейств бактерий: Lactobacillaceae, Acetobacteriaceae (*Parasaccharibacter apium*), Rhizobiaceae (*Bartonella apis*), Bifidobacteriaceae, Neisseriaceae (*Snodgrassella alvi*) и Orbaceae (*Gilliamella apicola*, *Frischella perrara*) (Moran et al., 2015; Anderson et al., 2017; Romero et al., 2019; Bleau et al., 2020). Семейство Rhizobiaceae как видно из данных таблицы 3 (*Bartonella apis*).

Согласно данным таблицы 4, у крымских пчел не определены роды: *Bartonella*, *Parasaccharibacter*, *Saccharibacter*, *Serratia*, *Lactococcus*. То есть ровно половина родов. Это свидетельствует о том, что это минорные компоненты родового состава, без которых пчелы могут нормально существовать. Не у всех пчел обнаруживался род *Apibacter*, а только у 11 из 12.

Роды бактерий. Согласно данным таблицы 4, у крымских пчел не определены роды: *Bartonella*, семейство *Parasaccharibacter*, *Saccharibacter*, *Serratia*, *Lactococcus*. То есть ровно половина родов. Это свидетельствует о том, что это минорные компоненты родового состава, без которых пчелы могут нормально существовать. Не у всех пчел обнаруживался род *Apibacter*, а только у 11 из 12.

Таблица 4

Ранжированный ряд родов бактерий по встречаемости и доли в обобщенном метагеноме
кишечника медоносных пчел

Порядок	Семейство	Род	Доля в метагеноме, %	Частота встречаемости, %
Orbales	Orbaceae	<i>Gilliamella</i>	39,79	100
		<i>Frischella</i>	20,36	100
Burkholderiales	Neisseriaceae	<i>Snodgrassella</i>	13,93	100
Lactobacillales	Lactobacillaceae	<i>Lactobacillus</i>	13,02	100
Rhizobiales	Rhizobiaceae	<i>Bartonella</i>	5,76	100
Bifidobacteriales	Bifidobacteriaceae	<i>Bifidobacterium</i>	2,21	100
Acetobacterales	Acetobacteraceae	<i>Commensalibacter</i>	0,42	100
Pseudomonadales	Pseudomonadaceae	<i>Pseudomonas</i>	1,20	58,3
Orbales	Orbaceae	unclassified Orbaceae	0,87	25,00
Flavobacteriales	Weeksellaceae	<i>Apibacter</i>	0,78	91,70
Burkholderiales	Comamonadaceae	<i>Paucibacter</i>	0,46	91,70
Acetobacterales	Acetobacteraceae	<i>Bombella</i>	0,26	41,70
Lactobacillales	Leuconostocaceae	<i>Weissella</i>	0,20	75,00
Enterobacteriales	Enterobacteriaceae	unclassified Enterobacteriaceae	0,19	58,30
Propionibacteriales	Propionibacteriaceae	<i>Cutibacterium</i>	0,14	83,30
Leptolyngbyales	Leptolyngbyaceae	<i>Phormidesmis</i> ANT.L52.6	0,08	75,00
Enterobacteriales	Morganellaceae	unclassified Morganellaceae	0,07	8,30
Bacteroidales	Prevotellaceae	<i>Prevotella</i>	0,05	50,00
Burkholderiales	Comamonadaceae	unclassified Comamonadaceae	0,04	41,70
Staphylococcales	Staphylococcaceae	<i>Staphylococcus</i>	0,03	33,30
Burkholderiales	Oxalobacteraceae	<i>Massilia</i>	0,02	25,00
Lactobacillales	Streptococcaceae	<i>Streptococcus</i>	0,02	16,70
Cytophagales	Cytophagaceae	<i>Cytophaga</i>	0,02	8,30
Rhizobiales	Rhizobiaceae	<i>Rhizobium</i>	0,01	8,30
	Xanthobacteraceae	<i>Bradyrhizobium</i>	0,01	8,30

Ранее европейскими исследователями в кишечнике *A. mellifera* были охарактеризованы и предложены как типовые штаммы *Snodgrassella. alvi* и *Gilliamella apicola*, представляющие собой, флотипы, называемые «Бетапротеобактерии» и «Гаммапротеобактерии-1»/«Гамма-1» в более ранних публикациях (Moran et al., 2012).

Как было показано недавно, два таксона, это роды *Frischella* sp. и *Bartonella* sp., могут варьироваться в зависимости от окружающей среды, но они являются неосновными членами кишечника пчелы (Kešnerová et al., 2020). Однако, как видно по данным в таблице 4, *Frischella* может достигать весомых концентраций в сообществах (Kwong et al., 2016).

Как известно, при исследовании Rhizobiaceae в пределах альфа-группы Proteobacteria, начиная с 1991 года, был принят минимальный стандарт для подтверждения новых видов ризобий, в который включено: определение последовательностей 16S рибосомных генов, ДНК-ДНК или рРНК-ДНК – гибридизацию, ПДРФ – полиморфизм длины рестриктазных фрагментов (RFLP, Restriction и др.) (Баймиев и др., 2013).

На сегодня известно более 35 видов, принадлежащих к роду *Bartonella*. Три вида рода *Bartonella* считаются важными причинами заболеваний человека. Подчеркнем, что этот род находится в семействе Bartonellaceae класс Alphaproteobacteria. Представительный штамм типа РЕВ0122Т (= NCIMB 14961Т = DSM 29779Т), выделенный из кишечника медоносной пчелы получил название *Bartonella apis*. Филогенетический анализ показал, что РЕВ0122Т и родственные штаммы из кишечника медоносной пчелы образуют родственную кладу рода *Bartonella* (Kešnerová et al., 2016). При сравнении наших данных и данных из статьи Л. Кешнерова с соавторами (Kešnerová et al., 2016) было выявлено, что у нас присутствует род *Commensalibacter*, который не указан в статье зарубежных авторов.

Ё. Х. Тола с соавторами (Tola et al., 2020) проанализировали микробиоту кишечника *A. mellifera* из африканских регионов Кении к югу от Сахары, где в пчеловодстве принято минимальное вмешательство человека в развитие пчелиных семей. Они установили гораздо большее количество основных членов микробиоты кишечника медоносной пчелы. В их перечне присутствовали следующие роды:

1. *Gilliamella*,
2. *Snodgrassella*,
3. *Lactobacillus* (Firm-4 и Firm-5),
4. *Bifidobacterium*,
5. *Frischella*,
6. *Commensalibacter*,
7. *Bombella*,
8. *Apibacter*,
9. *Bartonella*.

Причем доли родов бактерий, в кишечнике *A. mellifera scutellata*, в трех различных агроэкологических зонах Кении, *Frischella* sp. был третьим наиболее доминирующим родом (16,9 %), в то время как *Lactobacillus* (Firm-4 и Firm-5) демонстрировали более низкую численность, чем в других исследованиях (Tola et al., 2020). *Gilliamella* и *Snodgrassella* — были доминирующими представителями (30,4 % и 21,4 %); интересно, что авторы обнаружили, что *Frischella* является третьим доминирующим родом со средней 16,9 % в населенных пунктах Кении с высокой распространенностью – 94 %. Относительная численность *Lactobacillus* Firm-5 и Firm-4 оказалась ниже ожидаемой по сравнению с другими исследованиями – всего 12,9 % и 1,7 % соответственно, а распространенность – 100 % и 85 % соответственно. Кроме того, был обнаружен *Commensalibacter* sp. (Альфа 2.1) с распространенностью 81 % при численности 2,4 %, а в наших пробах всего 0,42 %, но при 100 % встречаемости! Совсем недавно китайскими исследователями была выделена из кишечника медоносной пчелы (*A. mellifera*) и идентифицирована с использованием полифазного таксономического подхода новая *Bifidobacterium* обозначенная как штамм F753-1Т (Jiang et al., 2024).

В метагеноме исследованных нами пчел род *Apibacter* присутствует с долей 0,78 % и встречаемостью среди пчел 91,6 %, что значительно ниже, чем у других видов пчел рода *Apis*. Например, в бактериальных метагеномах *A. dorsata* и *A. cerrana*, наблюдалась значительно более высокая относительная распространенность этого рода (Kwong et al., 2016; Kwong et al., 2017; Kwong et al., 2018; Praet et al., 2016). Также в этих работах помимо основных представителей кишечной микробиоты, наш анализ выявил второстепенные группы таксонов, которые встречались не у всех пчел (минорные роды), куда вошли: *Bombella* (0,26 %), *Weissella* (0,20 %), *Cutibacterium* (0,14 %) и *Prevotella* (0,05 %), – в сумме составивших лишь

0,65 % от всех прочтений. Интересен тот факт, что эти роды не отмечены у *A. mellifera* из восточной Африки (Tola et al., 2020), зато у нее авторы указывают на относительно высокую долю *Pseudomonas* (2,3 %); при этом второе место занимал *Acidovorax* с 2,1 %, затем *Spiroplasma* с 2 % и, наконец, *Gluconobacter* с 1,7 %. Вместе эти четыре таксона составляли около 8 % прочтений, что на порядок выше, чем у исследованных нами пчел. Также эти авторы указали на их высокую вариативность представленности и распространенности среди образцов из одного и того же улья или из одной и той же пасеки (Tola et al., 2020)

В отличие от рода *Commensalibacter* относящийся к тому же семейству род *Bombella* в наших исследованиях присутствовала у менее чем половины пчел.

Хотя анализ 16S рРНК успешно применяется в бактериальной филогенетике, создавая основу для разграничения родов, известно, что ему не хватает таксономической точности на уровне видов (Konstantinidis et al., 2007).

Примечательно, что на 95 % уровне геномного сходства гена 16S рРНК не удается достичь различия видовых единиц (Konstantinidis & Tiedje, 2007). Такое положение привело к путанице и ошибкам в таксономии бактерий (Engel et al., 2014). Поскольку в нашем исследовании не был идентифицирован видовой состав родов, представляется целесообразным дополнить их видами, которые встречались в кишечнике у *A. mellifera*, но были описаны многими другими исследователями. Эти данные приведены в таблице 5.

Таблица 5

Виды бактерий, обнаруженных в кишечнике медоносных пчел

Род	Вид/штамм	Источник
<i>Gilliamella</i>	<i>Gilliamella apicola</i>	Moran et al., 2012
<i>Snodgrassella</i>	<i>Snodgrassella alvi</i>	Martinson et al., 2012; Moran et al., 2015; Anderson et al., 2017; Romero et al., 2019
<i>Frischella</i>	<i>Frischella perrara</i>	Engel et al., 2013
<i>Lactobacillus</i>	<i>Lactobacillus</i> (штаммы Firm-4 и Firm-5)	Motta et al., 2018; Zheng et al., 2020; Tola et al., 2020
<i>Bartonella</i>	<i>Bartonella apis</i>	Kešnerová et al., 2016
<i>Bifidobacterium</i>	<i>Bifidobacterium asteroides</i> , <i>B. coryneforme</i> , <i>B. indicum</i>	Papp et al., 2022
<i>Commensalibacter</i>	<i>C. intestini</i> , <i>C. melissae</i>	Botero et al., 2023

Согласно имеющимся данным, существует два грамположительных вида, принадлежащих к типу *Firmicutes*, которые распространены повсеместно и многочисленны; а именно, *Lactobacillus* Firm-4 и *Lactobacillus* Firm-5, которые обитают в дистальном отделе прямой кишки (Zheng et al., 2017). У большинства взрослых рабочих, но не у всех, также обнаруживаются *Bifidobacterium asteroides*, хотя и в гораздо меньшей численности (Bleau et al., 2020; Kwong et al., 2016). Недавняя оценка патогенности двух штаммов этого вида показала, что они совершенно безопасны для человека (Pino et al., 2022).

Указанные кластеры видов бактерий являются наиболее важными микроорганизмами в кишечнике пчел, так называемыми «ядерными бактериями» (Kešnerová et al., 2020). Есть также менее распространенные, но стабильные виды *Proteobacteria*: *Gammaproteobacteria Frischella perrara* (семейство *Orbaceae*); *Alphaproteobacteria Parasaccharibacter apium*, *Bombella Favorum*, *Bombella mellum*, *Bombella apis* (семейство *Acetobacteraceae*, *Alpha 2.2*); и *Commensalibacter* sp. (*Альфа 2.1*) и *Bartonella apis* (*Альфа 1*) из семейства *Rhizobiaceae* (Dong et al., 2020; Bleau et al., 2020; Jones et al., 2017; Tola et al., 2020; Kešnerová et al., 2020; Hilgarth et al., 2021).

В исследовании Л. Кешнерова с соавторами основной штамм *Lactobacillus* Firm-4 был обнаружен у 98,4 % всех проанализированных пчел (Kešnerová et al., 2020). Также недавно

(Zheng et al., 2020) было предложено переклассифицировать род *Lactobacillus* на 25 родов, включая измененный род *Lactobacillus*, *Paralactobacillus*, и 23 вновь введенных рода. При этом лактобациллы, *A. mellifera*, разделились, по существу, на две различные линии, одну из них предложено выделить в новый род, *Vombilactobacillus* (Zheng et al., 2020).

Commensalibacter – это род уксуснокислых бактерий-симбионтов встречающихся в кишечнике медоносных пчел и других видов насекомых и о нем имеется мало информации о разнообразии и функциях этих бактерий. Хотя комменсал-бактерия *Commensalibacter intestini* была первоначально выделена из *Drosophila melanogaster*, она также была обнаружена у медоносных пчел и шмелей. Исследования продолжаются и совсем недавно были определены полногеномные последовательности 12 изолятов (Botero et al., 2023).

На основе референсных штаммов *Commensalibacter* LMG 31900T (= ESL0284T) и LMG 27436T (= A911T), которые были получены из коллекции бактерий BCCM/LMG (Бельгия) было описано 4 новых вида (Botero et al., 2023).

Род *Snodgrassella* с доминирующей кладой, ассоциируемой с *A. mellifera*, а именно *Snodgrassella-2*, представлен видом *Snodgrassella alvi* (типовой штамм WKB2T) (Martinson et al., 2012).

Согласно недавно опубликованным данным (Papp et al., 2022) по результатам исследований, проведенных на различных пасеках и в различных условиях среды на территории Венгрии, основными представителями бактерий, относительная численность которых превышает 0,1 %, по крайней мере, в половине образцов, выявлены следующие пять родов с одним видом: *Bartonella apis*, *Commensalibacter* sp. AMU001, *Frischella perrara*, *Gilliamella apicola*, *Snodgrassella alvi*. Род *Bifidobacterium* представлен тремя видами: *B. asteroides*, *B. coryneforme*, *B. indicum*. Род *Lactobacillus* включал следующие семь видов: *L. is*, *L. bombi*, *L. helsingborgensis*, *L. kullabergensis*, *L. kunkeei*, *L. mellis*, *Lactobacillus* sp. wkB8. Было показано, что их доля на каждой пасеке была уникальной и сильно варьировала в различных условиях окружающей среды.

Таким образом, проведенный анализ по сопоставлению полученных нами данных с имеющимися данными в мировой литературе показал, что бактериальный метагеном крымских пчел характеризуется доминированием бактерий двух родов из семейства Orbaceae: *Gilliamella* и *Frischella*. Вместе эти два рода занимают 60,1 % микробиома.

ВЫВОДЫ

1. В кишечнике взрослых медоносных пчел на крымской пасеке определено семь бактериальных филотипов, которые имеют сходство последовательностей > 97–98 % ДНК выбранного фрагмента малой субъединицы (16S рРНК) рибосомы. В кишечниках всех проанализированных пчел встречались 7 основных родов домена бактерий, относящихся к 4 типам, 5 классам, 6 порядкам и 6 семействам.

2. Не у всех пчел встречался род *Pseudomonas* (58,3 %). Также, не у всех пчел встречались еще 13 второстепенных родов, относящихся к 4 типам, 10 порядкам и 13 семействам; их доля каждого из них не превышала одного процента, а в сумме 2,1 %.

3. Наибольшей долей в ядре метагенома представлено семейство Orbaceae: род *Gilliamella* (39 %) и род *Frischella* (20 %). Вторую позицию с очень близкими долями занимают роды *Snodgrassella* и *Lactobacillus* (соответственно 13,93 и 13,02 %). В третью группу вошли роды *Bartonella* (5,76 %) и *Bifidobacterium* (2,21 %). Замыкает список род *Commensalibacter* с долей менее одного процента (0,42 %).

4. На основании анализа литературных источников установлено, что в мероконсорцию метагенома *A. mellifera* с семью родами входит минимум по одному виду. Исключение составляют род *Bifidobacterium*, он представлен тремя видами, и род *Lactobacillus* семью.

5. Таксоны домена археобактерий выявлялись далеко не у всех пчел и представлены 1 типом, 1 классом, 2 порядками, 2 семействами и 3 родами. Однако, их доля в метагеноме не превышала 0,012 %, и они выявлялись только у 41,7 % особей. Таким образом, можно считать эти бактерии случайным компонентом, не характерным для кишечного микробиома *A. mellifera*.

Благодарности. Авторы выражают признательность к б. н., зав. лабораторией молекулярной генетики, протеомики и биоинформатики ФГБУН «НИИ сельского хозяйства Крыма» С. Ф. Абдурашитову за помощь в проведении исследований и за оказание консультативной помощи.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ № 20-316-80033 «Выделение и испытание новой линии медоносной пчелы от диких пчел горно-лесной зоны Крыма».

Список литературы

- Алпатов В. В. К познанию изменчивости медоносной пчелы. VI. Пчелы Крайны и Крыма и их место среди других форм *Apis mellifera* L. // Зоологический журнал. – 1938. – Т. XVII. – Вып 3. – С. 473–481.
- Алпатов В. В. Породы медоносной пчелы. – М.: Колос, 1948. – 261 с.
- Баймиев Ан. Х., Гуменко Р. С., Матниязов Р. Т., Чубукова О. В., Баймиев Ал. Х. Современная систематика клубеньковых бактерий // Биомика. – 2013. – № 3–4. – С.136–157.
- Беклемишев В. Н. О классификации биогеоценологических симфизиологических связей // Бюллетень МОИП. Отдел биологический. – 1951. – Т. 65, Вып. 2. – С. 3–30.
- Быкова Т. О., Триसेлева Т. А., Ивашов А. В., Сафонкин А. Ф. К оценке морфо-генетического разнообразия медоносной пчелы *Apis mellifera* из горно-лесной зоны Крыма // Известия РАН. Серия биологическая / Biology Bulletin. – 2016. – Вып. 6. – С. 625–630.
- Вечерский М. В., Семенов М. В., Лисенкова А. А., Степаньков А. А. Метагеномика – новое направление в экологии // Известия РАН. Серия биологическая. – 2022. – № 1. – С. 70–81.
- Ивашов А. В., Быкова Т. О., Саттаров В. Н., Маннапов А. Г. Состояние и сохранность *Apis mellifera taurica* на территории Крыма // Пчеловодство. – 2016. – № 9. – С. 20–23.
- Раменский Л. Г. О некоторых принципиальных положениях современной геоботаники // Ботанический журнал. – 1952. – Т. 37, № 2. – С. 181–202.
- Триसेлева Т. А., Сафонкин А. Ф., Быкова Т. О., Рухкян М. Внутривидовое разнообразие и взаимоотношения между карпатской (*Apis mellifera carpathica*) и кавказской (*Apis mellifera caucasica*) расами медоносной пчелы // Известия РАН. Серия биологическая / Biology Bulletin. – 2023. – Вып. № 4. – С. 356–365.
- Anderson K. E., Carroll M. J., Sheehan T., Mott B. M., Maes P., Corby-Harris V. Hive-stored pollen of honey bees: many lines of evidence are consistent with pollen preservation, not nutrient conversion // Molecular Ecology. – 2014. – 23. – P. 5904–5917.
- Anderson K. E., Ricigliano V. A. Honey bee gut dysbiosis: A novel context of disease ecology // Current Opinion in Insect Science. – 2017. – 22. – P. 125–132.
- Anjum S. S., Abdul H. A., Muhammad K., Junaid A., Kamran A., Mohammad Bin. Li. Characterization of gut bacterial flora of *Apis mellifera* from north-west Pakistan // Saudi Journal of Biological Sciences. – 2017. – 25 p.
- Bates S. T., Berg-Lyons J. G., Caporaso W. A., Walters W. A., Knight R., Fierer N. Examining the global distribution of dominant archaeal populations in soil // The ISME Journal. – 2010. – N 5. – P. 908–917.
- Bolger F., Wentholt M. Principles and practice of selecting and motivating experts // Guidance on Expert Knowledge Elicitation in Food and Feed Safety Risk Assessment. Parma, Italy: European Food Safety Authority (EFSA). – 2014. – P. 138–162.
- Botero J., Sombolostani A. S., Cnockaert M., Peeters C., Borremans W., De Vuyst L., Vereecken N. J., Michez D., Smaghe G., Bonilla-Rosso G., Engel P., Vandamme P. A phylogenomic and comparative genomic analysis of *Commensalibacter*, a versatile insect symbiont // Anim Microbiome. – 2023. – 5 (1). – 25 p.
- Bleau N., Bouslama S., Giovenazzo P., Derome N. Dynamics of the honeybee (*Apis mellifera*) gut microbiota throughout the overwintering period in Canada // Microorganisms. – 2020. – 29. – P. 1146.
- Быкова Т. О., Krivozubov A. S., Ivashov A. V., Sattarov V. N., Safonkin A. F., Triseleva T. A., Soloviev A. M., Emirsinov I. S. Morphometric variability of wild honey bees of the mountain forest zone of Crimea as a material for breeding // E3S Web of Conferences. Topical Problems of Agriculture, Civil and Environmental Engineering (TPACEE 2020). – 2020. – 12 p.
- Caporaso J. G., Kuczynski J., Stombaugh J., Bittinger K., Bushman F. D., Costello E. K., Fierer N., Peña A. G., Goodrich J. K., Gordon J. I., Huttley G. A., Kelley S. T., Knights D., Koenig J. E., Ley R. E., Lozupone C. A., McDonald D., Muegge B. D., Pirrung M., Reeder J., Sevinsky J. R., Turnbaugh P. J., Walters W. A., Widmann J., Yatsunenko T.,

- Zaneveld J., Knight R. QIIME allows analysis of high-throughput community sequencing data // *Nat Methods*. – 2010. – 7(5). – P. 335.
- Cox-Foster D. L., Conlan S., Holmes E. C., Palacios G., Evans J. D., Moran N. A., Quan P.-L., Briese T., Hornig M., Geiser D. M., Martinson V., VanEngelsdorp D., Kalkstein A. L., Drysdale A., Hui J., Zhai J., Cui L., Hutchison S. K., Simons J. F., Egholm M., Pettis J. S., Lipkin W. I. A metagenomic survey of microbes in honey bee colony collapse disorder // *Science*. – 2007. – 318. – P. 283–287.
- Dong Z. X., Li H. Y., Chen Y. F., Wang F., Deng X. Y., Lin L. B., Zhang Q. L., Li J. L., Guo J. Colonization of the gut microbiota of honey bee (*Apis mellifera*) workers at different developmental stages // *Microbiological Research*. – 2020. – 231. – P. 126–370.
- Edwards C. G., Haag K. M., Collins M. D., Hutson R. A., Huang Y. C. *Lactobacillus kunkeei* sp. nov.: a spoilage organism associated with grape juice fermentations // *The Journal of Applied Microbiology*. – 1998. – 84. – P. 698–702.
- Engel P., Martinson V. G., Moran N. A., Moran N. A. Functional diversity within the simple gut microbiota of the honey bee // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2012. – 109. – P. 11–27.
- Engel P., Kwong W. K., and Moran N. A. *Frischella perrara* gen. nov., sp. nov., a gammaproteobacterium isolated from the gut of the honey bee, *Apis mellifera* // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. – 2013. – 63. – P. 3646–3651.
- Hilgarth M., Redwitz J., Ehrmann M. A., Vogel R. F., Jakob F. *Bombella favorum* sp. nov. and *Bombella mellum* sp. nov., two novel species isolated from the honeycombs of *Apis mellifera* // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. – 2021. – 7 p.
- Ilyasov R., Nikolenko A., Saltykova E., Kaskinova M., Gaifullina L., Kwon H.-W., Marsova V. N. Role of the gut microbiome of the honeybee // *Пчеловодство*. – 2021. – С. 18–20.
- Jiang C. S., Li C. Y., Gu C. T. The Type Strain of *Bifidobacterium indicum* Scardovi and Trovatelli 1969 (Approved Lists 1980) is ATCC 25912, not DSM 20214, and Rejection to Reclassify *Bifidobacterium coryneforme* as *Bifidobacterium indicum* // *Current Microbiology*. – 2024. – 81 (7). – 168 p.
- Jones J. C., Fruciano C., Hildebrand F., Toufalilia H., Balfour N. J., Bork P., Engel P., Ratnieks F. L. W., Hughes W. O. Gut microbiota composition is associated with environmental landscape in honey bees // *Ecology and Evolution*. – 2017. – 8. – P. 441–451.
- Kamran S., Shahid I., Baig D. N., Rizwan M., Malik K. A., Mehnaz S. Contribution of Zinc Solubilizing Bacteria in Growth Promotion and Zinc Content of Wheat // *Frontiers in Microbiology*. – 2017. – 21 (8). – P. 2593.
- Konstantinidis K. T., Tiedje J. M. Prokaryotic taxonomy and phylogeny in the genomic era: advancements and challenges ahead // *Current Opinion in Microbiology*. – 2007. – 10 (5). – P. 504–509.
- Kešnerová L., Moritz R., Engel P. *Bartonella apis* sp. nov., a honey bee gut symbiont of the class Alphaproteobacteria // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. – 2016. – 66(1). – P. 414–421.
- Kešnerová L., Emery O., Troilo M., Liberti J., Erkosar B., Engel P. Gut microbiota structure differs between honeybees in winter and summer // *The ISME Journal*. – 2020. – 14. – P. 801–814.
- Kirsten M. E., Engel P. Genomic diversity landscape of the honey bee gut microbiota // *Nature Communications*. – 2019. – Vol. 10. – 446 p.
- Kwong W., Moran, N. Cultivation and characterization of the gut symbionts of honey bees and bumble bees: description of *Snodgrassella alvi* gen. nov., sp. nov., a member of the family *Neisseriaceae* of the Betaproteobacteria, and *Gilliamella apicola* gen. nov., sp. nov., a member of *Orbaceae* fam. nov., *Orbales* ord. nov., a sister taxon to the order 'Enterobacteriales' of the Gammaproteobacteria // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. – 2012. – 63. – P. 2008–2018.
- Kwong W., Moran N. Gut microbial communities of social bees // *Nature Reviews Microbiology*. – 2016. – 14(6). – P. 374–384.
- Kwong W., Luis M., Hauke K., Kong-wah S., Eunice S., Rodolfo J., Moran N., John A. Dynamic microbiome evolution in social bees // *Science Advances*. – 2017. – P. 3.
- Kwong W. K., Steele M. I., Moran N. A. Genome Sequences of *Apibacter* spp., Gut Symbionts of Asian Honey Bees // *Genome Biology and Evolution*. – 2018. – 10. – P. 1174–1179.
- Martinson V. G., Moy J., Moran N. A. Establishment of characteristic gut bacteria during development of the honeybee worker // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2012. – 78. – P. 2830–2840.
- Martinson V. G., Magoc T., Koch H., Salzberg S. L., Moran N. A. Genomic features of a bumble bee symbiont reflect its host environment // *Applied and Environmental Microbiology*. – 2014. – 80 (13). – P. 3793–803.
- Motta E. V., Raymann K.S., Moran N. A. Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bee // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2018. – 115. – P. 10305–10310.
- Moran N. A., Hansen A. K., Powell J. E., Sabree Z. L. Distinctive gut microbiota of honey bees assessed using deep sampling from individual worker bees // *PLoS ONE*. – 2012. – P. 363–393
- Moran N. A. Genomics of the honey bee microbiome // *Current Opinion in Insect Science*. – 2015. – 10. – P. 22–28.
- Moran N. A., Ochman H., Hammer T. J. Evolutionary and ecological consequences of gut microbial communities // *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*. – 2019. – 50 (1). – P. 451–475.
- Nowak A., Szczuka D., Górczyńska A., Motyl I., Kręgiel D. Characterization of *Apis mellifera* Gastrointestinal Microbiota and Lactic Acid Bacteria for Honeybee Protection // *A Review.Cells*. – 2021. – 10 (3). – P. 701.
- Papp M., Békési L., Farkas R., Makrai L., Judge M.F., Maróti G., Tózsér D., Solymosi N. Natural diversity of the honey bee (*Apis mellifera*) gut bacteriome in various climatic and seasonal states // *PLoS One*. – 2022. – 17 (9). – P. 17.

Pino A., Benkaddour B., Inturri R., Amico P., Vaccaro S. C., Russo N., Vaccalluzzo A., Agolino G., Caggia C., Miloud H., Randazzo C. L. Characterization of *Bifidobacterium asteroides* Isolates // *Microorganisms*. – 2022. – 10 (3). – P. 655.

Praet J., Aerts M., de Brandt E., Meeus I., Smagghe G., Vandamme P. *Apibacter mensalis* sp. Nov.: A rare member of the bumblebee gut microbiota // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. – 2016. – 66. – P. 1645–1651.

Romero S., Nastasa A., Chapman A., Kwong W. K., Foster L. J. The honey bee gut microbiota: Strategies for study and characterization // *Insect Molecular Biology*. – 2019. – 28. – P. 455–472.

Shi W., Syrenne R., Sun J., Yuan J. Molecular approaches to study the insect gut symbiotic microbiota at the 'omics' age // *Insect Science*. – 2010. – 17. – P. 199–219.

Tola Y. H., Waweru J. W., Hurst G. D. D., Slippers B., Paredes J.C. Characterization of the Kenyan honey bee (*Apis mellifera*) gut microbiota: A first look at tropical and Sub-Saharan African bee associated microbiomes // *Microorganisms*. – 2020. – 8. – 1721. – P. 1–14.

Volkman M., Skiebe E., Kerrinnes T., Faber F., Lepka D., Pfeifer Y., Holland G., Bannert N., Wilharm G. *Orbus hercynius* gen. nov., sp. nov., isolated from faeces of wild boar, is most closely related to members of the orders 'Enterobacteriales' and Pasteurellales // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. – 2010. – 60 (11). – P. 2601–2605.

Wang S., Wang L., Fan X., Yu C., Feng L., Yi L. An insight into diversity and functionalities of gut microbiota in insects // *Current Microbiology*. – 2020. – 77. – P. 1976–1986.

Wang H., Liu C., Liu Z., Wan Y., Ma L., Xu B. The different dietary sugars modulate the composition of the gut microbiota in honeybee during overwintering // *BMC Microbiology*. – 2020. – 20. – P. 61.

Wolter L. A., Suenami S., Miyazaki R. *Frischella japonica* sp. nov., an anaerobic member of the Orbales in the Gammaproteobacteria, isolated from the gut of the eastern honey bee, *Apis cerana japonica* Fabricius // *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. – 2021. – 71 (3). – P. 1–6.

Zheng H., Powell J. E., Steele M.I., Dietrich C., Moran N. A. Honeybee gut microbiota promotes host weight gain via bacterial metabolism and hormonal signaling // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2017. – 114. – P. 4775–4780.

Zheng J., Wittouck S., Salvetti E., Franz C. M. A. P., Harris H. M. B., Mattarelli P., O'Toole P. W., Pot B., Vandamme P., Walter J., Watanabe K., Wuyts S., Felis G. E., Gänzle M. G., Lebeer S. A taxonomic note on the genus *Lactobacillus*: Description of 23 novel genera, emended description of the genus *Lactobacillus* Beijerinck 1901, and union of *Lactobacillaceae* and *Leuconostocaceae* // *International journal of systematic and evolutionary microbiology*. – 2020. – 70. – P. 2782–2858.

Bykova T. O., Ivashov A. V. Taxonomic Structure of Bacterial Metagenome in the Gut of Worker Honey Bees *Apis mellifera* L. in Crimea // *Ekosistemy*. 2024. Iss. 40. P. 84–97.

Shotgun sequencing was used to assess the marker capabilities of the DNA region of the gene encoding 16S rRNA of the small subunit of the bacterial ribosome. The taxonomic composition of the bacterial metagenome in the gut of honey bees (*Apis mellifera* L.) of Crimea was determined. An obligate nucleus consisting of seven main genera of the bacterial domain belonging to four phyla, five classes, six orders and six families is present in the intestines of all analyzed bees. The highest proportion of species in the bacterial metagenome core is represented by the family Orbaceae. The genera *Gilliamella* and *Frischella* have the highest number of species in this family – 39.8 and 20.4 % of species, respectively. The second position with very close shares of species is occupied by the genera *Snodgrassella* and *Lactobacillus* (1.9 and 13.0 % of species, respectively). The third group includes the genera *Bartonella* and *Bifidobacterium*, with 5.8 and 2.21 % of species, respectively. The list is closed by the genus *Commensalibacter* with less than one per cent of species (0.4 %). Based on literature data, a list of species belonging to the respective seven genera was compiled. The analysis revealed that the metagenome of *A. mellifera*, represented by the seven genera, includes at least one species from each. The exceptions are the genus *Bifidobacterium*, represented by three species, and the genus *Lactobacillus*, comprising seven species. The taxa of the Archaeobacterium domain are represented by one phylum, one class, two orders, two families and three genera. However, their proportion in the metagenome did not exceed hundredths of a per cent. Thus, these bacteria can be considered an incidental component that is not typical for the intestinal microbiome of *A. mellifera*.

Key words: *Apis mellifera*, bacteria, archaeobacteria, taxonomic composition, metagenome, Crimea.

Поступила в редакцию 18.10.24
Принята к печати 15.12.24

Первые результаты изучения населения божьих коровок (Coleoptera, Coccinellidae) биостанции Уральского федерального университета: видовой состав, влияние сроков и методов сбора

Тимченко А. И.¹, Сапронов В. В.^{1,2}, Гилев А. В.^{1,2}

¹Институт экологии растений и животных УрО РАН
Екатеринбург, Россия

²Уральский федеральный университет имени Б. Н. Ельцина
Екатеринбург, Россия

Timchenko_ai@ipae.uran.ru, v.sapronov@list.ru, gilev@ipae.uran.ru

Божьи коровки – достаточно распространённая и хорошо изученная группа. Однако состав и динамика населения кокцинеллид отдельных регионов в литературе остаются не раскрытыми в полной мере. В нашей работе мы хотим дать характеристику фауне божьих коровок Среднего Урала на примере модельной территории Биостанции Уральского федерального университета имени Б. Н. Ельцина (УрФУ) (Свердловская область, Сысертский район, окрестности п. Двуреченск). В работе изучены энтомологические коллекции, собранные в конце июня – начале июля в 2021–2023 годы в ходе учебной практики студентов 1 курса УрФУ. В 2021 году было проведено специальное исследование фауны божьих коровок окрестностей Биостанции УрФУ, результаты которого также представлены в данной работе. Приводится список видов, характерных для исследуемой территории, а также доли каждого вида в выборке. Показано, что виды *Coccinella septempunctata* и *Coccinella quatuordecimpustulata* стабильно доминируют по численности на изученной территории, кроме того *Coccinella quinquepunctata*, *Hippodamia tredecimpunctata* и *Psyllobora vigintiduopunctata* имели высокую численность в отдельные годы. Сравнение выборок разных лет и месяцев показало, что межгодовые различия в качественном составе божьих коровок превышают сезонные. Наибольшие различия выявлены между 2021 и 2022 годом, при этом 2021 год имеет большее видовое разнообразие. Видовой состав целевых и массовых сборов отличается: массовые сборы 2021 года показали больше видов, но некоторые из этих видов отсутствовали в целевых сборах. Анализ количественного состава показал, что все сборы 2021 года, включая целевой, и июня 2022 года схожи между собой. Сборы июля 2022 года, напротив, сильно отличаются, вероятно, вследствие абсолютного доминирования *P. vigintiduopunctata* в тот период.

Ключевые слова: Божьи коровки, кокцинеллиды, население, динамика численности, Средний Урал.

ВВЕДЕНИЕ

Божьи коровки (Coleoptera, Coccinellidae) – небольшого размера ярко окрашенные жуки, хорошо всем известные, всегда привлекающие внимание. Божьи коровки, как активные хищники-афидофаги, имеют большое хозяйственное значение и используются для борьбы с тлями, в том числе путем искусственного разведения и выпуска в сельхозугодья. Это достаточно хорошо изученная группа насекомых, по большинству регионов, в том числе Урала, имеются сводки (Хабибуллин и др., 2004, 2011; Пекин, 2007, 2024; Немков, 2011; Тюмасева, 2013; Балахонова, 2015; Христина, Украинский, 2016). Однако фауна и особенности биологии божьих коровок Свердловской области остаются недостаточно изученными. Первые списки кокцинеллид Среднего Урала были приведены в трудах Ю. М. Колосова (1924, 1930). Некоторые данные имеются в книге «Жуки Среднего Урала» (Горбунов, Ольшванг, 2008). Имеется также список видов, встреченных на территории Висимского заповедника (Ухова, Ольшванг, 2014). Некоторые данные о фауне божьих коровок Биостанции Уральского федерального университета опубликованы в 2023 году (Тимченко и др., 2023).

Цель нашей работы – выявить видовой состав и особенности населения божьих коровок окрестностей Биостанции Уральского федерального университета, его сезонную и межгодовую динамику на материале 3-х лет изучения, а также сравнить коллекции божьих коровок, собранных разными методами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА

Материалом для данной работы послужили сборы божьих коровок студентами Уральского федерального университета имени первого президента России Б. Н. Ельцина (УрФУ) в окрестностях Биостанции УрФУ.

Сборы божьих коровок проводились в 2021–2023 годы.

Биостанция УрФУ находится в Сысертском районе Свердловской области, недалеко от п. Двуреченск. Район расположен в подзоне южной тайги, растительный и животный мир Биостанции в целом типичен для этой подзоны.

Жуки были собраны в третьей декаде июня и в первой декаде июля отмеченных выше годов в ходе учебной практики по зоологии беспозвоночных. Задачей практики было общее знакомство с энтомофауной, поэтому кокцинеллиды не являлись целевым объектом, а были собраны вместе с другими насекомыми. Основным методом был ручной сбор насекомых. Кроме того, были использованы материалы самостоятельной работы студентов в 2021 году, где ставилась специальная задача изучить качественный и количественный состав населения кокцинеллид окрестностей Биостанции УрФУ (целевой сбор). Основным методом сбора в этой работе было кошение энтомологическим сачком. Определение собранного материала было проведено с использованием определителей З. И. Тюмасевой (2013) и В. Ф. Хабибуллина и др. (2011).

Сходство коллекций божьих коровок в разные годы и периоды сбора оценивали с помощью индекса Чекановского-Серенсена в качественной и количественной форме (Песенко, 1982). Матрицы сходства обрабатывались методами многомерного неметрического шкалирования. Все расчеты выполнены в программах Microsoft Excel 2012 и Statistica 8.0 (StatSoft Ink, 1984–2007).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты работы представлены в таблице 1 и на рисунке 1. Из таблицы видно, что в окрестностях Биостанции УрФУ встречается 27 видов кокцинеллид. Видно также, что сборы разных лет и периодов существенно различаются. Число видов в списках колеблется от 8 до 19, то есть более чем вдвое. Существенная разница видна также и в количестве собранных экземпляров. Кроме того, различаются сборы, выполненные в один год, но разными методами (табл. 1). Всего в 2021 году отмечено 25 видов божьих коровок, в 2022 году – 12 видов, в 2023 году – 16 видов.

Доминирующими видами во все годы были *Coccinella septempunctata* и *Coccinula quatuorecimpustulata* (табл. 1). В 2021 году также была высока доля *Coccinella quinquepunctata* и *Hippodamia tredecimpunctata*, а в 2023 году – *Psyllobora vigintiduopunctata* (табл. 1). Суммарно доля этих видов практически всегда превышает 60 %. Остальные виды были редки. Доли всех видов менялись от года к году и в течение сезона, при этом какой-либо однонаправленной динамики не выявлено. Так, доля *C. septempunctata* в 2021 и 2022 годах уменьшалась от июня к июлю, но в 2023 году, наоборот, возрастала.

Динамика сообщества кокцинеллид показана на рисунке. Из рисунка видно, что по качественному составу межгодовые различия являются максимальными (рис. 1). Сборы разных периодов одного года оказываются близки друг к другу – межгодовые различия заметно больше, чем сезонные. Какой-либо однонаправленной динамики не выявлено, но ее и сложно ожидать на материале 3 лет. Однако можно отметить, что июньские сборы разных лет оказываются несколько ближе друг к другу, чем июльские: население кокцинеллид в начале сезона более сходно, чем в середине лета.

Наиболее различаются между собой 2021 и 2022 годы – с наибольшим и наименьшим числом видов (табл. 1, рис. 1а). Эти различия выражены вдоль первой оси графика, которую можно интерпретировать как связанную с видовым богатством. Различия между сборами июня и июля в 2021 и 2022 годы также выражены в основном вдоль первой оси, и также связаны с уменьшением числа видов в сборах к середине лета (табл. 1, рис. 1а).

Интересно отметить, что видовой состав по результатам целевого сбора резко отличается от такового по результатам массового сбора, и оказывается более сходен с данными 2023 года. В сборах, выполненных разными методами, и с разными целями, встречается несколько разных наборов видов. При этом в массовых сборах 2021 года было отмечено больше видов, чем при целевом, однако некоторые виды в материалах массового сбора не встречались (табл. 1).

Иная картина выявляется при анализе сходства по количественному составу (рис. 1б). Все сборы 2021 года, включая и целевой сбор, оказываются весьма сходны между собой. К ним близки сборы июня 2022 года. Максимальные различия выявляются между сборами июня

Таблица 1

Видовой состав божьих коровок окрестностей Биостанции Уральского федерального университета им. Б.Н. Ельцина

Вид	Годы исследований						
	2021			2022		2023	
	июнь	июль	целевой сбор	июнь	июль	июнь	июль
<i>Adalia bipunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0,013	0,004	0,003			0,039	0,032
<i>Adonia variegata</i> (Goeze, 1777)	0,009	0,055	0,003	0,069			0,008
<i>Anatis ocellata</i> (Linnaeus, 1758)			0,003				0,008
<i>Bulea lichatschovi</i> (Hummel, 1827)	0,004						
<i>Calvia decemguttata</i> (Linnaeus, 1767)		0,004				0,026	
<i>C. quatuordecimguttata</i> (Linnaeus, 1758)	0,017	0,011		0,034	0,018		
<i>C. quindecimguttata</i> (Fabricius, 1777)		0,004					
<i>Chilocorus renipustulatus</i> (L.G. Scriba, 1791)			0,016				
<i>Coccinella hieroglyphica</i> (Linnaeus, 1758)	0,009	0,015					
<i>C. quinquepunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0,125	0,158	0,003		0,053	0,013	0,024
<i>C. septempunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0,241	0,209	0,500	0,310	0,018	0,143	0,270
<i>Coccinula quatuordecimpustulata</i> (Linnaeus, 1758)	0,138	0,253	0,367	0,241	0,737	0,156	0,262
<i>C. sinuatomagrinata</i> (Faldermann, 1837)			0,003				
<i>Exochomus quadripustulatus</i> (Linnaeus, 1758)	0,004		0,003				0,032
<i>Halyzia sedecimguttata</i> (Linnaeus, 1758)	0,017	0,004	0,005	0,034		0,065	0,016
<i>Harmonia quadripunctata</i> (Pontoppidan, 1763)	0,017	0,007		0,034		0,013	0,048
<i>Hippodamia septemmaculata</i> (De Geer, 1775)	0,052						
<i>H. tredecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0,108	0,029	0,005			0,013	
<i>Myrrha octodecimguttata</i> (Linnaeus, 1758)		0,004		0,034			
<i>Myzia oblongoguttata</i> (Linnaeus, 1758)	0,004						
<i>Platynaspis luteorubra</i> (Goeze, 1777)	0,009						
<i>Propylea quatuordecimpunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0,095	0,055	0,077	0,103	0,053	0,065	0,008
<i>Psyllobora vigintiduopunctata</i> (Linnaeus, 1758)	0,073	0,084	0,005	0,069	0,018	0,455	0,262
<i>Scymnus frontalis</i> (Fabricius, 1787)							0,008
<i>Semiadalia notata</i> (Laicharting, 1781)	0,060	0,099	0,008	0,034	0,070		0,016
<i>Subcoccinella vigintiquatuorpunctata</i> (Fabricius, 1787)	0,004	0,007					
<i>Tytthaspis lineola</i> (Linnaeus, 1761)				0,034	0,035	0,013	0,008
Число видов	19	17	14	11	8	11	14
Число экземпляров	232	273	376	29	57	77	126

Примечание к таблице. Приведены доли особей каждого вида от общего числа экземпляров в выборке

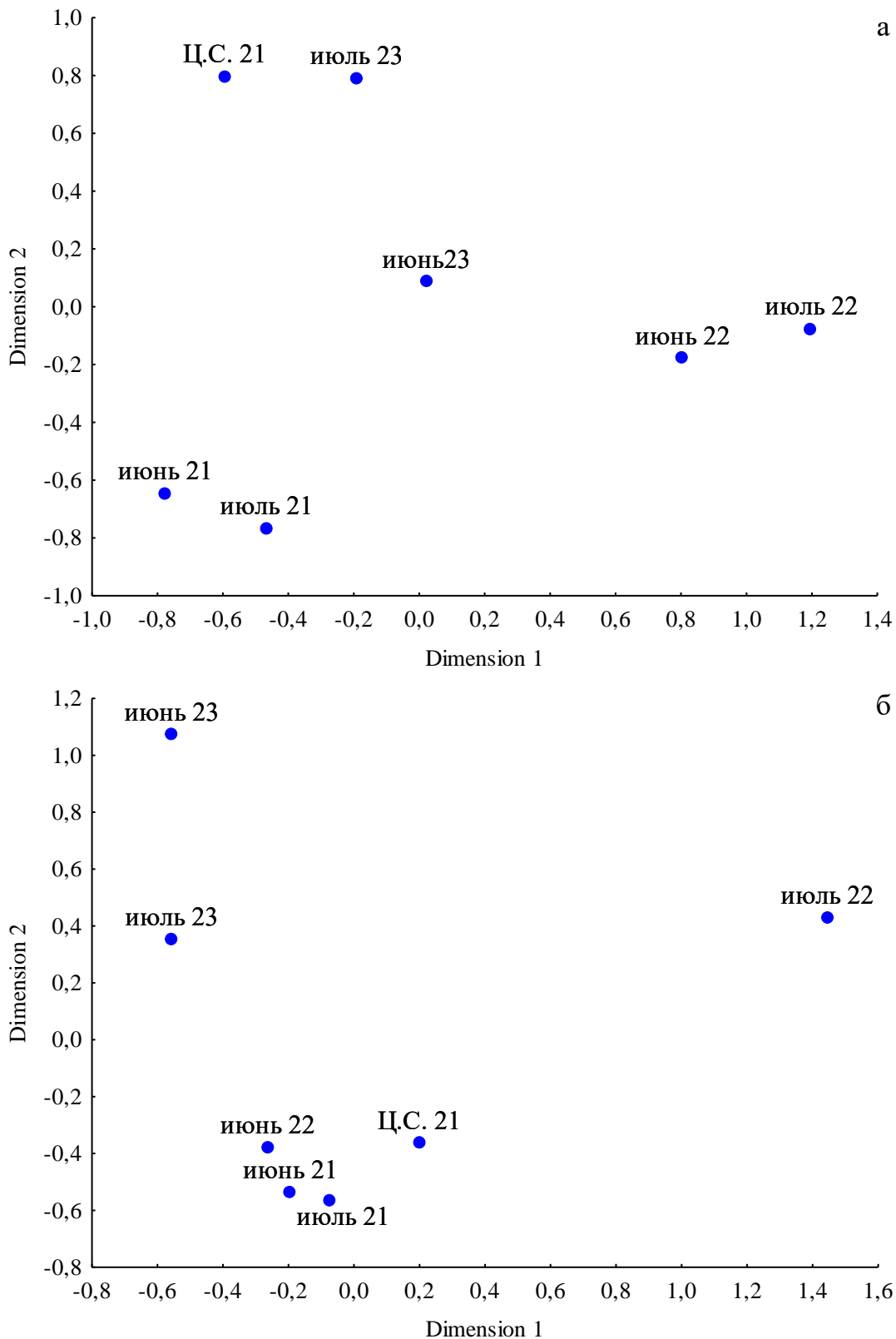


Рис. 1. Результаты анализа сезонной и межгодовой динамики качественного (а) и количественного (б) состава населения божьих коровок Биостанции УрФУ методами неметрического шкалирования («Ц.С. 21» – целевой сбор 2021 г.)

и июля 2022 года (рис. 1б). В июле 2022 году в сборах начинает резко доминировать *C. quatuordecimpustulata*, остальные же виды становятся редки (табл. 1). Сборы 2023 года обособляются по второй оси графика, и также существенно различаются между собой. В этих сборах одним из доминантов является *P. vigintiduopunctata*, которая в 2021–2022 годах была редка (табл. 1). При этом сборы июля 2023 года оказываются ближе к сборам 2021 года, что, на наш взгляд, связано со снижением доминантной роли *P. vigintiduopunctata*, и общим увеличением числа видов и количества особей, собранных в июле 2023 года (табл. 1).

Обращает на себя внимание, что в материалах целевого сбора доля доминантов *C. septempunctata* и *C. quatuordecimpustulata* почти вдвое выше, чем в массовых сборах (табл. 1). Доля остальных видов пропорционально снижается.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, коллекции кокциnellид, собранные в разное время и с использованием разных методов и подходов, достаточно сильно различаются между собой по количественному и качественному составу.

Достаточно резко выражены межгодовые различия, что может свидетельствовать о выраженной динамике численности разных видов божьих коровок. Судить о характере этой динамики на материале трех лет наблюдений пока не представляется возможным. Однако видно, что для ряда видов характерно снижение их доли в сообществе, тогда как для других – увеличение (табл. 1). Дальнейшие наблюдения покажут, устойчива ли эта тенденция, или же это периодические колебания численности.

Сезонная динамика выражена в меньшей степени, но все же сборы конца июня и начала июля различаются, иногда достаточно сильно, несмотря на близость во времени, что может быть связано с различной фенологией разных видов. При этом фенологические явления могут достаточно сильно сдвигаться, особенно в связи с современными климатическими изменениями, и время массового сбора может выпадать на несколько разные фазы фенологического цикла сообщества кокциnellид, что может вносить свой вклад в наблюдаемые различия. Этот вопрос методически важен и требует специального изучения.

Нельзя исключать и влияние субъективного фактора – массовые сборы проводились разными группами студентов, на фоне различного обилия других насекомых, и вероятность попадания разных видов божьих коровок в коллекции могла различаться. Впрочем, сборы одного и того же года более сходны между собой, чем со сборами других лет, что свидетельствует скорее о естественных различиях в населении кокциnellид разных лет.

Таким образом, для окрестностей Биостанции УрФУ выявлено 27 видов божьих коровок. Это довольно много, учитывая, что для Среднего Урала известно около 45 видов (Горбунов, Ольшванг, 2008). Для сравнения, на территории Висимского заповедника отмечено 11 видов кокциnellид (Ухова, Ольшванг, 2014), что свидетельствует, скорее, о недостаточной изученности территории.

Для коллекций, собранных разными методами, выявляются определенные различия качественного и количественного состава, что является методически значимым результатом. В целом изучение населения божьих коровок Среднего Урала представляется весьма перспективным для более глубокого понимания динамики экосистем.

Список литературы

- Балахонова В. А. Эколого-фаунистический обзор божьих коровок (Coleoptera, Coccinellidae) южного Зауралья // Вестник Курганского государственного университета. – 2015. – Вып. 7. – С. 16–19.
- Горбунов П. Ю., Ольшванг В. Н. Жуки Среднего Урала. – Екатеринбург: Сократ, 2008. – 384 с.
- Колосов Ю. М. Материалы к познанию энтомофауны Урала. VIII. Второе пополнение к спискам жуков Пермской губернии // Записки УОЛЕ. – 1924. – Т. 39. – С. 67–76.
- Колосов Ю. М. Наши современные знания о фауне насекомых Среднего Урала. V. Коровки (Coccinellidae) // Известия Уральского политехнического института. – 1930. – Т. 7. – С. 165–174.
- Немков В. А. Энтомофауна степного Приуралья (история формирования и изучения, состав, изменения, охрана). – М.: Издательский дом «Университетская книга», 2011. – 315 с.

Пекин В. П. Эколого-фаунистический обзор кокцинеллид (Coleoptera, Coccinellidae) Урала и юга западной Сибири // Вестник Челябинского университета. – 2007. – № 6. – С. 95–107.

Пекин В. П. Атлас: кокцинеллиды (Coleoptera, Coccinellidae) Урала и юга Западной Сибири. – Челябинск: Издательство Челябинского государственного университета, 2024. – 137 с.

Песенко Ю. А. Принципы и методы количественного анализа в фаунистических исследованиях. – М.: Издательство «Наука», 1982. – 288 с.

Тимченко А. И., Сапронов В. В., Гилев А. В. К фауне и экологии божьих коровок Биостанции Уральского Федерального Университета // Фауна Урала и Сибири. – 2023. – № 1. – С. 42–50.

Тюмасева З. И. Кокцинеллиды Урала и сопредельных территорий. – Челябинск: Издательство Челябинского государственного университета, 2013. – 248 с.

Ухова Н. Л., Олышванг В. Н. Беспозвоночные животные Висимского заповедника: Аннотированный список видов. – Екатеринбург: издательство «Раритет», 2014. – 284 с.

Хабибуллин В. Ф., Степанова Р. К., Хабибуллин А. Ф. Жуки-коровки (Coleoptera: Coccinellidae) Республики Башкортостан. – Уфа: РИО БашГУ, 2004. – 100 с.

Хабибуллин В. Ф., Муравицкий О. С. Атлас-определитель кокцинеллид (божьих коровок) (Coleoptera: Coccinellidae) и жуков-листоедов (Coleoptera: Chrysomelidae) Башкортостана: учеб. пособие. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2011. – 126 с.

Христина К. А., Украинский А. С. Обзор фауны божьих коровок (Coleoptera: Coccinellidae) Оренбургской области // Евразийский энтомологический журнал – 2016. – Т. 15, вып. 3. – С. 277–287.

A. I. Timchenko, V. V. Sapronov, A. V. Gilev. The Initial Findings from the Study on the Population of Ladybugs (Coleoptera, Coccinellidae) at the Biological Station of Ural Federal University: Influence of Time and Collection Methods // Ekosistemy. 2024. Iss. 40. P. 98–103.

Ladybugs represent a relatively common and extensively researched group within entomology. However, the composition and dynamics of the *Coccinellidae* population in individual regions remain not adequately documented in the existing literature. This study aims to characterize the fauna of ladybugs in the Middle Urals utilizing the Biological Station of Ural Federal University (UrFU) (located in the Sverdlovsk region, Sysertsky district, near Dvurechensk) as a model site. The research studied entomological collections gathered during the educational practices of first-year students at UrFU from late June to early July in 2021–2023. In 2021, a special study of the ladybugs fauna in the vicinity of the UrFU Biological Station was conducted, the findings of which are also presented in this article. A list of species characteristic of the study area is provided, as well as the proportion of each species in the sample. It was revealed that the species *Coccinella septempunctata* and *Coccinula quatuordecimpustulata* consistently dominated in terms of in abundance in the studied area. Additionally, *Coccinella quinquepunctata*, *Hippodamia tredecimpunctata* and *Psyllobora vigintiduopunctata* had high abundance in some years. Comparative analyses of samples collected across different years and months proved that interannual differences in the qualitative composition of ladybugs exceed seasonal ones. The most significant differences were found between 2021 and 2022, with 2021 having greater species diversity. The species composition of target and mass collections differed: the mass collections of 2021 encompassed more species, but some of these species were absent from the target collections. The analysis of the quantitative composition indicated that all collections of 2021, including the target one, as well as those from June 2022 were similar to each other. In contrast, the collections from July 2022 demonstrated considerable differences, probably due to the absolute dominance of *P. vigintiduopunctata* during that period.

Key words: Ladybugs, Coccinellidae, population, population dynamics, Middle Ural.

Поступила в редакцию 04.11.24

Принята к печати 10.12.24