



# КОНГРЕСС ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ СИМБИОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Сборник тезисов

6-11 Октября, 2025 г.  
Москва

УДК 578.8, 581.557

M34      **Материалы Конгресса исследователей симбиотических систем 6-11 октября 2025 года, г. Москва.** Москва: ИПЭЭ РАН, 2025. – 306 с. DOI: 10.61726/7635.2025.82.30.001

Редактор-составитель – Гордеев И.И.

Верстка – Чигодаева С.С.

Оформление обложки, логотип конференции – Крупенко Д.Ю.

В оформлении обложки использованы фотографии Е. Давыдова, Е. Долгих, С. Коняева, Д. Крупенко, А. Миролюбова, А. Селюка и Е. Фроловой.

## Оглавление

### ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

Особенности геномов бактериальных симбионтов.....	21
Гельфанд М.С.	
Симбиоз как оператор эволюции или исторические приключения холобионтов .....	22
Гранович А.И.	
Регуляция иммунного ответа у бобовых растений при развитии эффективного внутриклеточного симбиоза с ризобиями .....	23
Долгих Е.А., Дымо А.М., Долгих А.В., Павлова О.А., Смирнова Н.В., Шалякина А.А., Кулеш П.А., Канцузрова Е.С.	
Такие похожие и такие разные: <i>Wolbachia</i> и <i>Spiroplasma</i> , самые распространенные симбионты наземных членистоногих .....	24
Илинский Ю.Ю., Быков Р.А., Деменкова М.А., Рябини А.С.	
Серопозитивность кошачьих к различным патогенам, потенциальное влияние климатических условий и особенностей питания .....	25
Найденко С.В.	
Медиаторы взаимодействия "паразит-хозяин": некодирующие РНК и экзосомы .....	26
Пахарукова М.Ю.	
Амебоидные протисты и их эндобионты – «Троянские кони» микробного мира .....	27
Смирнов А.В.	

### БИОХИМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ СИМБИОНТОВ

Искусственная симбиотическая система <i>Eulimnogammarus verrucosus–Saccharomyces cerevisiae</i> как модель для оценки иммунитета макрохозяина .....	29
Арбузова Г.А., Назарова А.А., Борвинская Е.В., Золотовская Е.Д., Дроздова П.Б., Тимофеев М.А.	
Функционирование генов глутатион-S-трансферазы у двустворчатых моллюсков при различных типах биотического стресса на основе данных RNA-Seq .....	30
Водясова Е.А., Уппе В.А., Челебиева Э.С., Кладченко Е.С., Дмитриева Е.В.	
Исчезновение воробьев: малярия не при чем? .....	31
Ерохина М.М., Бушуев А.В., Платонова Е.В., Хайтов В.М., Мухин А.Л.	
Влияние сверлящей губки <i>Pione vastifica</i> на биомаркеры окислительного стресса у тихоокеанской устрицы <i>Magallana gigas</i> .....	32
Кладченко Е.С., Гостюхина О.Л., Лавриченко Д.С., Уппе В.А., Водясова Е.С., Челебиева Э.С.	
МикроРНК внеклеточных везикул trematod <i>Opisthorchis felineus</i> стимулируют пролиферацию холангиоцитов человека .....	33
Медведева Е.В., Лишай Е.А., Пахарукова М.Ю.	
Изучение симбиотических взаимоотношений эндемичных байкальских амфипод: механизмы иммунитета .....	34
Назарова А.А., Щапова Е.П., Тэльнес Е.В., Арбузова Г.А., Калужная О.В., Тимофеев М.А.	
Физиолого-биохимические аспекты взаимодействия инактивированных бактерий <i>Bacillus</i> spp. с иммунной системой насекомых-хозяев .....	35
Поленогова О.В., Крюкова Н.А., Клементьева Т.Н., Артемченко А.С., Слепнева И.А., Воронцова Я.Л., Глупов В.В.	
Влияние trematodной инвазии на активность протеолитических ферментов пресноводных брюхоногих моллюсков .....	36
Соколова А.С., Фролова Т.В., Агеева Е.А., Извекова Г.И.	
Сеть из 23-х нейронов управляет поведением личинки trematodы .....	37

Толстенков О.О., Подвязная И.М., Горбушин А.М.	
Анализ состояния внутриклеточного железа у ризобактерий методом мёссбауэрской спектроскопии.....	38
Тугарова А.В., Дятлова Ю.А., Владимирова А.А., Камнев А.А.	
Воздействие зараженности трематодами на молекулярные системы регуляции подвижности моллюсков рода <i>Littorina</i> .....	39
Шапако К.С., Казанская Р.Б., Лопачев А.В., Абаимов Д.А., Кочергина Н.А., Гранович А.И., Репкин Е.А.	
Влияние эндосимбионта <i>Wolbachia</i> на экспрессию генов иммунитета и восприимчивость к микозам у <i>Drosophila melanogaster</i> .....	40
Ярославцева О.Н., Косман Е.С., Илинский Ю.Ю., Крюков В.Ю.	
<b>ВЗАИМОВЫГОДНЫЕ СИМБИОЗЫ РАСТЕНИЙ С ПОЧВЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ</b>	
Амилоидные свойства поринов в свете надорганизменных отношений .....	42
Белоусов М.В., Косолапова А.О., Сулацкий М.И., Цыганова А.В., Сулацкая А.И., Штарк О.Ю., Цыганов В.Е., Волков К.В., Жуков В.А., Тихонович И.А., Нижников А.А.	
Анализ межмикробных взаимодействий в консорциумах на основе биопрепаратов ...	43
Бердышева К.Н., Косульников Ю.В., Лактионов Ю.В.	
Поиск новых сигнальных регуляторов бобово-rizobiального симбиоза у гороха посевного и люцерны усеченной .....	44
Бовин А.Д., Павлова О.А., Морозова Е.С., Каракашев Г.В., Долгих Е.А.	
Горизонтальный перенос генов в популяции <i>Sinorhizobium meliloti</i> , опосредованный phiLM21 подобными фагами .....	45
Владимирова М.Е. Румянцева М.Л.	
Нейросетевая модель для определения биоконсолидации компонентов микробно-растительных симбиотических биосистем.....	46
Воробьев Н.И., Пищик В.Н.	
Кто-кто в клубенёчке живет?" Экологические и биотехнологические аспекты использования потенциала неризобиальных эндофитов клубеньков бобовых растений .....	47
Гарипова С.Р.	
Анализ способности эндофитных бактерий к продукции ауксинов и их влияние на рост растения гороха .....	48
Гиниятуллин А.Р., Матюнина В.Д., Гарипова С.Р., Пусенкова Л.И.	
Новые регуляторы иммунного ответа, активируемые клубеньковыми бактериями при формировании симбиоза с бобовыми растениями .....	49
Дымо А.М., Козюлина П.Ю., Павлова О.А., Бовин А.Д., Канцурова Е.С., Долгих А.В., Долгих Е.А.	
Новый представитель рода <i>Pseudomonas</i> - симбионт тимьяна обыкновенного ( <i>Thymus vulgaris</i> L.) .....	50
Жаркова Е.К.	
Молекулярно-генетические основы формирования высокоэффективных симбиотических систем для современного растениеводства.....	51
Жуков В.А., Сулима А.С., Жернаков А.И., Зорин Е.А., Гордон М.Л., Кулаева О.А., Романюк Д.А., Ахтемова Г.А., Журавлев И.Ю., Тихонович И.А.	
Редактирование гена <i>PsLykX</i> как инструмент управления специфичностью симбиоза <i>Pisum sativum</i> L. с клубеньковыми бактериями.....	52
Журавлев И.Ю., Ляховец А.А., Матвеенко А.Г., Лебедева М.А., Жернаков А.И., Сулима А.С., Тихонович И.А., Жуков В.А.	

Изучение роли флавоноидов, выделяемых корнями гороха посевного ( <i>Pisum sativum</i> L.), в симбиозе с клубеньковыми бактериями .....	53
Иванов П.А., Сулима А.С., Зорин Е.А., Тихонович И.А., Жуков В.А.	
Структурная организация и особенности регуляции транскрипционного фактора NIN, определившие его участие в контроле развития ризобиального симбиоза .....	54
Канцуррова Е.С., Козюлина П.Ю., Павлова О.А., Долгих А.В., Иванова А.Н., Долгих Е.А.	
Генетическое биоразнообразие ризобиальных микросимбионтов арктических бобовых растений.....	55
Карлов Д.С.	
Роль аквапоринов в растительно-микробных взаимодействиях.....	56
Крюков А.А., Кудряшова Т.Р., Юрков А.П.	
Устойчивость микросимбионтов бобовых агрокультур (клубеньковых бактерий) к осмотическому стрессу на инокулированных семенах .....	57
Косульников Ю.В., Крюков А.А., Бердышева К.Н., Ковальчук А.И., Лактионов Ю.В.	
Гены-маркеры эффективного арбускулярно-микоризного симбиоза у <i>Medicago lupulina</i> .....	58
Кудряшова Т.Р., Крюков А.А., Юрков А.П.	
Взаимовыгодный симбиоз грибов с растениями (микориза) как основа получения здорового посадочного материала древесных культур .....	59
Ларина Г.Е., Митин Д.Н., Серая Л.Г.	
Физиолого-биохимические показатели инокулированных проростков <i>Phaseolus vulgaris</i> L. как индикаторы эффективного симбиоза с эндофитными бактериями.....	60
Маркова О.В., Гарипова С.Р., Матюнина В.Д., Чистоедова А.В.	
Микробные сообщества ризосферы байкальских эндемиков семейства Fabaceae .....	61
Маркова Ю.А., Кривенко Д.А., Хадеева Е.Р., Галивонджян А.Х., Демкина А.О., Гилеп К.А., Сутормин Д.А.	
Эволюционные последствия горизонтального переноса генов от агробактерий к растениям в природе.....	62
Матвеева Т.В., Жидкин Р.Р., Шапошников А.Д., Журбенко П.М., Богомаз О.Д.	
Изучение свойств эндофитных бактерий, перспективных для инокуляции гороха сорта Кормовой 23 .....	63
Матюнина В.Д., Гиниятуллин А.Р., Гаршина Д.Ю., Пусенкова Л.И., Гарипова С.Р.	
Влияние бактерий рода <i>Bradizobium</i> на супрессивность почвы .....	64
Никитинский Д.А., Никитинская Е.В., Игнатов А.Н.	
Разработка новых подходов к изучению влияния клубеньковых бактерий на регуляцию специфичного иммунного ответа у растений гороха посевного <i>Pisum sativum</i> L. ....	65
Павлова О.А., Долгих Е.А., Шалякина А.А., Долгих А.В., Бовин А.Д., Канцуррова Е.С., Дымо А.М.	
Изучение механизмов действия гена <i>MtCLE35</i> , нитрат-регулируемого ингибитора развития симбиоза, на транскриптомном и метаболомном уровне.....	66
Петренко В.А., Рубцова Д.Н., Лебедева М.А., Лутова Л.А.	
Бактериальные металлопептидазы в контроле развития бобово-rizobiального симбиоза на примере бактерий из комплекса видов <i>Rhizobium leguminosarum</i> (Rlc)....	67
Сальникова Е.А., Долгих А.В., Канцуррова Е.С., Дымо А.М., Бовин А.Д., Павлова О.А., Долгих Е.А.	
Роль микроРНК в подавлении иммунного ответа у бобовых растений при развитии эффективного внутриклеточного симбиоза <i>Pisum sativum</i> L. ....	68
Смирнова Н.В., Долгих А.В., Канцуррова Е.С., Долгих Е.А.	
Восстановление оксоанионов селена бактериями рода <i>Azospirillum</i> .....	69

Тугарова А.В., Владимирова А.А., Дятлова Ю.А., Камнев А.А.	
Влияние новых штаммов эндофитных бактерий, выделенных из растения фасоли, на семенную продуктивность сорта Эльза.....	70
Хужин Т.С., Гарипова С.Р., Маркова О.В., Матюнина В.Д.	
Эндофитные бактерии картофеля: перспективы практического использования для защиты растений.....	71
Чеботарь В.К., Заплаткин А.Н., Хютти А.В., Лазарев А.М., Быстрицкий А.А.	
Система секреции VI типа у комплекса видов <i>Rhizobium leguminosarum</i> ( <i>Rlc</i> ) и её влияние на формирование симбиоза с горохом <i>Pisum sativum</i> L.....	72
Шалякина А.А., Павлова О.А., Долгих Е.А., Курчак О.Н., Онищук О.П.	

## МОРСКИЕ СИМБИОТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Заражённость крабов <i>Carcinonemertes</i> sp. ( <i>Nemertea</i> ) в заливе Петра Великого (Японское море).....	74
Афанасьев К.А., Вайнутис К.С.	
<i>Prosorhynchus squamatus</i> (Digenea: Bucephalidae) — комплекс видов? .....	75
Балыко Д.Г., Гончар А.Г.	
Эндосимбиотические турбеллярии брюхоногих моллюсков.....	76
Белолюбская К.И., Кремнев Г.А., Крапивин В.А., Скобкина О.А., Савченко А.С., Крупенко Д.Ю.	
Сокрытое разнообразие симбиотических взаимодействий в группе Bryozoa: Cheilostomata .....	77
Богданов Е.А., Вишняков А.Э., Котенко О.Н., Островский А.Н.	
Разнообразие и роль животных-симбионтов в коралловых экосистемах.....	78
Бритаев Т.А.	
Клептопластия <i>Sacoglossa</i> (Mollusca, Gastropoda): уникальный пример эндосимбиоза у многоклеточных животных .....	79
Власова Д.А., Екимова И.А., Становова М.В.	
Море, полное trematod .....	80
Гончар А.Г.	
Первое обнаружение эктосимбионта голожаберных моллюсков <i>Doridicola patulus</i> (Humes, 1959) (Copepoda: Rhynchosomolgidae) в водах Вьетнама .....	81
Гришина Д.Ю., Антохина Т.И., Деарт Ю.В., Савченко А.С. <sup>1</sup>	
Трансарктические виды trematod морских рыб: они существуют .....	82
Гублер А.Г., Кремнев Г.А., Скобкина О.А., Гончар А.Г., Крупенко Д.Ю.	
Бактериальные симбионты цикlostомной мшанки <i>Patinella verrucaria</i> и роль плаценты в их вертикальном переносе.....	83
Демидова М.А., Вишняков А.Э., Котенко О.Н., Богданов Е.А., Островский А.Н.	
Плоские черви и ксенацеломорфы – симбионты глубоководных полуухордовых .....	844
Ежова О.В., Лукиных А.И., Малахов В.В.	
Маленькие слизни в этом огромном мире: обзор симбиотических отношений голожаберных моллюсков .....	85
Екимова И.А.	
Паразитизм в коралловых рифах: трофическая экология паразитических ракообразных Ascothoracida и их хозяев-кораллов из Тайваня и Малайзии.....	86
Залота А.К., Колбасов Г.А., Савченко А.С.	
Паразитические ракообразные класса Thecostraca в сообществах коралловых рифов .	87
Колбасов Г.А., Залота А.К., Савченко А.С.	
Вид или размер: каких вторых промежуточных хозяев предпочитает <i>Orthosplanchnus arcticus</i> , потенциально зоонозный вид trematod из семейства Brachycladiidae.....	88
Кремнев Г.А., Крапивин В.А., Крупенко Д.Ю.	

«Райские птички»: каких церкарий трематод можно встретить в тропиках .....	8989
Крупенко Д.Ю., Крапивин В.А., Миролюбов А.А., Лянгузова А.Д., Ефейкин Б.Д.	
Загадочные нодулы: первые данные о бактериальных симбионтах брахиопод .....	90
Кузьмина Т.В., Ратновская А.В., Селищева А.А.	
Мизостомиды (Annelida: Myzostomida) - разнообразие группы специализированных симбионтов.....	91
Мехова Е.С., Антохина Т.И.	
Малютки-долгожители: биология мирадиев <i>Zoogonoides viviparus</i> (Trematoda, Zoogonidae).....	92
Самойлова Е.В., Крупенко Д.Ю., Кремнев Г.А., Федоров Д.Д.	
Экологические аспекты распространения трансмиссивной неоплазии двустворчатых моллюсков (BTN) в поселениях мидий Тауйской губы Охотского моря .....	93
Хайтов В.М., Марченко Ю.Т., Кожин И.В., Майорова М.А., Малавенда С.С., Стрелков П.П.	
Индукция окислительного стресса у средиземноморской мидии <i>Mytilus galloprovincialis</i> паразитической микроводорослью <i>Coccotyxa parasitica</i> .....	94
Челебиева Э.С., Богачева Е.А., Лавриченко Д.С., Кухарева Т.А., Андреева А.Ю., Кладченко Е.С.	
Морфофункциональные аспекты фотосимбиоза у двух видов рода <i>Pteraeolidia</i> .....	95
Шапсюк М.С., Екимова И.А.	
Разнообразие ассоциативных взаимоотношений беспозвоночных животных и микроорганизмов в акватории Кандалакшского залива Белого моря .....	96
Щербакова П.А., Клюкина А.А., Ельченинов А.Г., Гавирова Л.А., Шестаков А.И., Ворцепнева Е.В.	

## МОРФОЛОГИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ

Реконструкция выделительной системы <i>Cyathocephalus truncatus</i> (Cestoda: <i>Spathebothriidea</i> ) .....	98
Бисерова Н.М., Кузнецова Э.Ю., Сальникова М.М.	
Инфузории, о которых молчал голый землекоп: эндосимбионты слепой кишки <i>Heterocephalus glaber</i> из Эфиопии .....	99
Громов А.Р., Воронежская Е.Е., Вечерский М.В., Комарова В.А., Землемерова Е.Д., Мартынов А.А., Лавренченко Л.А.	
Морфофункциональная характеристика дочерних спороцист трематод.....	100
Денисова С.А., Щенков С.В.	
Сравнительная характеристика морфологии половой системы самцов <i>Polymorphus phippsi</i> и <i>Profilicollis botulus</i> (Acanthocephala: Polymorphidae) .....	101
Дюмина А.В.	
Исследование мускулатуры некоторых трематод с помощью конфокальной сканирующей микроскопии.....	102
Мочалова Н.В., Теренина Н.Б., Крещенко Н.Д., Мовсесян С.О.	
Разнообразие структуры и механизмов формирования цисты цистакантов скребней	103
Никишин В.П., Давыденко Т., Скоробрехова Е.М.	
Некоторые особенности тонкого строения симбиотического гребневика <i>Coeloplana cf. bannwarthii</i> (Ctenophora: Platyctenida) .....	104
Осадченко Б.В., Деарт Ю.В.	
Тонкое строение инвазивных столонов Thompsoniidae gen. sp. (Cirripedia: Rhizocephala) из <i>Harpioquilla harpax</i> (Malacostraca: Stomatopoda) .....	105
Петрова Е.Р., Лянгузова А.Д., Арбузова Н.А., Кремнев Г.А., Миролюбов А.А.	
Нервная система ортонектид (Orthonectida) .....	106
Раппопорт А.В., Слюсарев Ю.С., Скалон Е.К., Старунов В.В.	

Анатомия и ультраструктура Y-циприса <i>Hansenocaris itoi</i> (Thecostraca: Facetotecta) .....	107
Савченко А.С., Калке П., Хёйс Р., Колбасов Г.А.	
Цистофорные хвосты церкарий надсемейства Hemiuroidea (Digenea): ультраструктура и развитие .....	108
Скобкина О.А., Кремнев Г.А., Крупенко Д.Ю.	
Сравнительная характеристика паразитических личинок глохидиев <i>Anodonta cygnea</i> и <i>Unio pictorum</i> .....	109
Старунова З.И., Старунов В.В., Шунькина К.В., Чава А.И., Зайцева О.В.	
Уникальная форонида <i>Phoronis embryolabi</i> – симбионт с симбионтами .....	110
Темерева Е.Н., Симдянов Т.Г., Соклова Ю.Я.	
Электронномикроскопические исследования симбионтов камер желудка жвачных животных .....	111
Хацаева Р.М.	
<b>ОМИКСНЫЕ ПОДХОДЫ В ИССЛЕДОВАНИЯХ СИМБИОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И МИКРОБИОМЫ СИМБИОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ</b>	
Изменение генетической карты влияет на экспрессию митохондриальных генов.....	113
Николаева О.В., Овчаренко А.С., Хорхордина П.В., Миролюбова Т.С.,	
Садовская Н.С., Скобеева В.А., Санамян Н.П., Панина Е.Г., Михайлов К.В.,	
Русин Л.Ю., Чесунов А.В., Алёшин В.В.	
Функциональная роль антибиотиков в микробных сообществах почвы и ризосфера.....	114
Васильченко А.С.	
Филогенетический анализ цистатина - потенциального иммунорегулятора из секретом и транскриптомов паразитов семейства Diphyllobothriidae - с перспективой получения противоаллергических препаратов .....	115
Васина В.М., Кутырев И.А.	
Функционирование генов глутатион-S-трансферазы у двустворчатых моллюсков при различных типах биотического стресса на основе данных RNA-Seq .....	116
Водясова Е.А., Уппе В.А., Челебиева Э.С., Кладченко Е.С., Дмитриева Е.В.	
«Зараженный голобионт» – влияет ли зараженность партенитами trematod на микробиом моллюсков рода <i>Littorina</i> .....	117
Гафарова Е.Р., Зубова Е.В., Курячий Д.С., Гранович А.И.	
Особенности РНК-интерференции у паразитических простейших и эффективность использования двуцепочечных РНК для борьбы с микроспоридиозами одомашненных насекомых.....	118
Долгих В.В., Сендерский И.В., Игнатьева А.Н., Румянцева А.С., Байазыт К.К.,	
Тимофеев С.А., Фадеев Р.Р.	
Структура сообществ бактерий, архей, грибов и простейших в микробиоте пищеварительного тракта симпатрической пары сигов <i>Coregonus lavaretus</i> .....	119
Кашинская Е.Н., Власенко П.Г., Колмогорова Т.В., Соловьев М.М.	
Микробиом симбионтов <i>Scolytus jacobsoni</i> (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): результаты морфологического и молекулярно-генетического анализа.....	120
Керчев И.А., Кабилов М.Р., Субботин С.А. , Рысс А.Ю.	
Транскриптомный ответ личинок колорадского жука к грибным инфекциям <i>Metarhizium robertsii</i> и <i>Beauveria bassiana</i> .....	121
Крюков В.Ю., Антонец М.Е., Роцкая У.Н., Кабирова Э., Слепнева И.А.,	
Ярославцева О.Н., Каманова Е., Носков Ю.А., Фишман В., Антонец Д.	
Функциональная характеристика бактериальных симбионтов центрохелидных солнечников из морских биотопов .....	122

Пошвина Д.В., Полузеров С.А., Балкин А.С., Катаев В.Я., Созонов Г.А., Герасимова Е.А.	
Сборка геномов внутриклеточных паразитических грибов на основе данных MDA .	123
Райко М.П., Насонова Е.С.	
Омиксные подходы в анализе систем trematodes – моллюски: взаимодействие микрофаллид группы «рудгмаeus» с моллюсками рода <i>Littorina</i> .....	124
Репкин Е.А., Данилов Л.Г., Полев Д.Е., Шаварда А.Л., Павлова П.А., Бабкина И.Ю., Кочергина Н.А., Шапако К.С., Ларионова А.А., Гранович А.И.	
Бактериофаги как драйверы геномной пластичности и адаптации микросимбионтов бобовых культур .....	125
Румянцева М.Л., Владимирова М.Е.	
Делециональный и структурно-функциональный полиморфизм некодирующих участков митохондриального генома птичьих шистосом рода <i>Trichobilharzia</i> (Trematoda: <i>Schistosomatidae</i> ) .....	126
Семенова С.К., Хрисанфова Г.Г.	
Функциональная аннотация транскриптома <i>Dibothriocephalus dendriticus</i> .....	127
Содномов Т.Ч., Кутырев И.А., Мазур О.Е., Дугаров Ж.Н.	
Экспрессия некодирующих РНК и мобильных элементов у trematod на разных стадиях жизненного цикла.....	128
Соловьева А.И., Габдрахманова М.С., Смольянинова А.Р.	
Методика экстракции ДНК из почвы для идентификации многоклеточных почвенных организмов.....	129
Сотников И.В., Мартыненко Н.А., Гусев Е.С.	
Медок и холодок: бактерии, ассоциированные со ставромедузами <i>Haliclystus auricula</i> в Баренцевом море.....	130
Хабибулина В.Р., Согомонян К.С., Домрачева М.М.	
Идентификация белков в зоне контакта паразита и хозяина: протеомный анализ смывов с поверхности паразита <i>Ligula intestinalis</i> L. и полости тела леща <i>Aramis brama</i> L. ....	131
Цекова А.А., Суховская И.В., Канцерова Н.П., Лысенко Л.А., Лебедева Д.И., Дроздова П.Б.	
Грибы лишайниковых симбиозов: antimикробные свойства, межвидовое и внутривидовое взаимодействие .....	132
Щербатов Р.Е., Акопджанян А.В., Панкратов Т.А.	
Омиксные технологии в исследовании биоразнообразия грибов арbusкулярной микоризы и механизмов их симбиотической эффективности .....	133
Юрков А.П., Крюков А.А., Кудряшова Т.Р., Беляева А.И.	
Сборка и аннотация генома корнеголового ракообразного <i>Polyascus polygeneus</i> .....	134
Янышина Т.М., Лянгузова А.Д., Миролюбов А.А., Гельфанд М.С.	

## **ПАРАЗИТЫ РЫБ**

Паразитарная система “copepoda <i>sphyriion lumi</i> – окунь-клювач” .....	136
Бакай Ю.И.	
Гельминтофауна производителей и молоди нерки <i>Oncorhynchus nerka</i> (Walbaum, 1792) из реки Озерная юга Камчатского края в летний период.....	137
Бирюков И.Ю., Афанасьев К.А., Вайнутис К.С.	
Разнообразие цестод рода <i>Proteocephalus</i> , паразитов лососевых рыб, в пресноводных экосистемах России .....	138
Власенко П.Г., Колмогорова Т.В., Маркевич Г.Н., Гусенков А.Н., Захаров Е.С., Суханова Л.В., Кашинская Е.Н., Соловьев М.М.	

Трехлетний паразитологический мониторинг стерляди ( <i>Acipenser ruthenus</i> ) бассейна Енисея .....	139
Воропаева Е.Л.	
Паразиты морских и проходных рыб Дальнего Востока России.....	140
Гордеев И.И., Соколов С.Г.	
Паразитофауна симпатрических форм сигов <i>Coregonus lavaretus</i> в разных частях ареала хозяина.....	141
Колмогорова Т.В., Власенко П.Г., Соловьёв М.М., Маркевич Г.Н.	
Рыбалка на паразита? .....	142
Корнийчук Ю.М.	
Распространение <i>Cyathocephalus truncatus</i> (Cestoda: Spathebothriidea) у диких и аквакультурных рыб в условиях Ижорской нагорной возвышенности .....	143
Кузнецова Э.Ю., Новиков А.А.	
Новый шаг в мониторинге паразитов леща <i>Abramis brama</i> L., 1758 озера Сямозеро (Карелия, Северо-запад России).....	144
Лебедева Д.И., Суховская И.В., Цекова А.А., Лысенко Л.А., Канцерова Н.П., Зайцев Д.О., Милянчук Н.П., Иешко Е.П.	
Макропаразиты некоторых промысловых видов рыб Белого моря .....	145
Логвиненко А.Д., Гордеев И.И.	
Проникновение чужеродных видов паразитов с инвазивным видом рыб – <i>Lepomis gibbosus</i> L., 1758 (Actinopterygii: Centrarchidae) в экосистемы внутренних водоемов Крыма.....	146
Полевой Д.М., Полякова Т.А., Пронькина Н.В.	
Эколого-биологические основы формирования паразито-хозяинных отношений цестоды <i>Grillotia erinaceus</i> (Trypanorhyncha: Lacistorhynchidae) в Черном море .....	147
Полякова Т.А.	
Огненные черви <i>Eurythoe</i> sp. (Amphinomida, Amphinomidae) в морских аквариумах московского зоопарка.....	148
Романова Т.Н., Русина Л.Ю.	
Компонентные сообщества паразитов рыб в водоемах Московской области.....	149
Романова Н.Н., Головина Н.А., Сехина О.В., Вишторская А.А., Головин П.П.	
Паразитофауна рыб Кубано-Приазовской низменности и Среднерусской равнины .	150
Стрелкова О.В., Иваненко А.М., Гордеев И.И.	
Опыт применения препарата «Эмикон» при эргазилёзе сиговых рыб .....	151
Тараданов И.Н., Капустина Я.А.	
Дополнение к методике гельминтологических исследований рыб: влияние концентрации этанола на морфологию гельминтов при кратковременной фиксации (7-суточный эксперимент).....	152
Фролов Е.В., Новокрещеных С.В.	

## **ПАРАЗИТЫ НАЗЕМНЫХ ЖИВОТНЫХ**

Обзор нематод надсемейства Strongyoidea из Центрально-Черноземного заповедника и других территорий региона .....	154
Власов Е.А.	
Нематодно-цестодный гельминтофаунистический комплекс реликтового песца ( <i>Vulpes lagopus beringensis</i> ) на территории острова Беринга .....	155
Давыдова О.Е., Шиенок А.Н.	
Детекция патогенов в популяциях тростниковой жабы <i>Rhinella marina</i> и ее паразитического клеща <i>Amblyomma dissimile</i> на острове Маргарита, Венесуэла .....	156
Иброгимова П.К., Литвинчук С.Н., Анисимов Н.В., Свинин А.О.	

Морфологические и молекулярные данные для некоторых видов из рода <i>Plagiorchis</i> Lühe, 1899 (Trematoda: Plagiorchiidae Lühe, 1901) юга Дальнего Востока России .....	157
Израильская А.В., Горобейко У.В., Щелканов М.Ю., Беспрозванных В.В.	
Паразитические черви пресмыкающихся (Reptilia) Среднего Поволжья .....	158
Кириллов А.А., Кириллова Н.Ю.	
Биоразнообразие гельминтов летучих мышей (Chiroptera) Среднего Поволжья .....	159
Кириллова Н.Ю., Кириллов А.А.	
Разнообразие цестод родов <i>Catenotaenia</i> и <i>Spasskijela</i> в Российской Федерации и сопредельных странах .....	160
Кривопалов А.В., Шиллинг А.Е.	
Случай ангиробиотического выживания зоопаразитической нематоды <i>Marshallagia marshalli</i> .....	161
Логинова О.А., Футоран П.А.	
Таксономическая структура циклофиллидных цестод (Cyclophyllidea van Beneden in Braun, 1900) .....	162
Мовсесян С.О., Никогосян М.А., Петросян Р.А., Теренина Н.Б., Воронин М.В., Варданян М.В.	
Моделирование ареала <i>Dirofilaria repens</i> в России .....	163
Прилепский Ю.О., Коняев С.В.	
Особенности гельмintoфауны бесхвостых земноводных (Anura) Центрального Черноземья .....	164
Равковская Е.А., Пятова М.В., Лада Г.А.	
Особенности гельмintoфауногенеза в сообществе мышевидных грызунов на заповедных территориях (Воронежский заповедник) .....	165
Ромашов Б.В., Ромашова Н.Б.	
Экологические особенности взаимоотношений в сообществе кишечных гельминтов мелких млекопитающих .....	166
Ромашова Н.Б., Ромашов Б.В.	

## СИМБИОНТЫ НАСЕКОМЫХ

Динамика структуры сообщества кишечной микробиоты непарного шелкопряда <i>Lymantria dispar</i> под влиянием энтомопатогенного вируса цитоплазматического полиэдроза сибирского шелкопряда DsCPV-1 .....	168
Аржанова Е.Л., Харlamова Д.Д., Колосов А.В., Субботина А.О., Павлушкин С.В., Ершов Н.И., Мартемьянов В.В.	
Энтеробактерии усиливают развитие <i>Bacillus thuringiensis</i> -инфекции колорадского жука, изменяя pH в среднем отделе кишечника личинок .....	169
Артемченко А.С., Клементьева Т.Н., Глупов В.В., Поленогова О.В	
Некоторые особенности ухода черемухово-злаковой тли <i>Rhopalosiphum padi</i> (L.) от неблагоприятных условий .....	170
Верещагина А.Б., Гандрабур Е.С., Клименко Н.С., Еремеев Ф.К.	
Характеристика гостальной специфичности и структуры популяций черемухово-злаковой тли <i>Rhopalosiphum padi</i> (L.) из различных географических зон .....	171
Гандрабур Е.С., Клименко Н.С., Алпатьева Н.В., Верещагина А.Б., Еремеев Ф.К.	
Целевая липидомика личинок колорадского жука при микозе, вызванном <i>Metarhizium robertsii</i> .....	172
Ганина М.Д., Крюков В.Ю., Тюрин М.В., Морозов С.В.	
Двойная запись эволюции: роль <i>Wolbachia</i> в формировании мито-ядерного несоответствия у широкоареальных насекомых в Палеарктике .....	173
Джелали П.А., Намярова А.А.	

Инфицирование личинок колорадского жука неспецифическими микроспоридиями <i>Nosema bombycis</i> , <i>Tubulinosema loxostegi</i> и <i>Paranosema locustae</i> ..... 174
Игнатьева А.Н., Биницкая Н.В., Румянцева А.С., Конончук А.Г.
Изменение активности протеолитических ферментов кишечника как один из механизмов адаптации <i>G. mellonella</i> к антибиотику ..... 175
Клементьева Т.Н., Крюкова Н.А., Корниенко Д.С., Глупов В.В., Поленогова О.В.
Восприимчивость тутовой огневки <i>Glyphodes pyloalis</i> (Lepidoptera: Pyralidae) к микроспоридиям рода <i>Nosema</i> ..... 176
Конончук А.Г., Малыш С.М., Нуржонов Ф.А., Токарев Ю.С.
Сходство и различия пяти видов микроспоридий рода <i>Nosema</i> из чешуекрылых насекомых ..... 177
Малыш С.М., Симакова А.В., Соколова Ю.Я., Сендерский И.В., Киреева Д.С., Токарев Ю.С.
Инфекции колорадского жука во время зимовки в природных условиях ..... 178
Носков Ю.А., Ярославцева О.Н., Косман Е.С., Крюкова Н.А., Дайтхе Е.А., Морозова В.В., Поленогова О.В., Воронцова Я.Л., Слепнева И.А., Крюков В.Ю.
Изучение восприимчивости рыжего муравья <i>Myrmica rubra</i> к микроспоридиям ..... 179
Румянцева А.С., Игнатьева А.Н., Конончук А.Г.
Адаптация <i>Drosophila melanogaster</i> к стрессовым условиям: вклад микробиоты ..... 180
Савченкова О.В., Яковлева Е.Ю.
Сравнительная оценка способности циповируса DsCPV-1 к полиздрообразованию у основного и альтернативных хозяев ..... 181
Субботина А.О., Аханаев Ю.Б., Колесов А.В., Кондрашов Б.С., Мельникова С.С., Белоусова И.А., Аржанова Е.Л., Мартемьянов В.В.
Новые подходы для тестирования молекул, имеющих потенциал в создании рекомбинантных вирусов насекомых с повышенной вирулентностью ..... 182
Тимофеев С.А., Шухалова А.Г., Сендерский И.В., Долгих В.В.
Вольбахия и её роль в биологии и эволюции бабочек-желтушек рода <i>Colias</i> (Lepidoptera, Pieridae) ..... 183
Шаповал Г.Н., Шаповал Н.А., Яковлев Р.В., Крупицкий А.В.
Штамм wMelPlus бактерии <i>Wolbachia</i> , внутриклеточный симбионт насекомых, повышающий устойчивость хозяина к высоким температурам ..... 184
Шишкина О.Д., Коренская А.Е., Дерюженко М.А., Андреенкова О.В., Шацкая Н.В., Васильев Г.В., Бобровских М.А., Клименко А.И., Грунтенко Н.Е.

## **СИМБИОТИЧЕСКИЕ ПРОТИСТЫ И ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЕ СИМБИОНТЫ**

<i>Angomonas septentrionalis</i> – северный представитель симбионт-содержащих трипаносоматид ..... 186
Ганюкова А.И., Малышева М.Н., Костыгов А.Ю., Фролов А.О.
Первый случай обнаружения трипаносом видового комплекса « <i>Trypanosoma theileri</i> » в республике Якутия (Саха) ..... 187
Ганюкова А.И., Мачахтыров Г.Н <sup>2</sup> , Мачахтырова В.А., Белоконь М.Е., Бондарев А.А., Фролов А.О.
Метабаркодинговый подход к изучению разнообразия ранних голомикот в донных отложениях водоемов городских парков Китая ..... 188
Глотова А.А., Смирнов А.В., Мазей Ю.А., Мазей Н.Г., Цыганов А.Н., Насонова Е.С.
Видовое и генетическое разнообразие гемоспоридий (Apicomplexa, Haemosporida) воробыинообразных птиц острова Колгуев (Баренцево море) ..... 189
Жукова Е.А., Лощагина Ю.А., Платонова Е.В.

Метабаркодинговое исследование водных и почвенных экосистем: разнообразие патогенных и свободноживущих раковинных амеб Rhogostomidae (Cercozoa) .....	190
Загумённая О.Н., Кирюхин Б.А., Загумённый Д.Г., Герасимова Е.А., Тихоненков Д.В.	
Qui quaerit, reperit: история о том, как метагеномный анализ помог обнаружить новый случай гиперпаразитизма микроспоридий в маритах <i>Derogenes varicus</i> .....	191
Камышацкая О.Г., Скобкина О.А., Кулишкин Н.С., Кремнев Г.А., Насонова Е.С.	
Паразиты водорослей: таксономические и эволюционные аспекты .....	192
Карпов С.А.	
Болеют ли цестоды микоплазмой? Бактериальные спутники <i>Bothriocephalus scorpii</i>	193
Колесников И.А., Бисерова Н.М.	
Разнообразие и эволюция грегарин линии Dactylophoroidea - специфических паразитов губоногих многоножек.....	194
Кудрявкина А.И., Миролюбова Т.С., Михайлов К.В., Алёшин В.В., Симдянов Т.Г.	
Гликозилирование белков как потенциальный молекулярный маркер устойчивости инфузорий рода <i>Paramecium</i> к заражению симбиотическими микроорганизмами....	195
Максимова М.С., Шапошникова Т.Г., Сабанеева Е.В.	
Исследование ретротранспозонов в геномах микроспоридий и их хозяев .....	196
Маркелова А.Ю., Райко М.П., Насонова Е.С.	
Грегарины линии Actinocephaloidea, паразитирующие в губоногих многоножках ....	197
Мартынникова Е.П., Симдянов Т.Г., Кудрявкина А.И., Михайлов К.В., Миролюбова Т.С., Алёшин В.В.	
Грегарины симифил.....	198
Миролюбова Т.С., Кудрявкина А.И., Михайлов К.В., Алёшин В.В.	
Проблемы идентификации компетентных переносчиков гемоспоридий птиц (Apicomplexa: Haemosporida).....	199
Платонова Е.В., Ерохина М.М., Давыдов А.А., Мухин А.Л.	
Гемопаразиты рода <i>Hepatozoon</i> в популяции озерных лягушек Нижегородской области .....	200
Плотникова В.Д., Романова Е.Б.	
Механизмы прикрепления и питания паразитических динофлагеллят (Dinoflagellata)	201
.....	
Прилуцкий М.Е., Паскерова Г.Г.	
Биоразнообразие симбионтов инфузорий рода <i>Paramecium</i> .....	202
Сабанеева Е.В.	
Скрининг микроспоридий в геномах членистоногих, кольчатых червей и их паразитов в базе данных RefSeq.....	203
Самусик В.А., Полузеров С.А., Райко М.П., Насонова Е.С.	
Тонкое строение и развитие микроспоридии, паразитирующей в раках-отшельниках <i>Pagurus pubescens</i> из Белого моря .....	204
Скобкина О.А., Камышацкая О.Г., Миролюбов А.А., Фролова Е.В., Миролюбова Т.С., Шкляр А.А., Кремнев Г.А., Лянгузова А.Д., Илюткин С.А., Алешин В.В., Насонова Е.С.	
Сезонные изменения экспрессии генов иммунного ответа у <i>Mytilus galloprovincialis</i> при инвазии <i>Nematopsis legeri</i> .....	205
Уппе В.А., Водясова Е.А., Серебрякова М.К., Токмакова А.С.	
Паразиты паразитов: мечниковеллиды (Opisthokonta: Microsporidia) Белого и Баренцева морей .....	206
Фролова Е.В., Райко М.П., Паскерова Г.Г., Смирнов А.В., Насонова Е.С.	
Молекулярные последствия коинфекций инфузорий бактериями <i>Holospora</i> : транскриптомный подход .....	207

Чекрыгин С.А., Сабанеева Е.В., Лебедева Н.А.	
Дальневосточный "убийца" амёб <i>Nucleophaga amitiana</i> — филогенетическое положение, развитие и хозяинная специфичность.....	208
Шкляр А.А., Насонова Е.С.	
<b>СИСТЕМАТИКА СИМБИОТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ</b>	
Биологические, молекулярные и эволюционные аспекты биоразнообразия трематод кефалевых рыб Восточно-Азиатского региона .....	210
Атопкин Д.М.	
Молекулярные маркеры - ключ к разгадке скрытого разнообразия инфузорий-эндобионтов ( <i>Litostomatea</i> , <i>Trichostomatia</i> ).....	211
Белоконь М.Е., Сказина М.А., Чистякова Л.В., Корнилова О.А.	
Оофильные водоросли, выделенные из икры амфибий культуральными методами ..	212
Болдина О.Н.	
Реконструкция филогении эхиостоматидных трематод лысухи .....	213
Власенков С.А.	
Молекулярно-генетическая идентификация и филогеография <i>Schistosoma mansoni</i> из Гвинеи.....	214
Водясова Е.А., Прохорова Д.А., Уппе В.А., Богачева Е.А., Челебиева Э.С., Дмитриева Е.В.	
Плеоморфизм как стратегия адаптации симбиотических систем: поиск генетических и экологических детерминант выбора способа размножения у лишайников рода <i>Umbilicaria</i> .....	215
Давыдов Е.А.	
Структура и таксономическое разнообразие микробиомов центрохелидных солнечников ( <i>Haptista</i> : <i>Centroplasthelida</i> ) .....	216
Герасимова Е.А., Балкин А.С., Созонов Г.А., Пошвина Д.В., Катаев В.Я., Чаган Т.А., Загуменный Д.Г., Калеева Е.И., Тихоненков Д.В.	
Изменчивость, видовое разнообразие и систематика трематод <i>Asymphylodorinae</i> Szidat, 1943 .....	217
Иващенко Я.И., Атопкин Д.М.	
Внешность бывает обманчива: интегративное исследование видового комплекса <i>Zelentia pustulata</i> ( <i>Gastropoda</i> : <i>Nudibranchia</i> ) .....	218
Индриксон Я.В., Екимова И.А., Щепетов Д.М.	
Моногеней рода <i>Heterocotyle</i> ( <i>Monocotylidae</i> ) скатов сем. <i>Dasyatidae</i> , обитающих у побережья Вьетнама .....	219
Канаева А.В., Дмитриева Е.В., Во Т.Х.	
Новые находки <i>Doropygus humilis</i> Stock, 1967 ( <i>Copepoda</i> : <i>Notodelphyidae</i> ), ассоциированных с <i>Styela clava</i> ( <i>Asciidiacea</i> ) из Японского моря .....	220
Кобелецкая М.А., Савченко А.С., Темерева Е.Н.	
Новый вид водяных клещей подсемейства <i>Najadicolinae</i> из Приморского .....	221
Кузнецова И.А., Кондаков А.В., Чапурина Ю.Е.	
Первые генетические данные о <i>Ergasilus sieboldi</i> (Nordmann 1832) ( <i>Copepoda</i> : <i>Poecilostomatoida</i> ) Европейского Севера России.....	222
Кузнецова И.А., Кондаков А.В., Ануфриев В.В.	
Что смывы с морских арктических губок могут рассказать о разнообразии веслоногих раков ( <i>Copepoda</i> )? .....	223
Новиков А.А., Морозов Г.С.	
Паразиты морских нематод .....	224
Русин Л.Ю., Хорхордина П.В., Миролюбова Т.С., Паскерова Г.Г., Скобеева В.А., Голышев С.А., Михайлов К.В., Чесунов А.В., Алёшин В.В.	

Жгутиковая Nucleariida - необычный паразит водоросли Белого моря .....	225
Селюк А.О., Вишняков А.Э., Драчко Д.О., Карпов С.А.	
Филогения нематоды <i>Trophomera</i> sp. (Nematoda: Benthimermithidae), ассоциированной с двустворчатым моллюском <i>Vesicomysa</i> cf. <i>sergeevi</i> (Bivalvia: Vesicomyidae: Vesicomysinae) из хадали Японского желоба .....	226
Тимченко А.И., Портнова Д.А., Симакова У.В., Белов Д.А., Крылова Е.М.	
Вариабельность ITS-региона скребней <i>Polymorphus phippsi</i> (Acanthocephala: Polymorphidae) .....	227
Унтилова А.А., Дюмина А.В., Галактионов К.В.	
Результаты молекулярной идентификации трематод пресноводных брюхоногих моллюсков .....	228
Хребтова И.С., Аксёнова О.В., Кондаков А.В.	
Необходимость изучения генетического разнообразия микробионтов и фотобионтов охраняемых видов лишайников: постановка проблемы и первые результаты .....	229
Яковченко Л.С., Давыдов Е.А.	
<b>ФИТОПАТОГЕНЫ</b>	
Биоконтроль <i>Botrytis</i> sp., продуцирующего абсцизовую кислоту, с помощью <i>Rhodococcus</i> sp., метаболизирующего абсцизовую кислоту, на подсолнечнике и томатах.....	231
Белимов А.А., Шапошников А.И., Азарова Т.С., Юзихин О.С., Вишневская Н.А., Шахназарова В.Ю., Лебединский М.И., Бородина Е.В., Гоголев Ю.В.	
Бактериальные гены вирусного происхождения вовлечены в процессы бактериальной колонизации растений.....	232
Бурыгин Г.Л., Чекмарева А.А., Рогов Д.А.	
Взаимодействие инвазивных фитопатогенных бактерий с микробиотой местных растений-хозяев .....	233
Дренова Н.В., Дудченко И.П., Агаркова Н.А., Трошкова А.А., Лаврентьева К.А., Кондратьев М.О., Джалилов Ф.С.	
Эндофитные грибы, вызывающие гниль плодов яблони под воздействием <i>Erwinia amylovora</i> .....	234
Дудченко И.П., Дренова Н.В., Лаврентьева К.А., Смирнов А.Н.	
Антибиотическая активность <i>Xenorhabdus</i> spp. (Enterobacteriaceae) симбионтов энтомопатогенных нематод (Rhabditida: Steinernematidae) против различных патогенов на картофеле.....	235
Котова З.П., Данилов Л.Г.	
Эндофитная <i>Beauveria bassiana</i> усиливает рост и устойчивость растений картофеля к возбудителю черной парши <i>Rhizoctonia solani</i> .....	236
Крюкова Н.А., Толоконникова Х.П., Тюрин М.В., Томилова О.Г.	
Влияние нанокомпозита Se на бактерию <i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>sepedonicus</i> , возбудителя кольцевой гнили картофеля.....	237
Мориц А.С., Граскова И.А.	
Симбиотические отношения возбудителя розового бактериоза зерна пшеницы и ржи <i>Erwinia rhipontici</i> (Millard 1924) Burkholder 1948 с другими представителями бактериальной микробиоты зерновых культур .....	238
Панченко К.В., Ерёмина У.В., Доморацкая Д.А., Словарева О.Ю.	
Мониторинг цистообразующих нематод (Tylenchida: Heteroderidae) на полях КФХ на территории Центрально-Европейской части России .....	239
Хусаинов Р.В.	
Конвергентная эволюция фитопаразитов .....	240
Шестеперов А.А., Щитков Г.С.	

## **ЭВОЛЮЦИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ**

Ранние стадии эволюции паразитизма у нематод: нейрональные основы поведенческой пластичности у <i>Alloionema appendiculatum</i> .....	242
Белолюбская К.И., Иванова Е.С., Апарина М.С., Мазакина В.В., Тетерина А.А., Спиридовон С.Э., Ефейкин Б.Д., Ивашкин Е.Г.	
Умные цестоды: что мы знаем и хотели бы узнать про ленточных червей .....	243
Бисерова Н.М.	
Морфология и развитие симбионтов: новые горизонты визуализации с использованием конфокальной микроскопии .....	244
Воронежская Е.Е.	
Эволюция трематод семейства <i>Renicolidae</i> – из эстуариев в море.....	245
Галактионов К.В., Соловьева А.И.	
Эволюция бактериофагов, поражающих <i>Xanthomonas campestris</i> .....	246
Игнатов А.Н.	
Будни манипуляторов: инвазивные столоны <i>Rhizocephala</i> как двигатель их эволюции	247
Лянгузова А.Д., Арбузова Н.А., Крупенко Д.Ю., Петруняк А.М., Лапшин Н.Е., Миролюбов А.А.	
Как придумать мышечную систему заново: эволюционная пластичность корнеголовых ракообразных .....	248
Миролюбов А.А., Арбузова Н.А., Крупенко Д.Ю., Кремнев Г.А., Лянгузова А.Д.	
Ранняя эволюция микроспоридий.....	249
Насонова Е.С., Райко М.П., Фролова Е.В., Камышацкая О.Г., Шкляр А.А., Глотова А.А., Бондаренко Н.И., Смирнов А.В.	
Стратегии паразитизма у споровиков ( <i>Sporozoa</i> , <i>Apicomplexa</i> ): пересмотр традиционных представлений об эволюции группы .....	250
Паскерова Г.Г.	
Амебоидные протисты и их эндобионты – «Троянские кони» микробного мира .....	251
Смирнов А.В.	
<i>Microphallus pseudopygmaeus</i> ( <i>Microphallidae</i> , <i>Digenea</i> ) — единый вид и уникальная модель для изучения специфичности трематод .....	252
Соколова А.И., Гончар А.Г., Галактионов К.В.	

## **ЭКОЛОГИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

Роль крабов - мутуалистов в повышении устойчивости кораллов к хищникам .....	254
Бритаев Т.А., Дудка К.К., Лищенко Ф.В., Мартин Д.С.	
Паразито-хозяйственные отношения эктоформы олигохеты <i>Chaetogaster</i> sp. и моллюсков <i>Radix auricularia</i> в озёрах юга Приморского края.....	255
Вайнутис К.С., Бирюков И.Ю., Фоминов В.С., Афанасьев К.А., Буховец А.А.	
Отражение различий между двумя заливами оз. Байкал в уровне сходства между паразитофаунами симпатрических видов хариусов.....	256
Дугаров Ж.Н., Бурдуковская Т.Г., Сондуева Л.Д., Балданова Д.Р., Батуева М.Д., Хамнуева Т.Р., Жепхолова О.Б., Толочко Л.В., Шестериков Д.С., Коновалова В.В.	
Различия в зараженности массовыми видами симбионтов литоральных и сублиторальных мидий в Белом море .....	257
Крапивин В.А.	
Экологическая безопасность применения энтомопатогенного вируса DsCPV-1 для нецелевых беспозвоночных .....	258
Мартемьянов В.В., Белевич О.Э., Юрченко Ю.А., Харламова Д.Д., Шаталова Е.И., Субботина А.О., Игнатьева А.Н., Токарев Ю.С.	

Различные по происхождению субпопуляции краба <i>Trapezia septata</i> на ранних стадиях заселения кораллов <i>Pocillopora verrucosa</i> .....	259
Меркин В.А., Бритаев Т.А., Буяновский А.И.	
Сезонные изменения группировок партенит двух видов трематод рода <i>Himasthla</i> Dietz, 1909 (сем. <i>Himasthlidae</i> ) в литоральных моллюсках Белого моря.....	260
Николаев К.Е., Левакин И.А., Галактионов К.В.	
Влияние гемоспоридий на территориальное поведение воробынных птиц.....	261
Опаев А.С., Бабыкина М.С., Домбровская Я.В., Мещерягина С.Г., Шишкина Е.М.	
Нематоды <i>Tarantobelus</i> spp. ( <i>Panagrolaimomorpha</i> ; <i>Panagrolaimidae</i> ) – новые паразиты, использовавшие подходящие преадаптации в условиях, созданных человеком? .....	262
Осипов Д.В.	
Лишайниковые симбиозы: организмы или экосистемы? .....	263
Панкратов Т.А.	
Влияние участков отмершей поверхности кораллов на состав и структуру сообщества эктосимбионтов. ....	264
Петроченко Р.А., Лищенко Ф.В., Бритаев Т.А.	
Концепция симбиотической организации наземных экосистем.....	265
Савинов А.Б.	
Вклад клептопластии в массовое размножение миксотрофных протистов, вызывающих вредоносные «цветения» в прибрежных акваториях разнотипных водоемов .....	266
Скарлато С.О.	
Изотопные подписи в системе паразит-хозяин на примере <i>Triaenophorus crassus</i> ( <i>Cestoda</i> ) и симпатрической пары сигов ( <i>Coregonus lavaretus</i> ) Телецкого озера (Республика Алтай) .....	267
Соловьев М.М., Власенко П.Г., Колмогорова Т.В., Кашинская Е.Н.	
Паразиты у Полярного круга: как сезон и температура определяют эмиссию церкарий в Белом море?.....	268
Федоров Д.Д., Левакин И.А., Аристов Д.А., Галактионов К.В.	
Случайность или закономерность: почему <i>Littorina littorea</i> , заражённые спороцистами <i>Microphallus rugtmaeus</i> ( <i>Trematoda</i> : <i>Microphallidae</i> ), покидают раковину?.....	269
Федоров Д.Д., Левакин И.А., Кремнев Г.А., Галактионов К.В.	

## ЭКТОПАРАЗИТЫ, ПАРАЗИТОИДЫ

На пути к стабильному лабораторному выращиванию паразитоида <i>Telenomus tetratomus</i> .....	271
Агеев А.А., Головина А.Н., Шестопалова А.В.	
Вирус клещевого энцефалита влияет на жизненный цикл иксодовых клещей (Acarina, Ixodidae).....	272
Белова О.А., Полиенко А.Е., Карганова Г.Г.	
Сезонная и суточная активность <i>Ixodes persulcatus</i> (Acari, Ixodidae) в Карелии (Россия) .....	273
Бугмырин С.В., Беспятова Л.А., Горбач В.В., Александров А.А., Лютикова Н.А.	
<i>Ischnopsyllus variabilis</i> (Wagner, 1898) как вектор и паразит рукокрылых на северо-западе России .....	274
Висконтене А.	
Опыт изучения гаплотипического разнообразия <i>Cyamus ceti</i> (Amphipoda), эктопаразитов серого кита ( <i>Eschrichtius robustus</i> ).....	275
Логинова О.А., Белокобыльский И.Ф., Спиридонов С.Э.	
Особенности биологии паразита мышевидных грызунов <i>Ctenophthalmus uncinatus</i> ( <i>Siphonaptera</i> : <i>Hystrichopsyllidae</i> ) в Карелии.....	276
Лютикова Н.А., Беспятова Л.А., Лебедева Д.И., Бугмырин С.В.	

К вопросу о хост-специфичности блох (Siphonaptera: Ischnopsyllidae) рукокрылых Поволжья .....	277
Малявина М.С., Смирнов Д.Г.	
Функциональная и численная реакция паразитоида <i>Latibulus argiolus</i> (Rossi, 1790) (Hymenoptera, Ichneumonidae) в поселениях хозяина .....	278
Русин А.И., Русина Л.Ю.	
Видовая специфика популяционных систем ос-полистов (Hymenoptera: Vespidae): роль хищников и паразитов.....	279
Русина Л.Ю., Русин А.И.	
Паразитирование иксодовых клещей на маралах ( <i>Cervus elaphus sibiricus</i> ) Республики Алтай в зимний период .....	280
Сайтов В.Р., Бахтушкина А.И.	
Влияние температуры на соотношение полов наездника <i>Habrobracon hebetor</i> в лабораторных условиях .....	281
Уtkузова А.М., Игнатьева А.Н., Черткова Е.А., Токарев Ю.С.	
<b>НЕМАТОЛОГИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ</b>	
Биология и анатомия семейства Cyartonomatidae.....	283
Бушкова А.К., Чесунов А.В., Миролюбова Т.С., Алёшин В.В.	
Formation of soil nematode communities under the influence of the invasive plant <i>Heracleum sosnowskyi</i> : the role of abiotic environmental factors .....	284
Kalinkina D.S., Sushchuk A.A., Matveeva E.M.	
Микробиом симбионтов <i>Scolytus jacobsoni</i> (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): результаты морфологического и молекулярно-генетического анализа.....	285
Керчев И.А., Кабилов М.Р., Субботин С.А., Рысс А.Ю.	
Особенности оценки устойчивости диких видов картофеля к <i>Ditylenchus destructor</i> Thorne, 1945 .....	286
Колесников М.В., Приданников М.В., Лиманцева Л.А., Чалая Н.А.	
О восприимчивости лиственницы сибирской ( <i>Larix sibirica</i> ) к сосновой стволовой нематоде <i>Bursaphelenchus xylophilus</i> восприимчивости лиственницы сибирской ( <i>Larix sibirica</i> ) к сосновой стволовой нематоде .....	287
Кулинич О.А., Арбузова Е.Н., Козырева Н.И., Чалкин А.А., Кажан Е.А., Щуковская А.Г.	
Diversity and structure of soil nematode communities in small-leaved forests of the Republic of Karelia.....	286
Matveeva E.M., Sushchuk A.A., Kalinkina D.S.	
Нематоды озера Севан .....	289
Мокиевский В.О., Гарлицкая Л.А., Азовский А.И.	
Новая находка нематод из ---отряда Plectida в кишечнике глубоководных эхиурид (Annelida: Echiura) из Курило-Камчатского желоба .....	290
Мордухович В.В., Зограф Ю.К., Семенченко А.А.	
Изменение генетической карты влияет на экспрессию митохондриальных генов.....	291
Николаева О.В., Овчаренко А.С., Хорхордина П.В., Миролюбова Т.С., Садовская Н.С., Скобеева В.А., Санамян Н.П., Панина Е.Г., Михайлов К.В., Русин Л.Ю., Чесунов А.В., Алёшин В.В.	
Фитопаразитические нематоды на растениях рода <i>Ficus</i> L., 1753 при контейнерном выращивании в Московской области .....	292
Плыкина М.С., Буторина Н.Н., Пустов Н.Ю., Иванов А.В., Чернышев Д.В.	
Исследования симбиотических связей группы видов <i>Bursaphelenchus hofmanni</i> .....	293
Полянина К.С., Рысс А.Ю.	

Первое нахождение паразитической нематоды рода <i>Trophomera</i> Rubtzov et Platonova, 1974 (Benthimermithidae) в ультраабиссальном двустворчатом моллюске <i>Vesicomya cf. sergeevi</i> Filatova, 1971.....	294
Портнова Д.А., Тимченко А.И., Чесунов А.В., Крылова Е.М., Белов Д.А.	
Вероятность возникновения устойчивости к нематицидам у фитопаразитических нематод .....	295
Пустов Н.Ю.	
Проверка <i>in vitro</i> гипотезы трехстороннего симбиоза в трансмиссивной инфекции древесных растений на примере связи нематод и грибов в энтомохорном микробиоме .....	296
Рысс А.Ю.	
Тесты специфичности стволовых нематод из ясения к гриbam от жуков переносчиков .....	297
Рысс А.Ю., Кази И.М., Селиюк А.О., Селиховкин А.В.	
Новые находки энтомохорных и нематохорных грибов в фитопатогенной симбиотической триаде «стволовая нематода - гриб - жук переносчик» .....	298
Селиюк А.О., Керчев И.А., Казарцев И.А., Кулинич О.А., Рысс А.Ю.	
Наблюдения за распределением личинок энтомопатогенных нематод в почве смешанного леса .....	299
Спиридонов С.Э., Миронова Е.И.	
Формирование сообществ почвенных нематод под воздействием инвазивного вида <i>Heracleum sosnowskyi</i> : роль абиотических факторов среды ..... <b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>	
Калинкина Д.С., Сущук А.А., Матвеева Е.М.	
Филогения нематоды <i>Trophomera</i> sp. (Nematoda: Benthimerithidae), ассоциированной с двустворчатым моллюском <i>Vesicomya cf. sergeevi</i> (Bivalvia: Vesicomyidae: Vesicomynae) из хадали Японского желоба .....	301
Тимченко А.И., Портнова Д.А., Симакова У.В., Белов Д.А., Крылова Е.М.	
Биоразнообразия морских свободноживущих нематод южной части полуострова Камчатка .....	302
Фадеева Н.П., Керемшева Е.В.	
Исходный материал для селекции на устойчивость к стеблевой нематоде ( <i>Ditylenchus destructor</i> Thorne) среди диких видов картофеля. ....	303
Чалая Н.А., Колесников М.В., Лиманцева Л.А., Приданников М.В.	
Изучение возможности переноса нематод рода <i>Bursaphelenchus</i> вершинным короедом <i>Ips acuminatus</i> .....	304
Чалкин А.А., Козырева Н.И., Арбузова Е.Н., Кулинич О.А.	
Конвергентная эволюция фитопаразитов .....	305
Шестеперов А.А., Щитков Г.С.	

# **ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ**

## **Особенности геномов бактериальных симбионтов**

*Гельфанд М.С.*

Сколковский институт науки и технологий, Центр молекулярной и клеточной биологии, Москва, Россия  
e-mail: mikhail.gelfand@gmail.com

Переход от свободноживущего к симбиотическому образу жизни существенно изменяет давление отбора на бактериальный геном. Уменьшение эффективного размера популяции приводит к ослаблению очищающего отбора, что проявляется, в частности, в увеличении количества мобильных элементов и частоты геномных перестроек. Стабильная среда ведет к уменьшению размера генома. С другой стороны, появляются механизмы взаимодействия с хозяином, в частности, специфические гены и фазовые вариации.

*Работа частично поддержана грантом РНФ № 24-14-00276.*

## **Specific genome features of bacterial symbionts**

*Gelfand M.S.*

Skoltech, Center for Molecular and Cellular Biology, Moscow, Russia  
e-mail: mikhail.gelfand@gmail.com

# **Симбиоз как оператор эволюции или исторические приключения холобионтов**

*Гранович А.И.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: a.granovich@spbu.ru

В последние годы произошли значительные изменения в оценке ведущих механизмов, обеспечивающих эволюционные преобразования живого. На смену общепринятым ранее взглядам на эволюцию как стохастический процесс – череду случайных событий, растянутую на сотни миллионов лет, приходят представления, оценивающие эволюционный процесс как закономерную самосборку и самоорганизацию живых систем.

В этом новом эволюционном контексте в качестве важного механизма, одного из ведущих «операторов» эволюции, выступают симбиотические отношения организмов и в целом феномен симбиоза. Симбиоз лежит в основе формирования огромного разнообразия живых систем. Характер взаимодействия их компонентов (организмов) демонстрирует весь спектр – от взаимодополняющего необходимые функции друг друга (мутиалистические отношения) – до систем паразит-хозяин, в которых взаимодействие симбионта (в данном случае паразита) со своим хозяином заканчивается для последнего гибелью.

Понимание всеобщего характера и эволюционной значимости симбиотических отношений подчеркивается концепцией холобиона, согласно которой любой организм с системной точки зрения представляет собой неразрывное единство «хозяина» и ассоциированных с ним симбионтов. Свойства целого (холобиона) зависят не только от характеристик организма-носителя симбионтов, но также, и в значительной степени от состава симбионтов и характера взаимодействий в этой системе. Свойства каждого из нас как холобиона определяются характером взаимодействий с симбиотической микрофлорой и микрофауной нас сопровождающей. С генетической точки зрения такое расширенное системное понимание дает возможность говорить о «хологеноме» всего комплекса организмов.

Наконец, не будем забывать о, вероятно, глобальной роли симбиоза в становлении крупных эволюционных ветвей живой природы. Именно симбиотические взаимодействия организмов в настоящее время признаются лежащими в основе появления на планете эукариотных организмов, и далее формирования наиболее «успешных» и сложно устроенных.

## **Symbiosis as an operator of evolution or historical adventures of holobionts**

*Granovitch A.I.*

Saint-Petersburg State University, St.-Petersburg, Russia  
e-mail: a.granovich@spbu.ru

## **Регуляция иммунного ответа у бобовых растений при развитии эффективного внутриклеточного симбиоза с ризобиями**

*Долгих Е.А.\* Дымо А.М., Долгих А.В., Павлова О.А., Смирнова Н.В., Шалыкина А.А.,  
Кулеш П.А., Канцуррова Е.С.*

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии,  
Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: ea.dolgikh@arriam.ru

Одним из важных аспектов взаимодействия растений-хозяев и ризобий при развитии внутриклеточных симбиозов является способность микросимбионтов подавлять защитные системы растений и преодолевать их устойчивость к инфекции. Механизмы регуляции симбионтами иммунного ответа у растений остаются малоизученными, но недавние исследования выявили способность сигнальных молекул ризобий Nod-факторов подавлять иммунный ответ у широкого круга растений. В результате проведенных нами исследований были получены доказательства того, что подавление иммунного ответа Nod-факторами может быть связано с их влиянием на стабильность паттерн-распознающих рецепторов (ПРР) и активность регуляторов сигнальных путей — МАР-киназ. С помощью транскриптомного и протеомного подходов были идентифицированы несколько регуляторов стабильности ПРР и МАР-киназ, таких как убиквитинлигазы и фосфатазы, активируемые Nod-факторами. Кроме того, у растений гороха посевного и люцерны усеченной был идентифицирован новый рецептор, участвующий в подавлении иммунитета при развитии симбиоза. Известно, что в подавлении иммунного ответа у растений могут участвовать и эффекторы микроорганизмов, которые доставляются в клетки растений-хозяев с помощью 4, 5 и 6 систем секреции. Однако преимущественно влияние эффекторов изучали для патогенов, а о способности симбиотических микроорганизмов секретировать эффекторы и влиять на развитие защитных реакций у растений-хозяев известно мало. У растений в защите от эффекторов участвуют особые рецепторы класса NLR, активирующие иммунный ответ, что препятствует проникновению микроорганизма в ткани хозяина. Оказалось, что ризобии могут влиять на содержание NLR-рецепторов через регуляцию уровня микроРНК1507 и восприимчивость растений к инфекции. Нами было изучено разнообразие NLR-рецепторов у растений гороха и их роль в регуляции ризобиальной инфекции. Это позволило выявить ключевые гены *NLR*, подавление которых поможет повысить эффективность бобово-rizobiальной симбиоза.

*Проект поддержан грантом РНФ № 24-16-00180.*

## **Regulation of the immune response in legumes during the development of effective intracellular symbiosis with rhizobia**

*Dolgikh E.A.\* Dymo A.M., Dolgikh A.V., Pavlova O.A., Smirnova N.V., Shalyakina A.A.,  
Kulesh P.A., Kantsurova E.S.*

All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, State Petersburg, Russia

\* e-mail: ea.dolgikh@arriam.ru

## **Такие похожие и такие разные: *Wolbachia* и *Spiroplasma*, самые распространенные симбионты наземных членистоногих**

*Илинский Ю.Ю., Быков Р.А., Деменкова М.А., Рябинин А.С.*

Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

Симбиозы бактерий и наземных членистоногих долгое время были скрыты от глаз исследователей. С развитием технологий микроскопического анализа, а затем и молекулярных методов исследований обнаружилось большое разнообразие таких симбиотических систем. Среди симбиотических бактерий есть мутуалисты, паразиты и манипуляторы. Они происходят из разных филетических линий бактерий. Многие из них наследуются в ряду поколений хозяина по материнской линии. Некоторые бактерии ограничены определенными таксономическими группами видов-хозяев и тогда филогения бактерии и хозяина совпадает. Другие широко распространены у членистоногих и даже встречаются у других групп организмов, что указывает на их способность относительно легко менять макрохозяина.

В фокусе пленарного доклада - симбиотические бактерии *Spiroplasma* и *Wolbachia*, по всей видимости, самые широко распространенные симбионты наземных членистоногих. Их особенности биологии обнаруживают много совпадений и сходств. Они могут выступать и как паразиты, и как мутуалисты. Эти симбионты влияют на репродукцию и физиологию своих видов-хозяев, спасают хозяина от действия негативных факторов, но могут являться и обузой. Поддержание таких симбиотических ассоциаций зачастую реализуется через «компромисс» – в одних условиях симбионт выступает как паразит, только потребляет ресурсы хозяина или даже явно снижает его приспособленность, в других условиях явно проявляет мутуалистические черты, и отбор поддерживает в популяции индивидов, обладающих бактерией. На уровне эволюционной шкалы *Spiroplasma* и *Wolbachia* выглядят как высокомобильные симбионты, они часто переносятся между разными видами-хозяевами. Возникновение новых ассоциаций, очевидно, имеет важное значение для популяций видов и экологии сообществ, но в большинстве случаев оказывается незаметным для исследователя.

Сходства биологии *Spiroplasma* и *Wolbachia* носят конвергентный характер. Симбионты происходят из разных филетических линий, обладают разным генным/метаболическим репертуаром, отличаются по уровню дивергенции, локализацией у хозяина и т.д.

Современные данные, стратегии достижения эволюционного успеха *Spiroplasma* и *Wolbachia*, актуальные вопросы и перспективы исследований симбионтов, а также оригинальные результаты исследований этих вопросов мы представим в нашем докладе.

*Работа поддержанна грантом РНФ № 24-24-0378.*

## **So similar and so different: *Wolbachia* and *Spiroplasma*, the most common symbionts of terrestrial arthropods**

*Ilinsky Y.Y., Bykov R.A., Demenkova M.A., Ryabinin A.S.*

Institute of Cytology and Genetics Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk, Russia

## **Серопозитивность кошачьих к различным патогенам, потенциальное влияние климатических условий и особенностей питания**

*Найденко С.В.*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н Северцова РАН, Москва, Россия  
e-mail: snaidenko@mail.ru

Среди диких кошачьих России большая часть внесена в Красную книгу Российской Федерации и нуждаются в охране. Выявление лимитирующих факторов для существования их популяций важнейшая задача, и патогены являются одним из таких факторов. Мы провели сравнение серопозитивности четырех видов диких кошачьих, обитающих в Приморье (амурский тигр, дальневосточный леопард, дальневосточный кот) и Забайкалье (манул) к 16 различным патогенам (включая вирусов, бактерии, протистов, грибов), сопоставив их с таковой у свободноживущих домашних кошек в этом регионе. Материал был собран в 2008-2023 гг. Анализ присутствия антител к различным патогенам оценивали с использованием иммуноферментного анализа и иммунохроматографии. Были выявлены достоверные различия в серопозитивности к токсоплазме у кошачьих Приморья и Забайкалья. Во влажном климате Приморья серопозитивность к этому патогену у кошачьих была втрое выше чем в сухом Забайкалье с малоснежными и морозными зимами. Низкий уровень серопозитивности к токсоплазме был характерен как для манула, так и для свободноживущих домашних кошек этого региона. У кошачьих Дальнего Востока были выявлены межвидовые различия в серопозитивности, связанные как с восприимчивостью к различным патогенам (крайне низкая серопозитивность к вирусу чумы плотоядных у дальневосточного лесного кота и свободноживущих кошек по сравнению с тигром и леопардом), а также с питанием (серопозитивность к вирусу болезни Ауэски была связана с долей кабана в питании крупных кошек). Оценка серопозитивности позволяет предположить высокую смертность отдельных видов кошачьих от ряда патогенов, в частности манула от вируса панлейкопении и калицивируса. Взаимодействие с домашними животными (кошками и собаками) может увеличивать вероятность заражения различными патогенами, и оценка путей их трансфера требует дальнейших исследований.

## **Serum prevalence of felids to different pathogens, potential effect of climatic traits and prey preferences**

*Naidenko S.V.*

Severtsov Institute of Ecology and Evolution of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
e-mail: snaidenko@mail.ru

## **Медиаторы взаимодействия "паразит-хозяин": некодирующие РНК и экзосомы**

*Пахарукова М.Ю.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

e-mail: pmaria@yandex.ru

Взаимодействия хозяина и паразита лежат в основе биологии инфекционных заболеваний, определяя исход патогенеза инфекций. Взрослая стадия развития trematod *Opisthorchis felineus* паразитирует в печени млекопитающих, включая человека. Описторхоз сопровождается хроническим воспалением, холангитом и неоплазией эпителия желчных протоков, которые при неблагоприятных условиях могут привести к холангiocарциноме – раку желчных протоков.

Экзосомы – секреции везикулярные структуры, вовлечены в процессы транспорта белков и нуклеиновых кислот, регуляцию иммунного ответа, могут переносить как белки, так и регуляторные РНК. Экзосомы, выделяемые описторхом, могут быть основным компонентом взаимоотношений «паразит-хозяин» и опосредовать многочисленные эффекты гельминтов, приводя к различным последствиям, включая неоплазию эпителия желчных протоков.

С помощью комплекса компьютерных и молекулярно-биологических методов и подходов функциональной геномики выполнено структурно-функциональное исследование экзосом возбудителя описторхоза, идентифицирован протеомный состав, а также состав малых некодирующих РНК. В работе обсуждается консервативность структурных компонентов экзосом, потенциальные гены мишени микроРНК в геноме человека. Функциональность РНК-интерференции на уровне «паразит-хозяин» проверена как с помощью анализа дифференциально-экспрессирующихся генов на клетках человека, так и с помощью репортерных конструкций. Биорегуляторные свойства экзосом trematod в отношении клеток окончательного хозяина исследованы как на клеточных культурах клеток человека, так и на моделях *in vivo* по заживлению ран мышей, в том числе при диабете 1-го и 2-го типа.

Результаты важны как с точки зрения механизмов адаптации биохимических процессов паразитов к существованию в организме хозяина, позволяющие системе «паразит-хозяин» устойчиво существовать длительное время; так и возможности диагностики на основе циркулирующих нуклеиновых кислот.

*Работа поддержана грантом РНФ № 24-44-00048.*

## **Mediators of host–parasite communication in food-borne trematodes: non-coding RNA and exosomes**

*Pakharukova M.Y.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

e-mail: pmaria@yandex.ru

## **Амебоидные протисты и их эндобионты – «Троянские кони» микробного мира**

*Смирнов А.В.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: alexey.smirnov@spbu.ru

Представители супергруппы Amoebozoa известны как хозяева многочисленных и разнообразных эндобионтов, начиная от водорослей и заканчивая бактериями и вирусами (в том числе – сложными консорциумами из нескольких видов бактерий, глубоко интегрированными в энергетический обмен клетки у архамеб). При этом клетки многих видов амеб могут служить векторами для находящихся в них организмов, которые сохраняются в цитоплазме клеток и в цистах амеб в течение многих лет и в любой момент могут быть выделены клеткой во внешнюю среду. Так, из примерно 500 видов бактерий, потенциально патогенных для человека, более 100 способны сохраняться и размножаться внутри клеток амеб. В клетках амеб обнаруживается широкий спектр вирусов, начиная от гигантского мимивируса (который, как оказалось, может участвовать в развитии пневмонии) и до хорошо известных вирусов, в том числе – патогенных для человека – таких как вирус Коксаки, способный выживать в трофозоитах *Acanthamoeba castellanii* и сохранять инфекционность не менее 6 месяцев. Из-за этого амеб часто называют «троянскими конями» в мире микробов.

Результаты филогенетических реконструкций показывают, что упомянутый уже мимивирус приобрел многие гены путем горизонтального переноса генов либо от своих амебных хозяев, либо от бактерий, паразитирующих на тех же хозяевах. Это дает основание утверждать, что амебы являются своего рода “плавильными котлами” эволюции, в которых в результате рекомбинации могут возникать различные новые организмы, включая гигантские вирусы со сложным репертуаром генов различного происхождения. Подобный перенос генов приводит к взаимной адаптации и видоизменению генома и амеб, и населяющих их бактерий и вирусов. Какие новые сочетания генов «сварятся» в этом кotle, насколько они могут быть опасны, как предотвратить их потенциальное распространение – пока совершенно неясно.

*Поддержано РНФ № 24-44-00096 (экспериментальные данные) и СПбГУ № 128785052 (подходы к анализу метагеномных данных).*

## **Amoeboid protists and their endobionts – the “Trojan horses” of the microbial world**

*Smirnov A.V.*

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia  
e-mail: alexey.smirnov@spbu.ru

# **БИОХИМИЯ И ФИЗИОЛОГИЯ СИМБИОНТОВ**

# **Искусственная симбиотическая система *Eulimnogammarus verrucosus*– *Saccharomyces cerevisiae* как модель для оценки иммунитета макрохозяина**

*Арбузова Г.А.\* Назарова А.А., Борвинская Е.В., Золотовская Е.Д.,  
Дроздова П.Б., Тимофеев М.А.*

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия  
\* e-mail: halina.arbuzova@gmail.com

Озеро Байкал представляет собой уникальную пресноводную систему, в которой обитает множество эндемичных видов организмов. Одной из наиболее таксономически богатых групп являются амфиоподы (Crustacea, Amphipoda). На данный момент механизмы иммунной защиты амфиопод изучены недостаточно, а стандартизованные методики комплексной оценки иммунной системы байкальских амфиопод отсутствуют. Данная работа направлена на разработку подобного метода.

Для оценки работы иммунной системы амфиопод проводили инъектирование животных вида *Eulimnogammarus verrucosus* дрожжами *Saccharomyces cerevisiae* в качестве грибного патогена. Данный вид дрожжей является незнакомым иммунитету байкальских амфиопод, и его применение в искусственной симбиотической системе позволит в дальнейшем провести сравнение между иммунным ответом на нехарактерные и часто встречающиеся в организмах байкальских амфиопод виды эндопаразитов. Клеточный иммунитет ракообразных заключается в совместной работе двух типов клеток гемолимфы – плазмоцитов и гранулоцитов, а гуморальный иммунный ответ представлен фенолоксидазным каскадом.

В работе показано, что инъектирование животных различными концентрациями клеток дрожжей снижало выживаемость экспериментальных животных, и чем выше была доза антигена, тем быстрее достигалось LT50. Двигательная активность зараженных амфиопод достоверно снижалась, в отдельных случаях оказываясь практически нулевой. Инъекции клеток дрожжей приводили к резкому падению числа гемоцитов в токе гемолимфы, при этом не меняя соотношения разных типов клеток. Мы также отметили дозозависимый эффект введения патогена на активность фенолоксидазы.

Разработанную модельную систему можно применять для оценки иммунитета байкальских амфиопод. Дальнейшая работа будет заключаться в анализе иммунного ответа животных на инъектирование различными концентрациями характерных для данного вида эндопаразитов.

## **Artificial symbiotic system *Eulimnogammarus verrucosus*–*Saccharomyces cerevisiae* as a model for assessment of the macrohost immunity**

*Arbuzova G.A.\* Nazarova A.A., Borvinskaya E.V., Zolotovskaya E.D.,*

*Drozdova P.B., Timofeyev M.A.*

Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

\* e-mail: halina.arbuzova@gmail.com

## **Функционирование генов глутатион-S-трансферазы у двустворчатых моллюсков при различных типах биотического стресса на основе данных RNA-Seq**

*Водясова Е.А.\*<sup>1</sup>, Уппе В.А., Челебиева Э.С., Кладченко Е.С., Дмитриева Е.В.*

ФИЦ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
\* e-mail: eavodiasova@gmail.com

Глутатион-S-трансфераза (GST) является одним из ключевых ферментов в метаболизме ксенобиотиков и выполняет защитную функцию организма. GST относится к мультигенным белковым семействам, при этом число генов, кодирующих фермент сильно варьирует у различных видов. В настоящее время выделяется около десяти основных классов GST у животных, которые, вероятно, имеют специфические профили экспрессии в зависимости от типа стресс-фактора. При симбиотических отношениях организмы постоянно сталкиваются с чужеродными продуктами метаболизма, что в результате активизирует механизмы детоксикации и в том числе семейство GST. Целью данного исследования было изучить экспрессию генов GST у нескольких видов двустворчатых моллюсков при различных типах биотического стресса на основе данных RNA-Seq для понимания функционирования данного белкового семейства. В качестве объектов исследования были выбраны промысловые двустворчатые моллюски *Magallana gigas* (Thunberg, 1793), *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) и *Mytilus coruscus* (A. Gould, 1861). Для этих трех видов проведен анализ влияния бактериального заражения *Vibrio* spp. (PRJNA515169, PRJNA466718, PRJNA1114687) для межвидового сравнения функционирования генов GST. Также были проведены исследования по влиянию внутриклеточного паразита *Nematopsis* sp. на *M. galloprovincialis* и эпифиона *Pione vastifica* (Hancock, 1849) на *M. gigas* для сравнения различных типов биотического стресса.

На основе данных RNA-Seq было подтверждено предположение о зависимости профиля экспрессии от стрессового фактора. Показано, что в случаях внутриклеточного воздействия реагируют гены *GST-alpha* и *GST-mareg.P. vastifica*, которая поражает раковину устрицы и является экзо-симбионтом, приводит к активизации других классов глутатион-S-трансферазы. Вероятно, дупликации GST в геноме являются одним из механизмов адаптационной эволюции, приводящей к возникновению эффективной системы клеточной детоксикации.

*Исследование выполнено в рамках госзадания № 124022400148-4.*

## **RNA-Seq reveals the glutathione S-transferase genes expression pattern under biotic stress in Bivalvia**

*Vodiasova E.A.\*<sup>1</sup>, Uppe V.A., Chelebieva E.S., Kladchenko E.S., Dmitrieva E.  
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia  
\* e-mail: eavodiasova@gmail.com*

## **Исчезновение воробьев: малярия не при чем?**

*Ерохина М.М.\*<sup>1</sup>, Бушуев А.В.<sup>2</sup>, Платонова Е.В.<sup>1</sup>, Хайтов В.М.<sup>3</sup>, Мухин А.Л.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Биологическая станция “Рыбачий”, Рыбачий, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: erokhina.marija@yandex.ru

Домовый воробей (*Passer domesticus*) — один из самых распространённых и легко узнаваемых видов птиц. Однако в последние десятилетия во многих регионах мира наблюдается сокращение численности его городских популяций. Среди возможных причин этого явления часто упоминается малярия — инфекционное заболевание, вызываемое паразитами рода *Plasmodium* (Haemosporida). Известно, что эта инфекция оказывает значительное негативное воздействие на птиц как в острой, так и в хронической фазе, однако физиологические последствия первичного заражения домовых воробьев изучены недостаточно. В рамках нашего исследования мы в течение 40 дней отслеживали уровень паразитемии (долю заражённых эритроцитов), а также измеряли уровень метаболизма покоя (RMR) у молодых воробьев, инфицированных малярийным плазмодием *Plasmodium relictum* линии SGS1, сравнивая со здоровыми особями. Дополнительно мы оценивали величину повторяемости RMR и массы тела как показателей стабильности физиологического состояния организма. В отличие от предыдущих исследований, в которых около половины экспериментальных особей демонстрировали полную резистентность к инфицированию SGS1, в нашей работе только у одного воробья паразит не обнаруживался в крови на протяжении всего эксперимента. У большинства птиц максимальный уровень паразитемии не превышал 1%, однако у отдельных особей он был существенно выше, достигая в одном случае 40%. Средняя повторяемость RMR и высокая повторяемость массы тела у инфицированных птиц свидетельствуют о том, что в стабильных лабораторных условиях их физиологическое состояние только частично определялось малярийной инфекцией. Кроме того, низкая смертность и общая низкая паразитемия свидетельствуют о значительной устойчивости молодых домовых воробьев к этому виду малярии. В эксперименте мы использовали самую распространённую линию малярии, однако ее вирулентность в разных популяциях воробьев может значительно отличаться.

## **Disappearance of sparrows: malaria not to blame?**

*Erokhina M.M.\*<sup>1</sup>, Bushuev A.V.<sup>2</sup>, Platonova E.V.<sup>1</sup>, Haitov V.M.<sup>3</sup>, Mukhin A.L.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute RAS, Biological Station "Rybachi", Rybachy, Russia

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>3</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: erokhina.marija@yandex.ru

## **Влияние сверлящей губки *Pione vastifica* на биомаркеры окислительного стресса у тихоокеанской устрицы *Magallana gigas***

*Кладченко Е.С.\**, *Гостюхина О.Л.*, *Лавриченко Д.С.*, *Унне В.А.*,  
*Водясова Е.С.*, *Челебиева Э.С.*

Институт биологии южных морей имени А. О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
\* e-mail: kladchenko\_ekaterina@bk.ru

*Magallana gigas* (Thunberg, 1793) составляет около 80 % мирового производства устриц благодаря высоким темпам роста и устойчивости к патогенам. Однако её культивирование осложняется биотическими стрессорами, включая обрастание и биоэрозию раковины.

В настоящей работе мы проанализировали ключевые параметры, характеризующие окислительно-восстановительный баланс и общее функциональное состояние, в двух основных тканях, ответственных за восстановление раковины — гемоцитах и мантии у *M. gigas*, пораженных *Pione vastifica* (Hancock, 1849). Мы также предположили, что более существенные изменения происходят преимущественно в центральной части мантии (контактирующей с повреждённой раковиной) по сравнению с периферической частью мантии (не контактирующая с поражёнными участками). Для проверки этого предположения мы сравнили показатели окислительно-восстановительного баланса и общей стресс-реакции между центральной (M1) и периферической (M2) частями мантии *M. gigas*.

Наши результаты показали, что в зоне прямого контакта мантии с поврежденными участками раковины (M1) наблюдается выраженные окислительные повреждения, о чём свидетельствует повышенное уровня окислительного повреждения липидов, на фоне снижения активности каталазы и супероксиддисмутазы, что указывает на локальное истощение антиоксидантной системы. Снижение экспрессии белков теплового стресса hsp70 и hsp90 во всех тканях свидетельствует об ослаблении механизмов адаптации к повреждению раковины сверлящей губкой. В гемолимфе зафиксировано повышение уровня продукции активных форм кислорода при отсутствии изменения мембранныго потенциала митохондрий, что так же указывает на высокий уровень окислительной нагрузки. Таким образом, наши результаты демонстрируют, что повреждение раковины *M. gigas* сверлящей губкой может приводить к развитию окислительного стресса ключевых тканей, ответственных за reparацию раковины.

*Исследование выполнено при поддержке РНФ № 23-26-00019 и государственных заданий № 124022400148-4 и № 124030100090-4.*

## **The effect of the boring sponge *Pione vastifica* on oxidative stress biomarkers in the Pacific oyster *Magallana gigas***

*Kladchenko E.S.\**, *Gostyukhina O.L.*, *Lavrichenko D.S.*, *Uppe V.A.*,  
*Vodiasova E.S.*, *Chelebieva E.S.*

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia  
\* e-mail: kladchenko\_ekaterina@bk.ru

## **МикроРНК внеклеточных везикул trematod *Opisthorchis felineus* стимулируют пролиферацию холангиоцитов человека**

*Медведева Е.В.\*<sup>1</sup>, Лишай Е.А.<sup>1,2</sup>, Пахарукова М.Ю.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

\* e-mail: tulenfedorovich@gmail.com

Трематоды *Opisthorchis felineus* паразитируют в желчных протоках человека и являются возбудителями описторхоза, хроническое течение которого сопровождается неоплазией эпителия желчных протоков. Неоплазия – нарушение регуляции роста и деления клеток, приводящее к их бесконтрольной пролиферации, что считается предраковым изменением. Паразиты секрецируют внеклеточные везикулы, которые могут транспортировать в клетки хозяина молекулы микроРНК, являющиеся регуляторами генов-мишеней человека, связанных с регуляцией клеточного цикла. Цель данной работы – изучить влияние выбранных мажорных микроРНК экзосом *O. felineus* на пролиферацию клеток и экспрессию генов-мишеней в холангиоцитах человека.

Для нескольких мажорных микроРНК экзосом описторхса (Ofe-Mir-10-P1, Ofe-Mir-71a, Ofe-Bantam, Ofe-Mir-277) проводили эволюционный анализ с помощью базы данных miRBase. Поиск генов-мишеней в геноме человека осуществляли в TargetScan и miRDB. Интернализацию экзосом в клетки холангиоцитов человека (линия Н69) подтверждали с помощью конфокальной микроскопии и иммуногистохимического окрашивания, интернализацию микроРНК – с помощью РНК-гибридизации *in situ*. Пролиферацию клеток исследовали набором ССК-8. Экспрессию генов-мишеней оценивали с помощью ОТ-ПЦР.

Среди мажорных микроРНК определены как консервативные для всех видов первично- и вторичноротых, так и специфические для паразитических червей. Показана интернализация экзосом и микроРНК в холангиоциты Н69. Для каждой из микроРНК предсказаны гены-мишени в геноме человека, регулирующие клеточный цикл. После трансфекции синтезированными аналогами микроРНК наблюдали повышение пролиферации клеток. В холангиоцитах, обработанных секреторным продуктом *O. felineus*, снижалась экспрессия генов-мишеней микроРНК (*p27, p15, Rb, p53*), вовлеченных в негативную регуляцию клеточного цикла.

Таким образом, впервые показаны данные, свидетельствующие о роли микроРНК trematod *O. felineus* в регуляции экспрессии генов человека.

## **MicroRNAs of extracellular vesicles of the trematode *Opisthorchis felineus* stimulate the proliferation of human cholangiocytes**

*Medvedeva E.V.\*<sup>1</sup>, Lishai E.A.<sup>1,2</sup>, Pakharukova M.Y.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: tulenfedorovich@gmail.com

## **Изучение симбиотических взаимоотношений эндемичных байкальских амфипод: механизмы иммунитета**

*Назарова А.А.\*, Щапова Е.П., Тэльнес Е.В., Арбузова Г.А.,  
Калюжная О.В., Тимофеев М.А.*

Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия  
\* e-mail: annazarova1995@gmail.com

Амфиоподы (Amphipoda, Crustacea) – это важный компонент кормовой базы рыб в экосистеме Байкала и других пресноводных водоемов. У животных данного таксона отмечено множество многоклеточных и одноклеточных симбиотических организмов населяющих как внутренние, так и внешние среды. Среди них отмечаются микроспоридии, акантоцефалы, бактерии, инфузории и наиболее уникальны – пиявки, поскольку данный тип взаимоотношений отмечается только в озере Байкал. Симбионты водных животных могут быть потенциально негативным фактором в условиях неблагоприятных условий среды, что малоизучено в контексте иммунитета хозяев. В работе показано, что гемолимфа байкальских амфипод *Eulimnogammarus verrucosus* не является стерильной и населена не менее чем тремя родами симбиотических бактерий (*Pseudomonas*, *Rhodococcus* и *Kocuria*) с уровнем заражённости не менее 80%. Было выявлено, что выделенный в культуру штамм *Pseudomonas* sp. H5-2 вызывает инкапсуляцию гемоцитов в условиях *in vitro*, а так же повышенная бактериальная нагрузка амфипод *E. verrucosus* приводит к снижению показателя общего числа гемоцитов и повышению доли гранулоцитов. Это свидетельствует в пользу того, что иммунная система амфипод распознаёт и инкапсулирует бактерий данного рода за счёт снижения количества плазмоцитов.

Пиявки *Baicalobdella torquata* питаются гемолимфой амфипод, что доказано методом мечения латексными микрошариками. Заражение не повлияло на уровень гликогена, активность фенолоксидазы и функциональную активность гемоцитов (способность к инкапсуляции). Наблюдалось сезонное изменение общего количества гемоцитов (ОЧГ) у зараженных особей, хотя прямой корреляции с размером паразитов не найдено.

Комбинированное воздействие заражения пиявками и инъекции бактерий привело к повышению уровня гранулоцитов, вероятно, из-за потребления пиявками части бактериальной суспензии и последующей дополнительной иммунной стимуляции.

## **Symbiotic Relationships in Endemic Lake Baikal Amphipods: A Study of Immune Mechanisms**

*Nazarova A.\*, Shchapova E., Madyarova E., Arbuzova G., Kaluzhnaya O., Timofeyev M.*  
Irkutsk State University, Irkutsk, Russia  
\* e-mail: annazarova1995@gmail.com

# **Физиолого-биохимические аспекты взаимодействия инактивированных бактерий *Bacillus* spp. с иммунной системой насекомых-хозяев**

*Поленогова О.В.\*<sup>1</sup>, Крюкова Н.А.<sup>1</sup>, Клементьева Т.Н.<sup>1</sup>, Артемченко А.С.<sup>1,2</sup>, Слепнева И.А.<sup>3</sup>, Воронцова Я.Л.<sup>1</sup>, Глупов В.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Институт химической кинетики и горения имени В. В. Воеvodского СО РАН, Новосибирск, Россия

\* e-mail: ovp0408@yandex.ru

Ризо-, экзо- и эндофитные виды *Bacillus* spp., ассоциированные с растениями, способны вызывать у насекомых-фитофагов инфекции различного характера, сценарий которых определяется динамическим равновесием между факторами вирулентности микробы и защитой хозяина. Ключевую роль в возникновении инфекций играют консервативные патоген-ассоциированные молекулярные структуры – пептидогликан и тейхоевые кислоты, которые устойчивы к внешним воздействиям и полностью или частично сохраняются после гибели клетки. Учитывая, что соотношение пептидогликана и тейхоевых кислот остается постоянным на протяжении всего жизненного цикла, мы предположили, что инактивированные бактерии как вегетативные клетки, так и споры способны модулировать физиологическое состояние хозяина.

Целью нашей работы стала оценка иммунного ответа и редокс-статуса у личинок *Galleria mellonella* и *Leptinotarsa decemlineata* при пероральной инокуляции инактивированных клеток *Bacillus* spp., включая *B. thuringiensis*. В первые часы после инокуляции были зарегистрированы изменения в гемолимфе и кишечнике: увеличение числа гемоцитов (главным образом за счет иммунокомпетентных клеток), подавление активности фенолоксидаз, а также изменения в работе антиоксидантной системы и снижение образования свободнорадикальных форм, в частности полухилононов.

Полученные данные подтверждают, что инактивированные клетки *Bacillus* spp. модулируют иммунный и окислительный статус хозяина через распознавание патоген-ассоциированных молекулярных структур. Антиоксидантная система кишечника «настроена» на точное регулирование уровня активированных кислородных метаболитов для сигнальных функций с минимальным повреждением клеток. Запуск сигнальных путей является многокомпонентным, приводит к изменению уровня иммунного ответа и редокс-статуса. Однако для выявления ключевых звеньев формирования резистентности необходимы дальнейшие исследования.

## **Physiological and biochemical aspects of the interaction between inactivated *Bacillus* spp. and the immune system of insect hosts**

*Polenogova O.V.\*<sup>1</sup>, Kryukova N.A.<sup>1</sup>, Klementeva T.N.<sup>1</sup>, Artemchenko A.S.<sup>1,2</sup>, Slepneva I.A.<sup>3</sup>, Vorontsova Y.L.<sup>1</sup>, Glupov V.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch  
of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion, Siberian Branch  
of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: ovp0408@yandex.ru

## **Влияние trematodной инвазии на активность протеолитических ферментов пресноводных брюхоногих моллюсков**

*Соколова А.С.\*, Фролова Т.В., Агеева Е.А., Извекова Г.И.*

Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, п. Борок, Россия

\* e-mail: sen@ibiw.ru

Моллюски – вторая по величине и одна из широко распространенных групп животных в пресноводных экосистемах, выполняющая разнообразные функции, необходимые для стабильности и продуктивности экосистем. Многие из них служат переносчиками патогенов и паразитов, влияя на здоровье человека и животных. Для оценки влияния моллюсков на экосистемы не хватает, в частности, сведений об их физиологии. В связи с этим цель работы – сравнить активность протеолитических ферментов и оценить влияние заражения trematodами на размерно-массовые показатели и активность этих ферментов у трех видов брюхоногих моллюсков из водоемов Ярославской области: *Lithoglyphus naticoides*, зараженных церкариями *Apophallus* sp. (ЭИ 49%), *Lymnaea stagnalis*, зараженных церкариями семейства *Plagiorchiidae* (ЭИ 48%) и *Viviparus viviparus*, зараженных редиями *Leucchloridiomorpha lutea* и *L.constatia* (ЭИ 73%).

Установлено, что у зараженных *Lit. naticoides* высота раковины и масса больше, чем у незараженных. У *V. viviparus* заражение не влияет на эти показатели. У *Lim. stagnalis* высота раковины незараженных и зараженных моллюсков не различаются, а масса – больше у зараженных особей. В экстракте мягких тканей моллюсков определены содержание белка, общая протеолитическая активность и активность пепсино-, трипсино- и химотрипсиноподобных протеаз. Все исследованные моллюски проявляют активность протеолитических ферментов. При этом выявлена как пепсино-, так и трипсино- и химотрипсиноподобная активности, что свидетельствует о широком спектре активности протеаз у этих животных. По всей вероятности, различия в уровнях активности протеаз у моллюсков в большой степени связаны с типом питания. Заражение trematodами по-разному оказывается на активности исследованных ферментов у хозяев. В зависимости от вида моллюска и стадии развития паразита изменяется активность той или иной группы протеаз. Наибольшее влияние заражение оказывает на активность протеаз *Lit. naticoides*.

*Работа выполнена в рамках госзадания (тема № 124032500018-8)*

## **The effect of trematode invasion on the activity of proteolytic enzymes in freshwater gastropods**

*Sokolova A.S.\*, Frolova T.V., Ageeva E.A., Izvekova G.I.*

Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Russia

\* e-mail: sen@ibiw.ru

## **Сеть из 23 нейронов управляет поведением личинки трематоды**

*Толстенков О.О.\*<sup>1</sup>, Подвязная И.М.<sup>2</sup>, Горбушин А.М.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Сеерцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт Петербург, Россия

<sup>3</sup> Институт эволюционной физиологии и биохимии им. И.М. Сеченова РАН, Санкт Петербург, Россия

\* e-mail: otolo@mail.ru

**Введение.** Трематоды (Trematoda) - монофилетическая группа паразитических плоских червей, многие представители которой вызывают тяжёлые заболевания у человека, сельскохозяйственных животных и рыб. Несмотря на медицинскую и хозяйственную значимость, их нервная система изучена слабо.

**Цель.** Охарактеризовать клеточную и функциональную организацию хвоста - основного локомоторного органа личинок морской трематоды *Cryptocotyle lingua*, паразита, вызывающего «чёрно- пятнистую болезнь» рыб.

**Методы.** Применили трансмиссионную электронную микроскопию, транскриптомное исследование хвоста и тела, гибридизацию *in situ* для валидации нейронных генов хвоста, а также исследование поведения на основе трекинга с использованием глубокого обучения и многопараметрическое фенотипирование в сочетании с фармакологическими манипуляциями.

**Результаты.** В хвосте обнаружена функциональная нейронная цепь, обеспечивающая автономное плавание и, видимо, независимое сенсорное восприятие. Электронная микроскопия выявила в этой сети 23 нейрона, включая первичные сенсомоторные клетки, непосредственно соединяющие сенсорные и моторные функции, и один непарный узловый нейрон - хаб. Транскриптомный анализ показал выраженное обогащение нейронных генов в хвосте; гибридизация *in situ* подтвердила экспрессию генов, связанных с сенсорной обработкой и нейромедиаторной передачей. Поведенческие эксперименты продемонстрировали, что классические нейромедиаторы, а также окись азота определяют и модулируют поведение личинок.

**Заключение.** Хвост личинок *C. lingua* содержит простую нервную сеть с чётко очерченной клеточной архитектурой и функцией. Представленная система является перспективной моделью для сравнительной нейробиологии и разработки тестовых систем противопаразитарных препаратов.

## **Integrated structural, molecular, and behavioral data on a parasitic flatworm larva indicate a compact neural controller network for locomotion**

*Tolstenkov O.\*<sup>1</sup>, Podvyaznaya I.<sup>2</sup>, Gorbushin A.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Severtsov Institute of ecology and evolution RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Zoological institute RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Sechenov Institute of Evolutionary Physiology and Biochemistry RAS, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: otolo@mail.ru

## **Анализ состояния внутриклеточного железа у ризобактерий методом мёссбауэровской спектроскопии**

*Тугарова А.В.\*, Дятлова Ю.А., Владимирова А.А., Камнев А.А.*

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов, Россия

\* e-mail: tugarova\_anna@mail.ru

Ризобактерии могут улучшать рост и развитие растений, что используется в агробиотехнологии для создания биоудобрений, включая сухие препараты, где бактерии остаются живыми, переходя в метаболически неактивную (дормантную) форму. Знание редокс-превращений клеточного железа, одного из важнейших микроэлементов, при высушивании необходимо для понимания основ выживания почвенных бактерий в условиях засухи, а также сохранности и активности их сухих препаратов (Kamnev, Tugarova, 2021, Russ. Chem. Rev.; Kamnev et al., 2025).

Редокс-превращения клеточного Fe в процессе высушивания у ризобактерий *Azospirillum lipoferum* и *Enterobacter cloacae* и сравнение его химических форм проводили в свежих (замороженных) и лиофилизованных образцах биомассы методом мёссбауэровской (ядерной гамма-резонансной) спектроскопии (на ядрах  $^{57}\text{Fe}$ ; измерения проводили при  $T = 90\text{ K}$  и  $4.7\text{ K}$ ). Две формы  $^{57}\text{Fe}(\text{II})$  ( $\sim 21\%$  от общего пула клеточного Fe) в свежей биомассе, накопленные при восстановительной ассимиляции  $^{57}\text{Fe}(\text{III})$  из среды, полностью окислялись до  $^{57}\text{Fe}(\text{III})$  при лиофилизации; лиофилизованные клетки содержали лишь различные формы  $^{57}\text{Fe}(\text{III})$  (с мёссбауэровскими параметрами, отличными от таковых в свежей биомассе). Окисление клеточного  $\text{Fe}(\text{II})$  до  $\text{Fe}(\text{III})$  при лиофилизации для указанных бактерий (аналогично полученным ранее данным для *A. brasilense*), может представлять стратегию предотвращения повреждения клеток вследствие реакций типа Фентона с участием  $\text{Fe}(\text{II})$  в покоящихся сухих клетках. Полученные результаты важны для понимания превращений Fe в препаратах лиофилизованных бактерий, предназначенных для длительного хранения.

*Работа поддержанна Российской научным фондом (грант № 24-26-00209).*

## **Speciation analysis of the intracellular iron in rhizobacteria by Mössbauer spectroscopy**

*Tugarova A.V.\*, Dyatlova Y.A., Vladimirova A.A., Kamnev A.A.*

Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms RAS, Saratov, Russia

\* e-mail: tugarova\_anna@mail.ru

## **Воздействие зараженности trematodами на молекулярные системы регуляции подвижности моллюсков рода *Littorina***

*Шапако К.С.\*<sup>1</sup>, Казанская Р.Б.<sup>1,2</sup>, Лопачев А.В.<sup>2</sup>, Абаймов Д.А.<sup>4</sup>, Кочергина Н.А.<sup>1,3</sup>, Гранович А.И.<sup>1</sup>, Репкин Е.А.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> Биологический факультет СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ИТБМ СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Научный парк СПбГУ, РЦ РМиКТ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Научный центр неврологии, Москва, Россия

Литторины – распространенные на морских побережьях Северной Европы гастроподы, служащие промежуточными хозяевами для trematod *Microphallus rugtaeus*. Зараженные моллюски демонстрируют изменения в подвижности, скапливаясь во время отлива на поверхности камней и макрофитов, где становятся легкой добычей птиц – дефинитивных хозяев этих trematod. Вероятно, подобное воздействие на поведение литторин имеет для паразита адаптивное значение, облегчая реализацию его жизненного цикла.

Цель исследования – проверка гипотезы о воздействии trematod на содержание ключевых нейромедиаторов и их метаболитов как возможной причины изменения локомоции моллюсков. Для проверки гипотезы голову и ногу здоровых и зараженных *Littorina saxatilis* и *L. obtusata*, собранных на побережьях Белого и Баренцева морей, фиксировали в жидким азоте. При помощи метода ВЭЖХ с электрохимическим детектированием анализировали количественное содержание ряда нейромедиаторов и их метаболитов: серотонина (5-НТ), дофамина, 5-гидроксииндулкусной кислоты (5-НИАА) и норадреналина. Помимо этого, по методу Эллмана анализировали активность ацетилхолинэстеразы (АХЭ) в тканях здоровых и зараженных *M. rugtaeus* литторин. Не было выявлено различий в активности АХЭ между зараженными и незараженными моллюсками обоих видов. Кроме того, для *Littorina saxatilis* не было продемонстрировано значимых различий в содержании какого-либо из измеренных соединений. Однако для *Littorina obtusata* у зараженных моллюсков показана интенсификация метabolизма серотонина, оцененная по соотношению 5-НИАА/5-НТ, и достоверное повышение содержания норадреналина.

Полученные данные могут указывать на отсутствие влияния паразита на холинergicкую систему моллюска и на возможный путь воздействия на локомоцию хозяина через серотонинergicкую систему. Примечательно, что результаты для двух близких видов гастропод различны: это может свидетельствовать о видоспецифичности воздействия паразита или о более высокой патогенности *M. rugtaeus* для *L. obtusata*.

*Исследования выполнены с использованием оборудования РЦ РМиКТ и РЦ ОЭБ СПбГУ.*

## **Trematode infection impact on molecular systems of motility regulation in mollusks of the genus *Littorina***

*Shapako K.S.\*<sup>1</sup>, Kazanskaya R.B.<sup>1,2</sup>, Lopachev A.V.<sup>2</sup>, Abaimov D.A.<sup>4</sup>, Kochergina N.A.<sup>1,3</sup>, Granovich A.I.<sup>1</sup>, Repkin E.A.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> Faculty of Biology, Saint Petersburg State University (SPbSU), Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Translational Biomedicine of SPbSU, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Centre for Molecular and Cell Technologies of SPbSU, Saint Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Research Center of Neurology, Moscow, Russia

## **Влияние эндосимбионта *Wolbachia* на экспрессию генов иммунитета и восприимчивость к микозам у *Drosophila melanogaster***

*Ярославцева О.Н.\*<sup>1,2</sup>, Косман Е.С.<sup>1</sup>, Илинский Ю.Ю.<sup>2,3</sup>, Крюков В.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

\* e-mail: yarosl@inbox.ru

Бактерии рода *Wolbachia*, являются самыми распространенными симбионтами наземных членистоногих. Ряд исследований показали возможность *Wolbachia* изменять восприимчивость хозяев по отношению к спектру патогенов: вирусов, грибов, бактерий, а также простейших и паразитов.

Нами были установлены различия в выживаемости двух линий *Drosophila melanogaster* при заражении энтомопатогенными грибами *Beauveria bassiana*. Линия W+ - несущая симбионта, была более устойчива к инфекции, чем линия W- свободная от бактерии, и этот результат был более выражен для самок, чем для самцов. Для понимания влияния *Wolbachia* на устойчивость к грибам мы проанализировали экспрессию генов сигнального пути Toll: рецепторов распознавания бактерий и грибов *GNBP1*, *GNBP3*, сериновых протеиназ *Grass*, *Persephone*, сигнального компонента *Myd88*, антимикробных пептидов (АМП) *Metchnikovin*, *Drosomycin*, *Defensin*, а также генов, кодирующих профенолоксидазы *PPO1*, *PPO2* у не зараженных и зараженных грибом линий W- и W+ с помощью qPCR. Показано, что присутствие *Wolbachia* связано со сниженной базовой экспрессией генов указанных рецепторов и сериновых протеиназ, что более выражено у самцов, чем у самок. Тем не менее у обоих полов линии W+ наблюдается повышенная базовая экспрессия АМП *Metchnikovin* и повышенный уровень экспрессии генов профенолоксидаз у самок. После инфицирования энтомопатогенными грибами происходила активация генов *GNBP3*, указанных АМП, и подавление генов *MyD88*, *PPO1* и *PPO2*. Эффект от наличия *Wolbachia* был направлен на снижение экспрессии *Grass* и *Persephone*, при развитии грибной инфекции. Мы полагаем, что более высокая устойчивость линии W+ к грибам связана с повышенным базовым уровнем экспрессии *PPO* и *Metchnikovin*, а также даун-регуляцией генов сериновых протеиназ, позволяющей снизить уровень повреждения тканей, происходящих при меланизации.

*Работа была поддержана грантом РНФ № 25-24-00552.*

## **Effect of *Wolbachia* symbionts on the expression of immune-related genes and susceptibility to mycoses in *Drosophila melanogaster***

*Yaroslavtseva O.N.\*<sup>1,2</sup>, Kosman E.S.<sup>1</sup>, Ilinsky Y.Y.<sup>2,3</sup>, Kryukov V.Y.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> Institute of Cytology and Genetics Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: yarosl@inbox.ru

# **ВЗАИМОЫГОДНЫЕ СИМБИОЗЫ РАСТЕНИЙ С ПОЧВЕННЫМИ МИКРООРГАНИЗМАМИ**

## **Амилоидные свойства поринов в свете надорганизменных отношений**

*Белоусов М.В.\*<sup>1,2</sup>, Косолапова А.О.<sup>1,2</sup>, Сулацкий М.И.<sup>3</sup>, Цыганова А.В.<sup>1</sup>,*  
*Сулацкая А.И.<sup>3</sup>, Штарк О.Ю.<sup>1</sup>, Цыганов В.Е.<sup>1</sup>, Волков К.В.<sup>2</sup>,*  
*Жуков В.А.<sup>1</sup>, Тихонович И.А.<sup>1,2</sup>, Нижников А.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

\*E-mail: belousovmix@gmail.com

Некоторые порины (OmpA и OmpC) способны образовывать амилоиды. Подобные нерастворимые фибриллярные белковые агрегаты и белки типа «β-бочки» вместе имеют структуру, называемую «кресс-β», т.е. богатую β-листами. Недавно мы продемонстрировали, что свободноживущие клетки *Rhizobium leguminosarum*, азотфикссирующего симбионта бобовых, продуцируют белки типа «β-бочки» RopA и RopB, которые образуют амилоидные фибриллы на поверхности клеток в стационарной фазе роста, тем самым связывая образование амилоидов и взаимодействие хозяин-симбионт (Kosolapova & Belousov et al., *Biomolecules*, 2019). Далее мы сосредоточились на более подробном анализе амилоидных свойств белка RopB *in vitro* и *in vivo* при симбиотических взаимодействиях *R. leguminosarum* bv. *viciae* с его макросимбионтом – горохом посевным (*Pisum sativum* L.). Белок RopB является амилоидом, поскольку его фибриллы демонстрируют характерную дифракционную картину «кресс-β». Нами установлено, что *in vivo* на поверхности бактериоидов *R. leguminosarum*, выделенных из клубеньков гороха, образуются фибриллы, содержащие белок RopB и обладающие амилоидными свойствами. Используя мутантную линию гороха *sum31* мы показали, что формирование внеклеточных амилоидов RopB происходит на разных стадиях развития бактериоидов, однако усиливается в ювенильных симбиосах. Наконец, мы продемонстрировали явление кросс-сидинга: образование амилоидов RopB на матрице фибрилл вицилина, что указывает на вероятное взаимодействие между бактериальными и растительными амилоидогенными белками в клубеньках. Таким образом, мы предполагаем, что клубеньки растений содержат сложную амилоидную сеть, состоящую из растительных и бактериальных амилоидов и, вероятно, модулирующую взаимодействие хозяин-симбионт (Kosolapova & Belousov et al., *Front. Plant Sci.*, 2019).

*Работа поддержанна Российской научным фондом (грант № 24-26-00124).*

## **The relationship of porin amyloidogenesis with supraorganianic interactions**

*Belousov M.V.\*<sup>1,2</sup>, Kosolapova A.O.<sup>1,2</sup>, Sulatsky M.I.<sup>3</sup>, Tsyanova A.V.<sup>1</sup>, Sulatskaya A.I.<sup>3</sup>,*  
*Shtark O.Y.<sup>1</sup>, Tsyanov V.E.<sup>1</sup>, Volkov K.V.<sup>2</sup>, Zhukov V.A.<sup>1</sup>, Tikhonovich I.A.<sup>1,2</sup>, Nizhnikov A.A.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Institute of Cytology, Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

\*E-mail: belousovmix@gmail.com

## **Анализ межмикробных взаимодействий в консорциумах на основе биопрепаратов**

*Бердышева К.Н.\*, Косульников Ю.В., Лактионов Ю.В.*

ВНИИСХМ, г. Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: k.berdysheva@arriam.ru

В данном исследовании проведен анализ взаимодействий между микроорганизмами в составе микробных консорциумов, применяемых в качестве биопрепаратов для сельского хозяйства. Методами *in vitro* (Cross-Streak, метод «колодцев») и *in vivo* (на растениях сои сортов Ирбис и Эн Аргента) изучены синергетические и антагонистические эффекты при совместном использовании инокулянтов (штаммы RZ300, 6406, 6346), биостимуляторов роста (*Xanthomonas* sp. 33-3, *Pseudomonas fluorescens* 17-1, *Bacillus amyloliquefaciens* s-21) и биофунгицидов (*Trichoderma* TV1). Показано, что некоторые штаммы *Bacillus* и *Xanthomonas* проявляют антагонистическую активность по отношению к клубеньковым бактериям, подавляя развитие их клеток.

Особое внимание уделено совместимости биофунгицидов с другими компонентами консорциумов. Антагонизм по отношению друг к другу и грибным болезням (фузариоз, альтернариоз и кладоспориоз) оценивали по зонам ингибирования (мм), установлено, что штаммы *Bacillus amyloliquefaciens* s-21 и *Xanthomonas* sp. 33-3 частично подавляют рост грибов рода *Trichoderma* (размеры зон ингибирования роста составляют 7-10 мм), в то же время их совместное применение демонстрирует высокую эффективность в подавлении патогенов, размер зон лизиса при совместном применении увеличивается на 40%.

Показано, что грибы рода *Trichoderma* не влияют на рост клеток ризобий, однако могут угнетать развитие клубеньков на корнях растения-хозяина. Для минимизации антагонизма предложены оптимальные схемы раздельного внесения препаратов: PGPR — на ранних стадиях роста растений, а инокулянты — при посеве. Полученные данные имеют практическое значение для разработки стабильных и эффективных микробных консорциумов, способствующих повышению урожайности и устойчивости сельскохозяйственных культур.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (РНФ), проект № 25-26-00242, руководитель - к.б.н. Лактионов Ю.В.*

## **Analysis of inter-microbial interactions in biologics-based consortia**

*Berdysheva K.N.\*, Kosulnikov Y.V., Laktionov Y.V.*

ARRIAM, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: k.berdysheva@arriam.ru

## **Поиск новых сигнальных регуляторов бобово-ризобиального симбиоза у гороха посевного и люцерны усеченной**

*Бовин А.Д.<sup>1</sup>, Павлова О.А.<sup>1</sup>, Морозова Е.С.<sup>1</sup>, Каракашев Г.В.<sup>2</sup>, Долгих Е.А.\*<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт гигиены, профпатологии и экологии человека, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: dol2helen@yahoo.com

Развитие бобово-ризобиального симбиоза начинается с взаимного узнавания сигналов – растения выделяют флавоноиды, что привлекает ризобий, которые в ответ синтезируют липохитоолигосахаридные молекулы Nod-факторы. В клетках корней бобовых растений в ответ на рецепцию Nod-факторов происходит активация сигнальных путей, необходимых для проникновения ризобий в клетки корня, развития симбиотических клубеньков и, впоследствии, эффективной симбиотической азотфиксации. На данный момент достаточно хорошо изучен набор мембранных рецептор-подобных киназ, связывающих Nod-факторы, а также ряд дополнительных регуляторов, участвующих в передаче сигнала в ядре клетки. Однако регуляторы, необходимые для передачи сигнала от мембраны до ядра, остаются малоизученными.

Нами впервые были выявлены определенные формы фосфолипаз С и D (PLC1, PLD1), участвующие в передаче сигнала при развитии симбиоза. При сверхпродукции домена белка, связывающего фосфатидную кислоту (продукт фосфолипазы D), происходило значительное увеличение числа клубеньков, что может быть использовано для дальнейшей селекции бобовых растений с повышенной эффективностью симбиоза. Для фосфолипазы С мы показали связь с рецепторами, узнающими Nod-факторы. Более того, было показано увеличение содержания вторичных мессенджеров, продуцируемых фосфолипазой С и D – диацилглицерола и фосфатидной кислоты. Нам удалось показать увеличение содержания инозитолгексафосфата (ИФ6). Это коррелировало с повышенной экспрессией гена *PsITPK1* возможного ключевого регулятора превращения инозитолтрифосфата в инозитолгексафосфат при развитии бобово-ризобиального симбиоза. В настоящее время проводится оценка влияния подавления экспрессии гена *MtPLD1* с помощью РНК-интерференции, а также экзогенного добавления ИФ6 на эффективность развития симбиоза у гороха и люцерны.

*Работа поддержана грантом РНФ № 24-16-00180.*

## **Search for new signaling regulators of the rhizobium-legume symbiosis in *Pisum sativum L.* and *Medicago truncatula* Gaertn**

*Bovin A.D.<sup>1</sup>, Pavlova O.A.<sup>1</sup>, Morozova E.S.<sup>1</sup>, Karakashev G.V.<sup>2</sup>, Dolgikh E.A.\*<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM), Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

<sup>2</sup> Research Institute of Hygiene, Occupational Pathology and Human Ecology of the Federal Medical-Biological Agency, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: dol2helen@yahoo.com

# **Горизонтальный перенос генов в популяции *Sinorhizobium meliloti*, опосредованный phiLM21 подобными фагами**

*Владимира М.Е. Румянцева М.Л.*

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной

микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: mroumiantseva@artiam.ru

Горизонтальный перенос генов обуславливает рекомбинацию генетического материала между неродственными видами микроорганизмов и их быструю диверсификацию. Анализ геномов современных генетически неродственных штаммов *S. meliloti* симбионтов люцерны, выделенных в географически удаленных регионов, показал, интактные профаги, подобные фагу phiLM21 (далее phiLM21-ПП), являются наиболее распространенными последовательностями фаговогого происхождения. Умеренный фаг *Sinorhizobium* phage phiLM21 был индуцирован из штамма *S. meliloti* LM21 (Польша, 2014 г.). Анализ нуклеотидных последовательностей phiLM21-ПП показал, что они значительно различались по уровню нуклеотидного сходства, а также по уровню филогенетического родства с геномом фага phiLM21, что указывает на то, что эти последовательности подвергнуты процессу активной диверсификации. Анализ ОРС профагов показал, что они соответствовали как белкам фага phiLM21, так и белкам фагов, инфицирующих бактерии филогенетически удаленных таксонов (*Rhizobium*, *Pseudomonas* и *Azospirillum*), а также белкам бактерий разных родов. Впервые показано, что более 50% phiLM21-ПП содержало ОРС, соответствующие белкам семейства липокалинов, которые связаны со многими биологическими процессами, в числе которых иммунный ответ и ответ клетки на стресс. Полученные данные подтверждают, что рекомбинационные процессы с участием ДНК фагов и бактерий являются широко распространённым явлением. Отдельный значимый интерес представляют ОРС, соответствующие гипотетическим белкам, функции которых не известны («темная материя» генома), доля которых достигает 65% от профагового метавирома. Таким образом, phiLM21-ПП подобны «контейнерам» ОРС, которые могут потенциально воздействовать на различные метаболические и защитные процессы клетки; а также способствовать увеличению генетического разнообразия прокариот, стимулируя их эволюционную пластичность.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2025-472 от «29» мая 2025 г.*

## **Horizontal gene transfer in a population of *Sinorhizobium meliloti* mediated by phiLM21-like phages**

*Vladimirova M.E., Roumiantseva M.L.*

All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM), Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

# **Нейросетевая модель для определения биоконсолидации компонентов микробно-растительных симбиотических биосистем**

*Воробьев Н.И.\*, Пищик В.Н.*

ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: Nik.IvanVorobyov@yandex.ru

Производительность и эффективность процессов, протекающих в симбиотических микробно-растительных биосистемах, зависит от производительности каждого компонента биосистемы и от оптимального распределения между ними ферментативных биохимических нагрузок. Для оценки уровня самоорганизации биосистем и оценки результивности совместной биохимической деятельности микробных компонентов нами был введен индекс фрактальной биоконсолидации CSIfract=0...10 (Cognitive Salience Index), которому мы назначили количественно представлять производительность и эффективность взаимодействия микроорганизмов в биосистеме.

Индекс биоконсолидации CSIfract не характеризует отдельные группы микроорганизмов в биосистеме, а характеризует близость к логарифмической форме огибающей, описывающей фрактальный ряд микроорганизмов, составленный в порядке убывания их численностей (Воробьев. Н.И. 2025. Сельскохозяйственная биология). Мы считаем, что CSIfract=10 соответствует наилучшей самоорганизации микробно-растительной симбиотической биосистемы и поэтому в ней может быть достигнута максимальная производительность. Вследствие этого будет происходить ускоренное развитие растений и формирование ими максимального урожая.

Индекс CSIfract вычисляется с помощью авторской нейросетевой программы NONN.xlsм, которая математическими средствами преобразует методом «многие-к-одному» в индекс CSIfract фрактальный профиль биосистемных микроорганизмов. В программу NONN.xlsм включены вычислительные процедуры корреляционного, кластерного и дискриминантного анализов, а также сервис обучения Learning. Сервис Learning необходим для нахождения заранее неизвестного алгоритма преобразования в индекс CSIfract фрактального профиля биосистемных микроорганизмов.

Таким образом, анализируя микробиологические профили, полученные молекулярно-генетическим или иным методом, удается оценивать влияние агротехнологий и агроэкологических факторов на скорость развития растений и их конечную урожайность.

## **The Neural Network Model for Determining the Bioconsolidation of Components of Microbial-Plant Symbiotic Biosystems**

*Vorobiov N.I.\*, Pishchik V.N.*

All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: Nik.IvanVorobyov@yandex.ru

# **Кто-кто в клубенёчке живет?" Экологические и биотехнологические аспекты использования потенциала неризобиальных эндофитов клубеньков бобовых растений**

*Гарипова С.Р.*

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия  
e-mail: garipovasvetlana@gmail.com

Долгое время считалось, что клубеньки бобовых растений населены только представителями семейства Rhizobiaceae. Однако по мере развития знаний о растительном микробиоме, стало ясно, что вся эндосфера растения – среда обитания микроорганизмов, а изоляты клубеньков, включающие совместимые с ризобиями бактериальные эндофиты, могут быть полезны для агробиотехнологии. В настоящее время анализируются пути и способы проникновения эндофитных бактерий в клубеньки. Вызывают интерес межмикробные взаимосвязи ризобий и эндофитов *in vitro* и *in planta*, а также физиологические механизмы привлечения и регулирования численности полезных бактерий растением-хозяином. Известны трофические, защитные, ростстимулирующие функции эндофитных бактерий, обусловленные азотфиксацией, синтезом антибиотиков, фитогормонов, сидерофоров, индукторов фитоиммунитета и других физиологически активных веществ, которые положительно влияют на продуктивность и устойчивость растений к биотическим и абиотическим стрессам. Проблема состоит в том, что инокуляция потенциально полезными штаммами бактерий не всегда приводит к ожидаемому положительному результату, что требует углубленных исследований теоретических основ эндофитного симбиоза.

В докладе на основе собственных и литературных данных обсуждаются: концепция фитобиома и роль эндомикробиома в нем, экологические ниши эндофитных бактерий, функции неризобиальных бактерий в клубеньках и тканях других органов бобовых растений; обобщаются сведения о биоразнообразии культивируемых и некультивируемых прокариотных эндофитов бобовых растений, встречающихся в том числе и в клубеньках. Рассматриваются экологические и биотехнологические аспекты создания препаратов на основе моно-штаммовых эндофитных бактерий и комбинированных с ризобиями препаратов для бобовых растений. Особое внимание уделяется видовой и сортовой специфиности эндофитных бактерий и поиску обуславливающих эту специфичность факторов.

## **Who-who lives in the nodule?" Ecological and biotechnological aspects of using the potential of non-rhizobial endophytes of legume nodules**

*Garipova S.R.*

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia  
e-mail: garipovasvetlana@gmail.com

## **Анализ способности эндофитных бактерий к продукции ауксинов и их влияние на рост растения гороха**

*Гиниятуллин А.Р.\*<sup>1,2</sup>, Матюнина В.Д.<sup>1,2</sup>, Гарипова С.Р.<sup>2</sup>, Пусенкова Л.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Уфа, Россия

<sup>2</sup> Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

\* e-mail: cemper30@gmail.com

Эндофиты – это микроорганизмы, обитающие во внутренних тканях растения, поддерживают с ним симбиотические взаимоотношения. Их влияние на физиологические процессы растения-хозяина зависит от многих факторов, в том числе от продукции фитогормонов. Ауксин индолил-3-уксусная кислота (ИУК) не только регулирует рост растений, но и является сигнальной молекулой в растительно-микробной коммуникации и фитоиммунных реакциях. Цель исследования — определить активность синтеза ауксинов эндофитными бактериями *in vitro* и проанализировать связь между этим показателем и ростовыми параметрами растений гороха, инокулированных разными дозами ИУК-продуцирующих бактерий.

Для исследования были взяты 6 штаммов эндофитных бактерий из коллекции БНИИСХ, относящихся к спорообразующим грамположительным палочкам. Продукцию ИУК в культуральной жидкости определяли спектрофотометрическим методом с помощью реактива Сальковского. Бактерии культивировали в жидкой среде LB с добавлением 0,1 г/л триптофана в термостатируемом шейкере (150 об/мин) 24 и 48 ч при 35°C. В вегетационном опыте семена обрабатывали двухсуточной споровой культурой бактерий в дозах 10<sup>5</sup>–10<sup>7</sup> КОЕ/мл, внося 0,1 мл препарата на 1 г семян. Семена проращивали и учитывали результаты согласно ГОСТ 12044093 на 6 сутки. Статистическую обработку проводили в программе MS Excel при  $p < 0,05$ .

Диапазон концентраций ИУК в культуральной жидкости изученных штаммов через 24 ч составил от 54 до 164 мг/л. Динамика продукции ИУК отличалась у разных штаммов. В лучших вариантах инокуляция обеспечивала увеличение ряда ростовых показателей до 30 % по сравнению с контролем без обработки. Проанализирована связь между ростовым эффектом от инокуляции вследствие повышения дозы бактерий в препарате и активностью синтеза бактериями ИУК *in vitro*.

Полученные данные позволяют более эффективно разрабатывать формулы ростстимулирующих биопрепараторов для растений гороха.

*Исследование выполнено в рамках соглашения № 075-15-2025-180 от 17.04.2025 г. с Минобрнауки России.*

## **Analysis of the ability of endophytic bacteria to produce auxins and their effect on the growth of pea plants**

*Giniyatullin A.R.\*<sup>1,2</sup>, Matyunina V.D.<sup>1,2</sup>, Garipova S.R.<sup>2</sup>, Pusenkova L.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Bashkir Research Institute of Agriculture, Ufa, Russia

<sup>2</sup> Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

\* e-mail: cemper30@gmail.com

## **Новые регуляторы иммунного ответа, активируемые клубеньковыми бактериями при формировании симбиоза с бобовыми растениями**

Дымо А.М., Козюлина П.Ю., Павлова О.А., Бовин А.Д., Канцуррова Е.С.,  
Долгих А.В., Долгих Е.А.\*

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной  
микробиологии, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: dol2helen@yahoo.com

Развитие внутриклеточного симбиоза связано со способностью клубеньковых бактерий (ризобий) эффективно подавлять иммунный ответ со стороны бобовых растений. Известно, что сигнальные молекулы ризобий Nod-факторы обладают иммуносупрессорной активностью, но как осуществляется их влияние на растение остается практически неизученным. Мы предположили, что сигнальные молекулы ризобий Nod-факторы способны активировать гены ферментов, влияющих на стабильность паттерн-распознающих рецепторов (ПРР) и стимулируемых ими митоген-активируемых протеинкиназ (МАР-киназ), что может приводить к подавлению иммунного ответа со стороны растений. Для поиска таких генов был проведен транскриптомный анализ корней гороха, обработанных Nod-факторами, что позволило выявить гены специфичных Е3-убиквитин-лигаз и фосфатаз. У гороха одним из ключевых ПРР в клетке является LYK9, способный узнавать хитин, муреин и их производные. С помощью агробактериальной трансформации листьев *Nicotiana benthamiana* нам удалось показать, что выявленные ферменты Е3-убиквитин-лигаз способны снижать содержание и активность LYK9. В передаче сигнала от ПРР LYK9 участвует комплекс МАР-киназ, прежде всего, MAPKK6. Для выявления её роли в становлении внутриклеточного симбиоза у гороха нами были получены композитные растения со сверхэкспрессией этого гена, что приводило к значительному снижению количества клубеньков у таких растений по сравнению с контрольными. При анализе библиотек с помощью дрожжевой двугибридной системы нами были выявлены дополнительные регуляторы, взаимодействующие с MAPKK6. Известно, что у арабидопсиса в узнавании Nod-факторов и подавлении иммунного ответа участвует рецептор AtLYK3, поэтому нами был проведен поиск его наиболее близких гомологов у гороха. Был выявлен LysM-содержащий рецептор LYK11 и при анализе композитных растений гороха со сверхэкспрессией гена этого рецептора, показано его участие в подавление иммунного ответа со стороны растений при симбиозе.

*Работа поддержанна грантом РНФ № 24-16-00180.*

## **Novel immune response regulators activated by nodule bacteria during symbiosis with legumes.**

Dymo A.M., Kozyulina P.Y., Pavlova O.A., Bovin A.D., Kantsurova E.S.,  
Dolgikh A.V., Dolgikh E.A.\*

All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: dol2helen@yahoo.com

## **Новый представитель рода *Pseudomonas* - симбионт тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris* L.)**

*Жаркова Е.К.*

ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия  
e-mail: e.zharkova@fbras.ru

Актуальность применения экологически безопасных антимикробных агентов, получаемых из лекарственного растительного сырья, влечет за собой необходимость разработки новых микробных биопрепаратов, способных оптимизировать культивирование ценных видов-продуцентов биологически активных веществ. Целью исследования являлось составление базы данных, характеризующей растительно-микробное взаимодействие почвенной микробиоты и тимьяна обыкновенного (*Thymus vulgaris* L.) при его интродукции в Нечерноземную зону России.

Для исследования микробиома ризосфера тимьяна применяли методы классической и молекулярной микробиологии, секвенирование с необратимым и обратимым терминированием, а также LS-MS и MALDI-TOF/TOF технологии.

В результате проведенных исследований образцов ризосферы выявлено соответствие 62,5% идентифицированных пептидов роду *Pseudomonas*, в то время как в почве, свободной от растений, доля псевдомонад не превышала 30,3% от общего обилия аннотированных пептидов. По данным NGS-анализа, ризосферный эффект для рода *Pseudomonas* составлял не менее 2,2 единиц. При дальнейшем селективном отборе и анализе представителей этого таксона был выделен в чистую культуру ранее не описанный штамм, обладающий мощным росторегулирующим действием по отношению к растению-хозяину, а также способный к подавлению фитопатогенных и сапротрофных грибов как в условиях полевого эксперимента, так и в модельных опытах по хранению растительного сырья. Пептидное профилирование и метаболомный анализ нового штамма позволили охарактеризовать его биотехнологический потенциал в качестве микробного адаптогена при интродукции тимьяна обыкновенного (*T. vulgaris* L.) в Нечерноземную зону России, а составленная база данных особенностей растительно-микробного взаимодействия может быть использована при культивировании представленного вида тимьяна, являющегося источником экологически безопасных биоцидов широкого спектра действия, практически не вызывающих резистентности у микроорганизмов-деструкторов и фитопатогенов.

**New microbial symbiont of thyme (*Thymus vulgaris* L.) – *Pseudomonas* sp.**

*Zharkova E.K.*

FRC "Fundamentals of Biotechnology" RAS, Moscow, Russia  
e-mail: e.zharkova@fbras.ru

# **Молекулярно-генетические основы формирования высокоэффективных симбиотических систем для современного растениеводства**

**Жуков В.А.\*<sup>1,2,3</sup>, Сулима А.С.<sup>2</sup>, Жернаков А.И.<sup>2</sup>, Зорин Е.А.<sup>2</sup>, Гордон М.Л.<sup>3</sup>, Кулаева О.А.<sup>2</sup>,  
Романюк Д.А.<sup>2</sup>, Ахтемова Г.А.<sup>2</sup>, Журавлев И.Ю.<sup>1</sup>, Тихонович И.А.<sup>1,2,4</sup>**

<sup>1</sup> Научно-технологический университет "Сириус", ФТ Сириус, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии (ФГБНУ  
ВНИИСХМ), Санкт-Петербург - Пушкин, Россия

<sup>3</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени  
Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: vzhukov@artiam.ru

Горох посевной (*Pisum sativum* L.) – важная сельскохозяйственная культура и модельный объект исследований симбиоза бобовых растений с клубеньковыми бактериями (КБ) и грибами арbusкулярной микоризы (АМ). С практической точки зрения целесообразно оптимизировать формирование и функционирование симбиотических систем для получения максимального и стабильного урожая. Для этого предлагаются следующие подходы, рассматриваемые на примере гороха.

Первый подход – маркер-ассоциированная селекция выскоотзывчивых на инокуляцию сортов, получающих преимущество от взаимодействия с КБ и грибами АМ. С помощью транскриптомики и протеомики в ходе сравнения генотипов гороха, контрастных по степени отзывчивости, были идентифицированы молекулярные маркеры данного признака. Обобщение результатов этой работы позволило сделать вывод о том, что в полевых условиях отзывчивость на инокуляцию КБ и грибами АМ проявляется в форме повышения устойчивости растений к заражению патогенными микроорганизмами (так называемый прайминг защитных реакций). Созданные молекулярные маркеры способны облегчить селекционный процесс, направленный на создание новых сортов гороха с высокой отзывчивостью на инокуляцию и устойчивых к биотическому стрессу.

Второй подход – мобилизация генетических ресурсов КБ для повышения эффективности азотфиксации. За счёт направленного повышения специфичности взаимодействия гороха с КБ в полевых условиях была создана высокоспецифичная симбиотическая система – линия гороха А33.18 и штамм ТОМ, – в которой растения в 95% взаимодействовали со штаммом, вносимым в составе биопрепарата, а не с аборигенными штаммами, имеющими низкую эффективность азотфиксации.

Объединение указанных подходов представляется важным для создания высокоэффективных симбиотических систем, в которых микроорганизмы будут обеспечивать высокую урожайность бобовых культур, в частности, гороха.

*Работа поддержана грантом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-10-2025-017 от 27.02.2025).*

## **Molecular genetic bases for the formation of highly effective symbiotic systems for modern plant growing**

**Zhukov V.A.\*<sup>1,2,3</sup>, Sulima A.S.<sup>2</sup>, Zhernakov A.I.<sup>2</sup>, Zorin E.A.<sup>2</sup>, Gordon M.L.<sup>3</sup>, Kulaeva O.A.<sup>2</sup>,  
Romanyuk D.A.<sup>2</sup>, Akhtemova G.A.<sup>2</sup>, Zhuravlev I.Y.<sup>1</sup>, Tikhonovich I.A.<sup>1,2,4</sup>**

<sup>1</sup> Sirius University of Science and Technology, Sirius, Russian Federation

<sup>2</sup> All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM),  
Saint Petersburg - Pushkin, Russian Federation

<sup>3</sup> N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>4</sup> St. Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation

\* e-mail: vzhukov@artiam.ru

# **Редактирование гена *PsLykX* как инструмент управления специфичностью симбиоза *Pisum sativum* L. с клубеньковыми бактериями**

**Журавлев И.Ю.\*<sup>1</sup>, Ляховец А.А.<sup>1</sup>, Матвеенко А.Г.<sup>1,2</sup>, Лебедева М.А.<sup>1,2</sup>, Жернаков А.И.<sup>3</sup>,  
Сулима А.С.<sup>3</sup>, Тихонович И.А.<sup>1,2,3</sup>, Жуков В.А.<sup>1,3,4</sup>**

<sup>1</sup> Научно-технологический университет "Сириус", 354340 ФТ Сириус, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии (ВНИИСХМ),  
Пушкин, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени  
Н.И. Вавилова, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: zhuravlev.iy@talantiuspeh.ru

Горох посевной (*Pisum sativum* L.) вступает в симбиоз с азотфиксирующими клубеньковыми бактериями – ризобиями (*Rhizobium* sp.), отбирая из почвы только совместимые с растением штаммы. Известен ген-кандидат *PsLykX*, кодирующий рецепторную киназу, определяющую специфичность симбиоза (Sulima et al. 2017). Аллель *PsLykX<sup>A</sup>*, характерная для разновидностей гороха из Афганистана, разрешает взаимодействие только с ризобиями, имеющими ген *nodX*, а аллель *PsLykX<sup>E</sup>*, характерная для европейских сортов, допускает взаимодействие с ризобиями независимо от наличия у них *nodX*.

Цель работы – подтвердить ключевую роль гена *PsLykX* в определении специфичности симбиоза у гороха и оценить возможность управления специфичностью в полевых условиях, манипулируя последовательностью *PsLykX*.

В работе проведено редактирование последовательности гена *PsLykX* методом CRISPR/Cas9 путем агробактериальной трансформации в системе hairy roots. На трансгенных корнях, где секвенирование подтвердило мутации в *PsLykX*, при инокуляции ризобиями не образовались азотфиксирующие клубеньки, в отличие от контрольных нетрансформированных корней. Таким образом, ген *PsLykX* является необходимым для образования клубеньков у гороха.

В полевом эксперименте с ранее полученной интродрессионной линией гороха A33.18, несущей в гомозиготе афганскую аллель *PsLykX<sup>A</sup>* на фоне геномного окружения европейского сорта Rondo, показано, что более 95% клубеньков на корнях A33.18 формировались штаммом ТОМ, содержащим *nodX* и использованным для инокуляции, а не аборигенными штаммами. Поскольку ген *nodX* редко встречается у аборигенных почвенных штаммов, внедрение *PsLykX<sup>A</sup>* в современные сорта гороха позволит защищать растение от симбиоза с низкоэффективными аборигенными штаммами. Результаты работы открывают перспективы создания новых сортов, направленно взаимодействующих с конкретными штаммами ризобий.

*Финансирование проекта осуществлялось Министерством науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-10-2025-017 от 27.02.2025).*

## ***PsLykX* gene editing as a tool for managing the specificity of the symbiosis of *Pisum sativum* L. with nodule bacteria**

**Zhuravlev I.Y.\*<sup>1</sup>, Lyakhovets A.A.<sup>1</sup>, Matveenko A.G.<sup>1,2</sup>, Lebedeva M.A.<sup>1,2</sup>, Zhernakov A.I.<sup>3</sup>,  
Sulima A.S.<sup>3</sup>, Tikhonovich I.A.<sup>1,2,3</sup>, Zhukov V.A.<sup>1,3,4</sup>**

<sup>1</sup> Sirius University of Science and Technology, 1 Olympic Avenue, 354340 Sirius, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology (ARRIAM), Pushkin,  
196608 St. Petersburg, Russia

<sup>4</sup> N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), 190000 St. Petersburg, Russia

\* e-mail: zhuravlev.iy@talantiuspeh.ru

## **Изучение роли флавоноидов, выделяемых корнями гороха посевного (*Pisum sativum* L.), в симбиозе с клубеньковыми бактериями**

*Иванов П.А.\*<sup>1</sup>, Сулима А.С.<sup>1</sup>, Зорин Е.А.<sup>1</sup>, Тихонович И.А.<sup>1,2</sup>, Жуков В.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: p.ivanov@artiam.ru

Азотфикссирующий симбиоз бобовых растений с клубеньковыми бактериями играет существенную роль в естественных и искусственных экосистемах, включая сельскохозяйственное производство в контексте устойчивого земледелия. Симбиоз инициируется флавоноидными соединениями, выделяемыми растением в ризосферу, которые привлекают клубеньковые бактерии и активируют у них экспрессию симбиотических генов. У гороха посевного (*Pisum sativum* L.) молекулярная структура сигнальных соединений флавоноидной природы, а также механизмы генетического контроля их биосинтеза изучены недостаточно.

Для исследования этого вопроса был проведён транскриптомный анализ (по протоколу MACE) для корней растений двух генотипов гороха к-7094 и Frisson, выращенных в условиях азотного голодаия и нормального азотного питания. В результате был выявлен ряд генов, ассоциированных с флавоноидным биосинтезом, уровень экспрессии которых повышен при азотном голодаии. Продукт одного из таких генов – *PsIOMT1* – катализирует метилирование флавоноида изоликвиритигенина (ИЛК) в метилизоликвиритигенин (МИЛК). Для родственного гороху бобового растения люцерны посевной (*Medicago sativa* L.) описана роль МИЛК как индуктора экспрессии симбиотических генов ризобий; вероятно, у гороха МИЛК также выполняет эту функцию.

Для других генотипов гороха - к-8274 и к-3358 - был проведён метаболомный анализ (УВЭЖХ-MS/MS) корневых экссудатов растений, также выращенных в условиях азотного голодаия и нормального азотного питания. Было показано присутствие ИЛК и МИЛК в корневых экссудатах и значительное преобладание МИЛК у генотипа к-8274 при азотном голодаии. Известно, что эффективность симбиоза (т.е., упрощённо, польза от образования симбиоза для растения) у генотипа к-8274 значительно выше, чем у к-3358; таким образом, полученные данные проливают свет на молекулярные механизмы, лежащие в основе данного признака, а обнаруженные соединения и гены могут служить маркерами симбиотической эффективности и использоваться в селекционной работе.

## **Study of the role of root-secreted flavonoids in symbiosis between pea (*Pisum sativum* L.) and nodule bacteria**

*Ivanov P.A.\*<sup>1</sup>, Sulima A.S.<sup>1</sup>, Zorin E.A.<sup>1</sup>, Tikhonovich I.A.<sup>1,2</sup>, Zhukov V.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: p.ivanov@artiam.ru

# **Структурная организация и особенности регуляции транскрипционного фактора NIN, определившие его участие в контроле развития ризобиального симбиоза**

*Канцurova E.S.\*<sup>1</sup>, Козюлина П.Ю.<sup>1</sup>, Pavlova O.A.<sup>1</sup>, Dolgikh A.V.<sup>1</sup>,  
Иванова А.Н.<sup>2</sup>, Долгих Е.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: es.kantsurova@arriam.ru

Бобовые растения способны формировать симбиотические клубеньки с азотфиксирующими бактериями ризобиями в условиях дефицита азота. Ключевую роль в регуляции процесса клубенькообразования играет транскрипционный фактор NIN (MODULE INCEPTION). Он вовлечен в контроль развития инфекции, необходим для органогенеза клубенька, а также участвует в системной регуляции клубенькообразования.

Существует две гипотезы, которые объясняют многообразие ролей транскрипционного фактора NIN в развитии бобово-rizobiального симбиоза. Первая гипотеза утверждает, что одним из механизмов, позволяющих этому белку контролировать так много различных функций в разных тканях, является протеолитический процессинг. Вторая гипотеза заключается в сложной организации промотора гена *NIN*, и присутствием разных регуляторных мотивов в промоторе. Нами была предпринята попытка рассмотреть обе представленные гипотезы и найти аргументы, объясняющие участие NIN в регуляции многих симбиотических процессов. Нами впервые был определен специфический мотив в белке NIN, характерный для этого регулятора у растений, образующих клубеньки недетерминированного типа, а также выявлены новые ко-регуляторы, взаимодействующие с транскрипционным фактором NIN при развитии симбиоза.

Выявленные удаленные цитокинин- и гиббереллин-регулируемые элементы в промоторе гена *NIN* влияют на сложную пространственно-временную экспрессию гена *NIN* в разных тканях корня. Мы впервые показали участие гиббереллин-зависимого GA-элемента в промоторе *NIN* в формировании клубеньков на корнях растений гороха. Показано и влияние цитокининов на экспрессию гена *NIN* и регуляцию более поздних стадий морфогенеза симбиотических клубеньков.

Результатом наших исследований стала интродукция кодирующей последовательности гена *NIN* гороха в геном небобового растения хмеля, и была впервые показана возможность образования клубенькоподобных структур на корнях этих растений, не образующих симбиозы с азотфиксирующими бактериями.

*Работа была поддержана грантом РНФ № 24-16-00180*

## **Structural organization and features of regulation of the NIN transcription factor, which determined its participation in the control of the development of rhizobial symbiosis**

*Kantsurova E.S.\*<sup>1</sup>, Kozylina P.Y.<sup>1</sup>, Pavlova O.A.<sup>1</sup>, Dolgikh A.V.<sup>1</sup>,  
Ivanova A.N.<sup>2</sup>, Dolgikh E.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: es.kantsurova@arriam.ru

# **Генетическое биоразнообразие ризобиальных микросимбионтов арктических бобовых растений**

*Карлов Д.С.*

ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: ds.karlov@arriam.ru

По итогам научно-исследовательских экспедиций, проведенных в период с 2021 по 2025 гг. в удаленные и труднодоступные районы северной Якутии, плато Путорана, Восточной Чукотки и Полярного Урала нами были собраны популяции не менее 30 видов дикорастущих бобовых растений, относящихся к роду *Astragalus*, *Oxytropis*, *Hedysarum*, *Lathyrus*, *Vicia*, *Melilotus* и *Trifolium*. Из собранных корневых клубеньков было выделено не менее четырехсот ризобиальных изолятов. По результатам анализа гена 16S рРНК было выявлено большое разнообразие клубеньковых бактерий, отнесенных к роду *Rhizobium*, *Neorhizobium*, *Pararhizobium*, *Bosea*, *Tardiphaga*, *Microvirga*, *Kaistia*, *Phyllobacterium*, *Mesorhizobium*, *Agrobacterium*, *Methylorum*, *Bradyrhizobium*, *Shinella* и *Ferraniclubacter* из порядка Hypomicrobiales. Показано присутствие в клубеньках *Astragalus sealei*, *Oxytropis maydelliana* и *O. adamsiana* представителей не менее 6 ризобиальных родов, что может указывать на низкую специфичность растений данных видов в отношении представителей порядка Hypomicrobiales.

Изучение таксономического разнообразия и генетических ресурсов арктических ризобий, а также их симбиотической активности в отношении различных видов бобовых растений в условиях микровегетационных опытов позволит определить спектр хозяйствской специфики штаммов и выявить наиболее эффективных азотфиксаторов, адаптированных к северным условиям. Таким образом, создание и долгосрочное поддержание коллекции холодоустойчивых ризобиальных штаммов позволит сохранить ценные генетические ресурсы для их последующего использования в сельском хозяйстве в условиях Крайнего Севера.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2025-472 от «29» мая 2025 г. о предоставлении гранта в форме субсидии из федерального бюджета на реализацию проекта: «Расширение фонда и развитие геномных исследований в коллекции микроорганизмов Сетевая биоресурсная коллекция в области генетических технологий для сельского хозяйства (ВКСМ)».

## **Genetic biodiversity of rhizobial microsymbionts of arctic legumes**

*Karlov D.S.*

All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia

e-mail: ds.karlov@arriam.ru

## **Роль аквапоринов в растительно-микробных взаимодействиях**

*Крюков А.А.\*, Кудряшова Т.Р., Юрков А.П.*

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной  
микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: rainniar@rambler.ru

Большинство наземных растений образуют симбиоз с грибами арbusкулярной микоризы (AM). Грибы помогают растениям усваивать минеральные вещества, улучшают водное питание растения-хозяина, повышают устойчивость растений к стрессам. Транспорт воды в растениях через мембранны обуславливается специальными трансмембранными белками – аквапоринами. В растениях аквапорины подразделяются на 5 подтипов и большинство из них транспортируют не только воду. Проведено оригинальное исследование, включающее оценку экспрессии 33 генов аквапоринов при развитии AM-симбиоза и в условиях его отсутствия на примере люцерны хмелевидной в условиях засухи. Экспрессия большинства генов аквапоринов оказалась разнонаправлена в корнях или листьях при тех же условиях. В листьях на 21 сутки после инокуляции показана специфическая экспрессия для – NIP 7.1, TIP 3.1. В корнях на 21 сутки - специфическая экспрессия для – NIP 4.2. В варианте оценки в листьях на 47 сутки показана специфическая экспрессия для – NIP 7.1, TIP 5.1, XIP 1.1. На 47 сутки 2 гена имеют специфическую экспрессию в микоризных вариантах и ее отсутствие без микоризации – это гены NIP4.1, NIP7.1. Следует обратить внимание на гены со специфической экспрессией. В условиях засухи при микоризации специфическую экспрессию имели гены аквапоринов 3 типов – NIP, TIP и XIP. При этом, что важно, экспрессия TIP аквапоринов при микоризации снижается (для экономии воды в растениях в условиях засухи), а для NIP транспортеров повышается (эти транспортеры, вероятно важны для развития симбиоза с микроорганизмами). Это исследование способствует пониманию ключевых механизмов взаимодействия растений с грибами AM.

*Работа выполнена с финансированием гранта РНФ № 24-26-00181.*

## **The role of aquaporins in plant-microbial interactions**

*Kryukov A.A.\*, Kudryashova T.R., Yurkov A.P.*

ARRIAM, St.-Petersburg, Russia

\* e-mail: rainniar@rambler.ru

## **Устойчивость микросимбионтов бобовых агрокультур (клубеньковых бактерий) к осмотическому стрессу на инокулированных семенах**

*Косульников Ю.В., Крюков А.А., Бердышиева К.Н., Ковалчук А.И., Лактионов Ю.В.\**

ФГБНУ ВНИИСХМ, г.Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: laktionov@arriam.ru

В данном исследовании был проведен анализ жизнеспособности клеток ризобий клубеньковых бактерий рода *Bradyrhizobium japonicum* (штаммы 634б, 640 и RZ300) из коллекции микроорганизмов сельскохозяйственного назначения ФГБНУ ВНИИСХМ на семенах сои трех различных сортов сои (ЭН Аргента, Бара, Пруденс). Показано, что штамм RZ300 (выделен в Краснодарском крае из клубеньков сои сорта «Бара» в 2022 году) обладает повышенной устойчивостью к высыханию на семенах, что имеет высокую прикладную значимость для сельскохозяйственной практики выращивания бобовых агрокультур.

Для выявления молекулярно-генетических аспектов, обуславливающих повышенную устойчивость штамма RZ300 к высыханию, было произведено полногеномное секвенирование с анализом полученных результатов и выгрузкой генома в NCBI. С помощью программного обеспечения – RAST (Rapid Annotation using Subsystem Technology) server было проведено сравнение генома изучаемого штамма с референсным геномом *Bradyrhizobium japonicum* USDA 6 (PRJDA67463). Относительно устойчивости к осмотическому стрессу выявлено различие штамма RZ300 с референсным штаммом USDA6 по отдельному гену. По неполным данным секвенирования и ПЦР этот ген также отсутствует у штамма *Bradyrhizobium japonicum* 634б, характеризующегося низкой устойчивостью к высыханию. Таким образом данный ген, возможно, может быть использован как ген-маркер для оценки осмотической устойчивости других штаммов *Bradyrhizobium*, используемых, в том числе, для производства инокулянтов для бобовых агрокультур. Биопрепараты на основе таких штаммов можно будет применять для обработки семян заблаговременно, что повышает технологичность данного приема и позволяет эффективно его интегрировать в существующие агротехнологии возделывания бобовых культур.

*Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (РНФ), проект № 25-26-00242, руководитель - к.б.н. Лактионов Ю.В.*

## **Resistance of legume crops' microsymbionts (nodule bacteria) to osmotic stress on inoculated seeds**

*Kosulnikov Y.V., Kryukov A.A., Berdysheva K.N., Kovalchuk A.I., Laktionov Y.V.\**

FSBSI ARRIAM, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: laktionov@arriam.ru

# **Гены-маркеры эффективного арбускулярно-микоризного симбиоза у *Medicago lupulina***

*Кудряшова Т.Р.\*<sup>1,2</sup>, Крюков А.А.<sup>2</sup>, Юрков А.П.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной  
микробиологии, Санкт-Петербург, г. Пушкин, Россия  
\* e-mail: tahacorfu@yandex.ru

Грибы арбускулярной микоризы (AM, Glomeromycetes), играют важную роль в наземных экосистемах, усиливая питание растений, особенно фосфорное, повышая адаптацию растений к стресс-факторам среды биотической и абиотической природы, принимая участие в восстановлении нарушенных земель. Помимо защиты растений от патогенов, грибы AM в условиях засухи регулируют расход воды в растении с помощью изменения экспрессии генов аквапоринов у растения. На территории РФ вид *Medicago lupulina* L. Subsp. *Vulgaris* Koch. — один из наиболее значимых сельскохозяйственных культур для кормопроизводства. Люцерна хмелевидная является сидератной и кормовой культурой, удобна для применения в ремедиации земель, обеспечивает минерализацию растительных остатков. В настоящее время ведется активная разработка биопрепаратов — усилителей роста растений на основе AM грибов, несмотря на их облигатный статус по отношению к растению-хозяину. Нами были проанализированы относительные уровни экспрессии генов из трех ключевых семейств (*SWEET*, *AQP*, *PHT*) у модельного растения *M. lupulina*, а именно линии MIS-1 (экологически облигатно-микотрофной линии в условиях низкого уровня биодоступного фосфора в субстрате (Рд)). Растения были микоризованы высокоэффективным штаммом гриба *Rhizophagus irregularis* RCAM00320. Уровни экспрессии были проанализированы в ключевые стадии онтогенеза растения-хозяина при различных условиях (разные уровни Рд, недостаток влаги).

Проведена нормализация уровня экспрессии по циклу выхода гена интереса с референсным геном (b-актином), а затем — к контрольному значению в варианте без микоризы. По проведенным исследованиям гены-кандидаты в маркеры эффективного AM симбиоза из семейства фосфорных транспортеров — *MIPT4*, транспортеров углеводов — *MISWEET1b*, *MISWEET3c* и *MISWEET16*, аквапоринов — *NIP2.1*, *NIP 4.2*. Эти гены рекомендуются к применению для тестирования эффективности AM-симбиозов в полевых условиях с целью проверки качества биопрепаратов.

*Работа выполнена при поддержке РНФ № 24-26-00181.*

## **Marker genes for effective arbuscular-mycorrhizal symbiosis in *Medicago lupulina***

*Kudriashova T.R.\*<sup>1,2</sup>, Kryukov A.A.<sup>2</sup>, Yurkov A.P.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Pushkin, Russia

\* e-mail: tahacorfu@yandex.ru

## **Взаимовыгодный симбиоз грибов с растениями (микориза) как основа получения здорового посадочного материала древесных культур**

*Ларина Г.Е.\*, Митин Д.Н., Серая Л.Г.*

Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии (ВНИИФ), Большие Вяземы, Россия  
\* e-mail: larina.galina2014@gmail.com

Микориза является примером мутуализма или взаимовыгодных симбиотических взаимоотношений, полезных как для грибов, так и растений. Арbusкулярные микоризные грибы (АМГ) получают от корней растения органические соединения – углеводы (Peterson, et.al., 2004). Участие микоризы в жизни растения заключается в дополнительном поступлении питательных веществ, ускоренном росте корней и поддержании иммунного статуса в условиях стресса (Smith and Read, 2008; Yang et al., 2023).

Нами продолжена серия исследований, важных для решения практических задач по созданию условий выращивания и получения здорового посадочного материала древесных культур (Ларина, Серая, 2024). Одной из задач стал анализ эффективности приема микоризации грибами рода *Glomus* питательного грунта в контейнерах с клоновым карликовым подвоем яблони домашней - Malling 9 (*Malus domestica*). Работы проведены в условиях Московской области на опытной контейнерной площадке ВНИИ фитопатологии. В качестве питательного грунта использовали две смеси: на основе нейтрализованного торфа (ТС) и местной плодородной почвы (ПС). Схема опыта включала: контроль, этalon и варианты с микоризообразующими препаратами, вносимыми в грунт перед высадкой растений в контейнеры. Контроль влияния АМГ осуществляли прямыми измерениями почвенных условий (температура, влажность и др.) и инструментальными измерениями отклика растений (морфометрия и др.). Установлено, что микоризация положительно влияла на снижение температуры на 12-14% и сохранение количества влаги на 8-16% в корневом коме яблони. Получена существенная прибавка в росте яблони на ТС от 60 до 72% и ПС от 45 до 51%, по сравнению с контролем. Рост корней был сопоставим с эффектом на эталоне, где использовали препарат на основе индолил-3-уксусной кислоты. Полученные результаты продемонстрировали, что рост микоризированных растений в ТС был на 16-24% выше, по сравнению с ПС (критерий Фишера равен  $F = 2,62 > F_{\text{крит}} = 2,01, P=0,01$ ).

## **Mutually beneficial symbiosis of fungi with plants (mycorrhiza) as a basis for obtaining healthy planting material for tree crops**

*Larina G.\*, Mitin D., Seraya L.*

All-Russian Scientific Research Institute of Phytopathology (ARRIP), Bolshye Vyazemy, Russia  
\* e-mail: larina.galina2014@gmail.com

# **Физиолого-биохимические показатели инокулированных проростков *Phaseolus vulgaris* L. как индикаторы эффективного симбиоза с эндофитными бактериями**

*Маркова О.В.\* Гарипова С.Р., Матюнина В.Д., Чистоедова А.В.*

Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия  
\* e-mail: o-ksana@list.ru

При разработке формул биопрепаратов эндофитных бактерий (штамм и доза бактерий) для конкретных видов и сортов растений важно знать предикторы эффективного симбиоза на ранних стадиях развития растений. Ранее для сорта фасоли Уфимская в полевых условиях было выявлены эффективные варианты (ЭВ) (*B. subtilis* 10-4 в дозах  $10^5$  и  $10^8$  кл./мл и *B. subtilis* SG-12 $\times 10^8$  кл./мл) и неэффективный вариант (НВ) (*B. subtilis* 26Д $\times 10^8$  кл./мл) инокуляции, которые оценивали по семенной продуктивности. Цель работы – определить физиолого-биохимические показатели инокулированных эндофитными бактериями недельных растений, которые коррелируют с полевой эффективностью.

Семена обрабатывали суспензиями бактерий в дозах –  $10^5$  и  $10^8$  кл./мл. Определяли длину корня и побега, число придаточных корней, сумму длин корней и массу проростков. В корнях и побегах инокулированных растений анализировали накопление малонового диальдегида (МДА), перекиси водорода ( $H_2O_2$ ), активность каталазы (КАТ), пероксидазы (ПОД), супероксиддисмутазы (СОД). В ЭВ отмечалось снижение содержания МДА в корнях на 17-23% и трехкратное повышение уровня  $H_2O_2$  в побегах относительно контроля. НВ отличался пониженным содержанием  $H_2O_2$  в корнях и в побегах. Активность КАТ в корнях в ЭВ не отличалась от контроля, а в НВ повышалась в корнях (на 65%) и в побегах (на 29%). Активность СОД во всех вариантах была повышена в корнях в 1,5-2,5 раза, и снижена на 17-43% в побегах. Активность ПОД увеличивалась в корнях и побегах во всех вариантах, за исключением *B. subtilis* SG-12 $\times 10^8$  кл./мл в побегах, в котором оставалась на уровне контроля. Показатели удельной активности ферментов (в пересчете на единицу содержания  $H_2O_2$ ) были выше на 15-91% контроля в НВ, и не превышали контроль в ЭВ. Комплекс таких показателей, как МДА,  $H_2O_2$ , КАТ в корнях 7-суточных инокулированных растений коррелировали с полевой продуктивностью соответствующих вариантов и могут служить маркерами эффективного симбиоза с эндофитными бактериями на ранних этапах онтогенеза.

## **Physiological and biochemical parameters of inoculated *Phaseolus vulgaris* L. seedlings as indicators of effective symbiosis with endophytic bacteria**

*Markova O.V.\* Garipova S.R., Matyunina V.D., Chistoedova A.V.*

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

\* e-mail: o-ksana@list.ru

## **Микробные сообщества ризосферы байкальских эндемиков семейства Fabaceae**

*Маркова Ю.А.\*<sup>1</sup>, Кривенко Д.А.<sup>1</sup>, Хадеева Е.Р.<sup>2</sup>, Галивонджян А.Х.<sup>3</sup>, Демкина А.О.<sup>3</sup>, Гилеп К.А.<sup>3</sup>, Сутормин Д.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> СИФИБР СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>2</sup> Институт географии СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>3</sup> Сколковский институт науки и технологий, Москва, Россия

\* e-mail: juliam06@mail.ru

Симбиоз как форма взаимовыгодного сосуществования обуславливает быструю и эффективную адаптацию организмов к условиям окружающей среды. Ольхонские степи — уникальный ландшафт Прибайкалья, сохранивший фрагменты древних экосистем, сформировавшихся в неоген-четвертичный период. Сочетание аридного климата, экстремальной инсоляции, специфических почвенных условий и исторически слабого антропогенного воздействия (вплоть до середины XX века) делает эту территорию природной лабораторией для изучения эволюции растительно-микробных взаимодействий. Цель работы состояла в изучении таксономической структуры и функционального потенциала ризосферного микробиома растений *Astragalus chorinensis*, *A. olchonensis*, *Hedysarum zundukii*, *Oxytropis microphylla*, *O. muricata*, *O. triphylla* и *Vicia olchonensis*. Установлено, что ризосферный микробиом всех изученных видов статистически значимо отличается от микробного сообщества окружающей их почвы (оценка по индексу β-разнообразия, ANOSIM  $p < 0.01$ ). Индексы α-разнообразия в ризосфере были достоверно выше. Для каждого вида растений установлен состав консервативного ризосферного микробиома, который включает представителей Acidobacteriota, Actinobacteriota и Proteobacteria. Наиболее специфичный состав микробного сообщества выявлен у *Astragalus olchonensis*, что может быть связано с его узкой экологической приуроченностью. Таким образом, микробиомы ризосферы эндемичных видов Fabaceae обладают уникальной таксономической структурой. Обнаруженное в ризосфере доминирование представителей Actinobacteriota (до 50%) и Proteobacteria (до 45 %), указывает на потенциальные механизмы микробной поддержки растений-хозяев, включая биоконтроль патогенов и ослабление абиотического стресса. Полученные данные расширяют наше представление о роли симбиотических систем в адаптации растений и важны для разработки стратегий сохранения биоразнообразия.

## **Microbial communities of the rhizosphere of baikal endemics of the family Fabaceae**

*Markova Y.A.\*<sup>1</sup>, Krivenko D.A.<sup>1</sup>, Khadeeva E.R.<sup>2</sup>, Galivondzhyan A.K.<sup>3</sup>, Demkina A.O.<sup>3</sup>, Gilep K.A.<sup>3</sup>, Sutormin D.A.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> SIPPB SB RAS, Irkutsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

<sup>3</sup> Skolkovo Institute of Science and Technology, Moscow, Russia

\* e-mail: juliam06@mail.ru

# **Эволюционные последствия горизонтального переноса генов от агробактерий к растениям в природе**

*Матвеева Т.В.<sup>\*1</sup>, Жидкин Р.Р.<sup>1</sup>, Шапошников А.Д.<sup>1</sup>, Журбенко П.М.<sup>2</sup>, Богомаз О.Д.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: radishlet@gmail.com

Почвенные бактерии *Agrobacterium tumefaciens* и *Rhizobium rhizogenes* способны переносить и интегрировать в хромосому растения-реципиента фрагмент своей плазмида, Т-ДНК. В редких случаях из клеток, трансформированных штаммами дикого типа могут регенерировать целые растения, которые могут быть подхвачены эволюцией. Их называют природными ГМО (пГМО). В настоящее время известны десятки родов двудольных растений, содержащих в своем составе пГМО.

На основании наших исследований представителей родов *Nicotiana*, *Linaria*, *Camellia*, *Vaccinium*, *Arachis* с использованием комплекса биоинформационических и молекулярно-генетических методов было показано, что одни и те же таксоны могут подвергаться агробактериальной трансформации в эволюции неоднократно. Природные трансгены растений различаются по своему составу и сохранности своих последовательностей.

На примере рода *Arachis* было показано, что гены синтеза опинов имели различную эволюционную судьбу: ген кукумопин-сингтазы остался интактным у большинства изученных видов этого рода, в то время как гены агропинового биосинтетического пути были частично или полностью утрачены у всех изученных видов.

На примере видов из родов *Nicotiana*, *Linaria*, *Arachis* было показано, что природные трансгены экспрессируются тканеспецифично. Результатом экспрессии опин-сингтаз у нескольких видов табака и культурного арахиса является наработка соответствующих опинов, обладающих биологической активностью. Функции *plast*-генов в природных ГМО еще предстоит изучить.

Трансгены растений рода *Camellia* потеряли свою функциональность, но паттерн накопленных мутаций говорит о том, что ранее гены были интактными, а в процессе эволюции они мутировали как минимум двумя независимыми путями. Таким образом, природные трансгены, подвергаясь отбору, могут «выбраковываться» или сохраняться интактными длительное время, повышая адаптивный потенциал своих хозяев.

*Работа выполнена с использованием оборудования РЦ СПБГУ «PMiKT», «MACB», «Биобанк» при поддержке РНФ, грант № 25-26-00123*

## **Evolutionary consequences of horizontal gene transfer from Agrobacterium to plants in natural conditions**

*Matveeva T.V.<sup>\*1</sup>, Zhidkin R.R.<sup>1</sup>, Shaposhnikov A.D.<sup>1</sup>, Zhurbenko P.M.<sup>2</sup>, Bogomaz O.D.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Komarov Botanical Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: radishlet@gmail.com

## **Изучение свойств эндофитных бактерий, перспективных для инокуляции гороха сорта Кормовой 23**

*Матюнина В.Д.\*<sup>1,2</sup>, Гиниятуллин А.Р.<sup>1,2</sup>, Гаршина Д.Ю.<sup>2</sup>, Пусенкова Л.И.<sup>2</sup>,  
Гарипова С.Р.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Уфимский университет науки и технологий, Уфа, Россия

<sup>2</sup> Башкирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства УФИЦ РАН, Уфа, Россия

\* e-mail: viktoria030700@mail.ru

Эндофитные бактерии – перспективный объект агробиотехнологии, сочетающий стимуляцию роста и биологическую защиту растений. Цель работы – скрининг новых штаммов для инокуляции гороха сорта Кормовой 23, анализ их физиолого-биохимических свойств, а также оценку влияния дозы бактериальных клеток на ростовые параметры и уровень заражённости проростков патогенами. Эндофитные бактерии были выделены из клубней картофеля, корней фасоли. Физиолого-биохимические свойства оценивали с использованием индикаторной бумажной системы (АО НПО «Микроген»), способность к азотфиксации – по росту на среде Эшби. Бактерии культивировали на среде LB. Семена гороха обрабатывали суспензиями двухсуточных бактерий ( $10^5$ - $10^7$  КОЕ/мл) 0,1 мл/г семян, проращивали и оценивали результаты согласно ГОСТ 12044-93. Статистическую обработку данных проводили в MS Excel при  $p<0,05$ .

Клетки и колонии новых 5 штаммов имели морфотип, характерный для *Bacillus* sp. Все штаммы проявили уреазную активность, способность к азотфиксации, но отличались по оксидазной активности, утилизации отдельных субстратов, декарбоксилазной активности и дозе, стимулирующей рост растений. Лучшим вариантом по сравнению с контролем без инокуляции являлась обработка штаммом V1 в дозе  $10^5$  КОЕ/мл: длина корня увеличилась на 38%, длина побега на 39,1%, число боковых корней на 27%, наименьшая заражённость альтернариозом отмечена в варианте P25 ( $10^7$  КОЕ/мл) – 40% против 100% в контроле, тогда как полное подавление бактериоза наблюдалось в вариантах *Bacillus subtilis* 26Д (эталон) и P21 в дозе  $10^7$  КОЕ/мл. Проанализирована связь между свойствами бактерий *in planta* и *in vitro* и источником выделения штаммов.

Полученные результаты подтверждают высокую перспективность эндофитных бактерий, в частности штамма V1, для разработки эффективных инокулянтов гороха, способных как стимулировать рост растений, так и снижать уровень патогенной зараженности семян.

*Исследование выполнено в рамках соглашения № 075-15-2025-180 от 17.04.2025 г. с Минобрнауки России.*

## **Study of the properties of endophytic bacteria promising for inoculation of peas of Kormovaya 23 cultivar**

*Matyunina V.D.\*<sup>1,2</sup>, Giniyatullin.R.<sup>1,2</sup>, Garshina D.Y.<sup>2</sup>, Pusenkova L.<sup>1,2</sup>, Garipova S.R.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

<sup>2</sup> Bashkir Research Institute of Agriculture UFRC RAS, Ufa, Russia

\* e-mail: viktoria030700@mail.ru

## **Влияние бактерий рода *Bradyrhizobium* на супрессивность почвы**

*Нikitинский Д.А.\*<sup>1</sup>, Никитинская Е.В.<sup>1</sup>, Игнатов А.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский центр карантина растений, Московская область, Россия

<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

\* e-mail: denpreffect@yandex.ru

Характеристики микробиома являются индикатором состояния почвы, ее изменений и характеризуют технологию земледелия. С внедрением метода NGS (Секвенирование нового поколения), стало возможным изучать динамику изменений микробиома. Высокопродуктивная почва обладает супрессирующей активности в отношении фитопатогенов (Mazzola, 2002; Stone et al., 2004). Микробиоту двух контрастных по супрессивности соседних полей с черноземной почвой (Белгородская обл.) под культурой озимой пшеницы оценивали микробиологическими методами и NGS анализом в течении вегетационного периода (апрель-сентябрь). В весенний и осенний периоды между полями не были выявлены достоверные различия по составу бактериальной микробиоты методом NGS. Доминировали представители Actinobacteria (Gaiellales, Rubrobacteriaceae, Nocardioidaceae), Gemmatimonadaceae, Proteobacteria (Rhizobiales и другие). Общее микробное число для почвы с поля высокой супрессивности было более выравненным по повторениям, но отличалось незначительно по абсолютному значению от второго поля. Второе поле характеризовалось неоднородным микробным ландшафтом, с явными очагами грибного поражения растений, соответствующего локальным эпизодам популяций фитопатогенных аскомицетов. Количество аммонификаторов в почве возрастало осенью до 10 раз по сравнению с летним периодом, а общее количество азотфиксаторов – наоборот, уменьшалось в 3 и более раз. К середине лета различия между полями стали достоверными по доле представленности бактериальных таксонов. Почва с высокой супрессивностью характеризовалась в летний период 1,5x кратным снижением доли бактерий таксона Gaiellales (Actinobacteria) – с 6 до 4%, и значительным ростом (от 0,5 до 2,5%) доли симбиотических бактерий рода *Bradyrhizobium* (Alphaproteobacteria, Rhizobiales). Ранее, азотфикссирующие бактерии *Bradyrhizobium* были выявлены в ризосфере сорго (Hara et al. 2019, Front Microbiol.), и видимо могут быть индикатором супрессивности почвы в рамках зерновых севооборотов на черноземах юга РФ

## **The effect of bacteria of the genus *Bradyrhizobium* on soil suppression**

*Nikitinsky D.A.\*<sup>1</sup>, Nikitinskaya E.V.<sup>1</sup>, Ignatov A.N.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Plant Quarantine Center, Moscow region, Russia

<sup>2</sup> Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba (RUDN named after Patrice Lumumba),, Moscow, Russia

\* e-mail: denpreffect@yandex.ru

# **Разработка новых подходов к изучению влияния клубеньковых бактерий на регуляцию специфичного иммунного ответа у растений гороха посевного *Pisum sativum* L.**

*Павлова О.А.\*<sup>1</sup>, Долгих Е.А.<sup>1</sup>, Шалякина А.А.<sup>1</sup>, Долгих А.В.<sup>1</sup>, Бовин А.Д.<sup>1</sup>, Канцurova E.S.<sup>1</sup>, Dymo A.M.<sup>1</sup>*

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: oa.pavlova@arriam.ru

Изучение регуляции развития иммунного ответа у бобовых растений при взаимодействии с ризобиями под влиянием эффекторов выделяемых этими микроорганизмами с помощью системы секреции шестого типа (T6SS) вызывает несомненный исследовательский интерес. Особенно с учетом того, что ранее такие исследования проводились, главным образом, при изучении влияния патогенных микроорганизмов на растения. Известно, что гены, которые кодируют потенциальные эффекторы, ассоциированы с генами *tssD* кодирующими шиповидный комплекс (VgrG) и генами *tssI* кодирующими трубчатую структуру (Hcp) T6SS. На основании чего был проведен поиск генов потенциальных эффекторов с использованием биоинформационического анализа генома типового эффективного штамма *Rhizobium johnstonii* 3841. Также была оценена степень консервативности аминокислотной последовательности белков ризобий, ассоциированных с T6SS. Для дальнейшего исследования нами были выбраны как консервативные белки эффекторы (с доменами DUF2169 и DUF4150), так и уникальный для штамма *R. johnstonii* 3841 эффектор (eff310). Для оценки влияния на модуляцию иммунного ответа и развитие симбиоза у растений гороха посевного *Pisum sativum* L были использованы два подхода. Первый связан с увеличением уровня экспрессии генов эффекторов ризобий в векторе pHC60 под эффективным lac промотором. Нами были получены генетические конструкции для генов *duf2169*, *duf4150* и *eff310* и проведена трансформация штамма *R. johnstonii* 3841. В настоящий момент получены штаммы *R. johnstonii* 3841-pHC60-*duf4150* и *R. johnstonii* 3841-pHC60-*eff310*. Второй подход связан с выключением генов потенциальных эффекторов в результате сайт-направленного инсерционного мутагенеза с использованием плазиды pK18mob. Получены штаммы *R. johnstonii* 3841-pK18mob-*duf4150* и *R. johnstonii* 3841-pK18mob-*eff310*. Для оценки влияния на регуляцию иммунного ответа и развитие симбиоза была проведена инокуляция полученными штаммами растения гороха посевного *Pisum sativum* L.

*Работа поддержана грантом РНФ № 24-16-00180.*

## **Development of new approaches to studying the effect of nodule bacteria on the regulation of a specific immune response in pea plants *Pisum sativum* L.**

*Pavlova O.A.\*<sup>1</sup>, Dolgikh E.A., Shalyakina A.A., Dolgikh A.V., Bovin A.D.,*

*Kantsurova E.S., Dymo A.M.*

*ARRIAM, Saint-Petersburg, Russia*

*\* e-mail: oa.pavlova@arriam.ru*

# **Изучение механизмов действия гена *MtCLE35*, нитрат-регулируемого ингибитора развития симбиоза, на транскриптомном и метаболомном уровне**

*Петренко В.А.\*<sup>1</sup>, Рубцова Д.Н., Лебедева М.А., Лутова Л.А.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: st106188@student.spbu.ru

Симбиотическое взаимодействие между растениями семейства Бобовые и азотфиксирующими бактериями ризобиями представляет собой уникальное явление, благодаря которому растения получают способность усваивать атмосферный азот. Поскольку симбиоз энергетически затратен, растение регулирует численность клубеньков с помощью системы авторегуляции клубенькообразования (AON). Ключевыми негативными регуляторами в этой системе являются пептиды CLE, действующие по принципу отрицательной обратной связи.

У *Medicago truncatula* сверхэкспрессия гена *MtCLE35* полностью подавляет образование клубеньков, ингибируя программу развития симбиоза. Транскриптомный анализ растений со сверхэкспрессией этого гена выявил подавление 1122 генов, при этом уровень экспрессии некоторых генов возрастает. В их число входят гены пероксидаз, тиоредоксина, хитиназ, халкон-О-метилтрансферазы-1 и цистеин-обогащенных пептидов, участвующих в защитных функциях. Достоверное увеличение экспрессии данных генов также подтверждается методом qRT-PCR.

Помимо этого, у трансгенных растений люцерны со сверхэкспрессией гена *MtCLE35* (*MtCLE35*-ое) наблюдается накопление антоцианов в побегах. Биохимический анализ подтвердил статистически значимое увеличение общего содержания флавоноидов и антоцианов в корнях и побегах у растений *MtCLE35*-ое по сравнению с родительской линией R108. Кроме того, по данным метаболомного, у растений *MtCLE35*-ое снижено содержание азотсодержащих соединений в побегах и корнях люцерны, при этом наблюдается увеличение уровня свободных жирных кислот. Интеграция данных транскриптомного и метаболомного анализов растений *MtCLE35*-ое позволит лучше понять механизмы, лежащие в основе регуляции программы бобово-ризобиального симбиоза с участием регуляторных пептидов CLE.

## **Study of the mechanisms of action of the *MtCLE35* gene, a nitrate-regulated inhibitor of symbiosis development, at the transcriptomic and metabolomic levels**

*Petrenko V.A.\*<sup>1</sup>, Rubtsova D.N.<sup>1</sup>, Lebedeva M.A.<sup>1</sup>, Lutova L.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> St. Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: st106188@student.spbu.ru

## **Бактериальные металлопептидазы в контроле развития бобово-ризобиального симбиоза на примере бактерий из комплекса видов *Rhizobium leguminosarum* (Rlc)**

*Сальникова Е.А.\**, *Долгих А.В.*, *Канцуррова Е.С.*, *Дымо А.М.*, *Бовин А.Д.*,  
*Павлова О.А.*, *Долгих Е.А.*

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной  
микробиологии, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: lvsea00@gmail.com

При установлении азотфиксирующего симбиоза между бобовыми растениями и почвенными бактериями ризобиями одними из важных факторов определения специфичности взаимодействия являются NCR-пептиды растений и металлопептидазы бактерий. Показано, что расщепление NCR-пептидов металлопептидазами HrrP (Price et al., 2015, Proc Natl Acad Sci USA) и SapA (Benedict et al., 2021, Sci Rep) может оказывать влияние на эффективность симбиоза, однако субстратная специфичность ризобиальных металлопептидаз по отношению к разнообразным NCR-пептидам остается малоисследованной, в том числе у представителей рода *Rhizobium*, являющихся симбионтами важных сельскохозяйственных растений ( горох, вика, клевер и др.). В связи с этим наша работа проводилась на ряде штаммов из комплекса видов *Rhizobium leguminosarum* (Rlc), проявляющих разную эффективность при симбиозе с горохом посевным *Pisum sativum* L. Нами изучены нуклеотидные и аминокислотные последовательности металлопептидаз, их расположение в геномах и геномное окружение, распространённость среди ризобий. Проведен анализ уровней экспрессии *hrrP* в клубеньках гороха на разных сроках после инокуляции (2 недели после инокуляции (н.п.и.), 4 и 6 н.п.и.) и рассмотрена возможная роль металлопептидаз на данных этапах развития симбиоза. В частности, повышение уровня экспрессии *hrrP1* на 6 н.п.и. может быть связано с необходимостью защиты от NCR-пептидов для сохранения популяции ризобий в стареющих клубеньках, а наличие у штаммов дополнительных генов *hrrP2*, локализованных на плазмидах, предположительно может влиять на их эффективность. Кроме того, обнаружена различная субстратная специфичность 4-х металлопептидаз HrrP из разных штаммов Rlc по отношению к NCR-пептидам гороха, PsNCR140 и PsNCR29, вероятно, имеющим важное значение для симбиоза. Полученные данные важны для понимания роли металлопептидаз в бобово-ризобиальном симбиозе, а также для определения их влияния на эффективность штаммов.

*Работа поддержана грантом РНФ № 24-16-00180.*

## **Bacterial metallopeptidases in the control of legume-rhizobium symbiosis development on the *Rhizobium leguminosarum* species complex (Rlc) bacteria example**

*Salnikova E.A.\**, *Dolgikh A.V.*, *Kantsurova E.S.*, *Dymo A.M.*, *Bovin A.D.*,  
*Pavlova O.A.*, *Dolgikh E.A.*

All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia  
\* e-mail: lvsea00@gmail.com

# **Роль микроРНК в подавлении иммунного ответа у бобовых растений при развитии эффективного внутриклеточного симбиоза *Pisum sativum* L.**

*Смирнова Н.В.\*, Долгих А.В., Канцуро娃 Е.С., Долгих Е.А.*

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: nv.smirnova@arriam.ru

Растительные микроРНК (miRNA) играют важную роль в реакциях на биотический и абиотический стресс. Они могут регулировать устойчивость растений к патогенам, но активируются и при симбиозах. Было показано, что три типа растительных miRNA (2118, 1507, 2109) могут воздействовать на гены *NLR* у модельного растения *Medicago truncatula* и регулировать восприимчивость к инокуляции ризобиями. Однако какие типы микроРНК могут работать у других бобовых, в частности у гороха, остается малоисследованным.

С использованием биоинформационных подходов в геноме гороха нами был выявлен ген *miR1507*, который потенциально может влиять на уровень экспрессии генов цитоплазматических NLR-рецепторов. Мы провели анализ уровня экспрессии гена *miR1507* в корнях гороха сорта Frisson при инокуляции эффективными и неэффективными штаммами ризобий. Было установлено, что активация микроРНК, разрушающей рецепторы NLR, происходит уже на ранних стадиях развития симбиоза и может зависеть от Nod-факторов *Rhizobium leguminosarum*. Мы попытались выяснить на какие мишени может влиять микроРНК1507. Биоинформационный анализ показал, что два гена *RGA3-1* и *RGA3-2* являются потенциальными мишениями микроРНК1507. Оказалось, что уровень экспрессии этих двух генов существенно снижается под влиянием инокуляции в клубеньках по сравнению с неинокулированными корнями. Другие NLR, напротив, увеличивались в клубеньках, что свидетельствует об избирательном влиянии микроРНК только на определенные NLR. Для оценки влияния новой микроРНК на симбиоз, нами была проведена трансформация ризобий RCAM 1026 генетической конструкцией для повышенной экспрессии гена *miR1507* гороха у ризобий. Инокуляция растений гороха таким штаммом приводила к существенному увеличению таких показателей, как количество клубеньков, масса растения и масса корня по сравнению с контрольными растениями, инокулированными штаммом RCAM 1026 mCherry без конструкции с miR1507.

*Исследование поддержано грантом РНФ № 24-16-00180.*

## **The role of microRNAs in suppressing the immune response in legumes during the development of effective intracellular symbiosis *Pisum sativum* L.**

*Smirnova N.V.\*, Dolgikh A.V., Kantsurova E.S., Dolgikh E.A.*  
All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia  
\* e-mail: nv.smirnova@arriam.ru

## **Восстановление оксоанионов селена бактериями рода *Azospirillum***

*Тугарова А.В.\*, Владимирова А.А., Дятлова Ю.А., Камнев А.А.*

Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов РАН, Саратов, Россия

\* e-mail: tugarova\_anna@mail.ru

В работе изучена трансформация оксоанионов селена бактериями видов *Azospirillum baldaniorum*, *Azospirillum brasiliense* и *Azospirillum thiophilum*. Первые два являются одними из наиболее изученных и коммерчески используемых видов ризобактерий, относящихся к PGPR (plant-growth-promoting rhizobacteria – бактериям, стимулирующим рост растений).

Изучены механизмы восстановления сelenит-ионов у *A. baldaniorum* и *A. brasiliense*. С использованием мутантов штамма *A. brasiliense* Sp7 установлена прямая корреляция между процессами восстановления сelenит-ионов и нитрит-ионов (Tugarova *et al.*, Front Biosci. (Landmark Ed.), 2024). Предложена методика биосинтеза экстраклеточных однородных наночастиц Se (Se-НЧ) при восстановлении сelenита. При восстановлении сelenита штаммом *A. thiophilum* BV-S в присутствии сульфата в спектрах комбинационного рассеяния света (КРС) биомассы наблюдается две полосы: (1) при  $248 \text{ см}^{-1}$  – валентные колебания связи Se–Se в аморфном  $\text{Se}^0$ , (2) более слабая полоса при  $348 \text{ см}^{-1}$ , характерная для валентных колебаний связи Se–S. Отсутствие последней полосы в спектрах КРС выделенных Se-НЧ указывает на то, что связи Se–S, скорее всего, присутствуют в промежуточных соединениях, таких как сelenодиглутатион (GS–Se–SG) – промежуточный продукт реакции восстановления сelenита.

Впервые для бактерий рода *Azospirillum* обнаружено, что штамм *A. thiophilum* BV-S способен восстанавливать сelenат ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ) с образованием Se-НЧ в статичных условиях (аналогичных микроаэробным), но не в аэробных условиях (Tugarova *et al.*, Spectrochim. Acta A: Mol. Biomol. Spectrosc., 2025).

Полученные результаты могут быть полезными для различных направлений в биотехнологии: биоремедиация; биосинтез наночастиц и др.

## **Reduction of selenium oxyanions by bacteria of the genus *Azospirillum***

*Tugarova A.V.\*, Vladimirova A.A., Dyatlova Y.A., Kamnev A.A.*

Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, RAS, Saratov, Russia

\* e-mail: tugarova\_anna@mail.ru

## **Влияние новых штаммов эндофитных бактерий, выделенных из растения фасоли, на семенную продуктивность сорта Эльза**

*Хужин Т.С.\*, Гарипова С.Р., Маркова О.В., Матюнина В.Д.*

УУНиТ, Уфа, Россия

\* e-mail: khuzhin0707@mail.ru

В условиях Южного Урала сорт Эльза по сравнению с местными сортами фасоли отличается высокой продуктивностью и устойчивостью к болезням, но чувствителен к условиям влагообеспеченности. За счет обработки семян полезными эндофитными бактериями предполагалось повысить адаптивные свойства этого сорта, но он слабо отзывался на инокуляцию. Актуальным является дальнейший поиск для него эффективных симбионтов или изменение доз исследованных штаммов. Цель работы – оценить влияние новых штаммов эндофитных бактерий и их доз на семенную продуктивность сорта Эльза в полевых условиях.

Исследуемые штаммы являлись эндофитами растений фасоли: *Bacillus subtilis* SG12 (ВКПМ 11726), *Bacillus* sp. V1 и *B. amyloliquefaciens* V2 (БНИИСХ). Эталон – штамм *B. subtilis* 26Д (ВКПМ № 016-02-2491-1). Семена инокулировали суспензией спор бактерий в дозах  $10^5$ – $10^8$  кл./мл. Мелкоделяночный полевой опыт проводили в Чишминском районе Республики Башкортостан в 2024 г. Почва серая лесная, супесчаная. Посев осуществляли 29 мая с нормой 15 семян/м и шириной междурядий 45 см. Срок уборки 21 сентября. Сезон отличался избыточным увлажнением (ГТК 1,9). Учитывали число бобов, число семян, массу семян с делянки.

Всхожесть семян сильно варьировала, что ограничило сравнение только между сопоставимыми по числу растений вариантами. Обработка штаммом SG12 в дозе  $10^6$  кл./мл оказала положительное влияние на семенную продуктивность ( $305 \text{ г}/\text{м}^2$ ), однако увеличение этой дозы на порядок привело к снижению продуктивности на 31%. Обработка штаммом V1 в дозе  $10^6$  кл./мл привела к формированию  $309 \text{ г}/\text{м}^2$  массы семян, но при обработке в дозе  $10^5$  кл./мл масса семян была на 23% меньше, а применение этого штамма в дозе  $10^8$  кл./мл дало двукратное снижение урожая по сравнению с оптимальным вариантом. Обработка штаммами V2 и 26Д была неэффективной вследствие низкой всхожести или меньшей продуктивности растений. Выявленный зависимый от дозы бактерий эффект на семенную продуктивность растений фасоли сорта Эльза требует дальнейшего изучения.

## **The influence of new strains of endophytic bacteria isolated from bean plants on seed productivity of the Elsa cultivar**

*Khuzhin T.S.\*, Garipova S.R., Markova O.V., Matyunina V.D.*

Ufa University of Science and Technology, Ufa, Russia

\* e-mail: khuzhin0707@mail.ru

## **Эндофитные бактерии картофеля: перспективы практического использования для защиты растений**

*Чеботарь В.К.\*<sup>1</sup>, Заплаткин А.Н.<sup>1</sup>, Хютти А.В.<sup>2</sup>, Лазарев А.М.<sup>2</sup>, Быстрицкий А.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

<sup>3</sup> ООО «АгроИнтер», Ленинградская область, Россия

\* e-mail: vladchebotar@arriam.ru

В результате коэволюции почвенной микрофлоры и растений возникают симбиотические эндофитные системы, которые с высокой эффективностью выполняют конкретные трофические и защитные функции (азотфиксация, продукция фитогормонов, подавление фитопатогенов), широко используемые в адаптивном земледелии, основанном на применении микробных препаратов. Изучение микробиома картофеля (*Solanum tuberosum L.*), позволяет сформировать представление о биоразнообразии микроорганизмов, которое часто зависит от сорта и фазы развития растения. С целью создания микробиологического препарата для борьбы с болезнями картофеля, из клубней картофеля с. Сударыня выделен и отобран штамм эндофитных бактерий *Bacillus amiloliquefaciens* P20, способный ингибировать рост фитопатогенных грибов *Rhizoctonia solani*, а также *Fusarium solani*, *F.cultorum*, *F.oxysporum* и *Alternaria solani*, а также фитопатогенных бактерий *Pectobacterium atrosepticum*, *Clavibacter michiganensis*, *Xanthomonas campestris* pv. *campestris* в лабораторных опытах на чашках Петри. Разработана технология производства и применения микробиологического препарата на основе штамма *Bacillus amiloliquefaciens* P20 в качестве средства защиты картофеля от болезней под названием Ризофайт. В результате производственных опытов по предпосадочной обработки клубней картофеля с. Садон препаратом показано, что во всех вариантах применения биологических препаратов отмечено увеличение урожайности на 7,2 – 17,6 %, относительно хозяйственной схемы выращивания, что составило от 3,4 до 8,3 т/га дополнительного урожая. Лучший результат по валовой урожайности, при совмещении химического протравителя и эндофита к химическому стандарту Селест Топ – 17,6%, получен в варианте с применением препарата Ризофайт.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта «Создание экспериментальных образцов микробных биопрепаратов для новых сортов картофеля, создание и регистрация биоfungицида на основе эндофитных бактерий для биологической защиты картофеля» (FGEW-2024-0008).*

## **Potato endophytic bacteria: prospects for practical use for plant protection**

*Chebotar V.K.\*<sup>1</sup>, Zaplatkin A.N.<sup>1</sup>, Khiutti A.V.<sup>2</sup>, Lazarev A.M.<sup>2</sup>, Bystritsky A.A.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Research Institute of Plant Protection, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

<sup>3</sup> Limited Liability Company AgroInter, Leningrad Region, Russia

\* e-mail: vladchebotar@arriam.ru

# **Система секреции VI типа у комплекса видов *Rhizobium leguminosarum* (Rlc) и её влияние на формирование симбиоза с горохом *Pisum sativum* L.**

*Шалякина А.А.\**, *Павлова О.А.*, *Долгих Е.А.*, *Курчак О.Н.*, *Онищук О.П.*

Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: ALEXSHALL@LIST.RU

Сигнальный обмен между ризобиями и растением-хозяином играет ключевую роль в формировании и функционировании симбиоза. Помимо таких сигнальных молекул, как растительные флавоноиды и бактериальные Nod-факторы, всё больше данных указывает на участие в регуляции симбиоза белковых эффекторов, доставляемых в клетки растений с помощью систем секреции III, IV и VI типов. У ризобий комплекса *Rhizobium leguminosarum* (Rlc) эти системы изучены недостаточно. У *Rhizobium johnstonii* 3841 функционирует только система секреции VI типа (T6SS). Мутации по отдельным генам компонентов T6SS приводят к формированию клубеньков, неспособных к фиксации азота, что может свидетельствовать о роли этой системы в симбиотическом взаимодействии. Однако влияние эффекторов T6SS на симбиоз остаётся недостаточно изученным.

Полногеномный анализ выявил T6SS и гены, кодирующие эффекторные белки DUF2169 и DUF4150, у большинства исследованных штаммов (3841, K19, K9). У штамма 3841, обладающего повышенной клубенькообразующей способностью, также обнаружен ген эффектора DUF309. У штаммов *R. ruijarguesonis* 1026 (формирует небольшое количество клубеньков), Vst 36-3 и K3 (клубеньки не фиксируют азот) компоненты T6SS не найдены. Гены эффекторов *duf2169*, *duf309* и *duf4150* были клонированы для гетерологичного синтеза и изучены их свойства. Получены штаммы *R. ruijarguesonis* 1026 и *R. johnstonii* 3841, трансформированные плазмидами pHC60 с клонированными генами *duf2169*, *duf309* и *duf4150* под промотором *LacZ*, которые использовали для трансформации гороха посевного. При инокуляции гороха штаммом *R. ruijarguesonis* 1026 (pHC60-*duf309*) подтверждено положительное влияние DUF309 на количество клубеньков. Методом сайт-направленного инсерционного мутагенеза с использованием плазмида pK18mob получены мутантные штаммы *R. johnstonii* 3841 по генам эффекторов *duf4150* и *duf309* для исследования их функций и влияния на симбиоз. Выявлена потенциальная мишень для эффекторов, NBS-LRR белок KR1.

*Работа поддержанна грантом РНФ № 24-16-00180.*

## **Type VI Secretion System in the *Rhizobium leguminosarum* Species Complex (Rlc) and Its Role in Symbiosis Formation with Pea (*Pisum sativum* L.)**

*Shalyakina A.A.\**, *Pavlova O.A.*, *Dolgikh E.A.*, *Kurchak O.N.*, *Onishchuk O.P.*

All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: ALEXSHALL@LIST.RU

# **МОРСКИЕ СИМБИОТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

## **Заражённость крабов *Carcinonemertes* sp. (*Nemertea*) в заливе Петра Великого (Японское море)**

*Aфанасьев К.А.\**, *Вайнутис К.С.*

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,

Владивосток, Россия

\* e-mail: Kafanasev39@gmail.com

Разработка вопроса зараженности крабов литорально-сублиторальной зоны, к которым относятся крабы рода *Hemigrapsus*, является важным направлением для понимания жизненных циклов паразитов, а также трофических взаимоотношений между заражёнными кормовыми объектами и промысловыми гидробионтами.

К паразитам, способным влиять на численность крабов, относятся немертины рода *Carcinonemertes*. Созревая только на яйцекладущих хозяевах, они способны уничтожать до 100% кладки краба. В истории известны случаи, когда некоторые виды *Carcinonemertes* были причастны к краху промысла ракообразных в Северной Америке (Shields et al., In Proceedings of the International King Tanner King Crab Symposium., Biol. Bull, 1980.).

*Carcinonemertes* sp., впервые обнаруженная в 2014 году (Chernyshev, Nemertean biodiversity in the Sea of Japan and adjacent areas, 2014.) в бухте Восток Японского моря, была диагностирована нами в заливе Петра Великого у трёх видов крабов рода *Hemigrapsus*. Точная видовая принадлежность *Nemertea* была определена методами молекулярно-генетического анализа на основе гена *cox1* mtДНК. Крабы рода *Hemigrapsus* были собраны на четырёх станциях весной 2024 года: бухта Горностай Уссурийского залива; мыс Ахлёстышева, о. Русский; пляж Чайка, Амурский залив; бухта Новик, о. Русский.

*Carcinonemertes* sp. была обнаружена у двух видов крабов (*H. sanguineus*, *H. penicillatus*) только поздней весной во время начала нереста крабов. Локализировались паразиты в икре под абдоменом самок крабов.

В бухте Горностай и у мыса Ахлёстышева немертины в икре крабов не были диагностированы. В бухте Новик экстенсивность инвазии (ЭИ) *H. penicillatus* составляла 12,5 %, ср. интенсивность инвазии (ИИ) 3,6 экз/краба, индекс обилия (ИО) 0,6 экз/краба, амплитуда интенсивности инвазии (АИИ) 12 – 14 экз/краба; *H. sanguineus* ЭИ 40 %, 4 – 10 экз/краба; ср. ИИ 13 экз/краба; ИО составляет 1,6 экз/краба. У пляжа Чайка *H. sanguineus* ЭИ составляет 18,5 %, ср. ИИ 6,2 экз/краба, ИО 2,5 экз/краба, АИИ 1 – 8 экз/краба.

## **Infection of *Carcinonemertes* sp. (*Nemertea*) crabs in Peter the Great Bay (Sea of Japan)**

*Afanasyev K.A.\**, *Vainutis K.S.*

Far Eastern State Technical Fisheries University, Vladivostok, Russian Federation

\* e-mail: Kafanasev39@gmail.com

## *Prosorhynchus squamatus* (Digenea: Bucephalidae) — комплекс видов?

Балыко Д.Г.\*<sup>1</sup>, Гончар А.Г.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: ggsmky5@gmail.com

Семейство Bucephalidae объединяет пресноводных и морских трематод с треххозяинным жизненным циклом, в котором роль первого промежуточного хозяина (ППХ) играют двустворчатые моллюски, а второго промежуточного и окончательного хозяев — рыбы. В boreальных морских биотопах Европы разнообразие буцефалид довольно велико, а в более высоких широтах фауна куда менее богата. Но насколько точно мы её представляем?

В фауне Белого моря известен один вид этого семейства — *Prosorhynchus squamatus*; он также распространен в Карском, Баренцевом и Балтийском морях, и на Дальнем Востоке. В Белом море в качестве ППХ описаны представители двух родов — *Mytilus* и *Musculus*. Это противоречит представлениям об узкой специфичности трематод к ППХ и наводит на мысли о том, что *Prosorhynchus squamatus* — это комплекс видов. Косвенно об этом могут свидетельствовать и неудачные попытки экспериментально заразить моллюсков (Сулоева, 1999).

В ходе исследования для одного изолята *Prosorhynchus* из *Mytilus edulis* (Печорское море) и двух изолятов из *Musculusdiscors* (Белое море) мы получили последовательности фрагмента 28S рДНК и выявили между ними различия, соответствующие межвидовым у других буцефалид. При этом последовательности для нашего изолята из мидии и для изолята марит *Prosorhynchus* из Охотского моря (Atopkin et al., 2022 Parasitology) оказались идентичными. Эти данные согласуются с гипотезой о существовании двух видов *Prosorhynchus*, один из которых развивается в мидиях, а второй — в мускулюсах.

Цель нашей дальнейшей работы — подробнее изучить биологию *Prosorhynchus* cf. *squamatus*, уточнить его видовой статус и особенности географического распространения. Для этого мы планируем собрать дополнительный материал из разных видов двустворчатых моллюсков и рыб из разных регионов для тщательного морфологического описания и генетического анализа с использованием нескольких ДНК-маркеров.

Работа поддержанна в рамках темы госзадания № 125012800903-5.

## Is *Prosorhynchus squamatus* (Digenea: Bucephalidae) a species complex?

Balyko D.\*<sup>1</sup>, Gonchar A.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> St Petersburg University, St Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, St Petersburg, Russia

\* e-mail: ggsmky5@gmail.com

## Эндосимбиотические турбеллярии брюхоногих моллюсков

Белолюбская К.И.\*<sup>1,2</sup>, Кремнев Г.А.<sup>4</sup>, Крапивин В.А.<sup>2,3</sup>, Скобкина О.А.<sup>3,5</sup>,  
Савченко А.С.<sup>1</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: 5beloks@gmail.com

Хотя турбеллярии традиционно рассматриваются как свободноживущие организмы, среди них многочисленны симбиотические представители. Однако сведения об их распространении, жизненных циклах, специфичности к хозяину и молекулярно-генетическом разнообразии остаются фрагментарными. Мы представляем исследование разнообразия и специфичности эндосимбиотических турбеллярий брюхоногих моллюсков, уделяя особое внимание представителям рода *Graffilla*.

Материал собран в 2016-2024 гг. в Белом (ББС МГУ им. Н. А. Перцова, УНБ “Беломорская” СПбГУ), Баренцевом (МБС ММБИ), Японском (станция “Восток”) морях, а также в море Содружества (станция «Прогресс»). Вскрыты моллюски следующих видов: *Buccinum undatum*, *B. glaciale*, *B. scalariforme*, *Neptunea despecta* (Buccinidae); *Nucella lapillus* (Muricidae); *Margarites helicus*, *M. groenlandicus* (Margaritidae); *Cryptonatica affinis*, *C. janthostoma*, *Euspira pallida* (Naticidae); *Onoba aculeus* (Rissoidae). Турбеллярий изучали под световым микроскопом *in vivo*, с помощью конфокальной микроскопии, на тотальных постоянных препаратах и по сериям гистологических срезов. Выполнен молекулярно-генетический анализ по фрагментам 18S рДНК и *coxl* mtДНК.

Для 9 из 12 видов гастропод турбеллярии обнаружены впервые. Молекулярно-генетический анализ выявил 5 генетически обособленных групп: *G. buccinicola* и 4 потенциально новых вида, для трех из которых молекулярные отличия подтверждаются морфологическими данными. Вместе с тем выявлена морфологическая вариабельность существующих таксономических признаков, указывающая на их ненадежность и необходимость ревизии подсемейства *Grafillinae*. Показана широкая специфичность вида *G. buccinicola*, заражающего моллюсков не только разных видов, но и разных семейств и даже отрядов; а также широкое географическое распространение вида: Белое, Баренцево, Балтийское, Печорское и Японское моря. Проведен статистический анализ данных вскрытий беломорских *B. undatum* и результатов поведенческих экспериментов с *G. buccinicola*.

## Endosymbiotic turbellarians of gastropods

Beloliubskaya K.I.\*<sup>1,2</sup>, Kremnev G.A.<sup>4</sup>, Krapivin V.A.<sup>2,3</sup>, Skobkina O.A.<sup>3,5</sup>,  
Savchenko A.S.<sup>1</sup>, Krupenko D.Y.<sup>3,4</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia

<sup>3</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

<sup>5</sup> Institute of Cytology Russian Academy of Science, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: 5beloks@gmail.com

## **Сокрытое разнообразие симбиотических взаимодействий в группе Bryozoa: Cheilostomata.**

*Богданов Е.А.\* , Вишняков А.Э., Котенко О.Н., Островский А.Н.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: OdFael@gmail.com

Первые зарисовки необычных органов, предположительно содержащих симбиотические микроорганизмы, обнаруживаются в работе Хэддон 1883 года, для вида *Carbasea carbarea*. Впоследствии эти образования, ошибочно интерпретировавшиеся как "семенники", "яичники" или "железы", обнаружились у представителей различных семейств — как базальных, так и продвинутых. Их истинная природа оставалась неясной вплоть до 1960-х годов, когда в серии работ Люто не только детально описала морфологию симбионт-содержащих органов, но и продемонстрировала их широкое распространение среди хейлостоматных мшанок. С этого момента симбиотические взаимоотношения в данной группе стали объектом активных исследований, включая молекулярно-генетические работы, которые, в частности, выявили способность бактериальных симбионтов синтезировать защитные метаболиты.

На сегодняшний день разные свидетельства наличия симбионтов встречаются у порядка 50 видов из 13 семейств: Adeonidae, Beaniidae, Bugulidae, Bryocryptellidae, Calwelliidae, Candidae, Cribelinidae, Epistomiidae, Fatkullinidae, Flustridae, Schizoporellidae, Umbonulidae и Watersiporidae. Наибольшую степень специализации демонстрируют представители надсемейства Buguloidea, у которых зооиды формируют уникальные структуры для инкубации симбионтов — функулярные тела. В других группах бактерии могут населять иные типы органов, например медиальные органы (*Schizobrachiella sanguinea*, *Figularia figularis*) или модифицированные вестибулярные железы (*Palmiskenea skenei*).

Несмотря на значительное разнообразие симбиотических систем у мшанок, их распределение носит мозаичный характер даже в пределах специализированных клад. Это ставит ряд вопросов, касающихся адаптивной роли симбиоза, а также его эволюционных механизмов в данной группе.

*Исследование поддержано Российским научным фондом (грант № 23-14-00351).*

## **Hidden diversity of symbiotic interactions within the Bryozoa: Cheilostomata.**

*Bogdanov E.A.\* , Vishnyakov A.E., Kotenko O.N., Ostrovsky A.N.*

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: OdFael@gmail.com

# **Разнообразие и роль животных-симбионтов в коралловых экосистемах**

*Бритаев Т.А.*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

Симбиотические ассоциации между многоклеточными животными широко распространены в морских экосистемах, однако наиболее разнообразны проявления симбиоза в тропических морях и, особенно, в экосистемах коралловых рифов. Общее число видов, обитающих на коралловых рифах, оценивается от 172 000 до 9 миллионов, но только небольшая часть этого разнообразия обеспечивается крупными, хорошо изученными таксонами, такими как рыбы и сами кораллы. Большая часть этих видов - это мелкие беспозвоночные, ведущие скрытный образ жизни, многие из которых являются симбионтами. В докладе дана оценка общего разнообразия животных - симбионтов, обитающих в коралловых экосистемах, анализ их таксономического состава и разнообразия отдельных групп симбионтов, рассмотрены морфологические адаптации к жизни на хозяине. Совокупность симбионтов, обитающих на хозяине, рассматривается, как симбиотическое сообщество. Рассмотрены симбиотические сообщества разной степени сложности, роль симбионта и хозяина в их функционировании, внутривидовые и межвидовые взаимодействия. Показано, что ключевым фактором, формирующим структуру симбиотических сообществ, является территориальное поведение. Особое внимание уделено мутуалистическим ассоциациям, часто встречающимся в коралловых экосистемах. Приведены примеры санитарного, трофического и защитного типов мутуализма. Даны оценки роли симбионтов в структуре и функционировании коралловых экосистем.

## **Diversity and role of animal symbionts in coral ecosystems**

*Britayev T.A.*

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, 119071 Russia

# **Клептопластия Sacoglossa (Mollusca, Gastropoda): уникальный пример эндосимбиоза у многоклеточных животных**

*Vlasova D.A.\*, Ekimova I.A., Stanovova M.B.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: dashavlaasova550@outlook.com

Клептопластия – форма симбиотических взаимоотношений, при которых гетеротрофы отбирают пластиды у водорослей, и некоторое время удерживают их в своих клетках, а не переваривают сразу. Некоторые организмы способны к функциональной клептопластии, когда внутри клеток организма пластиды сохраняют свою фотосинтетическую активность. Среди одноклеточных организмов клептопластия распространена у фораминифер, динофлагеллят, инфузорий и других групп. Среди Metazoa такая способность известна только для двух групп: моллюсков надотряда Sacoglossa (“solar-power slugs”) и плоских червей Rhabdocoela. В пределах Sacoglossa распространение функциональной клептопластии и особенности их отбора различаются в отдельных группах высокого ранга. Таким образом, целью данной работы стал обзор современного состояния исследования функциональных и эволюционных аспектов клептокнидии у Sacoglossa.

Выделяют два вида клептопластии (по времени сохранения флуоресценции хлорофилла): 1) кратковременная клептопластия (short-term retention (StR)) и 2) долговременная клептопластия (long-term retention (LtR)). При кратковременном отборе, пластиды остаются фотосинтетически активными около 10-15 дней, а при долговременном до 100 дней. Среди сакоглосс, раковинные представители Oxypoacea никогда не обладали клептопластией. Цератоносные безраковинные представители Limapontoidea в большинстве используют хлоропластины для формирования криптической окраски, а функциональная клептопластия встречается только у одного рода – *Costasiella* (StR и LtR). У параподиеносных сакоглосс Plakobranchoidea встречается долговременный отбор (LtR), который возникал независимо минимум четыре раза в ходе эволюции: *Plakobranchus ocellatus*, *Elysia chlorotica*, *Elysia crispata* и *Elysia timida*. Тем не менее, распространенность клептопластии по крайней мере в пределах Limapontoidea изучена недостаточно и нуждается в дополнительных исследованиях.

*Исследование поддержано грантом РНФ № 74-25-10006.*

## **Kleptoplasty in Sacoglossan sea slugs (Mollusca, Gastropoda): a unique example of endosymbiosis in Metazoa**

*Vlasova D.\*, Ekimova I., Stanovova M.*

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: dashavlaasova550@outlook.com

## **Море, полное trematod**

*Гончар А.Г.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: anya.gonchar@gmail.com

Оценка биоразнообразия, – вероятно, одна из наиболее давних задач, которые ставили перед собой естествоиспытатели. Тем не менее, мы всё ещё далеки от её решения, поскольку появление новых возможностей сопровождается и появлением новых проблем. При работе с паразитами дополнительная сложность – найти зараженных хозяев, и тем более установить связи между разными фазами многохозяинных жизненных циклов. В итоге мы довольно много знаем о видах, имеющих медицинское и хозяйственное значение, и критически мало – о практически всех остальных. Однако стечание обстоятельств может привести к интересным локальным успехам в оценке биоразнообразия паразитов дикой природы. Трематоды Белого моря как раз и являются таким особым случаем: по сути, мы очень близки к тому, чтобы охарактеризовать эту фауну полностью.

Почему это стало возможным? Во-первых, Белое море относительно невелико, и спектр доступных хозяев не так богат, как, например, в соседнем Баренцевом море. Во-вторых, исследования здесь довольно интенсивны – не в последнюю очередь благодаря существованию исторических и современных биостанций, а также заповедника. Но, пожалуй, даже важнее, чем интенсивность работы, оказалась её непрерывность: она продолжается чередой учеников и учителей уже более ста лет.

Сколько видов беломорских трематод в нашей коллекции и какие сюрпризы нас ещё могут ожидать? Действительно ли мы знаем жизненные циклы для большинства из этих видов? Какие преимущества даёт такое продвинутое знание фауны, и имеет ли оно ценность для глобального трематодного сообщества? Давайте посмотрим на эти данные критически и оценим перспективы.

*Работа поддержанна в рамках темы госзадания № 125012800903-5.*

## **The sea of trematodes**

*Gonchar A.*

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia  
Zoological Institute RAS, St Petersburg, Russia  
e-mail: anya.gonchar@gmail.com

**Первое обнаружение эктосимбионта голожаберных моллюсков  
*Doridicola patulus* (Humes, 1959) (Copepoda: Rhynchomolgidae)  
в водах Вьетнама**

*Гришина Д.Ю.\*<sup>1</sup>, Антохина Т.И.<sup>2</sup>, Деарт Ю.В.<sup>2</sup>, Савченко А.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: dairiagrishina00@gmail.com

Среди паразитических ракообразных копеподы представляют собой наиболее разнообразную группу с точки зрения морфологии, количества видов и спектра хозяев. Копеподы вступают в ассоциацию с представителями почти всех типов многоклеточных животных, в том числе и с моллюсками. В настоящей работе мы приводим первые данные о находках симбиотических копепод, ассоциированных с голожаберными моллюсками в водах Вьетнама.

В ходе обследования голожаберных моллюсков в Ня Чанге, на Архипелаге Спратли, Куангнгай и Фуйен в 2018–2023 годах, были обнаружены 8 эктосимбиотических копепод. Весь материал был собран с помощью легководолазного снаряжения с глубин 3–15 м во время российско-вьетнамских экспедиций. Найденные экземпляры были исследованы при помощи световой, конфокальной и сканирующей электронной микроскопии, а также использованы для молекулярно-генетического анализа, в ходе которого были получены последовательности ядерного (18S) и митохондриального (COI) молекулярных маркеров. Идентификация видов голожаберных моллюсков была проведена по морфологическим особенностям по приживенным фотографиям образцов, а также по ранее полученным молекулярно-генетическим данным.

Все обнаруженные копеподы были определены, как *Doridicola patulus* (Humes, 1959) из семейства Rhynchomolgidae, который является типичным симбионтом голожаберных моллюсков. К настоящему моменту в водах Вьетнама симбиотические копеподы вида *D. patulus* были обнаружены на трех видах голожаберных моллюсков *Phyllidia varicose*, *Phyllidia elegans* и *Phylidiella pustulosa*. Ранее *D. patulus* регистрировался лишь на *P. varicosa* у берегов Мадагаскара.

Обширный спектр хозяев, а также широкий ареал вида *D. patulus* указывает на необходимость уточнения имеющихся данных с применением молекулярных методов. Нами впервые получены сиквенсы для представителей рода *Doridicola*, которые позволяют в дальнейшем провести филогенетический анализ и молекулярную идентификацию видов.

**The first discovery of the nudibranch ectosymbiont *Doridicola patulus* (Humes, 1959) (Copepoda: Rhynchomolgidae) in the waters of Vietnam**

*Grishina D.Y.\*<sup>1</sup>, Antohina T.I.<sup>2</sup>, Deart Y.V.<sup>2</sup>, Savchenko A.S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: dairiagrishina00@gmail.com

## **Трансарктические виды trematod морских рыб: они существуют**

*Гублер А.Г.<sup>\*1</sup>, Кремнев Г.А.<sup>2</sup>, Скобкина О.А.<sup>1,3</sup>, Гончар А.Г.<sup>1,2</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Цитологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: gubler.ag@gmail.com

История формирования морских экосистем Арктики связана с многочисленными периодами оледенений, открытий и закрытий Берингова пролива. Эти климатические и геологические события приводили к нарушению миграционных путей и аллопатрическому видообразованию. Молекулярно-генетические методы позволяют выявлять комплексы криптических видов и оценивать степень генетической связности популяций. Особый интерес представляет изучение миграций паразитов с многохозяинными жизненными циклами. Как и для всей циркумполлярной фауны, для trematod характерны западные и восточные близнецовые виды или изолированные географические гаплогруппы. За последние годы вышло много работ по этой теме, в том числе по надсемейству Hemiuroidea, но филогеография семейства Hemiuridae в Арктике остается неизученной. *Brachyphallus crenatus* и *Hemiuirus levinseni* — это два вида семейства Hemiuridae с циркумполлярным распространением и широким кругом окончательных хозяев, поэтому они были выбраны в качестве новой перспективной модели для изучения трансарктических миграционных процессов у trematod.

Материал был собран с 2020 по 2024 год на Белом, Баренцевом, Печорском, Восточно-Сибирском, Беринговом, Охотском и Японском морях, а также в окрестностях Курильских островов. Получено 79 изолятов марит *H. levinseni* и 47 — *B. crenatus*. Проведено ПЦР и секвенирование по молекулярным маркерам 28S, ITS2, nad1 и cox1. На основании этих данных установлен видовой статус *B. crenatus* и *H. levinseni*, описано внутривидовое генетическое разнообразие. Оказалось, что оба вида являются едиными на протяжении всего изученного ареала, изолированных географических гаплогрупп и генетической специфичности по отношению к окончательному хозяину обнаружено не было. Поэтому мы предполагаем свободный обмен генами между удаленными субпопуляциями Арктики и Дальнего Востока. Это первое свидетельство о продолжающихся трансарктических миграциях у trematod.

## **Transarctic species of marine fish trematodes: they do exist**

*Gubler A.G.<sup>\*1</sup>, Kremnev G.<sup>2</sup>, Skobkina O.I.<sup>3</sup>, Gonchar A.<sup>1,2</sup>, Krupenko D.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Zoology, Russian Academy of Science, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Institute of Cytology, Russian Academy of Science, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: gubler.ag@gmail.com

## **Бактериальные симбионты циклостомной мшанки *Patinella verrucaria* и роль плаценты в их вертикальном переносе.**

*Демидова М.А., Вишняков А.Э., Котенко О.Н., Богданов Е.А.\* , Островский А.Н.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: OdFael@gmail.com

Симбиотические ассоциации с участием прокариот характерны для многих водных эпифионтов, включая губок, книдарий, асцидий, а также известны для мшанок из отряда *Cheilostomata* (класс *Gymnolaemata*). В нашем исследовании мы впервые продемонстрировали наличие бактериальных симбионтов у мшанки вида *Patinella verrucaria* из отряда *Cyclostomata* (класс *Stenolaemata*). Симбиотические бактерии *P. verrucaria* обнаружены в некоторых клетках, включая амебоциты и клетки плацентарного аналога, а также внеклеточно. Вышедшие во внешнюю среду зрелые личинки «несут» бактерий между микровиллями в основаниях ресничек покровных клеток цилиатуры.

Мы предполагаем, что по мере созревания личинок активное движение их ресничек приводит к разрушению плацентарного аналога. Это обеспечивает выход симбионтов в инкубационную полость, где они «заселяют» личинок непосредственно перед выходом в окружающую среду. В ходе метаморфоза осевшей личинки происходит перемещение её клеточных пластов, при этом бактерии оказываются внутри развивающегося первичного зооида (анцеструлы) и захватываются амебоцитами, с которыми передаются следующим зоидам в ходе их почкования. Молекулярные и ультраструктурные данные указывают на наличие у *P. verrucaria* двух видов симбиотических бактерий из семейства *Rhodobacteraceae*. Методом флуоресцентной *in situ* гибридизации мы продемонстрировали их присутствие на всех стадиях жизненного цикла. Особенности симбиотической ассоциации бактерий с циклостомной мшанкой *P. verrucaria* существенно отличаются от известного характера симбиоза с хейлостомными мшанками. Кроме того, участие плаценты *P. verrucaria* не только в питании развивающегося потомства, но и, опосредованно, в их передаче развивающимся личинкам – это единственный известный для беспозвоночных пример адаптации плацентарного органа к поддержанию симбиотической ассоциации, в том числе – к вертикальному переносу симбионтов от материнской особи потомству.

*Исследование поддержано Российским научным фондом (грант № 23-14-00351).*

## **Bacterial symbionts in the cyclostome bryozoan *Patinella verrucaria* and role of placenta in their vertical transfer.**

*Demidova M.A., Vishnyakov A.E., Kotenko O.N., Bogdanov E.A.\* , Ostrovsky A.N.*

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: OdFael@gmail.com

## **Плоские черви и ксенацеломорфы – симбионты глубоководных полуходовых**

*Ежова О.В.<sup>\*1</sup>, Лукиных А.И.<sup>1</sup>, Белолюбская К.И.<sup>1</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>2,3</sup>, Малахов В.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: olga\_ejova@mail.ru

Батиаль и абиссаль занимают 85% площади Мирового океана (60% поверхности нашей планеты), оставаясь его наименее изученной зоной. Недавно в этой зоне были обнаружены «подводные пахари» – представители нового семейства Torquaratoridae, принадлежащего к классу Enteropneusta из типа Hemichordata. Они встречаются до глубины 8800 м и, в отличие от мелководных Enteropneusta (обычных баляноглёссусов), не зарываются в грунт, а скользят по поверхности осадка, вспахивая его боковыми выростами воротника. В Беринговом море на глубинах 1370–2470 м был обнаружен *Quatuorlisia malakhovi* – крупный (до 17 см в длину) представитель семейства Torquaratoridae, достигающий плотности 12 экз./м<sup>2</sup> (Rybakova et al., 2020; Ezhova et al., 2022). При исследовании анатомии *Q. malakhovi* в его тканях были найдены два вида симбионтов. В целоме, гломерулюсе и в гонадах *Q. malakhovi* были обнаружены метацеркарии trematod. По строению метацеркарии близки к представителям семейств Zoogonidae или Lepidapedidae, хотя ясность в этом вопросе может внести молекулярное исследование. Окончательными хозяевами trematod, найденных в *Q. malakhovi*, могут быть глубоководные рыбы Macrouridae, отмеченные в том же биотопе. В кишечнике *Q. malakhovi* обнаружены ближе неопределённые черви Nemertodermatida gen. sp. Немертодерматиды – загадочная группа многоклеточных, входящая в таксон Xenacoelomorpha, который по молекулярным данным представляет собой сестринскую группу по отношению ко всем Bilateria. Ранее немертодерматиды (представители рода *Meara*) были найдены в кишечнике мелководных голотурий. Следует отметить, что голотурии – одна из доминирующих групп в батиали и абиссали Мирового океана. В исследованном биотопе торквараториды вытесняют голотурий с доминирующих позиций и, возможно, замещают их как хозяева симбиотических немертодерматид.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 23–14–00047.*

## **Flatworms and xenacelomorphs are symbionts of deep-sea hemichordates.**

*Ezhova O.V.\*, Lukinykh A.I., Malakhov V.V.*

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: olga\_ejova@mail.ru

## **Маленькие слизни в этом огромном мире: обзор симбиотических отношений голожаберных моллюсков**

*Екимова И.А.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
e-mail: irenekimova@gmail.com

В данном докладе будут суммированы накопленные данные по распространенности и характеристикам симбиотических ассоциаций голожаберных моллюсков с другими беспозвоночными животными и водорослями. Голожаберные моллюски (*Gastropoda: Nudibranchia*) - крупная группа брюхоногих моллюсков подкласса *Heterobranchia*, характеризующаяся полной редукцией раковины и приобретением спектра альтернативных механизмов защиты мягкого тела. Голожаберные моллюски представляются крайне специализированной экологически группой из-за их тесной ассоциации с их пищевыми объектами - в зависимости от группы ими могут быть книдарии, губки, мшанки, асцидии и некоторые другие беспозвоночные. Рядом исследователей такие ассоциации моллюсков и их пищевых объектов интерпретируются как симбиотические, при этом объект питания часто описывается как хозяин, обеспечивающий моллюску питание, и укрытие. Частным случаем таких ассоциаций является эндоэцизм - когда моллюск использует нору или трубку зарывающегося в грунт животного в качестве постоянного укрытия, как то описано для *Tenellia chaetopterana* и *Lophodoris scala*.

Кроме того, сами моллюски зачастую выступают хозяевами некоторых комменсальных беспозвоночных животных - например, полиноиды *Arctonoë vitatta* или креветок *Periclimenes imperator*. Самым известным примером таких отношений является фотосимбиоз между моллюсками и одноклеточными водорослями - зооксантеллами. Он относительно широко распространен в пределах подотряда *Cladobranchia*, причем способность захватывать зооксантеллы по-видимому возникла в эволюции неоднократно, а функциональность и специфичность отбора зооксантелл отличается у разных таксонов. Наконец, сами моллюски зачастую инфицируются экто- и эндопаразитами, прежде всего - копеподами из группы Poecilostomatoida.

*Исследование поддержано грантом РНФ № 74-25-10006.*

## **Little sea slugs in a big big world: a review of nudibranchs' symbiotic associations**

*Ekimova I.A.*

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia  
e-mail: irenekimova@gmail.com

# **Паразитизм в коралловых рифах: трофическая экология паразитических ракообразных Ascothoracida и их хозяев-кораллов из Тайваня и Малайзии**

*Залота А.К.\*<sup>1</sup>, Колбасов Г.А.<sup>2</sup>, Савченко А.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: azalota@gmail.com

Коралловые рифы являются средой обитания для множества симбиотических ассоциаций, включая паразитизм. Одним из ключевых вопросов во взаимодействии хозяина и симбионта является способ питания паразитов. Использует ли паразит/симбионт ткани хозяина для питания, похищает пищу из его пищеварительной системы или получает её непосредственно из окружающей среды? Большая часть паразитов у кораллов – эндопаразиты. Их трофические взаимодействия трудно идентифицировать, поскольку они происходят только в интактных ассоциациях. Нами использовался анализ стабильных изотопов углерода и азота, а также морфологический анализ для изучения трофических отношений между эндопаразитами подкласса Ascothoracida (рода *Petrarca*, *Baccalaureus*, *Sessilogoga* и *Zibrowia*) и их хозяевами-кораллами: *Zoantharia*, *Antipatharia* и *Scleractinia* из Тайваня и Малайзии.

Анализ стабильных изотопов показал что, хозяева, которые принадлежат к разным таксонам кораллов, получают пищу из разных источников. Симбионты имеют различный тип взаимоотношений с хозяевами (экто-, мезо- и эндопаразитизм) и различаются по питанию. Наше исследование показало, что эндопаразиты не всегда являются истинными паразитами (как ожидалось), а также могут быть оппортунистами, которые изымают пищу непосредственно из кишечной полости своего хозяина. В то время как экто- и мезопаразиты могут питаться непосредственно тканями своего хозяина.

*Данная работа была поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований РФФИ № 21–54–52003 MNT\_a.*

## **Parasitism in coral reefs: trophic ecology of parasitic Ascothoracida crustaceans and their coral hosts from Taiwan and Malaysia**

*Zalota A.K.\*<sup>1</sup>, Kolbasov G.A.<sup>2</sup>, Savchenko A.S.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Shirshov institute of oceanology, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: azalota@gmail.com

## **Паразитические ракообразные класса Thecostraca в сообществах коралловых рифов**

*Kolbasov G.A.\*<sup>1</sup>, Zalota A.K.<sup>2</sup>, Savchenko A.C.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: gakolbasov@gmail.com

Ракообразные Thecostraca (*Cirripedia*, *Ascothoracida*, *Facetotecta*) в основном представлены сидячими или малоподвижными формами, среди которых много симбиотических групп, в том числе паразитических. *Ascothoracida* включают исключительно паразитических ракообразных, представляющих экто-, мезо- и эндопаразитов книдарий и иглокожих. Специализированная морфология их взрослых и личиночных стадий заточена на паразитический образ жизни. Аскоторациды отряда *Laurida* успешно и эксклюзивно паразитируют на различных кораллах. Большинство исследований *Ascothoracida* носят исключительно таксономический описательный характер. В ходе многолетних экспедиций нашего коллектива на коралловых рифах Тайваня и Малайзии собран обширный и уникальный материал по различным таксонам *Ascothoracida*. Мешкогрудые раки были изучены методами молекулярной генетики и электронной микроскопии, описаны новые таксоны и установлены родственные связи между ними. В наших исследованиях впервые применён метод анализа стабильных изотопов углерода и азота для изучения трофических связей между аскоторацидами и их хозяевами-кораллами. Показано, что большинство мешкогрудых являются настоящими паразитами, питающимися кораллами. В то же время, анализ стабильных изотопов не выявил явного трофического сдвига между хозяевами-зоантариями и их эндопаразитами из рода *Baccalaureus*. Такие трофические спектры исключают вероятность того, что паразит питается непосредственно тканями хозяина и предполагают более широкий спектр источников пищи.

## **Parasitic crustaceans of the class Thecostraca in coral reef communities**

*Kolbasov G.\*<sup>1</sup>, Zalota A.<sup>2</sup>, Savchenko A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: gakolbasov@gmail.com

**Вид или размер: каких вторых промежуточных хозяев предпочитает  
*Orthosplanchnus arcticus*, потенциально зоонозный вид трематод из  
семейства Brachycladiidae**

*Kremnev G.A.\*<sup>1</sup>, Krapivin V.A.<sup>2</sup>, Krupenko D.YU.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: ekremnyov@yandex.ru

Brachycladiidae — это богатое видами семейство трематод, паразитирующих в морских млекопитающих. Их патогенное воздействие на окончательных хозяев хорошо задокументировано, однако в остальном они остаются слабо изученными. Особенно плохо мы знаем их жизненные циклы: он полностью расшифрован только для вида *Orthosplanchnus arcticus*, паразита ластоногих. Мы собирались выяснить, принадлежат ли брахицладиидам метацеркарии, ранее описанные из баренцевоморских двустворчатых моллюсков *Cerastoderma edule*. Для поиска личинок были вскрыты двустворчатые моллюски девяти видов, собранные в трех субарктических морях. Мы нашли метацеркарий брахицладиид в сердцевидках (*Ciliatocardium ciliatum*, *C. edule*, *Serripes groenlandicus*) и гребешке *Chlamys islandica*. Неожиданной находкой стало обнаружение многочисленных метацеркарий брахицладиид в одной особи хищного брюхоногого моллюска *Buccinum undatum*. Полученные молекулярно-генетические данные показали, что все найденные метацеркарии принадлежат виду *O. arcticus*. Для выявления потенциального предпочтения тех или иных вторых промежуточных хозяев мы использовали статистический анализ. Результаты показали, что размер двустворчатого моллюска, а не его вид более точно описывает наблюдаемые закономерности зараженности. Кроме того, мы не обнаружили статически значимых различий в морфометрии личинок из разных видов двустворчатых моллюсков. Таким образом, *O. arcticus* обладает широкой специфичностью ко вторым промежуточным хозяевам, а более крупные двустворчатые моллюски оказываются наиболее зараженными. Мы обсуждаем факторы, определяющие широкую специфичность, преимущества «предпочтения» крупных особей, а также неравный вклад разных видов хозяев в трансмиссию паразита. Наконец, мы подчеркиваем потенциальный зоонозный риск, связанный с *O. arcticus*, поскольку некоторые вторые промежуточные хозяева этого вида употребляются в пищу человеком.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-24-00386,  
<https://rscf.ru/project/25-24-00386/>.

**Size or species: which preferences for the second intermediate host does  
*Orthosplanchnus arcticus*, a potentially zoonotic species from the  
Brachycladiidae (Digenea), have?**

*Kremnev G.\*<sup>1</sup>, Krapivin V.<sup>2</sup>, Krupenko D.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: ekremnyov@yandex.ru

## **«Райские птички»: каких церкарий трематод можно встретить в тропиках**

*Крупенко Д.Ю.\*<sup>1,2</sup>, Крапивин В.А.<sup>1,3,4</sup>, Миролюбов А.А.<sup>2,3,4</sup>,*  
*Лянгузова А.Д.<sup>1,2,3,4</sup>, Ефейкин Б.Д.<sup>3,4</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup> Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский и технологический центр,  
Ханой, Вьетнам

\* e-mail: krupenko.d@gmail.com

Исследуя паразитов с гетероксенными жизненными циклами, мы часто сталкиваемся с проблемой неполноты знаний о стадиях их развития внутри промежуточных хозяев. Так только у 10% видов трематод (*Trematoda*) жизненные циклы хотя бы частично расшифрованы. Трематоды являются самой богатой видами группой паразитов в морских сообществах. В некоторых регионах, таких как Северное море, исследование жизненных циклов трематод проходило достаточно интенсивно на протяжении всего XX-го века. Однако по тропическим морям количество подобных работ весьма ограничено. При этом именно в тропиках встречаются личинки необычного строения, например, церкарии семейств *Bivesiculidae*, *Felodistomidae* и *Acanthocolpidae*, использующие для трансмиссии стратегию подражания добычи. Большинство этих церкарий определены в лучшем случае до семейства.

В данном докладе будут представлены новые находки личинок трематод из нескольких ранее не исследованных регионов: Вьетнама, Джибути, Тайваня и Филиппин. Среди них несколько представителей семейства *Opecoelidae*, и помимо обычных для опецилид котилоцеркарий, обнаружены личинки с преобразованными хвостами, например, состоящими из нескольких пар вздутых лопастей. В гастроподах из Джибути были найдены церкарии семейства *Echinostomatidae* с пигментированными фоторецепторами, что нехарактерно для этой группы. Наконец, находка метацеркарий на жабрах рыбы семейства *Lethrinidae* позволяет предположить, что происходит с удивительными полиморфными колониями церкарий рода *Pleorchis*. При изучении личинок трематод в тропических морях мы столкнулись с двумя основными проблемами: (1) даже молекулярные методы не позволяют определить большинство объектов, т.к. в Генбанке отсутствуют сиквенсы по соответствующим маркерам; (2) экстенсивности инвазии в тропиках чрезвычайно низки, и чтобы найти очередную «райскую птичку» нужно потратить довольно много времени и сил.

*Работа выполнена при поддержке Министерство науки и высшего образования РФ, соглашение № 075-15-2023-600.*

## **"Birds-of-paradise": which cercariae of trematodes can be found in the tropics**

*Krupenko D.Y.\*<sup>1,2</sup>, Krapivin V.A.<sup>1,3,4</sup>, Miroliubov A.A.<sup>2,3,4</sup>,*  
*Lianguzova A.D.<sup>1,2,3,4</sup>, Efeykin B.D.<sup>3,4</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia

<sup>4</sup> The Russian-Vietnamese Tropical Scientific and Technological Centre, Hanoi, Vietnam

\* e-mail: krupenko.d@gmail.com

## **Загадочные нодулы: первые данные о бактериальных симбионтах брахиопод**

*Кузьмина Т.В.\*, Ратновская А.В., Селищева А.А.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: kuzmina-t@yandex.ru

Брахиоподы – морские беспозвоночные животные, тело которых заключено в двустворчатую раковину. При вскрытии некоторых особей брахиоподы *Hemithiris psittacea* встречаются желтоватые нодулы в тканях, которые содержат внутриклеточные бактерии. Это первая находка симбиотических бактерий у современных брахиопод. Данные образования были изучены методами микротомографии, световой, трансмиссионной и сканирующей электронной микроскопии.

Нодулы встречаются у взрослых брахиопод возрастом 8–11 лет. Они располагаются на стенках кровеносных сосудов по всему телу. Нодулы могут быть разного размера (до 0.5 мм в диаметре) и состоят из крупных клеток (бактериоцитов), которые, вероятно, представляют собой видоизмененные клетки целотелия. Бактериоциты содержат бактерифорные вакуоли, заполненные палочковидными грамотрицательными бактериями. Бактериоциты также могут располагаться в целомическом эпителии, не формируя нодул. Кроме того, в мантийных целомических каналах встречаются отделившиеся свободно лежащие круглые нодулы. Внутри бактерифорных вакуолей встречаются признаки лизиса и деградации бактерий, вокруг бактериальных клеток формируются мембранные концентрические круги (миelinоподобные фигуры). В бактериоциатах крупных и отделившихся нодул образуются крупные включения с электронно-плотным гетерогенным содержимым.

Природа симбиоза бактерий и *H. psittacea* остается неизвестной. Однако мы не наблюдаем признаков паразитарной инфекции: привлечения специализированных целомоцитов, некроза или апоптоза клеток, заражения других особей. Наличие признаков лизиса бактерий позволяет предположить симбиотические взаимоотношения по типу неэффективной нодуляции бобовых растений (Werner et al., 1984, *Planta*). В этом случае после инвазии бактерии индуцируют деление бактериоцитов и формирование нодул, но из-за метаболической несовместимости мутуалистические взаимоотношения не формируются, а бактерии подвергаются лизису.

## **Mysterious nodules: first evidence of bacterial symbionts in brachiopods**

*Kuzmina T.V.\*, Ratnovskaya A.V., Selischeva A.A.*

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: kuzmina-t@yandex.ru

## **Мизостомиды (Annelida: Myzostomida) - разнообразие группы специализированных симбионтов**

*Mehova E.C.\*, Antokhina T.I.*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: elena.mehova@gmail.com

Мизостомиды – небольшая группа облигатных симбиотических червей, ассоциированных с иглокожими и черными кораллами. По образу жизни мизостомид подразделяют на четыре группы: цисто- и галло образующие формы; обитатели пищеварительной системы; эндосимбионты, обитающие в тканях хозяина; свободноподвижные формы.

Биология группы описано слабо. Тем не менее, использование хозяина в топическом смысле у разных видов мизостомид сильно различается. Локализация на хозяине у свободноподвижных видов не хаотична, а приурочена к определенным частям хозяина. Можно выделить несколько локаций для симбионтов морских лилий: пиннульты, оральная поверхность рук,aborальная поверхность рук, чашечка. Расположение мизостомид на каждой из этих областей будет требовать морфологических и поведенческих адаптаций (окраска, форма тела, размеры, поведение) мизостомид. Локализация на хозяине приводит к различным типам внутривидовых взаимодействий и численностям субпопуляций (население одной особи хозяина). Обитатели ротовой полости достигают численностей 5 особей на особь хозяина, тогда как мелкие обитатели рук могут достигать 50 и более особей на хозяина. Такие контрастные примеры говорят о наличии внутривидовой конкуренции у многих видов. Косвенным свидетельством такой конкуренции может служить *Huppertuzostoma jasoni*, для которой выявлены две формы окраски и локализации на хозяине. При этом у сходного вида *H. crosslandi* такой дифференциации не отмечено, однако отмечены крупные цисты на ювенильной стадии. При этом морфологически и топически сходный вид *M. pipkini*, не имеющий никаких подобных форм разделения ресурсов взрослых и молоди, значительно уступает по численности. Если *H. jasoni* обнаруживается в количестве 40 особей на хозяина, *H. crosslandi* - 15 особей, то для *M. pipkini* максимально отмечено 5-7 особей. Контрастный пример представляют *M. khanhkhoaense*, обитающие плотными скоплениями и не демонстрирующие внутривидовой конкуренции, а скорее внутривидовую кооперацию.

## **Myzostomids (Annelida: Myzostomida) - diversity of specialised symbionts**

*Mekhova E.S.\*, Antokhina T.I.*

Severtsov Institute of Eology and Evolution, Russian Academy of sciences, Moscow, Russian Federation

\* e-mail: elena.mehova@gmail.com

## **Малютки-долгожители: биология мирадиев *Zoogonoides viviparus* (Trematoda, Zoogonidae)**

*Самойлова Е.В.\*<sup>1,3</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>2,3</sup>, Кремнев Г.А.<sup>2,3</sup>, Федоров Д.Д.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: elizavetasamojlova@gmail.com

Мирадии — это лецитотрофные расселительные личинки трематод, заражающие первого промежуточного хозяина, моллюска. Крупные мирадии (100–300 мкм) обычно активно плавают в водной среде в поисках хозяина и живут, как правило, около суток. Для других трематод характерны мелкие мирадии, которые покидают оболочки яйца только в кишечнике моллюска. Мирадий *Zoogonoides viviparus* (Zoogonidae) имеет небольшие размеры (в длину до 70 мкм), но вылупляется во внешней среде и активно заражает гастроподу *Vuccinum undatum*. Мы изучали продолжительность жизни этих мирадиев.

Сбор материала и постановка экспериментов выполнены на ББС «Картеш» ЗИН РАН в июне–июле 2025 г. Мариты *Z. viviparus* были получены из пяти лиманд (*Limanda limanda*) и одной речной камбалы (*Platichthys flesus*). Марит помещали в модифицированный раствор Рингера (17%), где они откладывали яйца в течение часа. Далее яйца переносили в фильтрованную морскую воду (25%) в индивидуальные ячейки. Вылупление проверяли каждые 10 минут в течение первого часа либо в конце первого часа. Дальнейшая регистрация активности осуществлялась с интервалом в 2 часа.

Началом времени жизни мирадия считали момент первого достоверного наблюдения свободно плавающей личинки (выход из яйца). Время жизни определяли как абсолютное время от выхода до полного обездвиживания личинки (смерти) или до последнего наблюдения. Эксперименты проводились при температуре 10 °C. Всего нам удалось проанализировать 45 мирадиями, из которых 25 достоверно умерли. Минимальное время жизни составило 16 ч., а максимальное 391 ч. (16,3 сут.). Медиана выживаемости составила 7,25 дней (95% ДИ: 5,26–13 дней; бутстреп метод). Таким образом, мирадии *Z. viviparus* демонстрируют уникально долгую продолжительность жизни для личинок данного типа.

*Работа выполнена при поддержке Гос. задания № 125012800903-5*

## **Minute but long-lived: The biology of miracidia of *Zoogonoides viviparus* (Trematoda, Zoogonidae)**

*Samoilova E.\*<sup>1,3</sup>, Krupenko D.<sup>2,3</sup>, Kremnev G.<sup>2,3</sup>, Fedorov D.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Herzen State Pedagogical University, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: elizavetasamojlova@gmail.com

# **Экологические аспекты распространения трансмиссивной неоплазии двустворчатых моллюсков (BTN) в поселениях мидий Тауйской губы Охотского моря**

*Хайтов В.М.\*<sup>1,2</sup>, Марченко Ю.Т.<sup>1</sup>, Кожин И.В.<sup>1</sup>, Майорова М.А.<sup>3</sup>,  
Малавенда С.С.<sup>4</sup>, Стрелков П.П.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Кандалакшский государственный заповедник, Кандалакша, Россия

<sup>4</sup> Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского  
ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>5</sup> Мурманский арктический университет, Мурманск, Россия

\* e-mail: polydora@rambler.ru

В традиционной онкологии злокачественное новообразование рассматривается как результат эволюции собственных клеток организма. Однако открытие трансмиссивного рака, в частности, у двустворчатых моллюсков (Bivalve Transmissible Neoplasia, *BTN*), поменяло эту парадигму. При *BTN* опухолевые клетки циркулируют в гемолимфе моллюсков и передаются между ними через воду, демонстрируя свойства, характерные для паразитических организмов. У мидий *Mytilus* обнаружены две независимые эволюционные линии *BTN*: *BTN1* и *BTN2*. Систему «моллюск-трансмиссивная неоплазия» можно рассматривать как особую форму симбиотических отношений.

Мы изучили заболеваемость *M. trossulus* *BTN1* и *BTN2* в Тауйской губе Охотского моря, в окрестностях Магадана. Большой объем материала (57 точек сбора, 2763 мидий) позволяет изучить связь распространения этих симбионтов с индивидуальными и популяционными параметрами хозяев и с набором средовых параметров. В качестве средовых предикторов, потенциально влияющих на заболеваемость *BTN* в губе, рассматривали соленость воды, близость к порту Магадана (оценка степени антропогенного пресса), открытость побережья для прибоя, а также характеристики размерной структуры популяций мидий. Построенная регрессионная модель выявила статистически значимые связи с предикторами только для *BTN1*. Повышенная зараженность этой линией наблюдается вдали от порта, в прибойных местообитаниях, в популяциях с высоким обилием молоди.

Отношение прироста последнего года к длине раковины у мидий с *BTN1* было в среднем таким же, как у здоровых особей. Зато у моллюсков, зараженных *BTN2*, относительные приrostы были выше. Налицо положительное влияние паразита на рост хозяина, что можно интерпретировать как манипулирование.

Очевидно, *BTN1* и *BTN2* демонстрируют разные стратегии. Распространение *BTN1* регулируется параметрами окружающей среды. *BTN2*, более тонко настраивая использование ресурсов хозяина, оказывается менее чувствительным к варьированию внешних факторов.

*Поддержано грантом РНФ № 19-74-20024.*

## **Ecological aspects of transmissible neoplasia (BTN) distribution in mussel populations of Tauyskaya Bay, the Sea of Okhotsk**

*Khaitov V.M.\*<sup>1,2</sup>, Marchenko Y.T.<sup>1</sup>, Kozhin I.V.<sup>1</sup>, Mayorova M.A.<sup>3</sup>,  
Malavenda S.S.<sup>4</sup>, Strelkov P.P.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Kandalaksha State Nature Reserve, Kandalaksha, Russia

<sup>4</sup> A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

<sup>5</sup> Murmansk Arctic University, dept. Biology and biological resources, Murmansk, Russia

\* e-mail: polydora@rambler.ru

## **Индукция окислительного стресса у средиземноморской мидии *Mytilus galloprovincialis* паразитической микроводорослью *Coccotyxa parasitica***

*Челебиева Э.С.\*, Богачева Е.А., Лавриченко Д.С., Кухарева Т.А., Андреева А.Ю.,  
Кладченко Е.С.*

ФИЦ "Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
\* e-mail: elina.chelebieva@gmail.com

Аквакультура играет важную роль в мировом продовольственном обеспечении, однако её устойчивое развитие сдерживается рядом факторов, включая инфекционные заболевания и паразитарные инвазии. Паразитическая микроводоросль *Coccotyxa parasitica* обнаружена у ряда двустворчатых моллюсков, в том числе промысловых видов, однако механизмы иммунного ответа хозяев на инвазию изучены недостаточно. В исследовании оценивалась реакция клеточного иммунитета мидии *Mytilus galloprovincialis* на *C. parasitica* в условиях *in vitro* и *in vivo*. *In vitro* взаимодействие гемоцитов с *C. parasitica* вызывало специфическую иммуносупрессию: уже через 3 часа наблюдалось резкое подавление фагоцитарной активности при сохранении уровня активных форм кислорода (АФК) и повышении митохондриального мембранныго потенциала, что указывает на активацию энергетического метаболизма в условиях подавленного иммунного ответа. В эксперименте *in vivo* в течение 7 дней изучали иммунный и оксидативный статус моллюска при двух путях введения паразита: с кормом и путем инъекции в мышцу-замыкатель раковины. Показано, что характер иммунного ответа зависит от пути заражения. При кормлении достоверно снижалась активность каталазы и уровень перекисного окисления липидов (ПОЛ), что может свидетельствовать о компенсаторной перестройке антиоксидантной системы. Напротив, инъекция *C. parasitica* приводила к снижению активности каталазы и супероксиддисмутазы, резкому увеличению ПОЛ и подавлению фагоцитоза, что указывает на развитие окислительного стресса и нарушение ключевых механизмов клеточной защиты. Полученные данные демонстрируют, что путь заражения играет определяющую роль в формировании иммунного ответа, и раскрывают потенциальные механизмы устойчивости мидии к паразиту при естественном пути инвазии.

*Исследование выполнено при поддержке гранта РНФ № 24-26-20096 и государственного задания №124030100090-4.*

## ***Coccotyxa parasitica induces oxidative stress in the mediterranean mussel***

### ***Mytilus galloprovincialis***

*Chelebieva E.S.\*, Bogacheva E.A., Lavrichenko D.S., Kukhareva T.A., Andreyeva A.Y.,  
Kladchenko E.S.*

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia  
\* e-mail: elina.chelebieva@gmail.com

# **Морфофункциональные аспекты фотосимбиоза у двух видов рода *Pteraeolidia***

*Шапсюк М.С.\*, Екимова И.А.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: masha-39@yandex.ru

Фотосимбиоз у голожаберных моллюсков рода *Pteraeolidia* считается одним из самых эффективных среди Nudibranchia, однако его межвидовая изменчивость и пути передачи симбионтов изучены недостаточно. Мы сравнили два новых вида из Вьетнама — *Pteraeolidia* sp. 1 и *Pteraeolidia* sp. 2, и акцентировали анализ на морфофункциональных аспектах симбиоза.

С применением конфокальной лазерной сканирующей микроскопии мы впервые визуализировали *in vivo* каналы, по которым клетки Symbiodiniaceae транслоцируются из выростов пищеварительной железы в субэпидермальный слой церат. Межвидовые различия выявлены в организации мускулатуры церат: у *Pteraeolidia* sp. 1 волокна кольцевой мускулатуры располагаются параллельно, у *Pteraeolidia* sp. 2 образуют сетчатую архитектуру.

По данным РАМ-флуориметрии (ОЖР и световые кривые), максимальная квантовая эффективность фотосистемы II ( $F_v/F_m$ ) была выше у *Pteraeolidia* sp. 2 ( $0,634 \pm 0,023$ ) по сравнению с *Pteraeolidia* sp. 1 ( $0,587 \pm 0,011$ ). Поведенческие наблюдения *in vivo* выявили выраженную видоспецифичность: *Pteraeolidia* sp. 1 демонстрировала устойчивый положительный фототаксис (стабильно локализовалась непосредственно под источником света) и выраженный реотаксис, предпочитая зоны максимальной скорости потока у выходного патрубка фильтра; *Pteraeolidia* sp. 2 таких предпочтений не проявляла.

Также нами впервые для *Pteraeolidia* задокументирован горизонтальный путь приобретения симбионтов через поедание тканей сородича: в аквариуме особь *Pteraeolidia* sp. 1 откусила крупный фрагмент тела у *Pteraeolidia* sp. 2 (порядка 2/3 длины). Ранее источником зооксантелл предполагалась пища (гидроидные полипы), однако конкретный таксон-«донор» для *Pteraeolidia* не установлен. Наше наблюдение не исключает трофическое приобретение из гидроидов, но представляет первый надёжно задокументированный горизонтальный путь.

Совокупность структурных и функциональных метрик указывает на присутствие межвидовых различий фотосимбиоза, возможно отражающих экологическую нишевую дивергенцию.

*Исследование поддержано грантом РНФ № 74-25-10006.*

# **Morphofunctional aspects of photosymbiosis in two species of the genus *Pteraeolidia***

*Shapsyuk M.S.\*, Ekimova I.A.<sup>†</sup>*

<sup>†</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: masha-39@yandex.ru

# **Разнообразие ассоциативных взаимоотношений беспозвоночных животных и микроорганизмов в акватории Кандалакшского залива Белого моря**

*Щербакова П.А.\*<sup>1</sup>, Клюкина А.А.<sup>2</sup>, Ельченинов А.Г.<sup>2</sup>, Гавирова Л.А.<sup>1</sup>, Шестаков А.И.<sup>1</sup>,  
Ворцепнева Е.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФИЦ «Фундаментальные основы биотехнологии» РАН, Москва, Россия

\* e-mail: shcherbakovapa@gmail.com

Белое море является уникальной северной экосистемой, позволяющей проводить исследования взаимодействия уникальных арктических беспозвоночных животных с их микробными ассоцииантами. Аннелиды и моллюски являются наиболее распространенными представителями бентофауны северных морей, однако, несмотря на широкое распространение, данные организмы все еще остаются малоизученными, особенно с точки зрения взаимодействия с микробными ассоцииантами, населяющими покровы и внутренние органы животных. Микроорганизмы способны играть ключевую роль в жизнедеятельности хозяина, обеспечивая его различными метаболитами, а также поддерживать стабильное функционирование макроорганизма. Взаимодействие беспозвоночных животных с микробными ассоцииантами часто является высокоспецифичным, что придает каждому взаимодействию уникальность и подтверждает важность исследования симбиотических систем.

Работа посвящена определению микробного состава сообществ часто встречающихся беспозвоночных животных в акватории Кандалакшского залива Белого моря.

В результате анализа таксономических профилей микробных сообществ и беспозвоночных животных типов Annelida и Mollusca удалось выявить доминирующих представителей микробиомов. В кутикуле роющего грунтоеда *Leitoscoloplos acutus* в большом количестве обнаружены представители глубокой некультивируемой ветви филума Spirochaetota, также установлено, что кутикулярный слой обитающей в трубке аннелиды *Dipolydora quadrilobata* населен бактериями, являющимися представителями рода *Fulvivirga*. С помощью сканирующей электронной микроскопии на поверхности органов буккального комплекса голожаберного моллюска *Cadlina laevis* обнаружены плотные заселения гетеротрофными бактериями, представителями рода *Polaribacter*, способными разлагать полисахариды. Родственники этих беспозвоночных организмов, обитающие в схожих условиях, не имеют подобных симбионтов. Проведенные исследования позволяют выявить уникальные взаимодействия между беспозвоночными животными и микроорганизмами.

## **The diversity of associative relationships between invertebrates and microorganisms in the Kandalaksha Bay of the White Sea**

*Shcherbakova P.A.\*<sup>1</sup>, Klyukina A.A.<sup>2</sup>, Elcheninov A.G.<sup>2</sup>, Gavirova L.A.<sup>1</sup>, Shestakov A.I.<sup>1</sup>,  
Vortsepneva E.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Federal Research Center of Biotechnology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: shcherbakovapa@gmail.com

# **МОРФОЛОГИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ**

## **Реконструкция выделительной системы *Cyathocephalus truncatus* (*Cestoda: Spathobothriidea*)**

*Biserova N.M.\*<sup>1</sup>, Кузнецова Э.Ю.<sup>2</sup>, Сальникова М.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

\* e-mail: nbiserova@yandex.ru

Ленточные черви из отряда *Spathobothriidea*, полизоичные цестоды без внешней сегментации стробилы, являются ближайшими родственниками монозоичных цестод из базального отряда *Caryophyllidea* (Waeschenbach, Littlewood, 2017), у которых отмечен процесс полимеризации выделительной системы в эволюции (Поддубная, 2003). Задачей работы была реконструкция анатомического строения выделительной системы (ВС) для сравнительного анализа и её роли в морфологической эволюции цестод. Реконструкция микроскопической анатомии ВС половозрелых *C. truncatus* из кишечника щуки была проведена на серии полутонких срезов; детали ultraструктуры изучали на серийных ультратонких срезах с использованием метода ТЭМ.

На анатомическом уровне ВС *C. truncatus* представлена системой каналов разного диаметра и складчатым мочевым пузырем с терминальным отверстием на заднем конце тела. В результате реконструкции в сколексе обнаружены кольцевые наружный и внутренний каналы, расположенные в субтегументе наружной и внутренней стенки воронковидного сколекса, и система радиальных и продольных мелких каналов (МК). Таким образом, в воронке сколекса выявлен сложный плексус каналов ВС без дифференциации на парные главные латеральные каналы (ГЛК), характерные для большинства цестод.

В зоне шейки обнаружена пара крупных продольных каналов (ГЛК) и несколько МК, проходящих вдоль ГЛК. В центральном отделе тела ГЛК хорошо развиты, но ближе к заднему отделу расщепляются на тянувшиеся параллельно друг другу мелкие протоки. Ближе к заднему концу они расширяются и формируют складчатый мочевой пузырь, открывающийся терминальной порой на каудальном конце.

Исследование выявило тесное взаимодействие ВС с нервной и мышечной системами. В сколексе к базальной стенке каналов крепятся мышцы и нейриты, формирующие синапсы с мышцами стенок каналов. Установлено отсутствие ГЛК в воронке сколекса и особое положение ГЛК в шейке, дистальнее главных нервных стволов, не свойственное кариофиллидам.

## **Reconstruction of the excretory system of *Cyathocephalus truncatus* (*Cestoda: Spathobothriidea*)**

*Biserova N.\*<sup>1</sup>, Kuznetsova E.<sup>2</sup>, Salnikova M.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Kazan Federal University, Kazan, Russia

\* e-mail: nbiserova@yandex.ru

## **Инфузории, о которых молчал голый землекоп: эндосимбионты слепой кишки *Heterocephalus glaber* из Эфиопии**

*Громов А.Р.\*<sup>1</sup>, Воронежская Е.Е.<sup>2</sup>, Вечерский М.В.<sup>1</sup>, Комарова В.А.<sup>1</sup>, Землемерова Е.Д.<sup>1</sup>,  
Мартынов А.А.<sup>1</sup>, Лавренченко Л.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: anton-gromov@yandex.ru

Голый землекоп (ГЗ) — животное уникальное во многих отношениях. Его регенеративные способности, устойчивость к онкологии и долголетие сделали этот вид моделью биомедицинских исследований, а сложная социальная организация привлекает этологов и эволюционистов. Считается, что во всех этих процессах важную роль играют эндосимбионты кишечника.

В 2024–2025 гг. нами обследованы 43 особи ГЗ из окрестностей г. Дыре-Дава; у всех в кишечнике обнаружены гигантские инфузории. Протисты концентрировались в слепой кишке и при извлечении полностью закрывали дно 90 мм ч. Петри. Попытки поддерживать их в культуральных средах или физрастворе с добавками оказались безуспешными. Данные световой, конфокальной микроскопии и гистологических окрасок позволяют отнести находку к равноресничатым (Holotricha). Тело веретенообразное, длиной 300 мкм–2 мм; продольные ряды ресничек; на переднем конце имеется вворачивание, формирующее ресничную «глотку». Макронуклеус (МН) бобовидный или колбасовидный, микронуклеус овальный и прилежит к МН; в части клеток отмечены бактериальные включения. В цитоплазме находятся зерна крахмала. Генетический анализ (18S рДНК) показал высокое сходство с инфузориями рода *Balantidium*.

Упоминания о протистах как компонентах симбиотической микрофaуны есть для ГЗ из Кении и Сомали (Porter, 1957, Proc. Zool. Soc. Lond.; Наумова, 1974, Зоол. Журн.), а также у представителей другого сем. Bathyergidae из ЮАР (Sandon, 1941, S. Afr. J. M. Sc.). Обнаруженные организмы относили к родам *Balantidium* или *Meiostoma*. Показана положительная связь количества протист и крахмалистым кормом (Buffenstein & Yahav, 1991, Br. J. Nutr.), высказывалось предположение об их роли в поддержании эусоциальности колонии при белковом дефиците (Dyer, 1998, Symbiosis).

Дальнейшее изучение этих гигантских инфузорий может пролить свет на малоизвестные механизмы симбиоза, лежащие в основе уникальных адаптивных стратегий физиологии, питания и социального поведения одного из самых загадочных млекопитающих.

## **The hidden ciliates of the naked mole-rat: endosymbionts of the cecum of *Heterocephalus glaber* from Ethiopia**

*Gromov A.R.\*<sup>1</sup>, Voronezhskaya E.E.<sup>2</sup>, Vecherskii M.V.<sup>1</sup>, Komarova V.A.<sup>1</sup>, Zemlemerova E.D.<sup>1</sup>,  
Martynov A.A.<sup>1</sup>, Lavrenchenko L.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Koltsov Institute of Developmental Biology RAS, Moscow, Russia

\* e-mail: anton-gromov@yandex.ru

# **Морфофункциональная характеристика дочерних спороцист трематод**

*Denisova S.A.\*, Shchenkov S.V.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: sofia.denisova1608@gmail.com

В течение 2021-2023 гг. нами проведено сравнительно анатомическое исследование дочерних спороцист трематод *Podocotyle* sp. (Oreocoelidae) и *Renicola parvicaudatus* (Renicolidae), распространенных в литоральных сообществах Белого моря. С помощью электронной и конфокальной микроскопии выполнена полная реконструкция стенки их тела (см. Denisova et al., 2023, Can. J. Zool; Denisova, Shchenkov, 2025, Zool. J. Linn. Soc.).

Дочерние спороцисты *Podocotyle* sp. паразитируют в моллюсках *Littorina obtusata* и *L. saxatilis* и представлены подвижными червеобразными организмами, в полости тела которых развиваются эмбрионы церкарий. Неподвижные мешковидные спороцисты *R. parvicaudatus* паразитируют в моллюсках *L. littorea*. Несмотря на то, что исследованные виды трематод обладают различной биологией, в строении их спороцист выявлены общие черты. Сходства касаются всасывающей и секреторной активности тегумента, а также наличия дифференцированной мускулатуры и развитой сети «паренхимных» клеток. Для дочерних партенит обоих видов и впервые для спороцист трематод показано наличие собственной эпителиальной выстилки родильного канала. В стенке тела спороцист *Podocotyle* sp. идентифицировано девять типов соматических клеток, включая компоненты хорошо развитых нервной и протонефридиальной систем. Напротив, спороцисты *R. parvicaudatus* демонстрируют крайнюю степень редукции этих систем органов, а в стенке их тела обнаружено восемь типов клеток. В плотную к тегументу спороцист *R. parvicaudatus* прилегает инкапсулирующий слой гемоцитов хозяина, включающий модифицированные гиалиноциты и внеклеточные фибрillы. Морфофункциональные характеристики изученных видов сходны с таковыми у других представителей отр. Plagiorchiida и Diplostomida, что отражает общие тенденции специализации дочерних партенит трематод.

*Исследование выполнено при поддержке РНФ (грант № 23-24-00046, <https://rscf.ru/project/23-24-00046/>). Использовано оборудование УНБ «Беломорская» и Научного Парка СПбГУ.*

## **Morphofunctional characteristics of trematode daughter sporocysts**

*Denisova S.A.\*, Shchenkov S.V.*

SPbU, Department of Invertebrate zoology, St Petersburg, Russia  
\* e-mail: sofia.denisova1608@gmail.com

**Сравнительная характеристика морфологии половой системы  
самцов *Polymorphus phippsi* и *Profilicollis botulus*  
(Acanthocephala: Polymorphidae)**

*Дюмина А.В.*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: d\_alexia@mail.ru

Одной из черт представителей сем. Polymorphidae (в частности, объектов данного исследования – *Polymorphus phippsi* и *Profilicollis botulus*) является способность вворачивать суженный задний конец тела – генитальный вестибулюм, где у самцов локализован копулятивный аппарат. Морфология мускулатуры вестибулюма, а также сумки Сеффтигена, предполагаемо участвующей в выворачивании копулятивной бурсы, потенциально имеет филогенетический вес, но изучена мало. Для визуализации сократимых элементов этих структур прекрасно подходит конфокальная микроскопия с окраской TRITC-фаллоидином, которая, в сочетании с гистологическими методами и СЭМ, в данной работе была применена впервые для описания половой системы скребней.

У представителей обоих видов обнаружены две мышцы, идущие, расширяясь, вентролатерально от дорсальной стороны основания вестибулюма к половому отверстию. В синдермисе вестибулюма отсутствуют ядра, и он заметно тоньше остальных покровов. Сократимые волокна в мышечной части бурсы расположены хаотично, число её пальцевидных рёбер у *P. phippsi* – 15 и 19 у *Pr. botulus*. Семявыводящие протоки залегают медиально между цементными железами, их дистальный участок утолщён (у *Pr. botulus* он заметно длиннее). Четыре цементных железы попарно сливаются в два резервуара, которые у *Pr. botulus* гораздо крупнее, чем у *P. phippsi*. Ядра цементных желёз у *Pr. botulus* округлые, расположены в шахматном порядке, а у *P. phippsi* – как правило амебовидные и залегают хаотично, хотя встречаются образцы с овальными ядрами, расположенными под углом к продольной оси железы. Эта особенность ассоциирована с двумя делециями в ITS-1.

Все органы половой системы и тяж лигамента покрыты фибрillярным матриксом, переходящим в генитальную оболочку. По всей длине от начала лигамента до полового отверстия в матрикс погружены сократимые волокна. Последние не обнаружены однако в стенке сумки Сеффтигена, хотя она явно сокращается при выворачивании бурсы – вероятно, за счёт сокращения лигамента и мышц вестибулюма.

**Comparative morphology of male reproductive system of *Polymorphus phippsi* and *Profilicollis botulus* (Acanthocephala: Polymorphidae)**

*Diurnina A.V.*

ZIN RAS, Saint-Petersburg, Russia  
e-mail: d\_alexia@mail.ru

## **Исследование мускулатуры некоторых трематод с помощью конфокальной сканирующей микроскопии**

*Мочалова Н.В.\*<sup>1</sup>, Теренина Н.Б.<sup>1</sup>, Крещенко Н.Д.<sup>1,2</sup>, Мовсесян С.О.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт биофизики клетки Российской академии наук, Пущино, Россия

<sup>3</sup> Институт зоологии Научного центра зоологии и гидроэкологии НАН, Ереван, Армения

\* e-mail: chiljuta@mail.ru

Мускулатура трематод хорошо развита и обеспечивает локомоторную активность паразитов, прикрепление к органам и тканям хозяина, работу пищеварительной и репродуктивной систем.

В настоящей работе мы исследовали мышечную систему четырёх видов трематод, имеющих разное таксономическое положение и хозяев, используя whole-mount препараты, гистохимическое окрашивание актиновых филаментов с помощью связанного с флуорофором фаллоидина и конфокальную сканирующую лазерную микроскопию (CLSM). В работе приводятся результаты исследования организации мускулатуры стенки тела, прикрепительных и внутренних органов таких видов трематод, как возбудителя паразитарного заболевания, дикроцелиоза *Dicrocoelium lanceatum* Stiles & Hassall, 1896 (syn. *D.dendriticum* Rudolphi, 1809) (Dicrocoeliidae) из желчных протоков травоядных жвачных животных; паразитов рыб - *Acrolichanus auriculatus* Wedl 1858, Ward 1917 (Allocreadiidae) из кишечника стерляди; *Rhipidocotyle campanula* Dujardin, 1845 (Bucephalidae) из кишечника щуки; *Prodistomum alaskense* (Ward and Fillingham, 1934) Bray and Merrett, 1998 (Lepocreadiidae) из кишечника тихоокеанских рыб - запоры и рыбы-лягушки.

В брюшной присоске *D. lanceatum* мы обнаружили до семи типов мышечных волокон (экваториальные, меридиональные, кольцевые, полукольцевые диагональные, радиальные), в специфических выростах ротовой присоски у *A. auriculatum* впервые выявили мышечные элементы, у *R. campanula* впервые описали морфологическую структуру ринхуса-особого прикрепительного органа. Сравнили структуру мышечных волокон репродуктивной и пищеварительной систем исследованных видов.

Результаты исследования мышечной системы стенки тела изученных нами трематод подтверждают положение о том, что организация соматической мускулатуры носит консервативный характер, но различные виды трематод отличаются специфическими чертами архитектоники мускулатуры, которые играют ту или иную приспособительную роль в конкретных условиях их существования.

## **A confocal microscopical study of the musculature of some trematodes**

*Mochalova N.V.\*<sup>1</sup>, Terenina N.B.<sup>1</sup>, Kreshchenko N.D.<sup>1,2</sup>, Movsesyan S.O.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Institute of Cell Biophysics, Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia

<sup>3</sup> Institute of Zoology of Scientific Center for Zoology and Hydroecology, National Academy of Sciences of Republic of Armenia, Yerevan, Armenia

\* e-mail: chiljuta@mail.ru

## **Разнообразие структуры и механизмов формирования цисты цистакантов скребней**

*Никишин В.П.\*, Давыденко Т., Скоробрехова Е.М.*

Институт биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН, Магадан, Россия

\* e-mail: nikishin@ibpn.ru

Проанализированы имеющиеся сведения и результаты собственных исследований строения и механизмов формирования цисты, окружающей акантелл/цистакантов скребней. Показано, что в большинстве случаев циста состоит из двух слоев: толстого везикулярного и подстилающего его тонкого электронно-плотного аморфного. У акантелл некоторых видов на поверхности цисты имеется дополнительный пластинчатый слой, исчезающий на стадии цистаканта. Источник его происхождения пока не ясен, возможно, этот слой формируется первым при участии гемоцитов хозяина. От этой схемы отличаются сведения о строении цисты у *Pomphorhynchus laevis* исключительно из длинных микроворсинок (по авторской терминологии «мембранный материала»).

В соответствии со строением цисты выделены три возможных механизма ее формирования. Первый и второй механизмы осуществляются с участием микроворсинок на поверхности тегумента. У акантелл первой группы микроворсинки короткие, и везикулярный слой цисты образуется путем отделения от их вершин фрагментов или мелких везикул – процесс, напоминающий микроапокриновый тип секреции, а аморфный слой формируется из электронно-плотного материала, выделившегося из инвагинатов наружной мембраны тегумента, и включает остатки микроворсинок. У акантелл второй группы микроворсинки длинные, но циста однослойная и предположительно формируется из целых микроворсинок, отделившихся от тегумента. У акантелл третьей группы микроворсинки на поверхности тегумента отсутствуют, и везикулярный слой формируется из немногих мелких везикул и аморфного материала умеренной электронной плотности, синтезируемого в глубине тегумента и в крупных вакуолях транспортируемого к поверхности паразита; внутренний электронно-плотный слой цисты формируется так же как у первой группы, но без микроворсинок. Первый и третий механизмы формирования цисты экспериментально подтверждены и описаны авторами сообщения (Nikishin, J. Parasitol., 1992; Davydenko, Nikishin, Zoomorph, 2024; Nikishin et. al, J. Helminthol., 2025).

## **Diversity of structure and mechanisms of formation of cysts of acanthocephalan cystacanths**

*Nikishin V.\*, Davydenko T., Skorobrekhova E.*

Institute of Biological problems of the North FEB RAS, Magadan, Russia

\* e-mail: nikishin@ibpn.ru

## **Некоторые особенности тонкого строения симбиотического гребневика *Coeloplana cf. bannwarthii* (Ctenophora: Platyctenida)**

*Осадченко Б.В.<sup>1</sup>, Деарт Ю.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

Гребневики (Ctenophora) – небольшая по числу видов, но всесветно распространенная группа животных, интерес к которой возрос в последнее десятилетие. Тогда как большинство гребневиков являются типичными представителями желетелого планктона, представители аберрантной группы Platyctenida ведут бентосный образ жизни, причем нередко являясь симбионтами других животных (например, кораллов или иглокожих). Такой образ жизни отразился на их морфологии, что и нашло отражение в названии – тела Platyctenida уплощены, с хорошо различающимися оральной (брюшной) и аборальной (спинной) сторонами. Кроме того, неподвижный стиль жизни привел к частичной или полной утрате гребных пластинок, так характерных для представителей Ctenophora. Эти и некоторые другие особенности делают платиктенид внешне похожими на турбеллярий (Polycladida), что порой приводит к неправильной их идентификации.

Несмотря на широкое распространение в тропиках и субтропиках, Platyctenida изучены несравненно хуже остальных гребневиков. В первую очередь это касается их гистологического строения и, в особенности, тонкой морфологии – если ультраструктура тканей планктонных гребневиков изучается уже довольно давно и с применением всего арсенала современной морфологии, то Platyctenida посвящена лишь пара работ.

В данной работе впервые описаны некоторые детали тонкого строения *Coeloplana cf. bannwarthi*, эпифионта морских ежей *Diadema* sp. С использованием трансмиссионной электронной микроскопии была изучена ультраструктура дорзального и вентрального эпителиев (последний из которых богат разнообразными железистыми клетками), клеток и мышц мезоглеи, а также эпителия кишечника. Особое вниманиеделено строению сперматозоидов, специализированных для внутреннего оплодотворения.

## **Some Features of the Fine Structure of the Symbiotic Ctenophore *Coeloplana cf. bannwarthii* (Ctenophora: Platyctenida)**

*Osadchenko B.V.<sup>1</sup>, Deart Yu.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

## **Тонкое строение инвазивных столонов *Thompsoniidae* gen. sp. (*Cirripedia: Rhizocephala*) из *Harpiosquilla harpax* (*Malacostraca: Stomatopoda*)**

*Петрова Е.Р. \*<sup>1</sup>, Лянгузова А.Д.<sup>1,2,3</sup>, Арбузова Н.А.<sup>1,2</sup>, Кремнев Г.А.<sup>2</sup>, Миролюбов А.А.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Совместный Российско-Вьетнамский Тропический научно-исследовательский  
и технологический центр, Ханой, Вьетнам

\* e-mail: ekaterinapetrova28602@gmail.com

Корнеголовые ракообразные — группа высокоспециализированных облигатных паразитов ракообразных, чаще всего, десятиногих раков. В ходе приспособления к эндопаразитическому образу жизни их тело претерпело ряд кардинальных изменений. Тело взрослой паразитической самки состоит из двух частей: интерны — системы трубчатых столонов, лежащей в тканях зараженной особи, и экстерны — репродуктивного мешковидного образования снаружи тела хозяина. Столоны интерны разделены по функциям: большинство поглощает питательные вещества из гемолимфы хозяина, а специализированные инвазивные столоны проникают в нервную ткань хозяина. Тонкое строение интерны у многих представителей мало изучено, в частности у поздно дивергировавших “Akentrogonida”, у которых спектр хозяев шире и воздействие на хозяина, как считается, меньше.

Целью нашей работы было исследовать ультраструктурную организацию инвазивных столонов, корнеголового *Thompsoniidae* gen. sp. (“Akentrogonida”), паразитирующего на раках-богомолах. Заражённые раки-богомолы *Harpiosquilla harpax* были собраны в Южно-Китайском море, во Вьетнаме. Из инфицированных особей была изолирована нервная ткань. Инвазивные столоны были найдены в ганглиях абдомена и торакса.

Столоны, проникающие в нервную ткань, и столоны, лежащие в оболочке ганглия, различались на гистологическом и ультраструктурном уровнях. Для столонов в нервной ткани характерны более тонкая кутикула с короткими и редкими микровыростами, наличие центрального канала и электронно-плотных образований в субкутикулярном пространстве. У столонов в оболочке ганглия кутикула более толстая, микровыrostы частые и подразделены на короткие и длинные, центральной полости нет; присутствуют мультивезикулярные тельца со стороны тканей хозяина. Кроме того, вероятно расположение в разных участках нервной ткани влияет на организацию инвазивных столонов: столоны в торакальных ганглиях отличаются от столонов в абдоминальных.

## **Ultrastructure of invasive rootlets of *Thompsoniidae* gen. sp. (*Cirripedia: Rhizocephala*) from *Harpiosquilla harpax* (*Malacostraca: Stomatopoda*)**

*Petrova E.R. \*<sup>1</sup>, Lianguzova A.D.<sup>1,2,3</sup>, Arbuzova N.A.<sup>1,2</sup>, Kremnev G.A.<sup>2</sup>, Miroliubov A.A.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State University, Department of Invertebrates Zoology, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, laboratory of parasitic worms and protists, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Joint Vietnam - Russia Tropical Science and Technology Research Center, Hanoi, Vietnam

\* e-mail: ekaterinapetrova28602@gmail.com

## **Нервная система ортонектид (Orthonectida)**

*Rappoport A.B.\*<sup>1</sup>, Слюсарев Ю.С.<sup>2</sup>, Скалон Е.К.<sup>1</sup>, Старунов В.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: septiger@yandex.ru

Ортонектиды – высокоспециализированные эндопаразиты различных беспозвоночных животных. Их жизненный цикл включает стадию паразитического плазмодия, свободноживущее половое поколение и личинок. По современным представлениям, ортонектиды демонстрируют крайнюю степень морфологической редукции среди Bilateria. Их нервная система, обнаруженная лишь в конце XX века только у особей полового поколения, является одной из самых малоклеточных среди половозрелых Spiralia. Целью работы является реконструкция строения нервной системы самки ортонектиды *Intoshia linei* на основе трансмиссионной и 3D-сканирующей электронной микроскопии.

Нервная система самки *I. linei* представлена 58 клетками. Из них 17 пар образуют ганглий, расположенный в передней части тела дорсально. Рецепторные клетки расположены в передней трети тела самки и разделены на несколько групп. Спереди расположены три клетки, дающие отростки к переднему концу. Их тела окружены кольцом из шести рецепторных клеток, дающих отростки к поверхности тела. За ними последовательно лежат еще два кольца из шести и девяти сенсорных клеток, соответственно. Их тела находятся непосредственно в составе покровного эпителия. Таким образом, вся сенсорная система самки *I. linei* представлена тремя апикальными клетками, и тремя кольцами сенсорных клеток, расположенными в передней части тела. На сегодняшний день невозможно точно определить функциональную нагрузку выявленных рецепторных клеток. Наблюдения за столкновениями самок *I. linei* с препятствием в чашке Петри, позволяют предположить роль некоторых из них. При столкновении животного с препятствием под прямым углом происходит реверс движения ресничек с изменением траектории движения за счет работы мышц. При столкновении под меньшим углом, также происходит отклонение, но без реверса ресничек. Вероятно, девять рецепторных клеток на переднем конце отвечают за этот процесс. Функциональная нагрузка остальных рецепторных клеток остается неясной.

*Работа выполнена при поддержке гостемы № 125012800894-6.*

## **The nervous system of Orthonectida (Orthonectida)**

*Rappoport A.V.\*<sup>1</sup>, Slyusarev G.S.<sup>2</sup>, Skalon E.K.<sup>1</sup>, Starunov V.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: septiger@yandex.ru

## **Анатомия и ультраструктура Y-циприса *Hansenocaris itoi* (Thecostraca: Facetotecta)**

*Savchenko A.C.\*<sup>1</sup>, Kalke P.<sup>2</sup>, Хёйс Р.<sup>3</sup>, Колбасов Г.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Факультет эволюции и разнообразия животных Университета Гёттингена, Гёттинген, Германия

<sup>3</sup> Музей Естественной Истории, Лондон, Великобритания

\* e-mail: as.savchenko1@gmail.com

Facetotecta - возможно, самые загадочные ракообразные, так как их взрослые стадии до сих пор не найдены. Науплиальные и циприсовидные личинки фасетотект ведут планктонный образ жизни и описаны из самых различных морских акваторий. Несмотря на всесветное распространение Y-личинок, их высокое локальное разнообразие и большую плотность в некоторых регионах мирового океана, усилия ученых по расшифровке жизненного цикла Facetotecta пока не привели к успеху. Предполагается, что взрослая стадия фасетотект ведет эндопаразитический образ жизни. Однако даже приблизительный круг хозяев этих паразитических ракообразных не очерчен. На паразитическую природу фасетотект указывают результаты экспериментов с индукцией метаморфоза Y-циприса. Постнауплиальная стадия (Y-циприс), как и у других Thecostraca, скорее всего, является инвазионной. Именно эта личинка ищет хозяина, а также обеспечивает проникновение внутрь него червеобразной ювенильной особи – ипсигона.

Нами впервые детально изучено анатомическое строение, включая ультраструктуру, Y-циприса фасетотект на примере беломорского вида *Hansenocaris itoi*. С применением световой, трансмиссионной электронной и конфокальной микроскопии, а также метода 3D реконструкции по серии срезов нами впервые описано строение мышечной и нервной систем, слепо замкнутойrudimentарной кишке, а также показано наличие многочисленных парных гиподермальных желез, функция которых пока не ясна. Отсутствие функциональной кишке, вооружение и мощно развитый мышечный аппарат лябрума, а также наличие в нем крупной непарной железы являются адаптациями к паразитическому образу жизни и указывают на то, что заражение хозяина происходит на стадии Y-циприса. Мы надеемся, что расшифровка механизма проникновения ипсигона может приблизить нас к ответу на вопрос: в ком паразитируют взрослые фасетотекты?

## **Anatomy and ultrastructure of the Y cypris larva of *Hansenocaris itoi* (Thecostraca: Facetotecta)**

*Savchenko A.\*<sup>1</sup>, Kalke P.<sup>2</sup>, Huys R.<sup>3</sup>, Kolbasov G.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Department of Animal Evolution and Biodiversity, University of Goettingen, Goettingen, Germany

<sup>3</sup> Natural History Museum, London, UK

\* e-mail: as.savchenko1@gmail.com

## **Цистофорные хвосты церкарий надсемейства Hemairoidea (Digenea): ультраструктура и развитие**

*Скобкина О.А.\*<sup>1,2</sup>, Кремнев Г.А.<sup>3</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> ИНЦ РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: levyashyk@mail.ru

Церкарии – расселительные личинки Digenea, которые отвечают за один из этапов трансмиссии. Их строение и поведение очень разнообразны, что отражает широту стратегий заражения и спектр хозяев, которых они инфицируют. У церкарий есть особый орган, хвост, который выполняет разнообразные функции, прежде всего – локомоторную. Обычно, покровы хвоста представлены тегументом – синцитием с погруженными под базальную пластинку ядродержащими частями. Под базальной пластинкой располагаются мышечные слои.

У цистофорных церкарий надсемейства Hemairoidea хвост сильно модифицирован и образует полую хвостовую капсуллу и извергательную трубку. Существуют как подвижные цистофорные церкарии, у которых также присутствует локомоторный отросток, так и неподвижные. Целью данной работы стал морфо-функциональный анализ строения модифицированного цистофорного хвоста у церкарий семейств Lecithasteridae, Derogenidae и Hemuiridae.

По нашим данным, цистофорные хвосты отличаются от хвостов других церкарий на гистологическом и ультраструктурном уровнях. Снаружи в них расположен тонкий электронно-плотный слой – остатки тегумента (буторчатый слой). Под ним расположен внеклеточный слой, который состоит из разнонаправленных волокон. Клетки паренхимы хвоста дегенерируют в ходе его развития, и от них остаются только плазматические мембранны. Полость хвостовой капсуллы формируется как инвагинация, поэтому стенка полости включает в себя остатки тегумента и волокнистый слой. Также, цистофорные церкарии различаются строением слоев стенки хвостовой капсуллы. Буторчатый слой отличается формой бугорков, а волокнистый – толщиной и количеством слоев разнонаправленных волокон. В развитии мы также наблюдали значительные различия между церкариями. Например, у церкарий Derogenidae формируются кольцевые мышцы в хвостовой капсулле, а затем они редуцируются. У Lecithasteridae такого не наблюдалось.

## **Cystophorous tails of cercariae of the Hemiuroidea family (Digenea): ultrastructure and development**

*Skobkina O.A.\*<sup>1,2</sup>, Kremnev G.A.<sup>3</sup>, Krupenko D.Y.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Cytology Russian Academy of Science, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, SPbU, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences (ZIN), Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: levyashyk@mail.ru

# **Сравнительная характеристика паразитических личинок глохидиев *Anodonta cygnea* и *Unio pictorum***

*Старунова З.И.\*, Старунов В.В., Шунькина К.В., Чава А.И., Зайцева О.В.*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: z.starunova@gmail.com

Моллюски из семейства Unionidae имеют паразитическую личинку – глохидий. Глохидии демонстрируют выраженную видоспецифичность к хозяевам и паразитируют на различных видах рыб, включая промысловых. Несмотря на длинную историю изучения личинок, внутреннее строение остаётся недостаточно изученным, что ограничивает понимание механизмов адаптации к паразитическому образу жизни. Методами иммуногистохимии, конфокальной микроскопии и гистологии было исследовано строение паразитических личинок двух видов *Anodonta cygnea* и *Unio pictorum*, обитающих в водоёмах Ленинградской области.

Гистологическое исследование серий поперечных полутонких срезов с последующей 3D-реконструкцией на глохидиях *A. cygnea* позволило проследить расположение четырёх пар волосковых клеток: три из них находятся у зубцов створок, четвёртая — над ресничным полем латеральных ямок. Биссусная нить берёт начало от центрально расположенной биссусной железы и закручена кольцом в 2–3 оборота с петлями,ложенными в правой створке. Это смешает латеральные ямки ближе к центру створки. На срезах отчётливо различимы волокна мускула-аддуктора и другие мышечные элементы, тянущиеся к створкам и мантии. Клетки мантии различаются по форме и цитоскелетным элементам, что указывает на функциональную неоднородность. С помощью конфокальной микроскопии у двух видов глохидиев *A. cygnea* и *U. pictorum* были описаны элементы нервной и мышечной систем, включая зачатки трёх пар ганглиев, серотонин- и FMRFамид-иммунореактивные клетки.

Полученные гистологические данные дополняет данные иммуногистохимии и позволяет уточнить топографию ключевых структур глохидиев. Совокупность результатов расширяет представления о морфологии паразитических личинок Unionidae и служит основой для последующего функционального анализа сенсорных систем.

*Работа выполнена в рамках госбюджетной темы № 125012800894-6.*

## **Comparative characteristics of parasitic glochidia larvae *Anodonta cygnea* and *Unio pictorum***

*Starunova Z.I.\*, Starunov V.V., Shunkina K.V., Chava A.I., Zaitseva O.V.*

Zoological Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: z.starunova@gmail.com

## **Уникальная форонида *Phoronis embryolabi* – симбионт с симбионтами**

*Temereva E.H.\*<sup>1</sup>, Simdyanov T.G.<sup>1</sup>, Soklova Y.O.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Национальный Институт Здравоохранения, Бетесда, США

\* e-mail: temereva@mail.ru

Форониды *Phoronis embryolabi* впервые были найдены в 2015 году в акватории залива Восток Японского моря, где долгое время в планктоне находили личинок этого вида, а взрослых животных никто не видел. Как оказалось, эти форониды обитают в норах роющих креветок, которые многочисленны в бухте Тихая Заводь.

Агглютинированная трубка, которая окружает мягкое тело этих форонид, вмонтирована в стенку норы креветки. В просвет норы форониды выставляют головной конец тела, несущий лохофор с ресничными щупальцами, которые улавливают пищевые частицы из тощи воды. Креветка создает непрерывное движение воды в норе, что обеспечивает форонидам постоянный приток пищевых частиц. В тоже время, передвижения креветки в норе приводят к повреждению тела форонид, к чему они оказались адаптированы, разив целый комплекс морфологических приспособлений, которые отличают их от других форонид. *P. embryolabi* имеет уникальную репродуктивную стратегию, что, вероятно, используется некоторыми организмами, поселяющимися внутри представителей этого вида, для реализации своего жизненного цикла. В кишечнике и полости тела этих форонид мы нашли разные стадии жизненного цикла кокцидий. Как показал молекулярно-генетический анализ, эти паразитические одноклеточные принадлежат группе *Protococcidea*, а их обнаружение позволило пересмотреть систему группы и показать, что она не является монофилетичной. *P. embryolabi* стал первым видом форонид, который пополнил список хозяев другой группы внутриклеточных паразитов – микроспоридий. У форонид микроспоридии паразитируют не в кишечнике, а в клетках полости тела, куда проникают неизвестным способом. Вероятно, имеет место горизонтальный перенос микроспоридий от материнского организма к личинкам, которых он вынашивает в полости тела. Как оказалось, материнский организм способен давать отпор паразитарному нападку и формирует вокруг инфицированной ткани хитиновые капсулы, которые выбрасываются наружу через метанефрии.

*Работа выполнена при поддержке РНФ (№ 23-14-00020).*

## **Unique phoronid, *Phoronis embryolabi* – symbiont with the symbionts**

*Temereva E.\*<sup>1</sup>, Simdyanov T.<sup>1</sup>, Sokolova Y.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> National Institutes of Health, Bethesda, USA

\* e-mail: temereva@mail.ru

# **Электронномикроскопические исследования симбионтов камер желудка жвачных животных**

*Хацава Р.М.*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия  
\* e-mail: r.khatsaeva@mail.ru

Впервые с помощью методов сканирующей электронной микроскопии удалось показать особенности и разнообразие симбионтов камер желудка жвачных животных и их зависимость от функциональной специфики камер. Роль микроорганизмов в пищеварении и обмене веществ в многокамерном желудке жвачных животных первостепенна и имеет как теоретическое, так и важное практическое значение. Результаты таких исследований, позволяют более эффективно использовать пищевые ресурсы в достижении безопасности и нужных результатов выращивания животных. Существует множество методов исследований: от классических до современных – метагеномных и молекулярно-биологических. В первом случае они трудоемки и неточны, поскольку, значительная часть микроорганизмов рубца - некультивируемые, во втором - трудоемки и дорогостоящи, кроме того, все эти методы ориентированы на исследование состава микроорганизмов в содержимом камер желудка, в основном рубца, не затрагивая другие камеры. Но самое главное – состав и количество микробиома очень лабильны: зависят от породы, возраста, сезона, состава, качества корма, физиологического состояния животного и т.д. Поэтому относительность данных исследований очевидна. Очень важно все исследования дополнять изучением пристеночных, более постоянных форм симбионтов, менее подверженных смыву и резким сменам режимов. Эту возможность дают электронномикроскопические исследования поверхности слизистой оболочки камер желудка, кроме того, появляется возможность описания морфологии и расположения микроорганизмов. Мы впервые начали применять такую методику на всех камерах желудка

жвачных.

Удалось выявить разнообразие состава микробиома преджелудков жвачных животных, представленных бактериями, грибами и простейшими. Бактерии представлены, в основном, специфическими облигатными анаэробными видами целлюлозолитических, амилолитических и лактобактерий шаровидной, палочковидной, спиралевидной и нитчатой форм. Показана функциональная детерминированность симбионтов всех камер желудка.

## **Electron microscopic studies of the symbionts of the stomach chambers of ruminant animals**

*Khatsaeva R.*

Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
e-mail: r.khatsaeva@mail.ru

**ОМИКСНЫЕ ПОДХОДЫ  
В ИССЛЕДОВАНИЯХ  
СИМБИОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ И  
МИКРОБИОМЫ  
СИМБИОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

## **Изменение генетической карты влияет на экспрессию митохондриальных генов**

*Николаева О.В.<sup>1</sup>, Овчаренко А.С.<sup>1,2</sup>, Хорхордина П.В.<sup>1,2</sup>, Миролюбова Т.С.<sup>1,3</sup>, Садовская Н.С.<sup>1</sup>, Скобеева В.А.<sup>1,2</sup>, Санамян Н.П.<sup>4</sup>, Панина Е.Г.<sup>5</sup>, Михайлов К.В.<sup>1,6</sup>, Русин Л.Ю.<sup>6</sup>, Чесунов А.В.<sup>1,2</sup>, Алёшин В.В. <sup>\*1,2,6</sup>*

<sup>1</sup> НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup> Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, Россия

<sup>5</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>6</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия

\* e-mail: aleshin@genebee.msu.su

Митохондриальные геномы большинства видов животных содержат одинаковые наборы генов, причем у многих видов белок-кодирующие гены (PCGs) располагаются строго в определенном порядке, формируя синтении – консервативные блоки генов. Некоторые синтении сохраняются на протяжении сотен миллионов лет и обнаружаются в митохондриальных геномах позвоночных и беспозвоночных животных. Подобная эволюционная консервативность указывает на функциональную роль взаиморасположения PCGs, однако биохимический или физиологический механизм влияния порядка генов в mtДНК на жизнеспособность не известен. Среди животных, однако, встречаются и таксоны с уникальным порядком генов в mtДНК, полностью утратившие консервативные синтении. К последним до недавнего времени относили круглых червей (нематод), пока некоторые из канонических синтений животных не обнаружились у ранее не исследованных нематод. К ним относится и семейство морских нематод Thoracostomopsidae (Nematoda, Enoplida). Мы секвенировали полные митохондриальные геномы трех видов Thoracostomopsidae, определили порядок генов и уровни их экспрессии согласно RNA-seq у всех доступных представителей семейства. Обнаружено, что у пяти видов Thoracostomopsidae реализовано три варианта расположения PCGs в mtДНК, а относительные уровни их мРНК коррелируют с порядком генов, а не филогенией видов. Мы предполагаем, что транслокации PCGs влияют на уровень экспрессии не только у нематод. Также мы предполагаем, что транслокации в mtДНК могут оказывать комбинированный эффект, не ограничивающийся влиянием на уровни транскрипции отдельных мРНК.

### **Genetic map changes affect mitochondrial gene expression**

*Nikolaeva O.V.<sup>1</sup>, Ovcharenko A.S.<sup>1,2</sup>, Khorkhordina P.V.<sup>1,2</sup>, Mirolubova T.S.<sup>1,3</sup>, Sadovskaya N.S.<sup>1</sup>, Skobeeva V.A.<sup>1,2</sup>, Sanamyan N.P.<sup>4</sup>, Panina E.G.<sup>5</sup>, Mikhailov K.V.<sup>1,6</sup>, Rusin L.Y.<sup>6</sup>, Tchesunov A.V.<sup>1,2</sup>, Aleoshin V.V. <sup>\*1,2,6</sup>*

<sup>1</sup> A.N. Belozersky Research Institute of Physicochemical Biology, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Biology Department of Lomonosov State University, Moscow, Russia

<sup>3</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Kamchatka Branch of the Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

<sup>5</sup> Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

<sup>6</sup> A.A. Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: aleshin@genebee.msu.su

# **Функциональная роль антибиотиков в микробных сообществах почвы и ризосфера**

*Vasilchenko A.C.*

Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

\* e-mail: avasilchenko@gmail.com

Будучи неотъемлемым компонентом холобиона, почвенные микробные сообщества формируют сложные сети взаимодействий через биотические связи различной природы. Ключевую роль медиаторов этих взаимоотношений выполняют микробные экзометаболиты-антибиотики, функциональное значение которых выходит далеко за рамки простого антагонизма.

Наше исследование раскрывает контекстно-зависимую дуалистическую природу антибиотиков как ключевых регуляторов симбиотических систем «почва-микробиом-растение». Показано, что в зависимости от концентрации и наличия растения-хозяина антибиотики трансформируют свою функцию, выступая либо как легкодоступный субстрат, либо как фактор селективного давления (феномен «ресурс-стрессор»). Установлены фундаментальные видоспецифичные механизмы действия на молекулярном уровне. 2,4-диацетилфлороглюцинол индуцирует синтез микотоксинов у фитопатогенных *Fusarium* spp., повышая их вирулентность, но стимулирует защитный метаболизм у сапротрофного *Aspergillus* spp. Циклические липопептиды вызывают дисбалансированный катаболический ответ у *Fusarium* spp. и сложную оборонительную стратегию у *Aspergillus* spp.

Изучение воздействия на ризосферный микробиом выявило противоположные экологические стратегии. Циклические липопептиды при предпосадочной обработке клубней селективно обогащают ризосферу PGP-таксонами (*Bacillus*, *Pseudomonas*), что ведет к значительному росту урожайности картофеля. 2,4-DAPG демонстрирует двухфазный эффект, эффективно стабилизирует pH и органический углерод почвы, но подавляет симбиотические *Mucoromycota*, что ограничивает его позитивное влияние на урожайность.

Таким образом, антибиотики PGP-микроорганизмов являются мощными драйверами функциональных перестроек микробиомов, а их конечный эффект определяется тонким балансом между селективным подавлением патогенов и модуляцией симбиотических сетей в пользу растения-хозяина.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (FEVZ-2024-0005).*

## **Functional role of antibiotics in microbial communities of soil and rhizosphere**

*Vasilchenko A.S.*

University of Tyumen, Tyumen, Russia

e-mail: avasilchenko@gmail.com

**Филогенетический анализ цистатина - потенциального иммунорегулятора из секретом и транскриптомов паразитов семейства Diphyllobothriidae - с перспективой получения противоаллергических препаратов**

Васина В.М.\*<sup>1</sup>, Кутырев И.А.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-удэ, Россия

<sup>2</sup> Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН, Улан-удэ, Россия

\* e-mail: valeriyana168@gmail.com

Паразиты семейства *Diphyllobothriidae* (лентецы) для выигрышной долговременной инвазии в организм хозяина способны продуцировать широкий спектр иммуномодулирующих молекул, среди которых важную роль играют ингибиторы цистеиновых протеиназ — цистатины. Благодаря филогенетическому анализу цистатинов, идентифицированных в секретомах (белках, выделяемых паразитом) и транскриптомах данных паразитов, есть возможность выявить уникальные эволюционные адаптации и консервативные домены, которые отвечают за подавление иммунного ответа хозяина. Такой анализ помогает не только понять механизмы паразитарной иммуноэвазии, но и выявить потенциальные молекулы с высокой иммуносупрессивной активностью и специфичностью. Одним из важных практических приложений этого исследования является целенаправленная экспрессия и выделение рекомбинантного цистатина паразита, который, с помощью своей способности подавлять активность иммунных клеток хозяина (таких как дендритные клетки и Т-лимфоциты), может быть использован в качестве основы для получения инновационных лекарств против аллергии. Цистатин паразита, способный подавлять гиперактивный иммунный ответ хозяина, может стать ключевым компонентом в разработке действенной иммунотерапии для лечения астмы, атопического дерматита и прочих аллергических заболеваний.

**Phylogenetic analysis of cystatin, a potential immunoregulator from the secretomes and transcriptomes of parasites of the Diphyllobothriidae family, with the prospect of obtaining anti-allergic drugs**

Vasina V.M.\*<sup>1</sup>, Kutyrev I.A.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

<sup>2</sup> Institute of General and Experimental Biology of the Siberian Branch of the RAS, Ulan-Ude, Russia

\* e-mail: valeriyana168@gmail.com

# **Функционирование генов глутатион-S-трансферазы у двустворчатых моллюсков при различных типах биотического стресса на основе данных RNA-Seq**

*Водясова Е.А.\* Уппе В.А., Челебиева Э.С., Кладченко Е.С., Дмитриева Е.В.*

Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
\* e-mail: eavodiasova@gmail.com

Глутатион-S-трансфераза (GST) является одним из ключевых ферментов в метаболизме ксенобиотиков и выполняет защитную функцию организма. GST относится к мультигенным белковым семействам, при этом число генов, кодирующих фермент сильно варьирует у различных видов. В настоящее время выделяется около десяти основных классов GST у животных, которые, вероятно, имеют специфические профили экспрессии в зависимости от типа стресс-фактора. При симбиотических отношениях организмы постоянно сталкиваются с чужеродными продуктами метаболизма, что в результате активизирует механизмы детоксикации и в том числе семейство GST. Целью данного исследования было изучить экспрессию генов GST у нескольких видов двустворчатых моллюсков при различных типах биотического стресса на основе данных RNA-Seq для понимания функционирования данного белкового семейства. В качестве объектов исследования были выбраны промысловые двустворчатые моллюски *Magallana gigas* (Thunberg, 1793), *Mytilus galloprovincialis* (Lamarck, 1819) и *Mytilus coruscus* (A. Gould, 1861). Для этих трех видов проведен анализ влияния бактериального заражения *Vibrio* spp. (PRJNA515169, PRJNA466718, PRJNA1114687) для межвидового сравнения функционирования генов GST. Также были проведены исследования по влиянию внутриклеточного паразита *Nematopsis* sp. на *M. galloprovincialis* и эпифиона *Pione vastifica* (Hancock, 1849) на *M. gigas* для сравнения различных типов биотического стресса.

На основе данных RNA-Seq было подтверждено предположение о зависимости профиля экспрессии от стрессового фактора. Показано, что в случаях внутриклеточного воздействия реагируют гены *GST-alpha* и *GST-mapeg.P. vastifica*, которая поражает раковину устрицы и является экзо-симбионтом, приводит к активизации других классов глутатион-S-трансферазы. Вероятно, дупликации GST в геноме являются одним из механизмов адаптационной эволюции, приводящей к возникновению эффективной системы клеточной детоксикации.

*Исследование выполнено в рамках госзадания № 124022400148-4.*

## **RNA-Seq reveals the glutathione S-transferase genes expression pattern under biotic stress in Bivalvia**

*Vodiasova E.A.\* Uppe V.A., Chelebieva E.S., Kladchenko E.S., Dmitrieva E.*  
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia  
\* e-mail: eavodiasova@gmail.com

## **«Зараженный голобионт» – влияет ли зараженность партенитами трематод на микробиом моллюсков рода *Littorina***

*Гафарова Е.Р.\*, Зубова Е.В., Курячий Д.С., Гранович А.И.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: orhidea-palma@yandex.ru

Значимость состава и функций сообщества ассоциированных микроорганизмов для физиологии многоклеточных вынуждает рассматривать весь этот комплекс как единую систему. Такой интегральный взгляд подчеркивается концепцией голобиона, в рамках которой экологический и эволюционный потенциал многоклеточного рассматривается в контексте его взаимодействия с микрофлорой. Возможно и устойчивость хозяина к макропаразитам модерируются именно микробиомом хозяина. Анализ связи микробиома хозяина с зараженностью макропаразитами – весьма актуальная задача для понимания устойчивости систем паразит-хозяин. Трематоды, использующие в качестве промежуточных хозяев брюхоногих моллюсков, способны существенно изменять их физиологические особенности и поведение. Однако связь паразитирования трематод с изменением микробиома хозяина остается малоизученной.

Мы исследовали, как заражение трематодами влияет на кишечный микробиом моллюсков *Littorina saxatilis* и *L. obtusata* методом 16S рДНК метабаркодинга. Ранее мы показали различие между кишечным микробиомом литторин и средовым микробиомом, выявили географическую изменчивость микробиома этих моллюсков и установили межвидовые различия в кишечном микробиоме *Littorina* spp.. Микробиом здоровых и зараженных трематодами особей различается. У зараженных литторин наблюдается снижение обилия представителей родов *Psychromonas*, *Psychrilyobacter* и *Halochromatium*, потенциально участвующих в метаболизме сахаридов. Наоборот, доля патогенных бактерий, в частности, представителей рода *Mycoplasma* у зараженных моллюсков увеличивается. Результаты показывают, что заражение трематодами может реструктурировать микробиом моллюсков, а значит оказывать как прямое, так и опосредованное, через микробиом, воздействие на физиологическое состояние хозяев. Эти результаты подчеркивают важность учета микробного компонента при изучении паразит-хозяинных взаимодействий и подтверждают перспективность применения голобионтного подхода в паразитологических исследованиях.

## **"Infected Holobiont" - Does parthenitic trematode infection affect the microbiome of *Littorina* molluscs?**

*Gafarova E.R.\*, Zubova E.V., Kuracij D.S., Granovitch A.I.*

St. Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: orhidea-palma@yandex.ru

## **Особенности РНК-интерференции у паразитических простейших и эффективность использования двуцепочечных РНК для борьбы с микроспоридиозами одомашненных насекомых**

*Долгих В.В.\*, Сендерский И.В., Игнатьева А.Н., Румянцева А.С., Байазыт К.К.,  
Тимофеев С.А., Фадеев Р.Р.*

Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург-Пушкин, Россия  
\* e-mail: dol1slav@yahoo.com

РНК-интерференция (РНКи) – подавление активности генов, запускаемое комплементарной двуцепочечной РНК (дЦРНК), была впервые описана у нематоды *Caenorhabditis elegans* (Fire et al., 1998) и одноклеточного возбудителя сонной болезни *Trypanosoma brucei* (Ngo et al., 1998). При этом, Dicer и Argonaute, компоненты аппарата РНКи, оказались утраченными у другой трипаносомы *T. cruzi*. Утрата генов этих белков наблюдается также у большинства видов рода *Leishmania*. У представителей Apicomplexa гены РНКи утрачены видами родов *Plasmodium* и *Cryptosporidium*, но сохраняются у *Toxoplasma gondii*. Отсутствие генов, кодирующих Dicer и Argonaute, также обнаружено у половины изученных видов микроспоридий – близких к грибам, древних, широко распространенных внутриклеточных паразитов. Столь частая потеря генов РНКи у паразитических микроорганизмов ставит вопрос об эффективности использования этого подхода для подавления протозойных инфекций. В докладе будут представлены литературные и собственные экспериментальные данные о влиянии кормления пчел *Apis mellifera* дЦРНК на развитие инфекции, вызванной микроспоридией *Vairimorpha ceranae*, и рассмотрена возможность повышения эффективности подавления нозематоза пчел с помощью липосом и наночастиц. Будут также представлены результаты поиска эффективных методов подавления внутриклеточного развития микроспоридии *Nosema bombycis*, вызывающей пебрину шелковичного червя (гусениц тутового шелкопряда *Bombyx mori*). С этой целью мы использовали клетки совки *Spodoptera frugiperda* линии Sf9, зараженные спорами паразита. Для доставки дЦРНК в зараженные клетки их трансформировали (1) синтезированными *in vitro* дЦРНК, (2) плазмидами для экспрессии комплементарных плюс и минус цепей РНК, (3) плазмидами с U6 промотором для наработки малых интерферирующих РНК. Анализ представленных данных позволит оценить эффективность и перспективы использования РНКи для борьбы с микроспоридиозами одомашненных насекомых.

*Исследование выполнено при поддержке РНФ № 23-16-00247.*

## **RNA interference in parasitic protozoa and the effectiveness of using double-stranded RNA to control microsporidiosis of domesticated insects.**

*Dolgikh V.V.\*, Senderskiy I.V., Ignatieva A.N., Rumiantseva A.S., Bayazyt K.K.,  
Timofeev S.A., Fadeev R.R.*

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg-Pushkin, Russia  
\* e-mail: dol1slav@yahoo.com

# **Структура сообществ бактерий, архей, грибов и простейших в микробиоте пищеварительного тракта симпатрической пары сигов *Coregonus lavaretus***

*Кашинская Е.Н.\*<sup>1,2</sup>, Власенко П.Г.<sup>1,2</sup>, Колмогорова Т.В.<sup>1</sup>, Соловьев М.М.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: elena.kashinskaya@inbox.ru

Особый интерес при определении механизмов формирования микробиоты водных организмов представляет анализ близкородственных групп, различающихся по характеру питания и топической приуроченности. В качестве такой модели могут служить симпатрические пары сиговых рыб *Coregonus lavaretus*, обитающие в водоемах юга Западной Сибири (оз. Телецкое) и севера Байкальской рифтовой зоны (оз. Большие Капылюши). Одни симпатрические формы/виды обитают и питаются у дна, в то время как другие – в толще воды. Подобная пищевая (бентофаг/планктофаг) и топическая специализация (бенталь/пелагиаль) может являться существенным фактором, определяющим структуру микробиоты хозяина. Известно, что микробиота – это сложнокомпонентная система, включающая в себя бактерий, архей, грибов, простейших и вирусов. При этом наиболее изученными являются бактерии, в то время как другие представители микробиоты исследованы значительно слабее. Цель исследования – определить структуру сообществ бактерий, архей, грибов и простейших в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) сиговых рыб с разным типом питания из двух разнотипных озер Сибири.

Для определения состава микробиоты у всех особей в асептических условиях собраны образцы слизистой и содержимого ЖКТ. Секвенирование вариабельных регионов 16S рРНК бактерий, 16S архей, 18S рРНК и ITS проводили на платформе Illumina NovaSeq 6000. В результате проведенных исследований показано, что наибольшее разнообразие в составе микробиоты сиговых рыб приходится на долю бактерий (98.97%). В меньшей степени в кишечнике рыб представлены простейшие (0.63%), грибы (0.37%) и археи (0.03%). Вне зависимости от водоема наибольшие показатели альфа-разнообразия микробных сообществ отмечено в ЖКТ бентофагов по сравнению с планктофагами. В то же время таксономический состав микробиоты исследуемых рыб достоверно зависел от типа водоема, отдела пищеварительного тракта и от формы/вида сигов.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-74-10101.*

## **Structure of bacterial, archaea, fungal and protozoan communities in the microbiota of digestive tract of a sympatric pair of whitefish *Coregonus lavaretus***

*Kashinskaya E.N.\*<sup>1,2</sup>, Vlasenko P.G.<sup>1,2</sup>, Kolmogorova T.V.<sup>1</sup>, Solovyev M.M.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: elena.kashinskaya@inbox.ru

# **Микробиом симбионтов *Scolytus jacobsoni* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): результаты морфологического и молекулярно-генетического анализа**

*Kerchev I.A.\*<sup>1,2</sup>, Kabilov M.R.<sup>3</sup>, Subbotin S.A.<sup>4</sup>, Ryss A.YO.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

<sup>3</sup> Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup>Plant Pest Diagnostic Center, California Department of Food and Agriculture, Sacramento, USA

\* e-mail: ivankerchev@gmail.com

Голландская болезнь ильмовых (ГБИ) - пример трансмиссивного заболевания, распространяемого короедами рода *Scolytus*. Симбиотические биомы, ассоциированные с переносчиками в их естественном ареале, остаются недостаточно изученными. Ключевым остается вопрос: связаны ли трофически нематоды и грибы одного переносчика, или нематоды питаются в дереве за счет внешних не-энтомохорных сапротрофов. Объектом исследования служил симбиотический комплекс дальневосточного короеда *Scolytus jacobsoni* вызывающего усыхание вяза японского *Ulmus davidiana* в Уссурийском заповеднике (Приморский край). Видовая идентификация нематод проводилась с помощью морфологического и молекулярно-генетического методов. Таксономический состав грибного сообщества короеда был определен методом метабаркодирования с секвенированием ITS-локуса на платформе Illumina MiSeq. Анализу подвергалась суммарная экстрагированная ДНК из пула особей жука. Обнаружено ассоциированное с *S. jacobsoni* грибное сообщество и нематода *Bursaphelenchus ussuriensis*, близкая к ассоциированному с ГБИ на северо-западе РФ *B. ulmophilus* (переносчики *S. multistriatus*, *S. scolytus*). Нематоды размножены в культуре лабораторного гриба *Botrytis cinerea*. Микробиом короеда *S. jacobsoni* оказался сложным и многоуровневым. Выявлен патоген — *Ophiostoma novo-ulmi* subsp. *americana* и наибольшее относительное обилие (87%) дрожжей рода *Candida*, а также для гниющей древесины типичные грибы р. *Graphium*, *Sporendocladia*, *Clonostachys*. Дрожжи доминируют также в нематохорном комплексе *B. ussuriensis* в лабораторной культуре. Исследование аутохтонных симбиотических комплексов позволяет выявить фундаментальные механизмы формирования и функционирования многокомпонентных симбиотических систем, что критически важно для разработки прогностических моделей трансмиссивных заболеваний древесных растений.

*Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 25-24-00043.*

## **The Microbiome of *Scolytus jacobsoni* Symbionts (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): Results of Morphological and Molecular Genetic Analysis**

*Kerchev I.A.\*<sup>1,2</sup>, Kabilov M.R.<sup>3</sup>, Subbotin S.A.<sup>4</sup>, Ryss A.Y.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, Sankt-Peterburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, 3Siberian Branch of the RAS, Tomsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine, Siberian Branch of the RAS, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>4</sup>Plant Pest Diagnostic Center, California Department of Food and Agriculture, Sacramento, USA

\* e-mail: ivankerchev@gmail.com

## **Транскриптомный ответ личинок колорадского жука к грибным инфекциям *Metarhizium robertsii* и *Beauveria bassiana***

*Крюков В.Ю.\*<sup>1</sup>, Антонец М.Е.<sup>1</sup>, Ротская У.Н.<sup>1</sup>, Кабирова Э.<sup>2</sup>, Слепнева И.А.<sup>3</sup>, Ярославцева О.Н.<sup>1</sup>, Каманова Е.<sup>2</sup>, Носков Ю.А.<sup>1</sup>, Фишман В.<sup>2</sup>, Антонец Д.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Институт химической кинетики и горения им. Воеводского СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> Институт искусственного интеллекта МГУ им. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: krukoff@mail.ru

Колорадский жук является основным вредителем картофеля в Северном Полушарии. Энтомопатогенные грибы *Beauveria bassiana* и *Metarhizium robertsii* - естественные патогены жука, которые представляют значительный интерес для его биологического контроля. Однако иммунный ответ насекомого на грибные инфекции остается недостаточно изученным. В данном исследовании мы провели транскриптомный анализ тканей гемоцитов и жирового тела личинок жука, инфицированных *B. bassiana* и *M. robertsii*, на стадии инкапсуляции патогена. Также были проведены валидация экспрессии генов количественной ПЦР и дополнительные физиологические и биохимические тесты. В результате транскриптомного анализа выявлено более 3500 дифференциально экспрессированных генов. Показано, что в гемоцитах (по сравнению с жировым телом) наблюдаются наиболее широкие и патоген-специфичные изменения в экспрессии. Анализ Gene Ontology и изменений экспрессии генов, связанных с иммунитетом, показали более сильный противогрибной ответ на инфекцию *M. robertsii*, тогда как ответ на заражение *B. bassiana* был в большей степени связан с повышенной защитой от самоповреждения. Патоген-специфические различия в активации иммунной системы были связаны с экспрессией определенных генов С-лектинов, скавенджер рецепторов, сериновых протеаз, серпинов, некоторых компонентов пути Toll, antimикробных пептидов, хитиндеацетилаз, хитинсинтаз и одорант-связывающих протеинов. Мы полагаем, что наблюдаемые различия в иммунном ответе связаны с разными ферментативными аппаратами грибов, их вторичными метаболитами и пигментами. Гены с дифференциальной экспрессией, выявленные в данном исследовании, представляют собой перспективные мишени для дальнейших исследований функционирования иммуно-сигнальных путей жесткокрылых и разработки биопестицидов на основе РНК-интерференции и природных патогенов.

## **Transcriptomic response of Colorado potato beetle larvae to *Beauveria bassiana* and *Metarhizium robertsii* infections**

*Kryukov V.Y.\*<sup>1</sup>, Antonets M.E.<sup>1</sup>, Rotskaya U.N.<sup>1</sup>, Kabirova E.<sup>2</sup>, Slepneva I.A.<sup>3</sup>, Yaroslavtseva O.N.<sup>1</sup>, Kamanova E.<sup>2</sup>, Noskov Y.A.<sup>1</sup>, Fishman V.<sup>2</sup>, Antonets D.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of Cytology and Genetics SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>4</sup> MSU Institute for Artificial Intelligence, Moscow, Russia

\* e-mail: krukoff@mail.ru

## **Функциональная характеристика бактериальных симбионтов центрохелидных солнечников из морских биотопов**

*Пощина Д.В.\*<sup>1</sup>, Полузеров С.А.<sup>1,2</sup>, Балкин А.С.<sup>1,3</sup>, Катаев В.Я.<sup>1</sup>, Соzonов Г.А.<sup>1</sup>, Герасимова Е.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбург, Россия

\* e-mail: dvposhvina@mail.ru

Протисты играют важную роль в круговороте питательных веществ в различных экосистемах. Однако состав и функция микробиомов, ассоциированных с протистами, остаются малоизученными. Результаты проведенного исследования демонстрируют уникальные составы микробиомов, ассоциированных с центрохелидными солнечниками из морских экосистем и указывают на сложную систему взаимодействий с бактериальными симбионтами.

Для изучения микробиомов центрохелидных солнечников рода *Raphidocystis* выполнено высокопроизводительное метагеномное секвенирование единичных клеток. Полученные данные выявили существенные различия в составе микробиомов между отдельными солнечниками, что подчеркивает специфичность взаимодействий между данными протистами и бактериями. Из 27 бактериальных геномов, реконструированных из метагеномных данных (MAGs), более 15 были отнесены к филуму Pseudomonadota (*Gammaproteobacteria* и *Alphaproteobacteria*), остальные – к филумам Bacteroidota, *Campylobacterota*, *Actinomycetota*, *Bdellovibrionota* и *Planctomycesota*. MAGs были проанализированы на предмет метаболического потенциала и пластичности на основе присутствия и распределения генов, связанных с основными биогеохимическими циклами и метаболизмами, включая основной метаболизм, метаболизм углерода, метана, азота и серы. Исследование геномов на содержание генов антибиотикорезистентности показало, что наиболее распространёнными были гены устойчивости к фторхинолонам и гликопептидам. Анализ MAGs на наличие биосинтетических кластеров генов выявило широкий спектр и изменчивый характер распределения среди геномов, включая кластеры, связанные с антимикробным потенциалом (рибосомально-синтезируемые и посттрансляционно-модифицированные пептиды (RiPPs), в том числе рантипептид, бета-лактон, лассопептид); чувства кворума (Quorum Sensing, гомосеринлактон); биосинтезом сидерофоров и ответом на осмотический стресс (эктоин).

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 24-74-10031).*

## **Functions of Bacterial Symbionts in Marine Centrohelid Heliozoans**

*Poshvina D.V.\*<sup>1</sup>, Poluzerov S.A.<sup>1,2</sup>, Balkin A.S.<sup>1,3</sup>, Kataev V.Y.<sup>1</sup>, Sozonov G.A.<sup>1</sup>, Gerasimova E.A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

\* e-mail: dvposhvina@mail.ru

# **Сборка геномов внутриклеточных паразитических грибов на основе данных MDA**

*Rайко М.П.\*<sup>1</sup>, Насонова Е.С.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: mike.rayko@gmail.com

Внутриклеточные паразиты, такие как микроспоридии и розеллиды, обладают сильно редуцированными геномами, однако их сборка затруднена из-за ограниченного количества ДНК и загрязнения ДНК хозяина. Амплификация по методу MDA дает неравномерное покрытие, что требует специальных подходов к сборке и биннингу (Paez et al., 2004; Panelli et al., 2006; Spits et al., 2006). Существует большое количество различных инструментов для этих операций, включая универсальные пайплайны, например, Metaphor (Salazar et al., 2023), MetaWRAP (Uritskiy et al., 2018) и т.д. Однако они не всегда оптимально работают с эукариотическими бинами, и их вывод требует дальнейшего исследования и проверки экспертами.

В нашей работе мы предлагаем воспроизводимый пайплайн, оптимизированный для сборки MAGs паразитических грибов, их биннинга и контроля контаминации. Пайплайн начинается с предобработки сырых ридов, включая контроль качества и подрезание, затем следует сборка в single-cell режиме с помощью SPAdes. Собранные последовательности подвергаются биннингу с использованием MaxBin2, полнота бинов оценивается с помощью BUSCO с использованием базы данных fungi\_odb10 (758 генов). Последующий анализ включает множественное выравнивание последовательностей (MAFFT) и тримминг (trimAL). Филогеномный анализ проводится двумя способами: построение суперматрицы с последующей реконструкцией ML-дерева в IQ-tree, а также генерация отдельных деревьев для каждого из ортологов и последующая реконструкция консенсусного супердерева с помощью Astral.

Пайплайн реализован в Snakemake и требует только Python и Conda. Он оптимизирует параллельные процессы на основе ядер ЦП и потоков, упрощает применение инструментов с помощью единой команды запуска и позволяет возобновлять рабочий процесс после прерывания. Пайплайн был протестирован на данных секвенирования микроспоридий из открытых источников, результаты были сопоставимы с опубликованными.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-74-00071.*

## **Genome assembly of the intracellular parasitic fungi using MDA data**

*Raiko M.\*<sup>1</sup>, Nassonova E.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Cytology RAS, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: mike.rayko@gmail.com

# **Омиксные подходы в анализе систем трематоды – моллюски: взаимодействие микрофаллид группы «pygmaeus» с моллюсками рода *Littorina***

*Репкин Е.А.\*<sup>1,2</sup>, Данилов Л.Г.<sup>1</sup>, Полев Д.Е.<sup>3</sup>, Шаварда А.Л.<sup>2,4</sup>, Павлова П.А.<sup>1</sup>, Бабкина  
И.Ю.<sup>5</sup>, Кочергина Н.А.<sup>1,2</sup>, Шапако К.С.<sup>1</sup>, Ларионова А.А.<sup>1</sup>, Гранович А.И.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Биологический факультет СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Научный парк СПбГУ, РЦ РМиКТ, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский НИИ эпидемиологии и микробиологии им. Пастера, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Ботанический институт им. Комарова РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>5</sup> Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

Моллюски *Littorina* spp. широко распространены на побережьях морей Северной Европы. Благодаря высокой плотности популяций, простоте сбора в отлив и богатой паразитофауне (литторины служат хозяевами по меньшей мере для двух десятков видов трематод), они стали удобным объектом для паразитологических исследований. При этом омиксные подходы существенно облегчили анализ функциональных аспектов взаимодействий паразит-хозяин, поскольку позволяют провести одновременный широкий молекулярный скрининг хозяина и паразитирующего организма. Мы представляем результаты ряда экспериментов, выполненных нашей научной группой по анализу взаимодействий в системах паразит-хозяин с применением омиксных подходов. Совокупный анализ транскриптомов, протеомов и метаболомов моллюсков *Littorina saxatilis* и *L. obtusata*, здоровых или заражённых трематодами *Microphallus pygmaeus* и *M. piriformes*, продемонстрировал интенсификацию анаэробного и, наоборот, снижение интенсивности аэробного энергетического обмена, более активное расходование запасающих сахаров, увеличение выделения продуктов азотистого обмена, морфогенез и ремоделирование тканей и изменение функционирования иммунной системы (в частности, через снижение экспрессиивойной оксидазы и NO-синтазы) у заражённых моллюсков. Анализ метаболомов трематод *M. pygmaeus* продемонстрировал отличия между группами паразитов из разных видов литторин, что указывает на видоспецифичность паразито-хозяинных взаимодействий.

*Исследования поддержаны средствами грантов РНФ № 19-14-00321 и РФФИ № 19-04-00392 и выполнены с использованием оборудования РЦ РМиКТ и РЦ ОЭБ СПбГУ.*

## **Omics approaches in the analysis of trematode-mollusc host-parasite systems: interactions of microphallids of the "pygmaeus" group with molluscs of the *Littorina* genus**

*Repkin E.A.\*<sup>1,2</sup>, Danilov L.G.<sup>1</sup>, Polev D.E.<sup>3</sup>, Shavarda A.L.<sup>2,4</sup>, Pavlova P.A.<sup>1</sup>, Babkina I.Y.<sup>5</sup>,  
Kochergina N.A.<sup>1,2</sup>, Shapako K.S.<sup>1</sup>, Larionova A.A.<sup>1</sup>, Granovitch A.I.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Faculty of Biology, Saint Petersburg State University (SPbSU), Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Centre for Molecular and Cell Technologies of SPbSU, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> St. Petersburg Pasteur Institute, Department of Epidemiology, Saint Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Komarov Botanical Institute, Department of Analytical Phytochemistry, Saint Petersburg, Russia

<sup>5</sup> University of Tyumen, Tyumen, Russia

## **Бактериофаги как драйверы геномной пластичности и адаптации микросимбионтов бобовых культур**

*Румянцева М.Л.\*<sup>1</sup>, Владимирова М.Е.<sup>1</sup>*

ВНИИСХМ, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: mroumiantseva@arriam.ru

Фаги — не просто "убийцы-бактерий"; они играют ключевую роль в эволюции бактерий. Современные представления о бактериально-фаговых взаимодействиях получены преимущественно в результате изучения лизических фагов патогенных бактерий, тогда как все более очевидным становится недостаток данных об умеренных фагах и их роли в жизнедеятельности бактерий, например, хозяйствственно-ценных видов азотфиксирующих симбионтов бобовых растений. Системный анализ последовательностей фагового происхождения в геномах *Sinorhizobium meliloti*, микросимбионтах растений трибы Клеверные, показал, что практически каждый штамм содержал последовательности фагового происхождения (ПФП), доля которых составляла от 0.8 до 7.9% генома. Наиболее часто в геномах современных штаммов встречаются последовательности, родственные фагу phiLM21. Установлено, что сайт направленная интеграция ПФП по *att* сайтам происходит преимущественно в 3'-конец определенных тРНК, некоторые из которых являются «горячими сайтами интеграции». Установлено, что только каждая пятый ПФП, родственная phiLM21, является потенциальным интактным профагом, способным к переходу к лизическому циклу развития. Тогда как остальные ПФП предположительно претерпевают процесс «заякоривания» в геноме бактерии-хозяина. Показано, что профаги содержат мобильные генетические элементы и являются источниками новой генетической информации, которая имеет не только фаговое, но и бактериальное происхождение. Кроме того, ПФП содержат значительный объём генетической информации, функциональная значимость которого не известна («темная материя»). Таким образом, фаг-опосредованная геномная изменчивость потенциально является одним из ключевых механизмов адаптации клубеньковых бактерий к меняющимся условиям среды, а полученные данные открывают перспективы направленной модификации свойств хозяйствственно-ценных видов микроорганизмов.

*Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках соглашения № 075-15-2025-472 от «29» мая 2025 г.*

## **Bacteriophages as Drivers of Genomic Plasticity and Adaptation in Legume Microsymbionts**

*Roumiantseva M.L.\*<sup>1</sup>, Vladimirova M.E.<sup>1</sup>*

ARRIAM, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: mroumiantseva@arriam.ru

**Делеционный и структурно-функциональный полиморфизм  
некодирующих участков митохондриального генома птичьих шистосом  
рода *Trichobilharzia* (Trematoda: Schistosomatidae)**

*Семенова С.К.\*, Хрисанфова Г.Г.*

Институт биологии гена РАН, Москва, Россия  
\* e-mail: seraphimas@mail.ru

Настоящее исследование посвящено изучению структурных особенностей и популяционной изменчивости трех наиболее протяженных некодирующих участков mtДНК (SNR, LNR1, LNR2) у висцерального вида птичьей шистосомы *T. szidati* среди 57 церкариальных изолятов, паразитирующих на моллюсках *Lymnea stagnalis* и *L. palustris* из водоемов Евразии (Россия, Беларусь). Для сравнения использовали известные mtДНК близкородственного назального вида *T. regenti*.

Ранее нами впервые у trematod детектированы носители больших делеций (59 п.н. и 78 п.н.) в последовательностях LNR1 mtДНК *T. szidati* из водоемов Беларуси (*Acta Parasitologica*, 2021, 66:1193). В настоящем исследовании на более обширном ареале показано, что доля таких укороченных гаплотипов составляет в среднем 14/57=24%. Подтверждено отсутствие географической, сезонной и гостальной специфичности в распределении делетированных гаплотипов. Как и у всех trematod, характерной особенностью изученных участков mt ДНК *T. szidati* является преобладание АТ-оснований, при этом тест на нейтральность указывает на действие слабого очищающего отбора. В составе LNR1 обнаружены сигналы регуляции транскрипции/репликации: АТ-тракты, ТАТА-, ТАС-и G<sub>n</sub>-содержащие мотивы, в также 4-6 инвертированных повторов, предполагающих образование вторичных спиральных структур. Кроме того, показано наличие на фланках двух прямых повторов длиной 28 п.н., а в делетируемой зоне обнаружено множества рассеянных ди-, три-и тетрануклеотидных прямых и инвертированных звеньев.

Обсуждаются возможные причины нестабильности некодирующих mtДНК и перспективы ее использования для изучения дивергенции птичьих шистосом.

**Deletional and structural-functional polymorphism of non-coding regions of the mitochondrial genome of avian schistosomes of the genus *Trichobilharzia* (Trematoda: Schistosomatidae)**

*Semyanova S.K.\*, Chrisanfova G.G.*

Institute of Gene Biology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
\* e-mail: seraphimas@mail.ru

## **Функциональная аннотация транскриптома *Dibothriocephalus dendriticus***

*Содномов Т.Ч.\*<sup>1</sup>, Кутырев И.А.<sup>2,3</sup>, Мазур О.Е.<sup>2</sup>, Дугаров Ж.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ, Россия

<sup>2</sup> Институт общей и экспериментальной биологии Сибирского отделения РАН, Улан-Удэ, Россия

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: sodnomov.tamir@bk.ru

Нами была произведена *de novo* сборка транскриптома лентеца чаечного *D. dendriticus* на личиночной стадии развития. Оценка качества прочтений, полученных при секвенировании мРНК *Dibothriocephalus dendriticus*, проводилась с помощью программы FastQC. Фильтрация некачественных ридов проводилась с помощью программы Trimmomatic. Была получена оценка качества секвенирования первого лентеца в прямом направлении (форвард, R1). То же самое получено для обратного направления (реверс, R2). Всего три образца, итого 6 файлов для лентеца (все обозначения «L»). И столько же - для лигулы (все обозначения «р»). Всего 12 файлов. Сборка *de novo* транскриптома проводилась программой Trinity. Общее количество транскриптов и т.д., общее количество генов Trinity: 58776, общее количество транскриптов: 98005, процент GC: 47.19, статистика основана на ВСЕХ контигах транскриптов: медианная длина контига: 502, средний контиг: 900.57, всего собрано баз: 88259995. Статистика основанная только на самой длинной изоформе на «Gene»: медианная длина контига: 379, средний контиг: 703.49, всего собрано баз: 41348044. Оценка качества сборки проводилась при помощи программы BUSCO. После сборки была проведена оценка качества сборки транскриптома. Показатель полностью собранных консервативных ортологов оказался достаточно большим (92.5%) Количество фрагментированных и несобранных ортологов невелико (2.7% и 4.7%, соответственно). Это говорит о хорошем качестве сборки: большинство продуцируемых в организме транскриптов было собрано.

## **Functional annotation of the transcriptome *Dibothriocephalus dendriticus***

*Sodnomov T.C.\*<sup>1</sup>, Kutyrev I.A.<sup>2,3</sup>, Mazur O.E.<sup>2</sup>, Dugarov Z.N.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> East Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russia

<sup>2</sup> Institute of General and Experimental Biology of the Siberian Branch of the RAS, Ulan-Ude, Russia

<sup>3</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: sodnomov.tamir@bk.ru

## **Экспрессия некодирующих РНК и мобильных элементов у трематод на разных стадиях жизненного цикла**

*Соловьева А.И.\*<sup>1,2</sup>, Габдрахманова М.С.<sup>1</sup>, Смольянинова А.Р.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт циологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: orcinuca@gmail.com

Некодирующая часть генома играет ключевую роль в регуляции экспрессии генов и адаптационных процессах. Длинные некодирующие РНК (lncRNA) и мобильные элементы (TE) служат факторами, участвующими в перестройке геномной архитектуры и разнообразных клеточных процессах. Для трематод, с их сложными жизненными циклами с чередованием хозяев и сред обитания, роль некодирующих компонентов генома в обеспечении переходов между стадиями остается изученной слабо. Нашей целью стало исследование экспрессии TE и lncRNA у трематод и их возможной связи с регуляцией переходов в жизненном цикле.

Мы выбрали 4 вида трематод для изучения повторов в геномах и транскриптомах: *Fasciola hepatica*, *F. gigantica*, *Schistosoma mansoni* и *Himasthla elongata*. Кластерный анализ повторов в геномах показал, что отдельные TE семейств Penelope, Gypsy, RTE-BovB и неклассифицированные элементы(Unknown) являются общими для 4 видов, и вероятно, предковыми группами TE для трематод. Сопоставление нуклеотидных последовательностей TE и lncRNA выявило, что большая часть описанных lncRNA гомологична TE: 59% у *F.gigantica*, 69% у *F.hepatica*, 78% *S.mansoni*, 49% у *H.elongata*, что свидетельствует в пользу происхождения lncRNA из мобильных элементов. Выявлена стадий-специфичная экспрессия TE и lncRNA и их включение в стадий-специфичные наборы (ко-экспрессионные модули, КЭМ) вместе с белок-кодирующими транскриптами. Консервативные стадий-специфичные некодирующие элементы определяли путем сравнения TE и lncRNA из КЭМ между видами трематод с помощью BLAST. Для мирадиев и церкарий выявлены только консервативные lncRNA, для яиц, метацеркарий и редий — lncRNA, ретроэлементы (Gypsy, CR1, Penelope) и элементы Unknown. Включение повторов и lncRNA в ко-экспрессионные модули вместе с белок-кодирующими транскриптами на разных стадиях может косвенно свидетельствовать о том, что они вовлечены в тонкие механизмы перехода между стадиями.

*Работа поддержана грантом РНФ № 23-74-01060.*

## **Expression of non-coding RNAs and mobile elements in trematodes at different stages of their life cycle**

*Solovyeva A.I.\*<sup>1,2</sup>, Gabdrakhmanova M.S.<sup>1</sup>, Smolyaninova A.R.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of cytology RAS, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Zoological institute RAS, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: orcinuca@gmail.com

## **Методика экстракции ДНК из почвы для идентификации многоклеточных почвенных организмов**

*Сотников И.В.\*, Мартыненко Н.А., Гусев Е.С.*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, Москва, Россия

Почвенные экосистемы представляют собой один из наиболее богатых и таксономически разнообразных резервуаров жизни на Земле, где организмы от микроскопических (бактерии, археи, грибы) до макроскопических форм (нематоды, клещи, насекомые) формируют сложные сети трофических и симбиотических взаимодействий. Метабаркодинг средовой ДНК (eDNA) является перспективным подходом для изучения этих взаимодействий, однако он имеет серьезное ограничение: коммерческие наборы для выделения ДНК рассчитаны на малые навески почвы (0,25–0,5 г), поскольку такого объема недостаточно для выявления крупных и редких организмов.

Для решения этой проблемы мы разработали новый протокол предобработки, позволяющий выделять тотальную ДНК из больших навесок почвы (10–15 г). Метод включает обработку образца лизирующим фосфатным буфером с последующей фильтрацией супернатанта через нитрат-целлюлозные фильтры, которые затем используются для выделения ДНК стандартными коммерческими наборами. Эффективность метода была протестирована на почвенных образцах из ельника Биологической станции «Малинки» (Москва) и сравнена с двумя коммерческими наборами (для 0,5 г и 10 г почвы). Результаты были верифицированы классическими морфологическими методами.

Разработанный протокол позволил выявить в 2 и 3 раза большее разнообразие родов животных по сравнению с коммерческими наборами для 0,5 г и 10 г почвы соответственно. Верификация показала, что метабаркодинг эффективнее выявляет разнообразие насекомых, в то время как морфологический анализ более эффективен для клещей (*Sarcoptiformes* и *Mesostigmata*). Таким образом, наш метод преодолевает ключевое ограничение коммерческих наборов и обеспечивает более презентативную оценку разнообразия почвенных беспозвоночных, что открывает новые возможности для изучения комплексных взаимодействий в почвенных сообществах и разработки научно обоснованных мер управления экосистемами.

*Исследование выполнено при поддержке гранта Министерства науки и образования № 085-15-2024-49.*

## **A method for extracting DNA from soil for the identification of multicellular soil organisms**

*Sotnikov I.V.\*, Martynenko N.A., Gusev E.S.*

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

## **Медок и холодок: бактерии, ассоциированные со ставромедузами *Haliclystus auricula* в Баренцевом море**

*Xабибулина В.Р.\*<sup>1,2</sup>, Согомонян К.С.<sup>3</sup>, Домрачева М.М.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Novabiom, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: khabvaleriya@yandex.ru

Представители типа Cnidaria - это перспективные объекты для изучения холобионтных систем. Симбиотические бактерии оказывают существенное влияние на жизнедеятельность различных книдарий, поэтому исследование механизмов, лежащих в основе их взаимодействий, важно для фундаментального понимания функционирования этих холобионтов, и в то же время имеет прикладное значение, в частности для поиска потенциальных источников биологически-активных веществ. Разнообразие симбиотических бактерий книдарий полярных морей остается практически неизвестным. В рамках нашего исследования мы впервые получили данные о качественном составе бактериального микробиома сидячей медузы *Haliclystus auricula*. *H. auricula* – это вид ставромедуз, широко распространенный в литоральной зоне бореальных морей. Мы проанализировали микробиом взрослых медуз *H. auricula* из Баренцева моря с помощью метабаркодинга и обнаружили 157 родов бактерий, 45 из которых уникальны для *H. auricula*. При этом относительная доля представленности этих родов меньше 1%. Маловероятно, что эти бактерии образуют стабильные симбиотические отношения с медузой. В то же время доминатные рода *Colwellia* и *Marinomonas*, чья относительная представленаность выше 1% значительно реже встречаются в микробиомах других книдарий. Бактерии, связанные с *H. auricula*, вероятно, используют медузу в качестве субстрата и/или источника пищи, потребляя, в частности, полисахариды, содержащиеся в её слизи. Наличие нескольких родов бактерий (*Pseudoalteromonas*, *Marinomonas*, *Photobacterium* и *Polaribacter*), способных производить antimикробные соединения и разлагать полисахариды водорослей, может указывать на их потенциальную роль в регулировании взаимодействий микробиома у отдельного организма или популяции в целом.

## **Honey and chill: Bacteria Associated with Stauromedusae *Haliclystus auricula* in the Barents Sea**

*Khabibulina V.\*<sup>1,2</sup>, Sogomonyan K.<sup>3</sup>, Domracheva M.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> SPbU, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Zoological institute RAS RAS, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Novabiom, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: khabvaleriya@yandex.ru

# **Идентификация белков в зоне контакта паразита и хозяина: протеомный анализ сывороток с поверхности паразита *Ligula intestinalis* L. и полости тела леща *Aramis brama* L.**

*Цекова А.А.\*<sup>1</sup>, Суховская И.В.<sup>1</sup>, Канцерова Н.П.<sup>1</sup>, Лысенко Л.А.<sup>1</sup>,  
Лебедева Д.И.<sup>1</sup>, Дроздова П.Б.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт биологии Иркутского государственного университета, Иркутск,  
Россия

\* e-mail: kochnevaalbina@gmail.com

Одной из фундаментальных проблем паразитологии является выявление молекулярных механизмов взаимодействия паразита и хозяина. Эти процессы регулируются различными молекулами, включая экскреторно-секреторные белки паразита и хозяина. *Ligula intestinalis* и карповые рыбы — распространённая модель для исследования паразито-хозяйственных отношений. Плероцеркоиды лигулы вызывают физиологические и поведенческие нарушения у хозяина, что может приводить к эпизоотиям — массовой гибели рыб. Однако молекулярные основы этих взаимодействий остаются слабо изученными.

В данном исследовании проведен протеомный анализ сывороток с поверхности плероцеркоидов *L. intestinalis* и полости тела заражённых и незаражённых лещей *Aramis brama* L. В сыворотках с поверхности тела паразитов идентифицировано 3403 аминокислотные последовательности (1323 принадлежали белкам рыбы, а 2080 — белкам цестод). Согласно функциональной аннотации, среди белков рыбы-хозяина преобладали белки, участвующие в трансляции, протеолизе, липидном обмене, транспорте веществ и иммунных реакциях. Среди белков паразита доминировали белки, вовлеченные в трансляцию, метаболизм белков и углеводов, а также везикулярный транспорт.

Анализ сывороток с полости тела заражённых и незаражённых лещей выявил 4555 аминокислотных последовательностей, включающих белки паразита и хозяина. Сравнение полученных протеомных профилей показало количественные различия по 94 белкам. У заражённых рыб обнаружено повышение содержания пептидазы семейства S10, галектина, компонентов комплемента, иммуноглобулинов и т.д. У незараженных лещей отмечено повышенное содержание аннексинов, фетуина, нелизосомальной глюкозилцерамидазы и т.д.

Таким образом, в зоне контакта *L. intestinalis* и леща обнаружены белки, вероятно, участвующие в формировании паразито-хозяйственных отношений и отражающие адаптационные механизмы к паразитизму.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РНФ № 24-74-00160  
с использованием оборудования ЦКП КарНЦ РАН.*

## **Identification of proteins at the host-parasite interface: proteomic analysis of washes from the surface of the parasite *Ligula intestinalis* L. and from the body cavity of the bream *Aramis brama* L.**

*Tsekova A.A.\*<sup>1</sup>, Sukhovskaya I.V.<sup>1</sup>, Kantserova N.P.<sup>1</sup>, Lysenko L.A.<sup>1</sup>,  
Lebedeva D.I.<sup>1</sup>, Drozdova P.B.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Biology of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of Biology at Irkutsk State University, Irkutsk, Russia

\* e-mail: kochnevaalbina@gmail.com

## **Грибы лишайниковых симбиозов: antimикробные свойства, межвидовое и внутривидовое взаимодействие**

*Щербатов Р.Е.<sup>1,3</sup>, Акопджанян А.В.<sup>1,2</sup>, Панкратов Т.А.\*<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», Москва, Россия

<sup>3</sup> Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии имени К.И. Скрябина, Москва, Россия

\* e-mail: tpankratov@gmail.com

Лишайниковые симбиозы – это открытые системы, справляющиеся с давлением окружающей среды и существующие в экстремальных условиях. Они не содержат покровов, отделяющих их от внешней среды, и адаптируются к стрессам благодаря внутренним резервам. В лишайниковые симбиозы интегрируются различные виды бактерий, грибов, простейших. Они существуют в рамках одного таллома, и как регулируется их численность и активность пока неизвестно. Целью нашего исследования было изучение antimикробной активности и характера взаимовлияния на рост грибов, выделенных из лишайников *Ctr. islandica*, *N. nivalis*, *Cl. stellaris*, *Cl. arbuscula*, *St. vesuvianum* и *St. paschale*.

Антимикробную активность исследовали методом агаровых блоков путем наложения на газон с бактериальной или дрожжевой тест-культурой. Взаимовлияние на рост изучали путем наблюдения за ростом колоний, учитывая эффекты избегания и ингибирования.

Из 54 штаммов грибов 14 были активны в отношении бактерий, из них только два проявляли слабую фунгицидную активность (*Melanotoma pulvis-pyrius* из *C. islandica* и *Tolypocladium inflatum* из *S. vesuvianum*). Антагонистами грамположительных бактерий были 7 культур (*Beauveria caledonica*, *Ascochyta phacae*, *Oidiodendron* sp., *Cladophialophora* sp., *Rhizocarpales* fam. nov., *Trichomeriaceae* gen. nov., *M. pulvis-pyrius*). Рост грамотрицательных подавляли *Beauveria caledonica*, *Oidiodendron* sp., *Trichomeriaceae* gen. nov. Возможно, эти виды способны контролировать численность нежелательных бактерий в талломах лишайников. Внутривидовые и межвидовые взаимодействия между парными грибами оказались главным образом нейтральными, за исключением нескольких случаев заметного ингибирования, например между *Phoma herbarum* и *Tolypocladium inflatum*).

Полученные данные могут пролить свет на особенности адаптации компонентов микробиомов внутри лишайникового симбиоза.

*Работа поддержана грантом РНФ № 25-24-00195 "Грибы в кустистых и листоватых лишайниках России: таксономическое разнообразие и биоцидная активность".*

## **Fungi of lichen symbioses: antimicrobial properties and interspecific and intraspecific interactions**

*Shcherbatov R.<sup>1,3</sup>, Hakobjanyan A.<sup>1,2</sup>, Pankratov T.\*<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> S.N. Winogradsky Institute of Microbiology FRC «Fundamentals of Biotechnology» RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - K.I. Scriabin MBA, Moscow, Russia

\* e-mail: tpankratov@gmail.com

# **Омиксные технологии в исследовании биоразнообразия грибов арbusкулярной микоризы и механизмов их симбиотической эффективности**

*Юрков А.П.\*, Крюков А.А., Кудряшова Т.Р., Беляева А.И.*

ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: ap.yurkov@arriam.ru

Актуальным направлением исследований является разработка биопрепаратов для усиления роста растений на основе грибов арbusкулярной микоризы (AM). Задачами исследования были: 1) оценка влияния эффективного штамма RCAM00320 *Rhizophagus irregularis* на сообщество грибов AM в модельной системе при инокуляции растений отзывчивой на микоризацию линии M1S-1 *Medicago lupulina* в нестерильных условиях; 2) оценка влияния микоризации в модельной системе «*M. lupulina* + *R. irregularis*» на транскриптом и метаболом растения-хозяина на стерильном субстрате в условиях внесения фосфорного удобрения и без внесения.

С использованием Illumina MiSeq проведено секвенирование грибной ДНК, выделенной из ризосфера корней *M. lupulina*. Субстратом послужила нестерильная почва, отобранная в “горячей точке” биоразнообразия грибов AM на пастбище в долине р. Теберда ( $43^{\circ}25'12''$  N  $41^{\circ}43'45''$  E). Получено 3,3 млн. прочтений, после фильтрации оставлено 2,7 млн. прочтений по регионам ITS1 и ITS2. Проведен анализ числа операционных таксономических единиц (OTE) грибов класса Glomeromycetes. Среднее число OTE на пробу по региону ITS1 составило 76 OTE, по ITS2 – 83 OTE. Биоразнообразие AM-грибов существенно снижалось к начальной фазе развития растения-хозяина, но затем быстро восстанавливалось уже к фазе стеблевания. Инокуляция грибом *R. irregularis* не приводила к подавлению естественной микробиоты (класса Glomeromycetes), а, наоборот, способствовала быстрому “восстановлению” разнообразия таких родов, как: *Archaeospora*, *Dominikia*, *Glomus*, *Paraglomus*, *Rhizophagus*.

Для оценки влияния микоризации на метаболитные и транскриптомные профили растений применили метод ГХ-МС (Agilent 6850) и метод массового анализа концов кДНК (MACE на платформе Illumina HiseqXTen), соответственно. В результате исследований определены маркеры развития эффективного AM-симбиоза – гены и метаболиты, включая позитивные и негативные регуляторы.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-16-00064-П.*

## ***Omics technologies in the study of the biodiversity of arbuscular mycorrhiza fungi and the mechanisms of their symbiotic efficiency***

*Yurkov A.P.\*, Kryukov A.A., Kudriashova T.R., Belyaeva A.I.*  
All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia  
\* e-mail: ap.yurkov@arriam.ru

# **Сборка и аннотация генома корнеголового ракообразного *Polyascus polygeneus***

**Яньшина Т.М.\*<sup>1</sup>, Лянгузова А.Д.<sup>2,3</sup>, Миролюбов А.А.<sup>3</sup>, Гельфанд М.С.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Сколковский институт науки и технологий, Центр молекулярной и клеточной биологии, Москва, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: t.ianshina99@gmail.com

Корнеголовые (*Rhizocephala*) - одна из наиболее специализированных групп паразитических ракообразных. Хозяевами для них выступают другие ракообразные. Корнеголовые претерпели крайнюю степень морфологической модификации: тело взрослой самки представлено столонами внутри хозяина (интерна) и репродуктивным мешковидным образованием снаружи (экстерна). При этом, эти паразиты приобрели способность к контролю над организмом хозяина, значительно изменения его метаболизм и поведение.

Развитие “омиксных” технологий открывает новые возможности для изучения *Rhizocephala*, и основой для таких исследований является наличие геномной сборки высокого качества. На сегодняшний день опубликован геном только одного, наиболее изученного, представителя корнеголовых - *Sacculina carciini* (сем. *Sacculinidae*). Целью данной работы явилась сборка и аннотация генома *Polyascus polygeneus* (сем. *Polyascidae*).

Образцы *P. polygeneus* были собраны на станции "Восток" ННЦМБ ДВО РАН, Японское море, и заморожены в жидким азоте на -180 °C. Из экстерна была выделена ДНК, которая далее была просеквенирована на платформе PacBio Revio. Полученные PacBio HiFi длинные прочтения были очищены от контаминации с помощью Kraken2. Первичная сборка производилась сборщиком Hifiasm, сборку оценивали с помощью программ Quast, BUSCO, Merqury и Bandage. Для получения гаплоидной сборки применяли пайплайн kmerdedup и программу purge\_dups. Аннотацию повторов проводили программами RepeatModeler и RepeatMasker. Генная аннотация осуществлялась с помощью BRAKER3.

Размер генома составил 434 Mbp. Показатели по BUSCO составили 89% полных генов для Arthropoda. Показатель N50 для скаффолдов составил 209 kbp. Выравнивание транскриптомных прочтений *P. polygeneus* из открытой базы SRA дало 98%.

Таким образом, в данной работе получен первый геном для семейства Polyascidae, что дает возможность проследить эволюционные тенденции между семействами Rhizocephala, а также станет основой для последующих “омиксных” исследований.

## **Genome Assembly and Annotation of the Rhizocephalan Barnacle *Polyascus polygeneus***

**Ianshina T.M.\*<sup>1</sup>, Lianguzova A.D.<sup>2,3</sup>, Miroliubov A.A.<sup>3</sup>, Gelfand M.S.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Skoltech, Center for Molecular and Cellular Biology, Moscow, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State University, Department of Invertebrate Zoology, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, Laboratory for the Study of Parasitic Worms and Protists, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: t.ianshina99@gmail.com

# **ПАРАЗИТЫ РЫБ**

## **Паразитарная система “copepoda *Sphyriion lumi* – окунь-клювач”**

*Bakay Ю.И.*

Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО»), Мурманск, Россия  
e-mail: bakay@pinro.vniro.ru

Мезопелагическая копепода *Sphyriion lumi* специфична окуню-клювачу *Sebastes mentella*, встречаясь у 1–25% половозрелых особей этого облигатного хозяина – придонно-пелагического поздно созревающего, филогенетически молодого вида, обитающего на глубине 100–1100 м. В 1981–2025 гг. выполнен учет живых *S. lumi* и остатков ее инвазии у 150 тыс. экз. окуня. Такой подход важен для достоверной оценки особенностей заражения, т.к. паразиты обрываются в траловых уловах, а остатки их цефалотораксов сохраняются в рыбе до конца ее жизни. Цель – познание географической, биотопической и межгодовой специфики системы “*S. lumi* – окунь-клювач” как индикатора популяционной биологии хозяина.

Установлено, что размножение *S. lumi* и поселение на окуне проходит впервые после его возвратной миграции в районы воспроизведения потомства (пелагиаль морей Ирмингера и Норвежского – очаги инвазии) из выростных шельфовых участков Гренландии и Баренцева моря. Выявлена географическая специфика паразитарной системы. Так, только в пелагиали моря Ирмингера *S. lumi* и следы инвазии встречены во все годы и на всех глубинах значимо чаще у самок (в 1,3–1,5 раза по экстенсивности и 1,7–2 раза по обилию), чем у самцов окуня. Эта стабильная во времени и пространстве (>400 тыс. кв. миль) специфика инвазии обоснована автором в качестве фена, маркерующего генотип пелагической группировки североатлантической популяции клювача, доказывая ее географическое и батиметрическое единство и обособленность от его придонной группировки на склонах Гренландии и Исландии.

Появление отсутствовавшей до 2008 г. схожей половой дифференциации инвазии *S. lumi* клювача на севере Норвежского моря, указывает на возникновение в начале 2000-х гг. миграции сюда части особей окуня моря Ирмингера с образованием смешанных скоплений рыб двух популяций, предполагая наличие “донорства” североатлантической популяции клювача в отношении его норвежско-баренцевоморской популяции, ставшего ранее вероятным источником происхождения второй из них.

## **Parasitic system “copepode *Sphyriion lumi* – beaked redfish”**

*Bakay Y.I.*

Polar Branch of the “VNIRO”, Murmansk, Russia  
e-mail: bakay@pinro.vniro.ru

## **Гельминтофауна производителей и молоди нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum, 1792) из реки Озерная юга Камчатского края в летний период**

*Бирюков И.Ю.\*<sup>1</sup>, Афанасьев К.А.<sup>1</sup>, Вайнутис К.С.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет, Владивосток, Россия

<sup>2</sup> Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН, Владивосток, Россия

\* e-mail: ivanbirgukov@gmail.com

Паразитологический материал был собран с 20 июня по 14 июля 2025 на биологической базе «Озерная» КамчатНИРО. На наличие паразитарной инвазии просматривалась молодь (150 особей) и производители на стадии смолта (50 особей). Полное паразитологическое вскрытие рыб проводили в лаборатории на территории биологической базы «Озерная». Собранных паразитов фиксировали в 70% спирте. Проведён расчёт стандартных паразитологических индексов: экстенсивность инвазии (ЭИ), средняя интенсивность инвазии (ИИ), индекс обилия (ИО). Гельминтофауна обследованных рыб представлена тремя типами червей; цестодами, нематодами и скребнями. Цестоды были представлены семействами Diphyllobothriidae, Triaenophoridae, Phyllobothriidae, Tentaculariidae и представлена двумя видами; у молоди – 690 плероцеркоидов цестод *Diphyllobothrium* sp. (ЭИ 82,7%; ИИ 5,6; ИО 4,6) и 37 особей *Eubothrium salvelini* (ЭИ 10,7%; ИИ 2,3; ИО 0,2); и двумя видами у взрослой нерки; *Pelichnibothrium* sp. – 584 особей (ЭИ 90%; ИИ 13,0; ИО 0,09) и одной личинкой рода *Nybelinia*. Нематоды были представлены тремя семействами; Philonematidae, Cucullanidae, Raphidascarididae С тремя родами; *Philonema oncorhynchi*, (ЭИ 90%; ИИ 7,2; ИО 0,2) 324 особи, *Cucullanus truttae* (ЭИ 38%; ИИ 6,8; ИО 0,4) 130 особей, 34 особями вида *Hysterothylacium* sp. (ЭИ 14%; ИИ 4,9; ИО 1,5). Скребни представлены одним видом *Echinorhynchus salmonis* и семейством Echinorhynchidae в количестве 2 особей (ЭИ 4%; ИИ 1,0; ИО 25).

## **Helminth fauna of spawners and juveniles of sockeye salmon *Oncorhynchus nerka* (Walbaum, 1792) from the Ozernaya River (southern part of Kamchatka Krai) during the summer period**

*Biryukov I.Y.\*<sup>1</sup>Afanasyev K.A.<sup>1</sup>, Vainutis K.S.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Far Eastern State Technical Fisheries University (FESTFU), Vladivostok, Russia

<sup>2</sup> A.V. Zhirmunsky National Scientific Center of Marine Biology, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (NSCMB FEB RAS)

\* e-mail: ivanbirgukov@gmail.com

## Разнообразие цестод рода *Proteocephalus*, паразитов лососевых рыб, в пресноводных экосистемах России

Власенко П.Г.\*<sup>1,2</sup>, Колмогорова Т.В.<sup>1</sup>, Маркевич Г.Н.<sup>2</sup>, Гусенков А.Н.<sup>1</sup>, Захаров Е.С.<sup>4</sup>, Суханова Л.В.<sup>3</sup>, Кашинская Е.Н.<sup>1,2</sup>, Соловьев М.М.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Лимнологический институт СО РАН, Иркутск, Россия

<sup>4</sup> Институт естественных наук Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова, Якутск, Россия

\* e-mail: vlasenkopg@gmail.com

Цестоды рода *Proteocephalus* – широко распространённые паразиты пресноводных рыб. Недавние таксономические перестройки внутри этого рода привели к неопределённости в отношении его видового разнообразия. В соответствии с современной таксономией у лососевых рыб России зарегистрированы *P. thymalli* и *P. longicollis*. Цель данного исследования: уточнение видового разнообразия цестод *Proteocephalus* spp. лососёвых рыб в водоёмах России путем анализа последовательностей генов *cox1* и 28S рРНК.

Исследованы цестоды от шести видов рыб (*Coregonus lavaretus*, *C. peled*, *C. migratorius*, *C. tuktsun*, *Salvelinus malma* и *Thymallus baicalensis*) из одиннадцати водоемов, расположенных от Кольского полуострова до Камчатки. Получены последовательности фрагментов ядерного 28S рРНК (1434 п.н.) и митохондриального *cox1* (1548 п.н.) генов. Филогенетический анализ выполнен методами максимального правдоподобия (ML) и байесовского анализа (BI) в программах IQ-TREE 2 и MrBayes v.3.2.1.

В результате филогенетического анализа последовательности образовали семь клад видового уровня с высокой поддержкой. Последовательности от *Coregonus* spp. из водоемов Забайкалья, Кольского полуострова и широкой географической области от Алтая до Северной Якутии сгруппировались в три отдельные клады. Клада, включающая цестод из оз. Верхнее Ондомозеро (Кольский полуостров), идентифицирована как *P. fallax*. Остальные две клады не показали совпадений с референсными последовательностями от *Proteocephalus* spp. Последовательности цестод от *T. baicalensis* сгруппировались в отдельную кладу, идентифициированную как *P. thymalli*. Цестоды от *C. migratorius* из оз. Байкал образовали отдельную монофилетическую кладу видового уровня. Цестоды от *S. malma* из озер Кроноцкое (Камчатка) и Гытгыл (Чукотка) образовали две несестринские клады.

Наши результаты показывают, что у лососевых рыб России паразитирует минимум семь видов *Proteocephalus* spp.

Работа поддержанна грантом Российского научного фонда № 23-74-10101.

## Diversity of *Proteocephalus* (Cestoda) species parasitizing salmonids across Russian freshwater ecosystems

Vlasenko P.G.\*<sup>1,2</sup>, Kolmogorova T.V.<sup>1</sup>, Markevich G.N.<sup>2</sup>, Guseinov A.N.<sup>1</sup>, Zakharov E.S.<sup>4</sup>, Sukhanova L.V.<sup>3</sup>, Kashinskaya E.N.<sup>1,2</sup>, Solovyev M.M.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia, Moskow, Russia

<sup>3</sup> Limnological Institute SB RAS, Irkutsk, Russia

<sup>4</sup> Institute of Natural Sciences of the North-Eastern Federal University named after. M.K. Ammosova, Yakutsk, Russia

\* e-mail: vlasenkopg@gmail.com

## **Трехлетний паразитологический мониторинг стерляди (*Acipenser ruthenus*) бассейна Енисея**

*Voropaeva E.L.*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия  
e-mail: kts2@yandex.ru

За три года (2022–2025 гг.) обследовано 55 экз. (41 самка и 14 самцов) стерляди *Acipenser ruthenus* Енисея (Туруханский район Красноярского края, район деревни Мирное), возрастом 3+–17+. Всего обнаружено 13 видов паразитов: *Cryptobia acipenseris*, *Haemogregarina acipenseris*, *Sphaerospora* sp., *Diclybothrium armatum*, *Amphilina foliacea*, *Cyathocephalus truncatus*, *Capillospirura ovotrichura*, *Salmonema ephemeridarum*, *Cystoopsis acipenseris*, *Echinorhynchus cinctulus*, *Acrolichanrus auriculatus*, *Hemiclepsis marginata* и глохиидии. Из них 7 видов специфичны для осетровых: *Cr. acipenseris*, *H. acipenseris*, *D. armatum*, *A. foliacea*, *Cys. acipenseris*, *C. ovotrichura*, *A. auriculatum*. Наибольшая встречаемость характерна для 5 видов, составляющих ядро паразитофауны енисейской стерляди: *Cr. acipenseris* (100%), *A. foliacea* (92–100%), *C. ovotrichura* (72–80%) и *A. auriculatum* (52–63%). Специфика паразитофауны стерляди Енисея, в сравнении с таковой Обь-Иртышского бассейна, состоит в присутствии *D. armatum*, *A. foliacea*, *C. truncatus*, *S. ephemeridarum*, *Cys. acipenseris* и существенно большей встречаемости *Cr. acipenseris* (100% vs 4,5%) (Liberman, Voropaeva, 2018). Ранее от стерляди Дуная была описана *Sphaerospora columani* Baska, 1990. Этот же вид миксоспоридий был обнаружен нами у стерляди Оби. *Sphaerospora* sp. из стерляди р. Енисей имеет типичную для этого рода миксоспоридий форму спор. Однако, эти споры содержат четыре полярные капсулы. Споры *Sphaerospora* sp. имеют меньшие размеры в сравнении с *S. columani*. Возможно, нами обнаружены атипичные споры нового вида *Sphaerospora*.

## **Three-year parasitological monitoring of sterlet (*Asirepseg ruthenus*) in the Yenisei basin**

*Voropaeva E.L.*

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

# **Паразиты морских и проходных рыб Дальнего Востока России**

*Гордеев И.И.\*<sup>1,2</sup>, Соколов С.Г.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> ФГБНУ "ВНИРО", Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: gordeev\_ilya@bk.ru

В результате океанических съемок в северо-западной части Тихого океана на предмет зараженности экто- и эндопаразитами было исследовано 1657 особей 31 вида костистых рыб и 3 особи двух видов акул. У рыб эпипелагиали отмечены высокие экстенсивность и интенсивность инвазии и относительно низкое видовое разнообразие паразитов. Всего обнаружено 50 видов экто- и эндопаразитов, среди которых доминирующую группу составляли известные генералисты: анизакидные и рафидаскариидные личинки, плероцеркоиды *Nybelinia surmenicola* и *Pelichnibothrium speciosums. l.*, и скребни *Echinorhynchus gadi*. Однако у отдельных видов рыб - эврибатных *Aptocyclus ventricosus* (Cyclopteridae), *Zaprora silenus* (Zaproridae), *Leuroglossus schmidti* (Bathylagidae) и *Icichthys lockingtoni* (Centrolophidae) - преобладали по обилию и встречаемости были кишечные trematоды. Впервые получены данные о зараженности трехглой колюшки *Gasterosteus aculeatus* (Gasterosteidae) в открытой части океана, свидетельствующие о присутствии у этого вида рыб преимущественно пресноводных видов паразитов. По результатам сборов было выполнено описание или переописание нескольких видов гельминтов.

## **Parasites of marine and anadromous fish of the Russian Far East**

*Gordeev I.I.\*<sup>1,2</sup>, Sokolov S.G.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia

\* e-mail: gordeev\_ilya@bk.ru

## **Паразитофауна симпатрических форм сигов *Coregonus lavaretus* в разных частях ареала хозяина**

*Колмогорова Т.В.\*<sup>1</sup>, Власенко П.Г.<sup>1</sup>, Соловьёв М.М.<sup>1</sup>, Маркевич Г.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. Северцова, Москва, Россия

\* e-mail: t.kolmogorova2002@mail.ru

С целью исследования влияния пищевой специализации рыб на формирование паразитарных сообществ, исследованы сообщества паразитов в симпатрических пучках форм сига *C. lavaretus* в трех озерах. В Верхнем Ондомозере, Больших Капылюшах и Телецком озере представлены по две формы сига с разным количеством жаберных тычинок и морфологией рта: в первом – мало- и среднетычинковый бентофаги, во втором и третьем – малотычинковый бентофаг и среднетычинковый планктофаг. Планктофаги Телецкого озера являются наиболее специализированной формой. Видовая принадлежность паразитов определялась на основании морфологических и молекулярных данных. У двух форм бентофагов Верхнего Ондомозера обнаружено 10 видов паразитов: 9 – общих, 1 вид – только у среднетычинкового сига. У обеих форм преобладали метацеркарии *Diplostomum* sp. (100,00% для малотычинкового) и метацеркарии *Ichthyocotylurus erraticus* (100,00% для среднетычинкового). У сигов Больших Капылюшой зарегистрировано 11 видов паразитов, из которых 8 общих видов. У обеих форм преобладали метацеркарии *Diplostomum* sp. (100,00%). Наибольшая разница в видовом составе паразитов отмечена в Телецком озере: обнаружено 14 видов паразитов, из которых 7 – общих, 7 видов встретились только у бентофага – преобладала *Cystidicola farionis* (42,86%); у планктофага – *Triaenophorus crassus* (96,19%). Повсеместно зарегистрированы *T. crassus* и *Dibothrioccephalus dendriticus*; *Discocotyle sagittata*; метацеркарии *Diplostomum* sp. Таким образом, по мере нарастания отличий пищевой специализации рыб, увеличивается разница в составе сообществ паразитов. У выраженных планктофагов и бентофагов преобладают паразиты, реализующие свой жизненный цикл через соответствующие пищевые объекты – планктон и бентос. Помимо изменения видового состава сообществ паразитов, у наиболее специализированной формы сига наблюдается снижение видового разнообразия паразитов за счет сужения трофической ниши.

*Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-74-10101.*

## **Parasite fauna of sympatric forms of whitefish *Coregonus lavaretus* in different parts of the host range**

*Kolmogorova T.V.\*<sup>1</sup>, Vlasenko P.G.<sup>1</sup>, Solovyov M.M.<sup>1</sup>, Markevich G.N.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Severtsov Institute of Animal Systematic and Ecology, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of Ecology and Evolution Problems, Moscow, Russian

\* e-mail: t.kolmogorova2002@mail.ru

## **Рыбалка на паразита?**

*Korniiychuk Ю.М.*

ФИЦ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
e-mail: kornyychuk@ibss-ras.ru

Рыболовство – один из наиболее мощных антропогенных факторов, влиянию которых подвержены морские экосистемы.

В северной части Черного моря основным объектом рыбного промысла является черноморский шпрот *Sprattus sprattus phalericus*: доля его в уловах в некоторые годы достигала 95 %. Основная часть шпрота добывается на черноморском шельфе Крыма, где популяция этой рыбы подразделяется на несколько субпопуляций, приуроченных к центрам мезомасштабных циклонических вихрей.

Мы изучили долговременные изменения зараженности гельминтами шпрота юго-западной (лукульской) субпопуляции, которая является основной единицей промыслового запаса этой рыбы. Обследовано более 3500 экз. шпрота; фауна его гельминтов представлена в этом районе моря личинками анизакидной нематоды *Hysterothylacium aduncum* и трематоды *Stephanostomum pristis*. Личинки дидимозоид рода *Nematobothrium*, в середине XX в. известные от шпрота вдоль всех берегов Черного моря, более у него не отмечаются. Вероятная причина – снижение численности популяции дефинитивного хозяина этих трематод, скумбрии, промысел которой ведут причерноморские страны.

Интенсивная добыча шпрота на протяжении десятилетий привела к деградации его локальных популяций: их возрастной и размерный состав сместились в направлении преобладания рыб младших размерно-возрастных групп. Мы рассчитали относительный вклад рыб разного возраста в поддержание парагемипопуляции личинок *H. aduncum* и обнаружили, что теперь она поддерживается преимущественно рыбами-хозяевами младших размерно-возрастных групп. Поскольку в Чёрном море шпрот является основным вторым промежуточным хозяином *H. aduncum*, мы полагаем, что рыболовство обусловило также снижение общей численности популяции этой нематоды в районе исследований. Соответственно снизилась и общая эффективность передачи этой нематоды по черноморским трофическим цепям.

## **Fishing on parasites?**

*Kornyychuk Y.M.*

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas RAS, Sevastopol, Russia  
e-mail: kornyychuk@ibss-ras.ru

# **Распространение *Cyathocephalus truncatus* (Cestoda: Spathebothriidea) у диких и аквакультурных рыб в условиях Ижорской нагорной возвышенности**

*Кузнецова Э.Ю.\*<sup>1</sup>, Новиков А.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,  
Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: elza\_elza99@mail.ru

*Cyathocephalus truncatus* (Pallas, 1781) – ленточный червь из отряда Spathebothriidea. Взрослая стадия паразитирует в пиlorических придатках преимущественно лососевых видов рыб северного полушария. Циатоцефалез характеризуется снижением репродуктивного потенциала основного хозяина, истощением и гибелью рыб. В Ленинградской области в районе Ижорской возвышенности обнаружен постоянный очаг циатоцефалеза, о чем говорит анализ заражённости лососевых рыб в естественных водоемах в 2020-2023 годах (Новиков, 2024). Целью работы стало изучение интенсивности и экстенсивности инвазии *C. truncatus* у диких и аквакультурных рыб в условиях Ижорской нагорной возвышенности и контрольный анализ наличия *C. truncatus* в лососевых видах рыб, выращиваемых в ФСГЦР и естественных водоемах, питающих рыбоводное хозяйство в 2025 году.

В период с 2020-2023 года на наличие циатоцефалеза было исследовано 253 экз. Радужной форели *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum, 1792), 195 экз. Палии *Salvelinus lepechini* (Gmelin, 1788), 92 экз. *Salmo trutta* (Linnaeus, 1758), 8 экз. *Thymallus thymallus* (Linnaeus, 1758) и 6 экз. Американской палии *Salvelinus fontinalis* (Mitchill, 1814) (Новиков, 2024). В 2025 году было проанализировано 2 особи *O. mykiss* (Walbaum, 1792), отобранный в первом цеху Мельничного участка ФСГЦР филиала ФГБУ «Главрыбвод», у одной из которых был обнаружен 1 взрослый червь в пиlorическом придатке. Водообеспечение цеха осуществляется притоком реки Стрелки (Поселок Ропша, Ленинградская область). Непосредственно из реки Стрелка были проанализированы 5 особей *S. trutta*, у 3 из них было обнаружено от 2-5 взрослых червей *C. truncatus*. Так же была проанализирована 1 особь *S. trutta* из реки Шингарка (деревня Низино, Ленинградская область). У всех зараженных особей отмечались изменения (отек, воспаление) тканей пиlorического придатка, в котором локализовался паразит.

## **Distribution of *Cyathocephalus truncatus* (Cestoda: Spathebothriidea) in wild and aquacultural fish in the conditions of the Izhora upland**

*Kuznetsova E.\*<sup>1</sup>, Novikov A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Kazan Federal University, Kazan, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: elza\_elza99@mail.ru

## **Новый шаг в мониторинге паразитов леща *Abramis brama* L., 1758 озера Сямозеро (Карелия, Северо-запад России)**

*Лебедева Д.И.<sup>1</sup>, Суховская И.В.<sup>1</sup>, Цекова А.А.<sup>1</sup>, Лысенко Л.А.<sup>1</sup>, Канцерова Н.П.<sup>1</sup>, Зайцев  
Д.О.<sup>2</sup>, Милянчук Н.П.<sup>1</sup>, Иешко Е.П.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН, г. Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Петрозаводский государственный университет, г. Петрозаводск, Россия

e-mail: daryal78@gmail.com

Озеро Сямозеро – третий по величине водоём Южной Карелии (бассейн Онежского озера, бассейн реки Шуя) ледникового происхождения. Более 70 лет озеро служит уникальным водоёмом для изучения динамики эвтрофикации экосистем. Различные аспекты функционирования экосистемы озера, включая паразитов рыб, исследуются сотрудниками Карельского научного центра РАН с 1950-х годов. В том числе исследована многолетняя изменчивость паразитов леща *Abramis brama* в оз. Сямозеро за почти 50-летний период с момента первых исследований в 1954 году.

В июне 2024 года в юго-западной части оз. Сямозеро (залив Сяргилахта) были собраны 189 экз. рыб в возрасте 4+ – 9+ лет. Все отловленные особи исследованы на заражённость плероцеркоидами *Ligula intestinalis*, а 20 особей обследованы стандартным методом полного паразитологического вскрытия. Выявлено, что паразитофауна леща представлена 30 видами из классов Oligohymenophorea, Myxozoa, Copepoda, Cestoda, Monogenea, Trematoda и Chromadorea. Группы Myxozoa, Monogenea и Trematoda характеризуются наибольшим видовым разнообразием (9, 7 и 6 видов, соответственно). У леща обнаружены виды паразитов как с простым (9 видов), так и со сложным жизненным циклом (21 вид). Наиболее распространенным и многочисленным видом является trematoda *D. spathaceum*, паразитирующая в хрусталике глаза. Представители инфузорий *Apilosoma*, миксоспоридий *Myxobolus*, ракообразных *Ergasilus sieboldin*, моногеней *G. elegans* и *D. homoion*, trematod *A. isoporum* и *I. platycephalus* встречались единично.

Получены данные подтверждают тенденцию роста зараженности лещей паразитами, жизненный цикл которых включает бентосных хозяев.

*Исследование поддержано РНФ (проект № 24-26-00251).*

### **New step in monitoring of parasites of *Abramis brama* L., 1758 in Syamozero Lake (Karelia, Northwest Russia)**

*Lebedeva D.I.<sup>1</sup>, Sukhovskaya I.V.<sup>1</sup>, Tsekova A.A.<sup>1</sup>, Lysenko L.A.<sup>1</sup>,  
Kantserova N.P.<sup>1</sup>, Zaitsev D.O.<sup>2</sup>, Milyanchuk N.P.<sup>1</sup>, Ieshko E.P.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Biology, Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,  
Petrozavodsk, Russia

<sup>2</sup>Petrozavodsk State University, Petrozavodsk, Russia

## **Макропаразиты некоторых промысловых видов рыб Белого моря**

*Логвиненко А.Д.\*<sup>1</sup>, Гордеев И.И.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГНБУ «ВНИРО», Москва, Россия

\* e-mail: andreylogv@yandex.ru

Паразитофауна рыб Белого моря изучена довольно фрагментарно, а имеющиеся сведения об экстенсивности и интенсивности инвазии по большей части устарели. Даже сведения о зараженности объектов промышленного рыболовства изучаются довольно нерегулярно. Стандартными методами были получены сведения о видовом составе паразитов, а также об интенсивности (ИН) и экстенсивности (ЭК) инвазии наваги *Eleginus ewa* (n=27), речной камбалы *Platichthys flesus* (n=12), беломорской сельди *Clupea palassii marisalbi* (n=35), азиатской корюшки *Osmerus mordax dentex* (n=2), выловленных в марте 2025 года в Двинском заливе; полярной камбалы *Liopsetta glacialis* (n=37) из эстуария р. Мезень, выловленной в июне 2025 года; наваги (n=6) из Колежомской губы Онежского залива, выловленной в марте 2025 г. В Усть-Двинье навага была заражена скребнями *Echinorhynchus gadi* (ЭК 33%) и нематодами *Anisakis* sp. и *Hysterothylacium aduncum* (ЭК 19% у всех). Речная камбала была заражена нематодами *Cucullanus heterochrous* (ЭК 16%), trematodами *Podocotyle* cf. *atomon* (ЭК 8%) и дифиллоботриидными плероцеркоидами (ЭК 8%). Сельдь заражена скребнями *Corynosoma* sp. (ЭК 3%), нематодами *H. aduncum* (ЭК 89%) и trematodами *Hemirurus levinseni* (ЭК 3%). Корюшка заражена дифиллоботриидными плероцеркоидами (ЭК 50%). В эстуарии р. Мезень полярная камбала сильно заражена дифиллоботриидными плероцеркоидами (ЭК 100%, ср. ИН. 70), и нематодами *C. heterochrous*, *Anisakis* sp. и *H. aduncum* (ЭК 8%, 2% и 2% соотв.). Навага из Колежомской губы Онежского залива заражена скребнями *Corynosoma* sp. и *E. gadi* (ЭК 2% и 5% соотв.), нематодами *Cucullanus cirratus*, *Anisakis* sp. и *H. aduncum* (ЭК 6%, 1% и 6% соотв.) и trematodами *Cryptocotyle* sp., *Derogenes* cf. *varicus*, *Lepidapedon gadi* и *Podocotyle reflexa* (ЭК 1% у всех).

## **Metazoan parasites in some commercial White Sea fish species**

*Logvinenko A.D.\*<sup>1</sup>, Gordeev I.I.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

\* e-mail: andreylogv@yandex.ru

**Проникновение чужеродных видов паразитов с инвазивным видом рыб  
– *Lepomis gibbosus* L., 1758 (Actinopterygii: Centrarchidae)  
в экосистемы внутренних водоемов Крыма**

*Полевой Д.М., Полякова Т.А.\*, Пронькина Н.В.*

ФИЦ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, РФ  
\* e-mail: polyakova-raja@ibss-ras.ru

Большую проблему во всем мире представляют инвазивные чужеродные виды как хозяев, так и их паразитов, которые могут негативно влиять на биоразнообразие недавно захваченных ими экосистем и сообществ.

Солнечный окунь *Lepomis gibbosus* – североамериканский пресноводный вид, его нативный ареал простирается от Нью-Брансуика (Канада) до Флориды (США). В Европу был завезен в конце XIX века в качестве декоративного рыбного объекта для садовых прудов. В течение следующего столетия солнечный окунь захватил водоемы почти всех европейских стран и стал инвазивным видом на большей части континента. В последнее время солнечник встречается также и в водоемах на европейской и азиатской части Турции. В 2019 г. *L. gibbosus* включен в список инвазивных видов, представляющих опасность для Евро Союза. С 2002 г. его начали отмечать в водоемах Крыма и с 2019 г. его находят уже и в реках Северский Донец и Нижний Дон Ростовской области. До настоящего времени не проведено ни одного исследования фауны паразитов этого инвазивного вида рыб в водоемах Крыма.

В трех водоемах Крыма (река Черная, озера Уркуста и Широкое) в общей сложности у *L. gibbosus* найдено 3 вида паразитов из 3 таксонов: моногенея *Onchocleidus dispar*, метацеркарии трематоды *Posthodiplostomum centrarchi* и личинка нематоды *Eustrongylides excisus*. Впервые в водоемах Крыма отмечены северо-американские виды-вселенцы *O. dispar* и *P. centrarchi*. Коинтродукция этих чужеродных видов моногеней и трематод вместе с инвазивным хозяином во внутренние водоемы Крыма произошла, вероятно, из Каховского водохранилища (Украина) по Северо-Крымскому каналу с днепровскими водами. Обнаруженные паразиты отмечены у окуня только в замкнутых водоемах, в реках с сильным течением рыбы оказались свободными от паразитов. Патологические изменения в органах *L. gibbosus* от инвазии условно патогенных видов гельминтов *P. centrarchi* mtc. и *E. excisus* L. отсутствовали, метацеркарии в основном были обнаружены на поверхности печени.

**The penetration of alien species of parasites with an invasive fish species –  
*Lepomis gibbosus* L., 1758 (Actinopterygii: Centrarchidae) into the  
ecosystems of inland reservoirs of the Crimea.**

*Polevoy D.M., Polyakova T.A.\*, Pronkina N.V.*  
A.O. Kovalevsky Institute of biology of the southern seas RAS, Sevastopol, Russia  
\* e-mail: polyakova-raja@ibss-ras.ru

# **Эколого-биологические основы формирования паразито-хозяиных отношений цестоды *Grillotia erinaceus* (Trypanorhyncha: Lacistorhynchidae) в Черном море**

*Pолякова Т.А.*

ФИЦ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
e-mail: polyakova-raja@ibss-ras.ru

Цестоды отряда Trypanorhyncha – наиболее разнообразная и многочисленная группа паразитов скатов и акул. Данные об особенностях эмбрионального, постэмбрионального развития, ультраструктуре и морфологии личиночных стадий развития Trypanorhyncha, а также видовом составе первых, вторых промежуточных/паратенических хозяев этих гельминтов в Мировом океане чрезвычайно ограничены. В Черном море паразито-хозяиные отношения Trypanorhyncha у скатов *Dasyatis pastinaca* и *Raja clavata* не исследовались.

Для изучения паразито-хозяиных отношений черноморских трипаноринх был проведен эксперимент по влиянию температуры морской воды на сроки созревания эмбриона в яйцах, выхода корацидиев и их продолжительности жизни на примере цестоды *Grillotia erinaceus*. Установлено, что при увеличении температуры воды сокращались сроки эмбрионального развития, выхода корацидия, но дальнейшее увеличение температуры приводило к сокращению сроков жизнедеятельности корацидия. У *G. erinaceus* обнаружены оперкулированные яйца и выход корация в морской воде, что свидетельствует о наличие в жизненном цикле двух промежуточных хозяев, первый – копепода, второй – костистые рыбы. Отмечена синхронизация начала нерестовых вертикальных миграций с глубины моря (конец мая) окончательного хозяина *R. clavata* с периодом созревания *G. erinaceus*.

Изучено влияние физиологических характеристик окончательного хозяина ската *Raja clavata* (стадия зрелости, размер/возраст, пол, возрастные изменения рациона питания), а также сезона года на изменение параметров популяции *G. erinaceus*. Установлена зависимость встречаемости и численности *G. erinaceus* в популяции ската от стадии его онтогенеза, размера/возраста и пола. Анализ сезонной динамики зараженности скатов, изменения его сезонного и возрастного спектра питания и соотношения инфрапопуляции *G. erinaceus* разной стадии развития позволили реконструировать жизненный цикл этой цестоды в Черном море. Выявлено, что продолжительность жизни *G. erinaceus* в скате около 9 месяцев.

## **Ecological and biological foundations of the formation of parasite-host relationships of the cestoda *Grillotia erinaceus* (Trypanorhyncha: Lacistorhynchidae) in the Black Sea**

*Polyakova T.A.*

A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia  
e-mail: polyakova-raja@ibss-ras.ru

## **Огненные черви *Eurythoe* sp. (Amphinomida, Amphinomidae) в морских аквариумах московского зоопарка**

*Romanova T.N.\*, Rusina L.Y.*

ГАУ "Московский зоопарк", Москва, Россия

\* e-mail: galor245@mail.ru

Огненные черви, в том числе представители рода *Eurythoe* Kinberg, 1857 (Amphinomida, Amphinomidae), обитают повсеместно во всех солоноводных акваториях и попадают в аквариумы случайно. Чаще всего их можно заметить за поеданием падали, реже встречаются хищники, питающиеся кораллами и планктоном. Быстрый рост, высокая плодовитость и приспособляемость делают этих червей нежеланными вселенцами, избавление от которых затруднено. Известны случаи гибели рыб от щетинок огненных червей, а их контакт с кожей человека вызывает зуд, жжение и локальное повышение температуры. В Московском зоопарке огненные черви обнаружены отделе Аквариум.

Проанализирована специфика их взаимоотношений с рыбами и при проведении киперами плановых манипуляций. Для отлова червей *Eurythoe* была специально разработана ловушка (с использованием приманки), которую необходимо устанавливать перед кормлением.

Количество пойманных червей существенно различалось в разных типах аквариумов (с каменистым, песчаным грунтом и без него). В аквариумах с песчаным грунтом количество пойманных огненных червей связано с особенностями наполнения аквариумов кораллами. В аквариумах без субстрата активность наиболее снижена.

Для сокращения численности огненных червей необходимо систематическое использование ловушек. Для установки выбирать одно место, наиболее изолированное от механического воздействия, учитывая тип грунта, наличие декораций и видовой состав аквариума. Чередовать дни с прикормом и установкой, опорожняя ловушку в утренние часы. В целом, ловушками отловлено и удалено 1116 особей. Углублённое понимание этологии и роли многощетинковых червей в биосистемах очень важно, как в научном плане, так и при ведении аквакультур.

## **Fireworms *Eurythoe* sp. (Amphinomida, Amphinomidae) in the marine aquariums of the Moscow Zoo**

*Romanova T.N.\*, Rusina L.Y.*

SAI "Moscow Zoo", Moscow, Russia

\* e-mail: galor245@mail.ru

## **Компонентные сообщества паразитов рыб в водоемах Московской области**

*Романова Н.Н.\*<sup>1</sup>, Головина Н.А.<sup>2</sup>, Сехина О.В.<sup>1</sup>, Вишторская А.А.<sup>1</sup>, Головин П.П.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Филиал по пресноводному рыбному хозяйству ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ВНИИПРХ»), Дмитровский г.о., Московская обл., п. Рыбное, Россия

<sup>2</sup> Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт (филиал) ДРТИ ФГБОУ ВО «АГТУ»,  
Дмитровский г.о., Московская обл., п. Рыбное, Россия

\* e-mail: romanova@vniiprh.vniro.ru

Паразитические организмы являются постоянными сочленами биологических сообществ в водоемах. В популяциях рыб формируются компонентные сообщества паразитов, представленные разными таксономическими группами. Исследования водных объектов Московской области показало, что в рыбных сообществах карповые и окуневые виды самые многочисленные. Именно они составляют основное звено фауны паразитов. В работе использованы материалы мониторинговых обследований Икшинского, Можайского и Озернинского водохранилищ. Паразитологический анализ проведен у 310 экз. 6 видов рыб. Fauna паразитов включает 26 видов. Таксономические группы паразитов представлены миксоспоридиями (2), моногенеями (4), трематодами (16), цестодами (2), нематодами (1) и пиявками (1). Наибольшая встречаемость отмечена у трематод (62%). Среди них доминировали у окуня *Tylodelphys clavata*, (Э.И.=80%, А.И.И. 2-115 экз./рыбу) и *Posthodiplostomum cuticola* у карповых рыб (Э.И.=63,7%, А.И.И.1-181 экз./рыбу). В компонентные сообщества паразитов входили у окуня – *T. clavata*, *Diplostomum* sp., *Posthodiplostomum brevicaudatum*, *Ichthyocotylurus pileatus*, *I. platycephalus*, *I. variegatus*, *Apophallus muehlingi*, *Azygia lucii*, *Bunoderia luciopercae*, *Bunocotyle cingulate*, *Trienophorus nodulosus*, *Camallanus lacustris*; у судака - *Myxobolus sandrae*, *I. variegatus*, *I. pileatus*; у леща - *Paradiplozoon bliccae*, *T. clavata*, *Diplostomum* sp., *I. erraticus*, *P. cuticola*, *A. muehlingi*, *Paracoenogonimus ovatus*, *Ligula intestinalis*, *Piscicola geometra*; у густеры - *Dactylogyrus cornu*, *Diplozoon paradoxum*, *T. clavata*, *Diplostomum* sp., *I. variegatus*, *I. erraticus*, *P. cuticola*, *P. ovatus*, *L. intestinalis*; у плотвы - *Myxobolus musculi*, *Dactylogyrus rutile*, *D. paradoxum*, *Diplostomum* sp., *T. clavata*, *P. brevicaudatum*, *P. cuticola*, *A. muehlingi*, *P. ovatus*, *Pseudoamphistomum truncatum*, *Metorchis xanthosomus*; у красноперки - *P. cuticola*, *Diplostomum* sp., *I. pileatus*. Сообщества паразитов окуня включает 12 видов, судака – 3, леща и густеры – по 9, плотвы – 11, красноперки - 3 вида.

## **Component communities of fish parasites in reservoirs of the Moscow region**

*Romanova N.N.\*<sup>1</sup>, Golovina N.A.<sup>2</sup>, Sekhina O.V.<sup>1</sup>, Vishtorskaya A.A.<sup>1</sup>, Golovin P.P.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Freshwater Fisheries Branch of the SSC RF VNIRO Federal State Budgetary Institution (VNIIPRH), Dmitrovsky G.O., Moscow region, Rybnoye settlement, Russia

<sup>2</sup> Dmitrov Fisheries Technological Institute (branch) DRTI FGBOU VO AGTU, Dmitrovsky G.O., Moscow region, Rybnoye settlement, Russia

\* e-mail: romanova@vniiprh.vniro.ru

## **Паразитофауна рыб Кубано-Приазовской низменности и Среднерусской равнины**

*Стрелкова О.В.<sup>1,2</sup>, Иваненко А.М.<sup>1</sup>, Гордеев И.И.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> Кубанский государственный университет, г. Краснодар, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

\* e-mail: olgastrelkova51@gmail.com

Паразиты рыб играют важную роль в экосистеме, в том числе оказывая влияние на численность и состояние популяций хозяев. Своевременное изучение их видового состава и определение уровня эпизоотий позволяют получать актуальную информацию о наличии фоновых и очаговых заражений. Особую значимость эти исследования приобретают в условиях антропопрессии, такой как активное использование в сельском хозяйстве химических агентов, а также при наличии загрязнений. Несмотря на это, современные исследования в водоёмах России носят эпизодический характер. В 2020–2025 гг. было проведено исследование 925 экз. рыб 21 вида из водоёмов Кубано-Приазовской низменности и Среднерусской равнины на предмет заражённости макропаразитами. Большая часть выборки состояла из *C. gibelio* (138 экз.), *P. syrtman* (244 экз.) и *P. fluviatilis* (139 экз.).

В водоёмах Среднерусской равнины был обнаружен 21 вид паразитов. Наибольшее разнообразие было установлено у рыб из Десногорского вдхр. и р. Ворона. В водоёмах Кубано-Приазовской низменности заражённость паразитами была отмечена у 12 видов рыб. Всего обнаружено 24 вида паразитов; в основном это метацеркарии (*T. clavata*, *A. limacoides*). В меньшей степени были представлены плероцеркоиды *Ligula intestinalis* и моногенеи (*D. vastator*, *G. cyprini*).

В ходе исследования выяснилось, что наибольшее сходство паразитофауны в двух регионах на фоне остальных видов отмечено у обыкновенного леща (коэффициент Кабиоша (*K*) = 0,514) и обыкновенного судака (*K* = 0,806).

В р. Ворона (Среднерусская равнина) у плотвы обнаружены метацеркарии *P. truncatum*, представляющие потенциальную угрозу для здоровья человека и животных. Также в водоёмах Кубано-Приазовской низменности были обнаружены редко встречающиеся в данном регионе субарктические пиявки *C. mammillatus*.

Проведённые исследования показали, что заражённость рыб в водоёмах Кубано-Приазовской низменности и Среднерусской равнины характеризуется устойчивым видовым разнообразием паразитов и отсутствием выраженных эпизоотий.

## **The Parasite Fauna of Fish from the Kuban-Azov Lowland and the Central Russian Upland**

*Strelkova O.V.\*<sup>1,2</sup>, Ivanenko A.M.<sup>1</sup>, Gordeev I.I.<sup>2,3</sup>*

<sup>1</sup> Kuban State University, Krasnodar, Russia

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

\* e-mail: olgastrelkova51@gmail.com

## **Опыт применения препарата «Эмикон» при эргазилёзе сиговых рыб**

*Taradanov I.N.\*, Kapustina Y.A.*

Тюменский филиала ФГБНУ "ВНИРО", Тюмень, Россия  
\* e-mail: i.taradanov@gosrc.vniro.ru

Эргазилёз – инвазионное заболевание рыб, вызываемое паразитическими раками семейства Ergasilidae. Заболевание широко распространено среди пресноводных рыб, в том числе сиговых, вспышки могут вызывать гибель рыб. В настоящее время зарегистрированным (разрешенным) лечебным средством при эргазилезе является препарат «Эмикон». Эмикон прошел испытания на форели, осетре и карпе; сведений о его применении при лечении сиговых рыб нами не найдено.

Цель работы – оценка эффективности антипаразитарного препарата «Эмикон» при эргазилёзе сиговых рыб.

Материал для исследований – четырехлетки озерной пеляди, выращиваемые в садках на научно-производственном участке «Волково» (д. Полуянова, Тобольский район, Тюменская обл.). Работы проведены в III декаде июля 2021 г. «Эмикон» испытан согласно инструкции по применению в концентрации 0,05 г/кг массы рыб. Испытания препарата проведены на одной группе рыб в одной повторности, результаты сравнивали с контрольной группой. Критерии оценки эффективности препарата: снижение уровня заражения, острый токсический эффект. Степень зараженности рыб определяли по доли особей с паразитами (ЭИ, %) и количеству паразитов. Оценка зараженности рыб проведена прижизненно. Для этого рыбу анестезировали в гвоздичном масле, просматривали жаберную полость и производили подсчет паразитов, по итогам подсчета присваивали балл: 1 – 0 экз. паразита, 2 – 1-5 экз. паразита, 3 – 6-20 экз. паразита, 4 – 21-50 экз. паразита, 5 – 51-100 экз. паразита, 6 – >100 экз. паразита. Анализ зараженности рыб возбудителями в опытных группах проводили перед испытанием препарата и на третий день после окончания курса; курс – 7 дней.

В результате исследований установлено положительное терапевтическое действие препарата «Эмикон». Доля зараженных рыб снизилась в 3,45 раз (до лечения – 92,8 %, после лечения – 26,9 %), средний балл зараженности по выборке – в 2,01 раз (до лечения – 2,63, после лечения – 1,31).

## **Experience in using the drug Emikon in the treatment of ergasilosis in whitefish**

*Taradanov I.N.\*, Kapustina Y.A.*

Tyumen Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Tyumen, Russia  
\* e-mail: i.taradanov@gosrc.vniro.ru

## **Дополнение к методике гельминтологических исследований рыб: влияние концентрации этанола на морфологию гельминтов при кратковременной фиксации (7-суточный эксперимент)**

*Фролов Е.В.\*, Новокрещеных С.В.*

Sakhalin branch of the Federal State Budget Scientific Institution “Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography”, Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

\* e-mail: frolovev@sakhniro.vniro.ru

При массовых вскрытиях рыб обработка материала требует значительного времени и сопряжена с частичной фиксацией проб (органов). Концентрированный этанол вызывает деформацию гельминтов, слабые растворы – мацерацию. Выбор оптимальной концентрации фиксатора необходим для минимизации артефактов, сохранения морфологических признаков паразитов и определения допустимого времени хранения пробы.

Выяснение концентрации спирта для хранения желудочно-кишечных трактов (кета, 50 экз., устье р. Черная, 18.09.24) проводилось экспериментальным способом. Органы фиксировали в спиртах концентраций: 2,5; 5; 7,5; 10; 12,5% и хранили в холодильнике 7 суток ( $t = 5^{\circ}\text{C}$ ). Соотношение материала к фиксатору – 1:10. Степень мацерации определяли визуально и с помощью покровного стекла у гельминтов: *Clistobothrium* sp. (pl.) s.l., *Alloopistholecithum gibbosum*, *Bolbosomacaeoforme* juv., *Anisakis simplex* (l.) s.l. При фиксации в 12,5% этаноле гельминты, за исключением личинок *Anisakis*, были в различной степени деформированы, в 2,5% растворе наблюдалась мацерация тканей.

*Clistobothrium* sp. (pl.) s.l. Закономерностей не выявлено. Наибольшее количество особей, пригодных для определения, отмечено в 5% этаноле.

*A. gibbosum*. В 2,5% растворе к третьим суткам эксперимента 30% особей характеризовались нарушением структурной целостности, а 70% не выдерживали давления покровного стекла. В последующие дни отмечалось увеличение доли мацерированных особей, достигшее 100% к 7 дню. Оптимальная сохранность морфологических признаков отмечена в этаноле 5–7,5%.

*B. caenoforme* juv. Распределение в пробах неравномерное. Во всех растворах (2,5–12,5%) в течение 7 суток хоботки особей были эвагинированы.

*A. simplex* (l.) s.l. В пробах отмечались единично. Артефактов фиксации или мацерации не выявлено; в 5% растворе на 7-й день эксперимента особи были живые. Оптимальным фиксатором для временного хранения органов (кеты) с целью их дальнейшего вскрытия и идентификации гельминтов является 5% этанол. Время хранения – до 5 суток ( $t = 5^{\circ}\text{C}$ ).

## **Supplement to the methodology of helminthological studies of fish: the effect of ethanol concentration on the morphology of helminths during short-term fixation (7-day experiment).**

*Frolov E.V.\*, Novokreschennykh S.V.*

Sakhalin branch of the Russian Federal Research Institute of Fisheries and oceanography,  
Yuzhno-Sakhalinsk, Russia

\* e-mail: frolovev@sakhniro.vniro.ru

# **ПАРАЗИТЫ НАЗЕМНЫХ ЖИВОТНЫХ**

## **Обзор нематод надсемейства Strongyloidea из Центрально-Черноземного заповедника и других территорий региона**

*Власов Е.А.*

Центрально-Черноземный государственный природный биосферный заповедник имени профессора В.В. Алексина, Заповедный, Россия  
e-mail: egorvlassoff@gmail.com

С 2012 года по настоящее время в рамках мониторинга и инвентаризации фауны Центрально-Чернозёмного заповедника (ЦЧЗ), а также других проектов на территории региона (юг и запад Среднерусской возвышенности Русской равнины, лесостепная зона) проводится изучение паразитических червей наземных позвоночных: амфибий, рептилий, млекопитающих и птиц. Отметим, что основную часть всего материала на настоящий момент составляют мелкие грызуны из Стрелецкого участка ЦЧЗ. Среди всех обнаруженных нематод представители надсемейства Strongyloidea насчитывают 17 видов из следующих семейств: Strongylidae (1 вид), Ancylostomatidae (3 вида), Trichostrongylidae (9 видов), Metastrongylidae (4 вида). Большая часть видов — обычные для своих хозяев, широко распространённые виды. Однако, среди отмеченных видов есть и нечасто обнаруживаемые виды. Так, например, в 2025 году на территории Стрелецкого участка в лёгких желтогорлой мыши и рыжей полёвки обнаружен вид рода *Angiostrongylus*. Вид подходит под описание *A. ryjikovi* Juschkov, 1971, отмеченного лишь однажды на северо-востоке европейской части России, в таёжной зоне у красной полёвки. В то же время возможно, что *A. ryjikovi* может быть младшим синонимом *A. dujardini* Drozdz et Doby, 1970 — вида, зарегистрированного в Европе у тех же видов грызунов у которых мы обнаружили нематод этого рода. Этот вопрос требует дальнейшего изучения. Причинами по которым данный вид мог быть отмечен впервые на территории ЦЧЗ только через 13 лет после начала исследований с нашей точки зрения могут быть: 1) редкость вида; 2) недавнее вселение вида на изучаемую территорию; 3) ранее данный вид был пропущен при исследовании; 4) комбинации вышеперечисленного. Примечательно, также то, что среди обнаруженных видов отсутствует ряд широко распространённых видов грызунов семейства Trichostrongylidae. Причина этого, по-видимому, — фрагментарность, относительно небольшой размер и удалённость друг от друга местообитаний на территории региона, и как следствие — более затруднённый обмен особями между отдельными популяциями по сравнению с большими не фрагментированными местообитаниями.

## **Overview of the Strongyloidea nematodes from the Central Chernozem Reserve and other territories of the region**

*Vlasov E.A.*

V.V. Alekhin Central-Chernozem State Nature Biosphere reserve, Zapovednyi, Russia  
e-mail: egorvlassoff@gmail.com

**Нематодно-цестодный гельминтофаунистический комплекс  
реликтового песца (*Vulpes lagopus beringensis*) на территории острова  
Беринга**

*Давыдова О.Е.\*<sup>1</sup>, Шиенок А.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Московская государственная академия ветеринарной медицины  
и биотехнологии имени К.И.Скрябина, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Москва, Россия  
\* e-mail: o.davydova66@mail.ru

На основании неполных гельминтологических вскрытий 11 беринговских песцов (*V. l. beringensis*) и флотационной гельминтоовоскопии 351 пробы фекалий песцов из биотопов острова Беринга, проведенных в период 2016-2022 гг., выявлено, что нематодно-цестодный гельминтофаунистический комплекс включает примерно 13 видов, относящихся к 4 таксономическим группам (нематоды-8, цестоды-3, trematodes-1, акантоцефалы-1). При этом видовое разнообразие в основном соответствует описанному В.П. Афанасьевым (1941), однако выявлены различия в частоте встречаемости и интенсивности инвазий некоторых гельминтов: значительно снижена экстенсивность и интенсивность инвазии *M. afanassjewi*, интенсивность инвазии *E. multilocularis*, увеличились экстенсивность и интенсивность инвазии *T. leonina* и личинками анизакид.

Видами-доминантами оказались *Mesocestoides canislagopodis* (91%), *Diphyllobothrium* spp. (45,5%), *Toxascaris leonina* (45,5%), стронгиляты кишечные (45,5%, с соотношением *U. stenocephala* / *A. caninum* 10:1), *Trichinella nativa* (36,4%), *Anisakis larvae* (36,4%), субдоминантами - *Echinococcus multilocularis* (18,2%), *Maritrema afanassjewi* (18,2%), спорадическими – *Corynosoma* sp. (9,1%), *Capillaria* spp. (4,8%), *Physaloptera* spp. (1,1%), *Trichocaphalus vulpis* (0,6%) выявлялись только гельминтоовоскопически, и их распространность требует уточнения для исключения транзитной передачи яиц. В основном отмечались микстинвазии, состоящие из 2-6 и более компонентов. В динамике гельминтозов выявляются сезонные различия. На основании исследований определено, что на территории острова Беринга очаги природных зоонозных биогельминтозов – альвеолярного эхинококкоза, дифиллоботриоза, трихинеллеза, а также мезоцестоидоза. Зараженность беринговского песца трихинеллезом выявлена впервые.

*Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ им. М.В.Ломоносова.*

**Nematode-cestode helminthofaunistic complex of relict Arctic fox (*Vulpes lagopus beringensis*) on the territory of Bering Island**

*Davydova O.E.\*<sup>1</sup>, Shienok A.N.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scriabin, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: o.davydova66@mail.ru

# **Детекция патогенов в популяциях тростниковой жабы *Rhinella marina* и ее паразитического клеща *Amblyomma dissimile* на острове Маргарита, Венесуэла**

*Iбrogимова П.К.\*<sup>1</sup>, Литвинчук С.Н.<sup>2</sup>, Анисимов Н.В.<sup>3</sup>, Свинин А.О.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

<sup>2</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

\* e-mail: pibrogimova@bk.ru

Интродуцированные виды — угроза для глобального биоразнообразия. Из-за токсичности и воздействия на диких и домашних животных, тростниковая жаба *Rhinella marina* считается одним из самых опасных инвазивных видов. С 1842 года она была интродуцированная на многие острова и в Австралию, в том числе на остров Маргарита в Венесуэле, в качестве биологического средства борьбы с вредителями. Жабы на острове сильно заражены клещами вида *Amblyomma dissimile*. Нам удалось обнаружить случаи, при которых на одной особи паразитируют до 8 клещей. *A. dissimile* могут передаваться рептилиями, а иногда птицами или млекопитающими. Глобальное изменение климата способствует расселению клещей, а вместе с ними и распространению опасных инфекционных заболеваний, переносчиками возбудителей которых они являются. Переносимые ими патогены могут поражать как человека, так и домашних и диких животных. Одни из таких наиболее часто встречающихся патогенов — бактерии родов *Rickettsia*, *Ehrlichia* и *Anaplasma*. Они имеют эпидемиологическое и эпизоотические значение, а некоторые виды *Rickettsia* также являются симбионтами позвоночных.

Кроме того, существует теория о том, что клещи и комары могут являться переносчиками опасных для амфибий и рептилий вирусов рода *Ranavirus*. Несмотря на то, что ранавирусы значительно снижают численность популяций и приводят к вымираниям, до сих пор остаются неизвестными пути их передачи. При помощи количественной ПЦР мы обнаружили заражение бактерией рода *Rickettsia* 1 из 5 исследуемых образцов клещей, а также заражение 2 других образцов бактериями родов *Anaplasma* и *Ehrlichia*.

Также мы обнаружили заражение ранавирусом 4 из 10 образцов жаб *Rhinella marina*, но не обнаружили его присутствие в образцах клещей. Эти данные могут свидетельствовать о том, что клещи не являются переносчиками ранавирусов.

## **Pathogen detection in populations of the cane toad *Rhinella marina* and its parasitic mite *Amblyomma dissimile* on Margarita Island, Venezuela**

*Iбrogимова П.К.\*<sup>1</sup>, Литвинчук С.Н.<sup>2</sup>, Анисимов Н.В.<sup>3</sup>, Свинин А.О.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>2</sup> Institute of Cytology of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

\* e-mail: pibrogimova@bk.ru

# **Морфологические и молекулярные данные для некоторых видов из рода *Plagiorchis* Lühe, 1899 (Trematoda: Plagiorchiidae Lühe, 1901) юга Дальнего Востока России**

*Израильская А.В.\*<sup>1,3</sup>, Горобейко У.В.<sup>1</sup>, Щелканов М.Ю.<sup>2,3</sup>, Беспрозванных В.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии  
ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт эпидемиологии и микробиологии имени Г. П. Сомова  
Роспотребнадзора, Владивосток, Россия

<sup>3</sup> Дальневосточный Федеральный Университет, Владивосток, Россия  
\* e-mail: Anna.kharitonova92@yandex.ru

Род *Plagiorchis* Lühe, 1899, по видовому составу, один из наиболее многочисленных в структуре семейства Plagiorchiidae Lühe, 1901. Этот род объединяет паразитов тетрапод, в том числе и человека. В большинстве имеющихся сегодня исследований, определение видовой принадлежности trematod рода *Plagiorchis* базируется на морфологических характеристиках. Кроме того, на основании сравнения морфологии многие из представителей этого рода являются космополитами. Нами на юге Дальнего Востока России были обнаружены два вида половозрелых trematod, морфологически соответствующих роду *Plagiorchis*. Трематоды одного из видов были обнаружены в кишечнике длиннопалой ночница, а другого вида получены в результате экспериментального заражения сибирского хомяка естественно инфицированными веснянками.

На основании морфологических и молекулярных (ген 28S рРНК и *cox1* mtДНК) исследований trematodы, обнаруженные у летучей мыши, были идентифицированы как *Plagiorchis koreanus* Ogata, 1938. В проведенном исследовании, впервые, получены морфологические и молекулярные данные для *P. koreanus* из типового региона, которые подтверждают принадлежность trematodы к космополитам. Трематоды, выращенные у хомячка, по своим морфологическим признакам были сходны с европейским *Plagiorchis eutamias* Schulz, 1932. Из-за отсутствия нуклеотидных последовательностей для этого вида из типового региона, trematodы, обнаруженные нами на юге Дальнего Востока России, были предварительно обозначены как *Plagiorchis cf. eutamias*. Кроме того, филогенетическая реконструкция, основанная на митохондриальном маркере, выявила противоречивость данных, полученных для церкарий, диагностированных как один вид (*Plagiorchis elegans* (Rudolphi, 1802) Braun, 1902). Наши данные также указывают на то, что образцы, имеющиеся в базе данных NCBI, обозначенные как *Plagiorchis multiglandularis* Semenov, 1927 и *Plagiorchis neomidis* Brendow, 1970, принадлежат к одному и тому же виду.

## **Morphological and molecular data for some species of the genus *Plagiorchis* (Trematoda: Plagiorchiidae Lühe, 1901) from the southern Russian Far East**

*Izrailskaya A.V.\*<sup>1,3</sup>, Gorobeyko U.V.<sup>1</sup>, Shchelkanov M.Y.<sup>2,3</sup>, Besprozvannykh V.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation

<sup>2</sup> G.P. Somov Research Institute of Epidemiology and Microbiology, Russian Federal Service for Surveillance on Consumer Rights Protection and Human Wellbeing, Vladivostok, Russia Federation

<sup>3</sup> Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

\* e-mail: Anna.kharitonova92@yandex.ru

## **Паразитические черви пресмыкающихся (Reptilia) Среднего Поволжья**

*Kirillov A.A.\*, Kirillova N.Y.*

Институт экологии Волжского бассейна РАН - филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, Тольятти, Россия  
\* e-mail: parasitolog@yandex.ru

Пресмыкающиеся являются обычным компонентом природных биоценозов, служат хозяевами для различных видов паразитов и играют важную роль в реализации их жизненных циклов. Особенно значима роль рептилий как паразитических хозяев гельминтов. Несмотря на широкое распространение пресмыкающихся, их паразиты в Европейской России и, в частности, в бассейне Волги изучены недостаточно.

Герпетофауна Среднего Поволжья насчитывает 14 видов, из которых гельминтологическому исследованию в разной степени подвергнуто 9 видов ящериц и змей. На протяжении почти трёх десятилетий (1996-2025 гг.) нами изучена гельминтофауна ящериц и змей в 8 из 11 административных регионов Среднего Поволжья. Всего у пресмыкающихся региона отмечено 45 видов гельминтов, включая 21 вид трематод, 16 нематод, по 4 вида цестод и 4 скребней. В гельминтофуне рептилий Среднего Поволжья преобладают трематоды (15 видов на стадии мариты и 6 – личиночных форм). На долю трематод приходится 66,7% всех паразитов рептилий. Гельминтофауна змей Среднего Поволжья насчитывает 31 вид, у ящериц обнаружено 24 вида. Среди змей наиболее богата фауна гельминтов обыкновенного ужа (*Natrix natrix*), насчитывающая 26 видов. У водяного ужа (*N. tessellata*) зарегистрировано 16 видов паразитов, состав паразитов обыкновенной гадюки (*Vipera berus*) включает 15 видов. Менее разнообразна гельминтофауна степной гадюки (*Vipera renardi*) и обыкновенной медянки (*Coronella austriaca*), у которых отмечено 6 и 5 видов, соответственно. У ящериц наиболее разнообразен состав гельминтов прыткой ящерицы (*Lacerta agilis*) – 21 вид паразитов. Менее разнообразна фауна гельминтов колхидской веретеницы *Anguis colchica* (8 видов) и живородящей ящерицы *Zootoca vivipara* (7). У разноцветной ящурки (*Eremias arguta*) выявлено всего три вида гельминтов. Из 45 видов гельминтов, обнаруженных у рептилий, 3 вида (*Alaria alata*, *Spirometra erinaceieuropaei*, и *Phyocephalus sexalatus*) имеют медицинское и ветеринарное значение как возбудители опасных гельминтозов.

## **Parasitic worms of reptiles (Reptilia) in the Middle Volga region**

*Kirillov A.A.\*, Kirillova N.Y.*

Institute of Ecology of Volga River basin of Russian Academy of Sciences - a branch of Samara Federal Research Center of Russian Academy of Sciences, Togliatti, Russia  
\* e-mail: parasitolog@yandex.ru

## **Биоразнообразие гельминтов летучих мышей (Chiroptera) Среднего Поволжья**

*Кириллова Н.Ю.\*, Кириллов А.А.*

Институт экологии Волжского бассейна РАН - филиал Самарского федерального исследовательского центра РАН, Тольятти, Россия

\* e-mail: parasitolog@yandex.ru

Летучие мыши (Chiroptera) – единственный отряд млекопитающих, обладающих способностью к активному полёту, что сильно влияет на их спектр питания. Гельминты летучих мышей, характеризующиеся строгой специфичностью к хозяину, свидетельствуют о высокой степени экологической изоляции этой таксономической группы млекопитающих и длительности коэволюции рукокрылых и их паразитов. Фауна рукокрылых Среднего Поволжья насчитывает 16 видов. Гельминты летучих мышей России и, в частности, Среднего Поволжья, изучены в недостаточной степени. Материал по паразитическим червям летучих мышей был собран в период с 2000 по 2025 год преимущественно на территории Республики Мордовия и Самарской области. Гельминтологическому исследованию подвергнуты в той или иной степени все 16 видов рукокрылых, обитающих в Среднем Поволжье. У летучих мышей исследуемого региона зарегистрировано 38 видов паразитических червей: 24 вида trematod, 3 цестод, 10 нематод и 1 вид скребней. Из 38 видов гельминтов, обнаруженных у рукокрылых Среднего Поволжья, 34 являются их специфичными паразитами.

Совместное применение морфологических и молекулярных методов позволило достоверно идентифицировать близкородственные виды trematod *Plagiorchis* spp., *Gyrabascus* spp., *Parabascus* spp. и *Paralecithodendrium* spp., паразитирующих у летучих мышей фауны России. Получены первые молекулярные данные по trematodам рукокрылых: *Gyrabascus amphoraeformis*, *Plagiorchis mordovii*, *Paralecithodendrium ilei* и *Paralecithodendrium cryptolechitum*. Подтверждена валидность видов *P. mordovii* и *P. cryptolechitum*. Нами предложены оригинальные диагностические ключи для дигеней родов *Plagiorchis*, *Gyrabascus* и *Parabascus*. *Gyrabascus amphoraeformis* впервые отмечен у от рукокрылых в Волжского бассейна, а *Gyrabascus oppositus* – у летучих мышей Среднего Поволжья. Для ряда гельминтов зарегистрированы новые хозяева.

Проведенные исследования позволили уточнить видовое разнообразие и особенности распространения гельминтов рукокрылых на изученной территории.

## **The diversity of helminths in bats (Chiroptera) in the Middle Volga region**

*Kirillova N.Y.\*, Kirillov A.A.*

Institute of Ecology of Volga River basin of Russian Academy of Sciences - a branch of Samara Federal Research

Center of Russian Academy of Sciences, Togliatti, Russia

\* e-mail: parasitolog@yandex.ru

## **Разнообразие цестод родов *Catenotaenia* и *Spasskijela* в Российской Федерации и сопредельных странах**

*Krivopalov A.B.\*, Shilling A.E.*

Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия  
\* e-mail: krivopalov@gmail.com

Семейство Catenotaeniidae (Cestoda: Cyclophyllidea) включает 8 родов (35 валидных видов) и распространены у грызунов на всех континентах исключая Австралию и Антарктиду. В РФ они зарегистрированы у Cricetidae, Muridae, Dipodidae, Sminthidae и Sciuridae. Только для одного вида (*Catenotaenia pusilla*) расшифрован жизненный цикл. Характерно, что катенотении встречаются у дефинитивных хозяев, тяготеющих к средне или мало увлажненным местообитаниям (лесные полевки, мышовки, беличьи, хомячки, тушканчики, песчанки и мыши) и имеющим оформленные гнезда или кормовые столики. Катенотении нами зарегистрированы как за полярным кругом (Ямал, Гыданский п-ов, Якутия), так и в южных регионах.

Рода *Spasskijela* и *Skrjabinotaenia* встречены в РФ только у представителей рода *Apodemus*. Представители рода *Catenotaenia* найдены у 5 семейств грызунов. Известно, что они редки у хозяев из родов *Microtus* и *Alexandromys*, но встречены у 4 видов. Число валидных видов в РФ и сопредельных странах (искл. США) – 12: *Spasskijela kratochvili*, *Skrjabinotaenia pigulevski*, *Catenotaenia* spp. 10 видов (*C. apodemi*, *C. dendritica*, *C. henttoneni*, *C. pusilla*, *C. tuvae*, *C. microti*, *C. cricetuli*, *C. gracilae*, *C. rhombomidis*, *C. ris*). Число неописанных видов *Catenotaenia* по нашим данным сопоставимо с числом валидных. Молекулярно оцененное разнообразие катенотений от 2 видов мышовок, степной пеструшки, красной полевки, 2 видов скальных полевок, 2 видов хомячков и обыкновенной слепушонки позволяет сделать вывод, что они представляют собой отдельные, но морфологически близкие, виды.

Отдельным вопросом в формировании разнообразия катенотений остается поиск промежуточных хозяев (ПХ). Мы предложили и проверяем гипотезу, что ими могут служить акарiformные клещи, обитатели гнезд грызунов. Отрабатывается методика взятия материала и его молекулярный анализ при помощи реалтайм ПЦР с Tagman-зондом. Предполагается, что обследование клещей позволит с высокой точностью определить малое количество ДНК катенотений в теле ПХ.

Работа была поддержана грантом РНФ № 25-24-00625.

## **Diversity of cestodes of the genera *Catenotaenia* and *Spasskijela* in the Russian Federation and adjacent countries**

*Krivopalov A.\*, Shilling A.*  
ISEA SB RAS, Novosibirsk, Russia  
\* e-mail: krivopalov@gmail.com

## **Случай ангидробиотического выживания зоопаразитической нематоды *Marshallagia marshalli***

*Логинова О.А.\*<sup>1</sup>, Футоран П.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Национальный парк «Кенозерский», Архангельск, Россия

\* e-mail: Loginova\_spb@bk.ru

В апреле 2025 года на острове Шпицберген было собрано 8 проб фекалий диких северных оленей (*Rangifer tarandus platyrhynchus*). Пробы были высушены естественным образом и отправлены в Центр паразитологии ИПЭЭ РАН для гельминтологического исследования, которое провели 27 мая 2025. При помощи флотационно-седиментационного овоскопического метода Дарлинга в одной из проб были обнаружены два яйца нематод. Их форма, размеры и внутреннее строение соответствовали описаниям для *Marshallagia*, а локация и вид хозяина позволяют утверждать, что это именно *M. marshalli*. В обоих яйцах находились личинки, сложенные вдвое. Они были сморщенны, выглядели однородными, не шевелились, а между каждой из них и полюсами яйца оставалось свободное пространство. В 12:56 яйца были перенесены на предметное стекло с лункой, заполненной водопроводной водой. Вскоре стало заметно, что личинки набухли и стали прилегать головным и хвостовым концом к одному из полюсов яйца. Внутри личинок стал просматриваться пищевод и кубические, расположенные в один ряд, кишечные клетки, характерные для рода *Marshallagia*. В 13:04 было зафиксировано шевеление личинок. К 21:09 личинки вылупились из яиц. 01 июня клетки кишечника личинок уже были дифференцированы и расположены в 2 ряда, виден чехлик, личинки были активно подвижны, что говорит об их переходе в третью, инвазионную стадию. В описываемый период температура воздуха в помещении составляла 24°C. Для нематод этого вида известна способность переживать замораживание. Их преобладание в относительно ксерических (засушливых) районах, включая высокоширотные острова, подразумевает необходимость переживать не только замораживание, но и высушивание, а скорее всего — их комбинацию. В описанном случае личинки в яйцах провели не меньше месяца в высушенных фекалиях. По литературным данным развитие до инвазионной стадии должно занимать минимум 10 дней, тогда как в описываемом случае произошло за 6. Возможно, что предварительное высушивание влияет на сроки развития.

## **A case of anhydrobiotic survival in the zooparazitic nematode *Marshallagia marshalli***

*Loginova O.A.\*<sup>1</sup>, Futoran P.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Kenozersky National Park, Arkhangelsk, Russia

\* e-mail: Loginova\_spb@bk.ru

## **Таксономическая структура циклофиллидных цестод (Cyclophyllidea van Beneden in Braun, 1900)**

*Мовсесян С.О.\*<sup>1,2</sup>, Никогосян М.А.<sup>2</sup>, Петросян Р.А.<sup>2</sup>, Теренина Н.Б.<sup>1</sup>,  
Воронин М.В.<sup>1</sup>, Варданян М.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт зоологии Научного центра зоологии и гидроэкологии НАН РА, Ереван, Армения

\* e-mail: movsesyan@list.ru

Настоящее сообщение предлагает современную таксономическую структуру для отряда цестод Cyclophyllidea.

Методы и материалы: обобщение и анализ результатов многолетних исследований Мовсесяна С.О. по изучению этих цестод, ранее опубликованных в Зоологическом журнале (2020).

В настоящее время нет единого мнения по таксономии циклофиллид. Предложены разные классификации (Скрябин, Ямагути и др.). Точное число видов отряда назвать невозможно, разными авторами указываются от 1000 до б. 5000. Наш анализ дает ок. 1200. Это многообразие мы делим на 6 подотрядов на основе морфологии, гостальности и жизненных циклов:

Подотряд *Acoleata* - характерно отсутствие женского полового отверстия. Паразиты птиц. Жизненные циклы изучены недостаточно.

*Anoplocephallata* – сколекс без хоботка, крючьев и хоботкового влагалища. Паразиты наземных четвероногих. Промежуточные хозяева - в основном орибатидные клещи.

*Davaineata* – хоботок вооружен многочисленными давэноидного (молотковидного) типа крючками. Паразиты птиц, в основном сухопутных (куриные, голубиные, воробычные и др.) и млекопитающих, в основном грызунов. Промежуточные хозяева - жуки, муравьи и наземные моллюски.

*Hymenolepida* – у большинства видов хоботок сколекс вооружен одной короной крючков, в количестве 8, чаще 10, редко многочисленных. Паразиты птиц и млекопитающих. Промежуточные хозяева - в основном водные беспозвоночные (циклонпы и др.).

*Mesocestoidata* – сколекс без вооружения. Половые отверстия открываются в половую клоаку, расположенную центрально по средней линии тела. Взрослые формы паразитируют у млекопитающих и птиц (в основном плотоядных). Тетратирииды (личинки) – у млекопитающих, птиц, рептилий, амфибий.

*Taeniata* – хоботок вооружен тениоидными крючками, расположенными обычно в два ряда, встречаются виды без выраженного хоботка. Паразиты млекопитающих и птиц (в основном плотоядных). В жизненном цикле участвуют главным образом позвоночные животные.

Итого 6 подотрядов, 25 семейств, 27 подсемейств.

## **Taxonomic structure of cestodes of order Cyclophyllidea van Beneden in Braun, 1900**

*Movsesyan S.\*<sup>1,2</sup>, Nikogosyan M.<sup>2</sup>, Petrosyan R.<sup>2</sup>, Terenina N.<sup>1</sup>, Voronin M.<sup>1</sup>, Vardanyan M.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Zoology, Scientific Center of Zoology and Hydroecology, Yerevan, Republic of Armenia

\* e-mail: movsesyan@list.ru

## **Моделирование ареала *Dirofilaria repens* в России**

*Прилепский Ю.О., Коняев С.В.\**

Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

\* e-mail: s.konyaev@yahoo.com

Для проведения комплексного анализа пространственно-климатического распределения нематод *Dirofilaria repens* были применены современные методы моделирования экологических ниш с использованием технологий машинного обучения. Данные о местоположении находок паразита и соответствующие экологические переменные использовались для построения серии моделей потенциального распространения вида. Моделирование экологической ниши, включало построение пяти моделей: Bioclim, обобщенной линейной модели (GLM), MaxEnt, Random Forest и метода опорных векторов (SVM). Каждый из этих методов вносит свой вклад в понимание пространственного распределения дирофилиарий. Обученные модели были использованы для предсказания распространения *Dirofilaria repens* на территории России с использованием общедоступных климатических данных. Полученные результаты позволяют идентифицировать ключевые экологические факторы, определяющие биотическое распределение вида, и определить территории с высокой вероятностью присутствия паразита. Особое значение имеет возможность выявления потенциальных новых мест обитания и оценки пространственного распределения вероятности обнаружения популяции.

Площадь предполагаемых местообитаний *D. repens* имеет выраженную зональную дифференциацию с наибольшей пригодностью в регионах широколиственных и смешанных лесов умеренного пояса, Понтийских степей. Наименее пригодными для обитания паразита оказались тундровые и горные экорегионы, а также некоторые лесостепные с резко континентальным климатом. Некоторые пустынные территории, особенно при наличии водных источников, также были включены в пределы пригодности местообитания вида. Наиболее значимыми биоклиматическими переменными, которые внесли наибольший вклад в предсказывание пригодности местообитания вида являлись: среднегодовая температура над поверхностью земли, количество осадков в течение самого сухого квартала, максимальная температура самого теплого месяца, а также общее количество осадков за год.

## **Modeling the Range of *Dirofilaria repens* in Russia**

*Prilepsky Y.O., Konyaev S.V.\**

Institute of Systematics and Ecology of Animals Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: s.konyaev@yahoo.com

## **Особенности гельминтофауны бесхвостых земноводных (Anura) Центрального Черноземья**

*Ravkovskaya E.A. \*, Pyatova M.V., Lada G.A.*

Тамбовский государственный университет имени Г.Р. Державина, Тамбов, Россия

\* e-mail: glaucus.lineatus@yandex.ru

Обобщены сведения о гельминтах 5 видов бесхвостых амфибий (Anura), собранных в разных точках Центрального Черноземья в 2006–2019 гг. Суммарно изучено 130 экз. чесночницы Палласа (*Pelobates vespertinus*), 74 экз. зеленой жабы (*Bufo viridis*), 792 экз. озерной (*Pelophylax ridibundus*), 286 экз. прудовой (*P. lessonae*) и 62 экз. съедобной (*P. esculentus*) лягушек. Использованы стандартные показатели: экстенсивность и интенсивность инвазии, индекс обилия. Гельминтофауна амфибий, тесно связанных с водоемами, более разнообразна: у озерной лягушки – 26 видов trematod, 9 видов нематод; у прудовой лягушки – 14 видов trematod, 5 видов нематод; у съедобной лягушки – 12 видов trematod, 3 вида нематод. Гельминтофауна наземных земноводных значительно беднее: у чесночницы Палласа – 3 вида trematod, 3 вида нематод; у зеленой жабы – 1 вид моногеней, 3 вида trematod, 7 форм нематод.

Отмечена отрицательная динамика численности гельминтов в период исследования. У озерной лягушки, как наиболее изученного, фонового вида, достоверно подтверждено снижение численности 7 видов гельминтов, при этом ни один вид не был отмечен во всех локалитетах во все сроки. Отмечено уменьшение показателей как экстенсивности, так и интенсивности инвазии; в отдельных точках гельминтофауна даже у полуводных амфибий сокращается до 3–4 видов. Также за период исследования возрастает число находок микропластика в организме амфибий.

За время исследования отмечены новые виды для отдельных частей Центрального Черноземья: *Polystoma integerrimum*, *Astiotrema monticelli*, *Ascarops strongylina*. В гельминтофуне Anura Центрального Черноземья, в отличие от других регионов, не обнаружены ленточные черви Cestoda и скребни Acanthocephala, исключительно редки моногенеи Monogenea. Единственный вид моногеней – *P. integerrimum* – демонстрирует феномен викариата: он отмечен только у зеленой жабы, в то время как в других регионах его основные хозяева – бурые лягушки.

## **Characteristics of the helminthofauna of anuran amphibians (Anura) of the Central Chernozem region**

*Ravkovskaya E.A. \*, Pyatova M.V.<sup>1</sup>, Lada G.A.*

Federal State budgetary educational institution of higher education «G.R. Derzhavin Tambov State University»,

Tambov, Russia

\* e-mail: glaucus.lineatus@yandex.ru

## **Особенности гельмитофауногенеза в сообществе мышевидных грызунов на заповедных территориях (Воронежский заповедник)**

*Romashov B.B. \*, Romashova N.B.*

Воронежский государственный заповедник, Воронеж, Россия

\* e-mail: bvrom@rambler.ru

Мышевидные грызуны – одна из наиболее многочисленных и трофически важных групп среди позвоночных животных в наземных экосистемах, отличаются высокой плодовитостью и широкой экологической валентностью, что обуславливает их значимость как весомой биотической компоненты. Мышевидные представляют релевантное звено в циркуляции леймологически значимых инфекций и инвазий и являются актуальными модельными объектами при проведении зоологических, экологических и паразитологических исследований, включая заповедные территории.

Цель настоящей работы – оценка влияния отдельных экологических факторов на особенности формирования гельмитофауны в сообществе мышевидных грызунов в Воронежском заповеднике. Гельминты собраны от 4-х фоновых видов мышевидных грызунов: рыжей полевки и 3-х видов мышей: лесной, желтогорлой и полевой с 1987 по настоящее время. Воронежский заповедник занимает территорию крупного островного леса (Усманского бора) в лесостепной зоне европейской России. За период исследований на фоне «выпадения» отдельных видов трематод выявлено обеднение на 5-8% гельмитофауны мышевидных грызунов. По результатам оценки видового богатства гельминтов отмечены небольшие колебания индекса Маргалефа от 1.2 до 1.4, максимальные показатели приходятся на середину периода исследований (2000-2012 гг.). Аналогичный тренд зарегистрирован и в отношении разнообразия гельминтов (индекс Шеннона). Результаты по оценке доминирования (индекс Ковнацкого) указывают на приоритетное доминирование 3-5 видов, преимущественно нематод. Значимые показатели индекса колеблются от 1.4 до 42.2, видами-доминантами является нематоды родов *Heligmosomoides sp.* и *Syphacia sp.*, и в первую очередь это относится к современным материалам. На более ранних этапах исследований в качестве доминантов регистрировали отдельные виды трематод. Результаты исследований показали, что такие климатические градиенты как влажность и температура являются ключевыми факторами в экологии сообществ гельминтов мышевидных грызунов.

### ***Helminth fauna genesis in mouse rodent's community in reserves areas***

**(Voronezh Reserve)**

*Romashov B.\*, Romashova N.*

Voronezhsky State Nature Biosphere Reserve, Voronezh, Russia

\* e-mail: bvrom@rambler.ru

## **Экологические особенности взаимоотношений в сообществе кишечных гельминтов мелких млекопитающих**

*Ромашова Н.Б.\*, Ромашов Б.В.*

Воронежский государственный заповедник, Воронеж, Россия

\* e-mail: bvnrom@rambler.ru

Структура сообществ кишечных паразитов – предмет исследований для различных систематических групп хозяев. Одно из направлений – возникновение межвидовой конкуренции за пищевые ресурсы и пространственную нишу. Нами рассмотрена модель совместного паразитирования двух фоновых видов гельминтов: цестоды *Catenotaenia cricetorum* и нематоды *Heligmosomoides glareoli* в тонкой кишке у рыжих полевок (*Myodes glareolus*). Это виды разных систематически групп, значительно отличающиеся размерами и способом питания. Оценено паразитирование этих видов гельминтов при исследовании 300 особей спонтанно зараженных полевок из природной популяции. Выборка хозяев получена при учете численности в 2000-2020 годах мелких млекопитающих в Воронежском заповеднике. Экологические параметры взаимоотношений гельминтов оценены по показателям встречаемости (ЭИ) и численности (ИИ). Выделены группы хозяев с численностью *C. cricetorum* 0 экз. и 1, 2, ... до 10 экз., определена преимущественная пространственная локализация гельминтов в I, II, III частях тонкой кишки.

Выявлено негативное влияние *C. cricetorum* на *H. glareoli*. Отмечено закономерное снижение встречаемости *H. glareoli* (ЭИ 21.1% → 0.4%) при постепенном нарастании численности *C. cricetorum* (ИИ 1 → 9 экз.), что подтверждено отрицательной параметрической корреляцией ( $r=-0.71$ ,  $p<0.05$ ). При количестве цестод  $\geq 11$  экз. нематоды отсутствуют. Выявлена обратная синхронизация динамики показателей средних величин ИИ ( $p<0.001$ ) при совместном паразитировании. Конкурентные отношения между видами проявляются при пороговом уровне численности *C. cricetorum* в 4 экз. Нематоды локализуются преимущественно (91.2% случаев) в I части тонкой кишки, а цестоды во II части (50%). Перекрывание ниш и проявление конкурентных отношений зарегистрировано в 46.3% случаев преимущественно в I части тонкой кишки.

Таким образом, особенности взаимоотношений в сообществе кишечных гельминтов разных систематических групп у рыжей полевки можно рассматривать как конкурентные.

## **Ecological features of relationships in the community of intestinal helminths of small mammals**

*Romashova N.\*, Romashov B.*

Voronezhsky State Natural Biosphere Reserve, Voronezh, Russia

\* e-mail: bvnrom@rambler.ru

# **СИМБИОНТЫ НАСЕКОМЫХ**

# **Динамика структуры сообщества кишечной микробиоты непарного шелкопряда *Lymantria dispar* под влиянием энтомопатогенного вируса цитоплазматического полиэдроза сибирского шелкопряда DsCPV-1**

*Аржанова Е.Л.\*<sup>1</sup>, Харламова Д.Д.<sup>2</sup>, Колосов А.В.<sup>3</sup>, Субботина А.О.<sup>1</sup>, Павлухин С.В.<sup>1</sup>, Ершов Н.И.<sup>4</sup>, Мартемьянов В.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Научно-технологический университет «Сириус», ФТ Сириус, Россия

<sup>2</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> ГНЦ ВБ "Вектор" Роспотребнадзора, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

\* e-mail: elena.arzhanova@hotmail.com

Микробиота кишечника – динамичное сообщество, изменчивое на разных стадиях жизни насекомых, в зависимости от диеты, внешних условий, включая вирусные инфекции. Кроме участия в пищеварительной функции, микробиота кишечника насекомых участвует в формировании защитных реакций в ответ на бактериальные или вирусные инфекции. Вирус цитоплазматического полиэдроза сибирского шелкопряда DsCPV-1 (Martemyanov et al., 2023, *Microbiol Spectr*) поражает клетки среднего кишечника и может быть использован в качестве метода контроля численности насекомых-вредителей. Поэтому изучение реакции микробиоты одного из основных вредителей лесных насаждений (непарного шелкопряда *Lymantria dispar*) на заражение DsCPV-1 может дать более глубокое понимание о течении вирусных патогенезов в организме альтернативных хозяев и поспособствовать разработке универсального препарата для контроля численности насекомых-вредителей.

В исследовании был изучен состав микробиоты среднего кишечника в норме и после заражения вирусом DsCPV-1 у личинок 2 возраста *Lymantria dispar* при питании на искусственной питательной среде. Личинки были заражены во втором возрасте капельным методом вирусом DsCPV-1 в концентрации  $7,3 \times 10^7$  п/мл. Образцы среднего кишечника были получены до заражения, на 3 и 7 сутки после заражения (смертность 0% и 29% соответственно). Было проведено секвенирование вариабельных участков 16S рРНК. Статистически значимых различий не было обнаружено ни при исследовании филогенетического разнообразия (индекс Фейта) (Kruskal-Wallis  $H=7,5$ ,  $p>0,05$ ), ни при оценке индекса Шеннона (Kruskal-Wallis  $H=4,8$ ,  $p>0,05$ ) вне зависимости от заражения DsCPV-1 и времени. В то же время бета-разнообразие сообществ статистически значимо отличается в группах зараженных на 3 (PERMANOVA  $F=2,7$   $p<0,05$ ) и на 7 (PERMANOVA  $F=2,3$   $p<0,05$ ) сутки после заражения по сравнению с группой до заражения. Таким образом, под влиянием инфекции DsCPV-1 не происходит обеднения микробиоты среднего кишечника, но изменяется состав.

## **The dynamics of the community structure of the gut microbiota of the spongy moth (*Lymantria dispar*) under *Dendrolimus sibiricus* cytoplasmic polyhedrosis virus (DsCPV-1) infection**

*Arzhanova E.\*<sup>1</sup>, Kharlamova D.<sup>2</sup>, Kolosov A.<sup>3</sup>, Subbotina A.<sup>1</sup>, Pavlushin S.<sup>1</sup>, Ershov N.<sup>4</sup>, Martemyanov V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Sirius University of Science and Technology, Sirius, Russia

<sup>2</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> State Research Center of Virology and Biotechnology VECTOR, Novosibirsk, Russia

<sup>4</sup> Institute of Cytology and Genetics, Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: elena.arzhanova@hotmail.com

## **Энтеробактерии усиливают развитие *Bacillus thuringiensis*-инфекции колорадского жука, изменения рН в среднем отделе кишечника личинок**

*Артемченко А.С.\*<sup>1,2</sup>, Клементьева Т.Н.<sup>1</sup>, Глупов В.В.<sup>1</sup>, Поленогова О.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

\* e-mail: anna.artemchenko@bk.ru

Бактерии типа *Pseudomonadota*, в частности семейства Enterobacteriaceae, доминируют в кишечнике личинок колорадского жука *Leptinotarsa decemlineata* Say (Coleoptera: Chrysomelidae). Развитие бактериальных инфекций у колорадского жука, вызванных *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), приводит к увеличению численности определенных видов энтеробактерий родов *Citrobacter*, *Enterobacter*, *Serratia* в кишечнике личинок. В опытах со скармливанием личинкам жуков этих бактерий совместно с *Bt* наблюдалось ускорение развития бактериоза и увеличение гибели насекомых на 16–34% в первые 24 часа по сравнению с инфекцией *Bt* ( $p < 0,05$ ). Мы предположили, что данный эффект может наблюдаться вследствие изменений физико-химических условий в кишечнике личинок, вызванных увеличением количества симбиотических бактерий и накоплением продуктов их метаболизма, сказываясь на активации Сгу-токсинов *Bt*.

В работе было изучено изменение рН при совместном скармливании личинкам колорадского жука кишечных симбиотических бактерий *L. decemlineata* (*C. freundii*, *E. ludwigii*, *S. liquefaciens*), их вторичных метаболитов и *Bt*. Результаты показали, что как симбионты, так и их метаболиты при реинтродукции совместно с *Bt* приводили к увеличению рН среднего отдела кишечника личинок на 0,19–0,8, по сравнению с контролем ( $p < 0,05$ ). Причем, при совместном скармливании метаболитов энтеробактерий и *Bt*, эти изменения сопровождались ( $\times 1,1–3$ ) подавлением антиоксидантной и детоксицирующей систем в среднем отделе кишечника личинок жуков.

Результаты данного исследования свидетельствуют о вкладе симбиотической микробиоты *L. decemlineata* в увеличение рН содержимого кишечника личинок при развитии *Bt*-инфекций, что способствует активации Сгу-токсинов в первые 24 часа развития бактериозов.

## **Enterobacteriaceae enhance the development of *Bacillus thuringiensis* infection of the Colorado potato beetle larvae by alkalization of pH in the midgut**

*Artemchenko A.S.\*<sup>1,2</sup>, Klementeva T.N.<sup>1</sup>, Glupov V.V.<sup>1</sup>, Polenogova O.V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of systematics and ecology of animals, Siberian branch of Russian academy of sciences, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk state university, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: anna.artemchenko@bk.ru

## **Некоторые особенности ухода черемухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi* (L.) от неблагоприятных условий**

*Верещагина А.Б.\* Гандрабур Е.С., Клименко Н.С., Еремеев Ф.К.*

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

\* e-mail: aphidabver@gmail.com

Глубокая метаболическая связь тлей с растениями в процессе эволюции сопровождалась у многих видов сезонной миграцией с отцветающих древесных хозяев на бурно растущие травянистые и переносом регуляции отношений со средой на хозяина. Целью работы было изучение особенностей поведения бегства или выбора скрытых мест питания бескрылых особей черемухово-злаковой тли в пределах растения. Весной тли питаются на черемухе, а летом на культивируемых и дикорастущих злаках. На черемухе тли предпочитают не перемещаться далее побега, предпочитая места притока ассимилятов на листовых пластинках, иногда на цветах, стебле. При нарастании численности тлей листья сворачиваются, образуя укрытия для насекомых в местах питания. Когда цветение на первичном хозяине завершается, свернутые листовые пластинки усыхают, все особи в колониях тлей окрываются, перемещаясь на летних хозяев. Окрыление (онтогенетический полиморфизм/полифенизм) – это единственный способ покинуть хозяина на 1-3 суток. В результате полевых исследований и модельных опытов были выявлены особенности топического распределения тлей на травах, на которые не обращали внимания при учетах численности вредителя, в частности, уход от неблагоприятных условий в узел кущения ниже поверхности почвы. В полевых условиях скрытая численность тлей в узле кущения при питании на пшенице с. Ленинградская 6 в условиях жаркого лета 2024 г. составляла до 18.7% от общего количества, в модельных опытах на этом же хозяине до 8.0%, на различных восьми видах трав – до 25.8% (райграс многоцветковый с. Tarquin, райграс пастищный с. Scherlock, овсяница луговая с. Сахаровская). Показано, что беспокойство тлей кисточкой (имитация посещения энтомофагов и высокой плотности колоний) почти вдвое усиливало их уход под землю. Выявлено, что травмирование крыльев у тлей вызвало усиление окрыления потомства. Указанные особенности поведения тлей следует учитывать при оценки их численности.

*Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 24-76-10009.*

## **Some features of avoidance of unfavourable conditions in the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* (L.)**

*Vereshchagina A.B.\* Gandruber E.S., Klimentko N.S., Eremeev F.K.*

FSBSI All-Russian Institute of Plant Protection, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

\* e-mail: aphidabver@gmail.com

# **Характеристика гостальной специфичности и структуры популяций черемухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi* (L.) из различных географических зон**

*Гандрабур Е.С.\*<sup>1</sup>, Клименко Н.С.<sup>1</sup>, Алпатьева Н.В.<sup>2</sup>, Верещагина А.Б.<sup>1</sup>, Еремеев Ф.К.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин, Россия

<sup>2</sup> ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова,  
Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: helenagandrabur@gmail.com

Сосущий тип питания и жизненные циклы тлей, тесно связанные с метаболизмом и циклами развития хозяев, характеризуют их как эктопаразитов, среди которых много вредителей. Вредоносность черемухово-злаковой тли *Rhopalosiphum padi* (L.) определяется в основном быстрым размножением и расселением в результате партеногенеза и полиморфизма. На севере ареала вид живет двудомно, мигрируя с черемухи на различные злаки, на юге – только на злаках. Отсутствие спаривания у южных клонов, способствует изменениям в пищевых предпочтениях, структуре популяций и вредоносности тли, требующим изучения. Нами проведено изучение роли флористического разнообразия в поддержании численности *R. padi* с полным (северо-западная популяция) и сокращенным (краснодарская популяция) жизненным циклом. Статистический анализ результатов показал, что на численность тли обеих популяций влияют кормовое растение ( $F=64.4>F_{0.05}=2.5$ ) и географическое происхождение клонов ( $F=4.4>F_{0.05}=4.0$ ); на окрыление – кормовое растение ( $F=4.8>F_{0.05}=2.5$ ). Среди изученных 14 видов злаковых трав наименее благоприятным хозяином для обеих популяций тли оказалось *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv., наиболее благоприятным – *Poa trivialis* L. Краснодарские клоны, размножались существенно быстрее на *Setaria viridis* (L.) Beauv. и *Cynodon dactylon* (L.), более характерных для южных широт. Выявлено, что жизненные циклы у клонов в обеих популяциях тлей имеют гетерогенный характер: из 32 северо-западных клонов 2 оказались способными оставаться партеногенетическими наряду с обоеполым размножением, в одном из трех краснодарских клонов обнаружены самцы. С использованием ДНК северо-западных (5) и южных (3) клонов нами проведена апробация 10-ти SSR-маркеров (R1.35, R5.10, R2.73, R5.29b, R6.3, R3.171, R5.138, R5.50, S16b, S17b; Wilson et al., 1999; Simon et al., 2001). Из них для работы были отобраны 7 (R2.73, R5.29b, R6.3, R3.171, R5.138, S16b, S17b), дающих четкий стабильный результат.

*Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 24-76-10009.*

## **Characteristics of host specificity and population structure of the bird cherry-oat aphid *Rhopalosiphum padi* (L.) from different geographical zones**

*Gandrabur E.S.\*<sup>1</sup>, Klimenko N.S.<sup>1</sup>, Alpatyeva N.V.<sup>2</sup>, Vereshchagina A.B.<sup>1</sup>, Eremeev F.K.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Institute of Plant Protection, Saint-Petersburg, Pushkin, Russia

<sup>2</sup> FRC N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: helenagandrabur@gmail.com

## **Целевая липидомика личинок колорадского жука при микозе, вызванном *Metarhizium robertsii***

*Ганина М.Д.\*<sup>1</sup>, Крюков В.Ю.<sup>1</sup>, Тюрин М.В.<sup>1</sup>, Морозов С.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский институт органической химии им. Н.Н. Ворожцова СО РАН, Новосибирск, Россия

\* e-mail: tosya2021@yandex.ru

Известно, что углеводороды, а также жирные кислоты усваиваются энтомопатогенными грибами и могут стимулировать их рост и вирулентность. Однако изменения липидного состава насекомых при микозах *in vivo* недостаточно ясны. Методом хромато-масс-спектрометрии проведена идентификация липидных компонентов и проанализировано изменение их содержания в целом теле личинок и в экзувиях колорадского жука при колонизации грибом *Metarhizium robertsii*. Основными липидными компонентами в личинках были предельные метилразветвленные углеводороды C28-C33, стеролы и свободные и связанные жирные кислоты C12-C20. Содержание большинства углеводородов значительно сокращалось как в целом теле, так и в экзувиях после колонизации *M. robertsii*. Содержание стеролов в целом теле увеличивалось после колонизации грибом, при этом наиболее резко повышалось содержание холестанола. Общее содержание свободных жирных кислот сокращалось у колонизированных грибом личинок по сравнению с контролем, при этом наибольшее сокращение наблюдалось для полиненасыщенных кислот. Среди связанных кислот содержание C18:2 и C18:1 увеличивалось в 2 раза, а количество кислот C16:3 и C18:3 сокращалось.

В экстрактах конидий идентифицированы только жирные кислоты и стеролы, углеводороды отсутствовали. Содержание стеролов увеличивалось, а содержание связанных кислот снижалось в конидиях, выращенных на личинках, по сравнению с конидиями, выращенными на питательной среде. Добавление в питательную среду экстракта кутикулярных липидов повышало вирулентность конидий по отношению к колорадскому жуку.

Таким образом, нами впервые показана утилизация углеводородов колорадского жука грибом *M. robertsii*. Увеличение содержания стеролов может быть связано с их накоплением в гифах и конидиях при развитии в жуке, а также с изменениями липидного обмена хозяина и пролиферацией энтеробактерий при микозе. Снижение содержания полиненасыщенных жирных кислот вероятно связано с окислительным стрессом.

## **Target lipidomics of colorado potato beetle larvae at mycosis caused by *Metarhizium robertsii***

*Ganina M.D.\*<sup>1</sup>, Kryukov V.Y.<sup>1</sup>, Tyurin M.V.<sup>1</sup>, Morozov S.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of systematics and ecology of animals, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> N. N. Votozhtsov Novosibirsk institute of organic chemistry, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: tosya2021@yandex.ru

# **Двойная запись эволюции: роль *Wolbachia* в формировании мито-ядерного несоответствия у широкоярчальных насекомых в Палеарктике**

*Dzhelali P.A.\*<sup>1,2</sup>, Namyatova A.A.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> ВИЗР, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: p.dzhelali@gmail.com

*Wolbachia* (Rickettsiales: Anaplasmataceae) – один из основных факторов мито-ядерных несоответствий, осложняющих филогенетические, филогеографические и таксономические исследования членистоногих и нематод. Инфицируя до 40% видов наземных Arthropoda, эндосимбионт манипулирует репродукцией, вызывая цитоплазматическую несовместимость и партеногенез, опосредует горизонтальный перенос генов и влияет на метаболизм хозяина. Данные процессы могут способствовать снижению митохондриального разнообразия и широкому распространению отдельных гаплотипов, что имитирует видообразование или скрывает генетические различия. Во многих исследованиях было показано, что филогенетические деревья, построенные на основе mtДНК, не соответствуют ядерным данным именно из-за присутствия *Wolbachia*.

С другой стороны, наличие этого эндосимбионта не всегда является причиной мито-ядерного несоответствия. Несмотря на распространённость *Wolbachia*, опубликованные работы сфокусированы на насекомых в локальных или тропических популяциях, а роль симбионта в формировании генетической структуры у палеарктических широкоярчальных видов плохо изучена. Однако именно в таких видах из-за их огромных ареалов и значительной внутривидовой изменчивости возможно наличие изолированных генетических линий и криптических видов. Для филогеографических исследований и изучения границ видов, чаще всего используется митохондриальный баркодинговый регион COI, и для таких случаев необходимо тестировать влияние *Wolbachia* на филогенетические реконструкции и гаплотипические сети. Для широкоярчальных клопов-слепняков (Miridae) нами отмечены конфликты между митохондриальными маркерами и морфологическими данными. Цель исследования – проверка гипотезы о вкладе *Wolbachia* в изучение границ видов транспалеарктических родов *Agnocoris* и *Lygus*. Для детекции мы использовали сравнение морфологических, митохондриальных и ядерных данных, а также два ПЦР-теста, нацеленных на ген 16S rPHK *Wolbachia* и ген поверхностного белка *Wolbachia* (wsp).

## **Double-track evolution: The role of *Wolbachia* in shaping mito-nuclear discordance in widely distributed insects across the Palearctic**

*Dzhelali P.A.\*<sup>1,2</sup>, Namyatova A.A.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> ZIN RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Institute of Plant Protection (FSBSI VIZR), Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: p.dzhelali@gmail.com

## **Инфицирование личинок колорадского жука неспецифическими микроспоридиями *Nosema bombycis*, *Tubulinosema loxostegi* и *Paranosema locustae*.**

*Игнатьева А.Н.\*, Биницкая Н.В., Румянцева А.С., Конончук А.Г.*

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: edino4estvo@mail.ru

Сведения о способности микроспоридий инфицировать колорадского жука ограничены. Тем не менее данные микроорганизмы способны регулировать его численность и потенциально могут быть использованы для биологического контроля вредителя. В рамках данного исследования мы использовали неспецифических для колорадского жука микроспоридий - *Nosema bombycis* из шелковичного червя, *Paranosema locustae* из перелётной саранчи и *Tubulinosema loxostegi* из лугового мотылька (споры паразита размножены в гусеницах сибирского шелкопряда). Проведена серия биотестов на личинках второго возраста, включающих пероральное заражение с последующим учётом выживаемости и веса насекомых, а также светооптическую и молекулярно-генетическую диагностику микроспоридий в тканях тест объектов. Полученные результаты указывают на способность *T.loxostegi* инфицировать личинок колорадского жука, существенно снижать его выживаемость и заселять внутренние ткани, что подтверждается как световой микроскопией, так и ПЦР.

*Работа поддержанна проектом РНФ № 24-26-00277.*

## **Infection of Colorado potato beetle larvae with non-specific microsporidia *Nosema bombycis*, *Tubulinosema loxostegi* and *Paranosema locustae***

*Ignat'eva A.N.\*, Binit'skaya N.V., Rumyantseva A.S., Kononchuk A.G.*

All-Russian Research Institute of Plant Protection, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: edino4estvo@mail.ru

## **Изменение активности протеолитических ферментов кишечника как один из механизмов адаптации *G. mellonella* к антибиотику**

**Клементьева Т.Н.\*<sup>1</sup>, Крюкова Н.А.<sup>1</sup>, Корниенко Д.С.<sup>1,2</sup>, Глупов В.В.<sup>1</sup>, Поленогова О.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный медицинский университет, Новосибирск, Россия

\* e-mail: red.klen@yandex.ru

Длительное воздействие даже низких концентраций антибиотиков создает риск развития множественной лекарственной устойчивости микроорганизмов, в том числе кишечной микробиоты. Это несёт риски изменения физиологических показателей у насекомых, что может сказываться на их популяционной динамике. Результаты проведенного исследования на модельной линии *Galleria mellonella* показали кардинальные изменения структуры микробиоты личинок на уровне рода симбиотических бактерий и активности протеолитических ферментов личинок вошницы огневки в 18 поколении, что было сопряжено с потерей чувствительности насекомых к энтомопатогенным бактериям *Bacillus thuringiensis* (*Bt*). Мы предположили, что развитие резистентности *G. mellonella* может быть связано как с антагонистическим действием симбионтов, так и с изменением профиля протеолитических ферментов, необходимых для активации Сгу-токсинов *Bt*. Выделенные из кишечников личинок модельной линии симбиотические бактерии *Enterococcus mundtii* или *E. inessii* увеличивали выживаемость личинок нативной линии при их совместном скармливании с *Bt* минимум в 2 раза. Результаты электрофореграммы (SDS-PAGE) гомогенатов кишечника личинок модельной линии выявили отсутствие или снижение количества протеолитического фермента массой ~30 кДа (соответствующей сериновым протеазам) по сравнению с контролем. И хотя спектрофотометрический анализ не выявил статистически достоверных отличий в активности протеолитических ферментов между линиями, заражение личинок *Bt* привело к значительному снижению ( $\times 2,9$ ) активности протеаз в модельной линии. Использование специфичных ингибиторов протеаз показало значительную роль сериновых протеаз в формировании устойчивости к *Bt*. Данные результаты подтверждают значительную роль симбиотических бактерий в формировании устойчивости насекомых к патогенам, что свидетельствует о многогранности адаптационной стратегии насекомых к изменяющимся условиям окружающей среды.

## **Alteration in the activity of gut proteolytic enzymes as an indicator of *Galleria mellonella* adaptation to an antibiotic**

**Klementeva T.N.\*<sup>1</sup>, Kryukova N.A.<sup>1</sup>, Kornienko D.S.<sup>1,2</sup>, Glupov V.V.<sup>1</sup>, Polenogova O.V.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: red.klen@yandex.ru

## **Восприимчивость тутовой огневки *Glyphodes pyloalis* (Lepidoptera: Pyralidae) к микроспоридиям рода *Nosema***

*Конончук А.Г.\*<sup>1</sup>, Малыш С.М.<sup>1</sup>, Нуржонов Ф.А.<sup>2</sup>, Токарев Ю.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт защиты и карантина растений, Ташкент, Узбекистан

\* e-mail: Kononchuk26@yandex.ru

Тутовая огневка *Glyphodes pyloalis*, Walker весьма широко распространена в Юго-Восточной Азии, также встречается в Северной Америке и отмечена в Азербайджане, Грузии и России. В 2023 году гусеницы вредителя были собраны в Узбекистане с целью наладить лабораторное содержание. Культивирование *G. pyloalis* осуществлялось в лаборатории ВИЗР, в климатической камере. Питание личинок осуществлялось живым кормом, свежими листьями шелковицы, выращенной в оранжерее.

Поскольку микроспоридии способны снижать численность чешуекрылых вредителей, в рамках данного исследования проведена оценка восприимчивости *G. pyloalis* к заражению микроспоридиями рода *Nosema*.

Для проведения биотестов на патогенность в отношении тутовой огневки мы отобрали нескольких видов микроспоридий рода *Nosema*: *N. bombycis*, *N. polyvora*, *Nosema* sp. NspHA, *N. tyriae* и *N. pyrausta*.

Для заражения применялись дозировки  $10^4$ ,  $10^5$  и  $10^6$  спор на одну гусеницу второго возраста. Наблюдения за инфицированными особями проводились на протяжении 40 суток. Максимальная патогенность была выявлена у *N. bombycis* и NspHA в концентрации  $10^6$  спор/гус. В данных вариантах опыта уже менее чем через 10 дней уровень инфицирования достигал 100%.

Микроспоридии *N. polyvora* и *N. tyriae*, *N. pyrausta* в той же дозировке проявили меньшую вирулентность в отношении гусениц *Glyphodes pyloalis*, однако степень зараженности насекомых при анализе погибших особей составила 100%. Статистически достоверные различия смертности между *N. bombycis* и NspHA наблюдались только в дозировке  $10^4$  спор/гус. В варианте с NspHA смертность при дозировке  $10^6$  и  $10^5$  статистически значимо отличалась от  $10^4$  спор/гус.

Результаты исследования свидетельствуют о высокой эффективности микроспоридий *N. bombycis* и NspHA в отношении снижения численности тутовой огневки, что позволяет рассматривать их в качестве перспективного объекта для биологической защиты растений.

*Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 23-16-00262.*

## **Susceptibility of the lesser mulberry pyralid *Glyphodes pyloalis* (Lepidoptera: pyralidae) to microsporidia of the genus *Nosema***

*Kononchuk A.G.\*<sup>1</sup>, Malysh S.M.<sup>1</sup>, Tokarev Y.S.<sup>1</sup>, Nurjonov F.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian institute of plant protection, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Scientific research institute of plant Quarantine and Protection, Tashkent, Uzbekistan

\* e-mail: Kononchuk26@yandex.ru

## **Сходство и различия пяти видов микроспоридий рода *Nosema* из чешуекрылых насекомых**

*Малыш С.М.\*<sup>1</sup>, Симакова А.В.<sup>2</sup>, Соколова Ю.Я.<sup>3</sup>, Сендерский И.В.<sup>1</sup>,  
Киреева Д.С.<sup>1</sup>, Токарев Ю.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Томский государственный университет, Томск, Россия

<sup>3</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: malyshsvetlana@gmail.com

Микроспоридии – это облигатные внутриклеточные паразитические протисты. Для чешуекрылых насекомых эта группа патогенов выступает в качестве естественных регуляторов численности, способствует предотвращению вспышек массового размножения сельскохозяйственных вредителей.

Для понимания функционирования систем «паразит-хозяин», улучшения прогнозирования динамики популяций вредителей, поиска перспективных изолятов для создания биопрепаратов и разработки технологий их массового производства был проведен сравнительный анализ пяти микроспоридий рода *Nosema*: *N. bombycis*, *Nosema* sp. NspHA из хлопковой совки, *N. tyriae*, *N. pyrausta* и *N. polyvora*.

Пять изученных микроспоридий имеют разный размер спор, что позволяет использовать морфометрический анализ для рутинной диагностики. При этом размер спор сохраняется для каждого отдельно взятого вида вне зависимости от того, в каком виде насекомых размножается паразит. На примере американской белой бабочки *Hyphantria cunea* показано, что все пять микроспоридий вызывают высокую смертность (от 70-ти до 100%) в различных дозах заражения, однако спорообразование в вариантах *N. pyrausta* не было выявлено. При этом заражение *N. pyrausta* вызывало каннибализм гусениц, хотя это совершенно не свойственно для данного вида насекомого.

Интенсивность спорообразования у изучаемых микроспоридий различается и зависит от вида насекомого-хозяина. Молекулярно-генетический анализ показал, что *N. bombycis* и *Nosema* sp. NspHA имеют 100% сходство между собой по фрагменту малой субъединицы рРНК, но отличаются от остальных. Различия между этими двумя микроспоридиями проявляются в размерных характеристиках спор, строении внешней оболочки споры на ультраструктурном уровне. Ранее нами также установлены различия в способности заражать тутового шелкопряда и в нуклеотидных последовательностях белок-кодирующих генов, что позволяет предполагать необходимость отнесения изолята из хлопковой совки к отдельному виду.

*Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 23-16-00262.*

## **Similarities and differences of five microsporidia of the genus *Nosema* from lepidopteran insects**

*Malysh S.\*<sup>1</sup>, Simakova A.<sup>2</sup>, Sokolova Y.<sup>3</sup>, Sendersky I.<sup>1</sup>, Kireeva D.<sup>1</sup>, Tokarev Y.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian institute of plant protection (FSBSI VIZR), St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Tomsk State University, Tomsk, Russia

<sup>3</sup> Institute of Cytology RAS, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: malyshsvetlana@gmail.com

## **Инфекции колорадского жука во время зимовки в природных условиях**

*Носков Ю.А.\*<sup>1,2</sup>, Ярославцева О.Н.<sup>1</sup>, Косман Е.С.<sup>1</sup>, Крюкова Н.А.<sup>1</sup>, Дайтхе Е.А.<sup>1</sup>,  
Морозова В.В.<sup>3</sup>, Поленогова О.В.<sup>1</sup>, Воронцова Я.Л.<sup>1</sup>, Слепнева И.А.<sup>4</sup>, Крюков В.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, РФ

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Пушкин, РФ

<sup>3</sup> Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск, РФ

<sup>4</sup> Институт химической кинетики и горения им В.В. Воеводского СО РАН, Новосибирск, РФ

\* e-mail: yunoskov@gmail.com

Зимовка – критичный этап жизненного цикла колорадского жука (КЖ) в условиях умеренного климата. Однако его выживаемость, болезни и динамика активности защитных систем в этот период до сих пор изучены слабо. В 2021–2024 гг. проведены полевые исследования зимовки КЖ в лесостепной зоне юга Новосибирской области.

В 2021–2022 гг. при достаточном уровне снежного покрова и умеренном промерзании почвы (до  $-8^{\circ}\text{C}$ ) выживаемость составила 61 %. Большинство погибших особей имели признаки бактериозов и микозов. В 2022–2023 гг., из-за длительного отсутствия снежного покрова и промерзания почвы до  $-15^{\circ}\text{C}$ , погибло 100 % зимующих жуков, в том числе в природной популяции. В 2023–2024 гг. при благоприятных условиях (до  $-4,2^{\circ}\text{C}$ ) выживаемость достигала 79 % в мае, но к июню снижалась до 50 %. Около 47 % трупов имели признаки бактериального разложения, 33 % – микозов.

Из трупов жуков с признаками микозов выделенные энтомопатогенные грибы относятся, преимущественно, к роду *Beauveria*. Из жуков с признаками бактериозов выделены бактерии в основном из родов *Serratia* и *Pseudomonas*, ранее отмеченные как симбионты кишечника. Метабаркодинг выявил доминирование *Pseudomonas*, *Rhodococcus* и *Sphingomonas* на разных этапах зимовки.

Экспрессия генов иммуносигнальных путей Toll, IMD и Jak-STAT, а также ингибиторов металлопротеиназ снижалась в спячке, возрастила при прогреве почвы до  $+10\text{--}14^{\circ}\text{C}$  и вновь снижалась после начала питания. Активность эстераз, супероксиддисмутазы и продукции активных форм кислорода также снижалась зимой и повышалась весной.

Таким образом, успешность зимовки КЖ определяется комплексом факторов, наиболее важные из которых: климатические условия, наличие патогенов и активность защитных систем организма. При экстремально холодных и малоснежных зимах ведущим фактором является промерзание почвы, тогда как при мягких условиях возрастает роль бактериальных и грибных инфекций.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-14-00309.*

## **Colorado potato beetle infections during natural overwintering**

*Noskov Y.A.\*<sup>1,2</sup>, Yaroslavtseva O.N.<sup>1</sup>, Kosman E.S.<sup>1</sup>, Kryukova N.A.<sup>1</sup>, Daitkhe E.A.<sup>1</sup>, Morozova V.V.<sup>3</sup>, Polenogova O.V.<sup>1</sup>, Vorontsova Y.L.<sup>1</sup>, Slepneva I.A.<sup>4</sup>, Kryukov V.Y.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals SB RAS, Novosibirsk, RF

<sup>2</sup> All-Russian Institute of Plant Protection, Saint-Petersburg, Pushkin, RF

<sup>3</sup> Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine SB RAS, Novosibirsk, RF

<sup>4</sup> Voevodsky Institute of Chemical Kinetics and Combustion SB RAS, Novosibirsk, RF

\* e-mail: yunoskov@gmail.com

## **Изучение восприимчивости рыжего муравья *Myrmica rubra* к микроспоридиям**

*Румянцева А.С.\*, Игнатьева А.Н., Конончук А.Г.*

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: rumiantseva.arina@yandex.ru

Рыжий муравей *Myrmica rubra* - агрессивный вид, широко распространённый на как территории России, так и за её пределами. Несмотря на их важную роль в регуляции численности насекомых-вредителей и почвообразовании, этот вид доставляет неудобства человеку, образуя гнезда в садах и разводя тлю на культурных растениях. Микроспоридии – облигатные внутриклеточные паразиты, способные представлять особую угрозу муравьиным колониям, вызывая патологические изменения насекомых, снижая активность и продолжительность жизни популяции (Allen & Buren, 1974; Jouvenaz & Hazard, 1978; LeBrun et al., 2022). Хотя случаи заражения муравьёв этими патогенами в России не зарегистрированы, в США уже идентифицировано несколько видов этих энтомопатогенов, а также проведена их оценка в качестве агентов биологической борьбы (Oi et al., 2009).

Целью настоящего исследования является оценка восприимчивости лесных муравьёв *Myrmica rubra* к трём видам микроспоридий выделенных из прямокрылых (*Paranosema locustae*) и чешуекрылых (*Nosema bombycis* и *Tubulinosema loxostegi*) насекомых.

Пероральное заражение рыжих муравьёв проводилось двумя способами: через скармливание предварительно зараженных личинок *O. nubilalis* и через окрашенный сахарный сироп с суспензией спор. Каждая экспериментальная группа включала 20 молодых рабочих особей, 1 матку и небольшое количество личинок и яиц. Патологических и поведенческих изменений у особей в экспериментальных вариантах обнаружено не было. При светлопольной микроскопии образцов также не было выявлено зрелых спор микроспоридий или иных стадий развития патогена. Однако, смертность в группе, зараженной *P. locustae*, достигла 40% на 15-е сутки при её отсутствии в контроле, а также последующий молекулярный анализ образцов обнаружил фрагменты, соответствующие размеру гена 16S рРНК микроспоридий. Анализ первичных результатов позволяет предположить восприимчивость рыжих муравьёв к *P. locustae*.

*Исследование выполнено при поддержке РНФ, проект № 24-26-00277.*

## **The susceptibility of the red ant *Myrmica rubra* to microsporidia**

*Rumiantseva A.\*, Ignatieva A., Kononchuk A.*

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: rumiantseva.arina@yandex.ru

## **Адаптация *Drosophila melanogaster* к стрессовым условиям: вклад микробиоты**

*Савченкова О.В., Яковлева Е.Ю.\**

Институт биологии развития имени Н. К. Кольцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: e.u.yakovleva@gmail.com

В работе исследована роль микробиоты в адаптации плодовой мухи *Drosophila melanogaster* к стрессовому крахмальному корму. Пищевой стресс существенно влияет на жизненный цикл насекомых, а понимание механизмов адаптации к таким условиям важно как для эволюционной биологии, так и для экологии. Хологеномная теория эволюции предполагает, что адаптация организмов происходит не только через изменения в геноме, но и за счет перестройки микробиоты, составляющей совместный холобионт.

Цель исследования — оценить вклад микробиоты в адаптацию *D. melanogaster* к крахмальному корму. Проведены эволюционные эксперименты с линиями мух, адаптированных к различным кормам, исследована динамика развития и эффективность размножения, а также выполнен анализ состава микробиоты мух методом ДНК-профилирования.

Результаты показали, что адаптированная к крахмалу линия демонстрирует более синхронное и ускоренное окукливание и вылет имаго, что свидетельствует о более эффективном использовании стрессового корма. При добавлении антибиотиков в корм развитие замедляется и плодовитость снижается, что подтверждает вклад микробиоты в адаптацию мух к крахмальному корму. Секвенирование выявило у мух, адаптированных к крахмальному корму, увеличение доли амилолитических молочнокислых бактерий (*Lactiplantibacillus*, *Levilactobacillus*, *Leuconostoc*), способствующих расщеплению крахмала и, значит, лучшему усвоению стрессового корма, обедненного простыми сахарами. В контрольной линии микробиота представлена иными родами. Таким образом, адаптация макроорганизма к стрессовым условиям может быть обеспечена перестройкой микробиоты в пользу специализированных сообществ, что согласуется с хологеномной теорией эволюции, в соответствии с которой холобионт выступает единицей естественного отбора. Т. е. ассоциированная микробиота может обеспечивать устойчивость организма хозяина к стрессу и выступать одним из факторов его адаптивной гибкости.

*Выполнено в рамках раздела Государственного задания ИБР РАН 2025 года № 0088-2024-0017.*

## **Adaptation of *Drosophila melanogaster* to stressful conditions: microbiota contribution**

*Savchenkova O.V., Yakovleva E.Y.\**

Koltzov Institute of Developmental Biology of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: e.u.yakovleva@gmail.com

## **Сравнительная оценка способности циповируса DsCPV-1 к полиэдрообразованию у основного и альтернативных хозяев**

*Субботина А.О.\*<sup>1</sup>, Аханаев Ю.Б.<sup>1</sup>, Колосов А.В.<sup>3</sup>, Кондрашов Б.С.<sup>2</sup>, Мельникова С.С.<sup>2</sup>,  
Белоусова И.А.<sup>1</sup>, Аржанова Е.Л.<sup>1</sup>, Мартемьянов В.В.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Научно-технологический университет «Сириус», федеральная территория «Сириус», Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Государственный научный центр вирусологии и биотехнологии „Вектор“,

рабочий поселок Кольцово, Россия

\* e-mail: subbotinaanya11@gmail.com

Циповирусы (Cypovirus, семейство Spinareoviridae) — РНК-содержащие энтомопатогенные вирусы, образующие полиэдры — белковые тела включения, обеспечивающие защиту вируса и передачу инфекции. *Dendrolimus sibiricus* cypovirus-1 (DsCPV-1), впервые выделенный из сибирского шелкопряда (*Dendrolimus sibiricus* Tschetv.), демонстрирует высокий потенциал в качестве агента биологической защиты против ряда видов чешуекрылых, включая лесных и сельскохозяйственных вредителей.

Разработка DsCPV-1 в качестве биоинсектицида требует эффективной системы массового культивирования. Использование альтернативного хозяина - табачного бражника (*Manduca sexta* L.) для *in vivo* культивирования DsCPV-1 имеет ряд преимуществ в сравнении с использованием исходного хозяина - *D. sibiricus*. Однако уровень смертности у целевых видов чешуекрылых под воздействием DsCPV-1, пассированного через *M. sexta* (DsCPV-1-Ms) до сих пор не был охарактеризован ни в одном исследовании. Кроме того, предыдущие работы показали, что при пассировании через *M. sexta* DsCPV-1 проявляет атипичный патогенез — снижение продукции полиэдров на терминальной стадии инфекции, в результате чего DsCPV-1-Ms содержит меньшее количество полиэдров по сравнению с исходным изолятом, полученным от *D. sibiricus*. Хотя снижение количества полиэдров в DsCPV-1-Ms потенциально может быть компенсировано их образованием в инфицированных личинках при последующих циклах репликации, способность целевых видов насекомых синтезировать полиэдры после заражения таким пассированным вирусом до сих пор не изучалась.

В данной работе для оценки потенциальной эффективности биоинсектицида на основе DsCPV-1, пассированного через альтернативного хозяина *M. sexta*, были проведена сравнительная оценка вирулентности и способности к полиэдрообразованию у двух экономически значимых видов лесных вредителей: исходного (*D. sibiricus*) и альтернативного (*Lymantria dispar* L.) хозяев DsCPV-1.

*Результаты получены при финансовой поддержке исследования, реализуемого в рамках государственной программы федеральной территории «Сириус» «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус» (Соглашение №24-03 от 27.09.2024).*

## **Comparative Assessment of the Ability of the Cypovirus DsCPV-1 to Form Polyhedra in Primary and Alternative Hosts**

*Subbotina A.\*<sup>1</sup>, Akhanaev Y.<sup>1</sup>, Kolosov A.<sup>3</sup>, Kondrashov B.<sup>2</sup>, Melnikova S.<sup>2</sup>, Belousova I.<sup>1</sup>,  
Arzhanova E.<sup>1</sup>, Martemyanov V.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Sirius University of Science and Technology, Sirius Federal Territory, Russia

<sup>2</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> State Research Center of Virology and Biotechnology VECTOR, Koltsovo, Russia

\* e-mail: subbotinaanya11@gmail.com

# **Новые подходы для тестирования молекул, имеющих потенциал в создании рекомбинантных вирусов насекомых с повышенной вирулентностью**

*Тимофеев С.А.\*, Шухалова А.Г., Сендерский И.В., Долгих В.В.*

Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,  
Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: ts-bio@ya.ru

Для биологической защиты растений перспективно использовать естественных патогенов насекомых вредителей, включая вирусы. Для чешуекрылых вредителей обычно применяют вирусы семейства Baculoviridae, известные также как бакуловирусы. Главным недостатком этого подхода остается относительно невысокая скорость действия. Создание рекомбинантных штаммов вирусов, несущих чужеродные гены, таких как специфичные для насекомых токсины – один из эффективных подходов для решения этой проблемы. На сегодняшний день уже созданы десятки штаммов рекомбинантных бакуловирусов с повышенной вирулентностью относительно дикого типа. Однако для их модификации были использованы лишь несколько вариантов токсинов. Во многом это обусловлено трудоемкостью внедрения целевой последовательности в геном вируса. Поэтому для создания новых штаммов логично использовать уже «проверенные временем» токсины, хорошо показавшие себя ранее, а не многочисленные вновь открытые молекулы.

Помимо защиты растений, бакуловирусы широко применяются для синтеза рекомбинантных белков. В этой сфере уже дано были созданы системы для упрощенного внедрения целевых последовательностей. Однако эти штаммы уже невозможно использовать как биопестициды из-за отсутствия у них стадии перорального заражения насекомых. В данной работе мы предлагаем комплекс подходов, которые позволят использовать доступные коммерческие системы для тестирования широкого спектра новых молекул, перспективных для создания новых вирусных биопестицидов. Анализируя особенности синтеза целевых белков в клеточных культурах и используя продуцируемые в них вирусные частицы для инъекционного заражения модельных насекомых, возможно быстро и эффективно проводить скрининг новых молекул, отбирая из них те, что будут повышать вирулентность модельного штамма наиболее эффективно. В будущем отобранные таким образом молекулы уже можно будет использовать для создания вирусных биопестицидов.

*Работа поддержанна грантами РНФ № 23-26-00039, № 25-26-00236 и госзаданием № 0483-2019-0001.*

## **New approaches for testing molecules with potential to create recombinant insect viruses with enhanced virulence**

*Timofeev S.A.\*, Shukhalova A.G., Senderskiy I.V., Dolgikh V.V.*

All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: ts-bio@ya.ru

## **Вольбахия и её роль в биологии и эволюции бабочек-желтушек рода *Colias* (Lepidoptera, Pieridae)**

*Шаповал Г.Н.\*<sup>1,2</sup>, Шаповал Н.А.<sup>1</sup>, Яковлев Р.В.<sup>2</sup>, Крупitsкий А.В.<sup>3,4</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>4</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: galinakuftina@mail.ru

Вольбахия – одна из самых широко распространенных эндосимбиотических бактерий на Земле. Она встречается у широкого круга беспозвоночных животных и способна оказывать чрезвычайно разнообразное влияние на физиологию, размножение и биологию хозяина, индуцируя такие явления, как цитоплазматическая несовместимость, феминизация, андроцид и партеногенез, что способствует её распространению в популяциях. Заражение вольбахией может иметь важные следствия и для таксономических исследований. Так, присутствие вольбахии может привести к серьёзным искажениям филогенетических реконструкций, особенно если они основаны исключительно на последовательностях митохондриальных генов: молекулярные филогенетии в таких случаях зачастую отражают ко-эволюцию хозяина и бактерии, а не реальные филогенетические отношения исследуемых таксонов насекомых.

В ходе комплексного анализа чешуекрылых Палеарктики у бабочек-желтушек (род *Colias*) нами обнаружены случаи противоречия молекулярных данных традиционной систематике группы следующего характера: (1) виды, хорошо диагностируемые морфологически, по митохондриальным маркерам могут распадаться на несколько филогенетически далеких линий; (2) и наоборот, у морфологически далеких видов обнаруживаются идентичные митохондриальные гаплотипы. Мы установили, что случаи несоответствия молекулярных и морфологических данных связаны с заражением вольбахией, которое имеет дифференциальный характер как на генетическом, так и на половом уровне. Мы также обнаружили, что особи морфологически далеких видов, имеющие идентичные гаплотипы, всегда инфицированы одним и тем же штаммом вольбахии. Этот факт предполагает передачу бактерии между хорошо дифференцированными видами посредством гибридизации, приводящей к митохондриальной интрогрессии.

Полученные данные свидетельствуют, что вольбахия играет важную роль в эволюции и диверсификации этой группы чешуекрылых.

*Исследование выполнено в рамках проекта № FZMW-2023-0006 Государственного Задания Министерства образования и науки Российской Федерации.*

## **The role of *Wolbachia* in the biology and evolution of Sulphur butterflies (Lepidoptera, Pieridae)**

*Shapoval G.N.\*<sup>1,2</sup>, Shapoval N.A.<sup>1</sup>, Yakovlev R.V.<sup>2</sup>, Krupitsky A.V.<sup>3,4</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Altai State University, Barnaul, Russia

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: galinakuftina@mail.ru

## **Штамм wMelPlus бактерии *Wolbachia*, внутриклеточный симбионт насекомых, повышающий устойчивость хозяина к высоким температурам**

*Шишикина О.Д.\*<sup>1,2</sup>, Коренская А.Е.<sup>1</sup>, Дерюженко М.А.<sup>2</sup>, Андреенкова О.В.<sup>2</sup>, Шацкая Н.В.<sup>2</sup>, Васильев Г.В.<sup>2</sup>, Бобровских М.А.<sup>2</sup>, Клименко А.И.<sup>2</sup>, Грунтенко Н.Е.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Новосибирский государственный университет, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт цитологии и генетики СО РАН, Новосибирск, Россия

\* e-mail: shishkina.olga.98@gmail.com

Вирус Чикунгунья (CHIKV), основными переносчиками которого являются комары рода *Aedes*, представляет новую угрозу для регионов с умеренным климатом (ранее вспышки происходили в основном в теплых странах) (Morrison, 2014, J. Virol.). Известно, что в особых случаях некоторые штаммы *Wolbachia* повышают резистентность своих хозяев к определённым вирусам. В том числе проводятся работы по искусственноному инфицированию комаров штаммами *Wolbachia* wMel и wMelPop (изначально найденными у *Drosophila melanogaster*) и заселению природных популяций комаров *Wolbachia*-положительными особями (Hoffmann et al., 2014, PLoS Negl. Trop. Dis.).

В нашей лаборатории был ранее найден штамм wMelPlus у линии *D. melanogaster*, который способен повышать устойчивость хозяина к острому тепловому стрессу (Burdina et al., 2021, Arch. Insect Biochem. Physiol.). При помощи геномного секвенирования было выяснено, что от известных у *D. melanogaster* штаммов геном wMelPlus отличается протяжённой инверсией (примерно 1/6 всего генома) (Korenskaia et al., 2022, Int. J. Mol. Sci.). Транскриптомный анализ линий *D. melanogaster*, инфицированных штаммом wMelPlus, а также не влияющим на приспособленность хозяина штаммом wMelCS<sup>112</sup>, выявил значимые различия в уровнях транскрипции генов, связанных с ответом на стресс. Наблюдалось повышение экспрессии гена рецептора к коразонину (*CrzR*) у wMelPlus-инфицированных мух (Grunenko et al., 2023, Int. J. Mol. Sci.). Мы предполагаем, что изменения в транскрипции *CrzR* у *D. melanogaster* под влиянием *Wolbachia* могли послужить причиной возникновения устойчивого к острому тепловому стрессу фенотипа насекомого-хозяина.

Использование штамма *Wolbachia*, повышающего устойчивость хозяина к высоким температурам, является перспективным в области борьбы с CHIKV, так как в некоторых жарких странах отмечается отсутствие эффекта от внесения в природные популяции особей, инфицированных иными штаммами *Wolbachia*, из-за высоких температур в ареале (Salje and Jiggins, 2024, Lancet Microbe).

## **Strain wMelPlus of the bacterium *Wolbachia*, an intracellular symbiont of insects, that increases host tolerance to high temperatures**

*Shishkina O.D.\*<sup>1,2</sup>, Korenskaia A.E.<sup>1</sup>, Deryuzhenko M.A.<sup>2</sup>, Andreenkova O.V.<sup>2</sup>, Shatskaya N.V.<sup>2</sup>, Vasiliev G.V.<sup>2</sup>, Bobrovskikh M.A.<sup>2</sup>, Klimenko A.I.<sup>2</sup>, Grunenko N.E.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of Cytology and Genetics, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: shishkina.olga.98@gmail.com

# **СИМБИОТИЧЕСКИЕ ПРОТИСТЫ И ВНУТРИКЛЕТОЧНЫЕ СИМБИОНТЫ**

## *Angomonas septentrionalis* – северный представитель симбионт-содержащих трипаносоматид

Ганюкова А.И.\*<sup>1</sup>, Малышева М.Н., Костыгов А.Ю., Фролов А.О.

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: anna.ganyukova@gmail.com

Подсем. Strigomonadinae представляет группу трипаносоматид – моноксенных паразитов насекомых, которые (в пределах семейства) обладают уникальной способностью вступать в obligatные симбиотические отношения с бетапротеобактериями сем. Alcaligenaceae. В состав стригомонадин включены три рода, среди которых наибольшим разнообразием и распространением характеризуется р. *Angomonas*, представленный видами: *A. desouzai*, ареал которого ограничен южноамериканским континентом, *A. ambiguus*, встречающимся в Южной Америке, Африке и Папуа Новой Гвинеи, и *A. deanei*, имеющим всесветное распространение. Четвёртый вид *A. septentrionalis* был обнаружен в 2018 г. в кишечнике мухи *Calliopum elisae* (Diptera: Lauxaniidae) на северо-западе России. Новый вид, как и его цитоплазматический симбионт, занимают на филогенетических деревьях обособленное положение. Аналогичные изоляты ранее не были обнаружены в ходе широкомасштабных исследований в Афротропиках и Неотропиках – предположительных регионах происхождения р. *Angomonas*. Таким образом, *A. septentrionalis* является симбионт-содержащим видом трипаносоматид, ареал которого ограничен Палеарктикой.

Ультраструктура *A. septentrionalis* соответствует особенностям стригомонадин. Имеются три ключевые признаки группы – редуцированный параксиальный тяж, рыхлый кинетопласт и развитый митохондрион, ветви которого заходят в бреши нерегулярной тубулеммы. Единственный бактериальный симбионт лишён клеточной стенки и располагается около ядра в симбионтофорной вакуоли. *A. septentrionalis* обладает редуцированным цитостомальным комплексом, наличие которого у стригомонадин долгое время оставалось предметом дискуссий. Цитостом имеет форму ямки, открывающейся в дистальной части жгутикового кармана, дно которой обращено в цитоплазму и не формирует глотку. От мембранны цитостома вдоль микротрубочек вглубь цитоплазмы идет транспорт везикул.

Работа выполнена при поддержке Государственного задания № 122031100260-0 на оборудовании ЦКП «Таксон» ЗИН РАН (Санкт-Петербург, Россия).

## *Angomonas septentrionalis* is a northern species of symbiont-harboring trypanosomatids

Ganyukova A.I.\*<sup>1</sup>, Malysheva M.N., Kostygov A.Y., Frolov A.O.

Zoological Institute of RAS, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: anna.ganyukova@gmail.com

## **Первый случай обнаружения трипаносом видового комплекса «*Trypanosoma theileri*» в республике Якутия (Саха)**

*Ганюкова А.И.\*<sup>1</sup>, Мачахтыров Г.Н.<sup>2</sup>, Мачахтырова В.А.<sup>2</sup>, Белоконь М.Е.<sup>1</sup>,*  
*Бондарев А.А.<sup>2</sup>, Фролов А.О.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск, Россия

\* e-mail: anna.ganyukova@gmail.com

Клада «*Trypanosoma theilei*» объединяет генетически близкие виды трипаносом, которые были описаны из различных позвоночных: крупного рогатого скота (КРС), овец и оленей. Ранее эти паразиты считались слабопатогенными, однако в последние годы накапливаются данные о том, что они могут становиться причиной гибели плодов и новорожденных телят, вызывать у взрослых особей анемию, лихорадку, поражение спинномозговой жидкости, влиять на производительность молока. «*T. theilei*» способны осваивать новые группы позвоночных хозяев – волков и медведей, что вызывает вопрос, не могут ли они являться патогенами человека.

Исследования нашей группы, проводившиеся на территориях Северо-запада России в 2018—2023 гг., выявили масштабное (до 65%) заражение слепней двумя генотипами *T. theilei* – TthI и TthII. Такая высокая экстенсивность инвазии свидетельствует о высоком проценте заражённых особей КРС и диких копытных животных.

В июле 2024 г. в респ. Якутия (Саха) были проведены исследования в окрестностях г. Якутск, Верхоянском, Хангаласском, Намском и Сунтарском улусах. Материал собирали из кишечника слепней р. *Nyvomitra*, выступающих в качестве векторов инфекции. В окрестностях г. Якутска также проводили отбор крови коров. Всего было вскрыто 133 слепня р. *Nyvomitra*, общая заражённость составила 43.6%. Заражение было отмечено во всех исследованных локациях: как в Центральной Якутии (г. Якутск, Хангаласский, Намский и Сунтарский улусы), так и на севере республики, в т.ч. в регионах арктической зоны (Верхоянский улус). Инфекция также была обнаружена во всех пробах крови, взятых у 20 исследованных коров окрестностей г. Якутск. Исследование последовательностей гена 18S rPHK показало наличие двух основных генотипов: широко распространённого TthI и эндемичного генотипа TthI-A, значительно дистанцированного от остальных генотипов клады. Генотип TthII не был выявлен.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 25-74-10071 на оборудование ЦКП «Таксон» ЗИН РАН (Санкт-Петербург, Россия).*

## **The first case of detection of the species complex "Trypanosoma theileri" in the Republic of Yakutia (Sakha)**

*Ganyukova A.I.\*<sup>1</sup>, Machakhtyrov G.N.<sup>2</sup>, Machakhtyrova V.A.<sup>2</sup>, Belokon M.E.<sup>1</sup>,*  
*Bondarev A.A.<sup>2</sup>, Frolov A.O.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute RAS, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russia

\* e-mail: anna.ganyukova@gmail.com

## **Метабаркодинговый подход к изучению разнообразия ранних голомикот в донных отложениях водоемов городских парков Китая**

*Глотова А.А.<sup>1,2</sup>, Смирнов А.В.<sup>1</sup>, Мазей Ю.А.<sup>3</sup>, Мазей Н.Г.<sup>3</sup>,  
Цыганов А.Н.<sup>3</sup>, Насонова Е.С. \*<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Влияние паразитических ранних голомикот (*Rozelomycota*, *Aphelidiomycota*) на популяционную динамику микроэукариот и функционирование цепей питания в различных экосистемах представляет большой интерес, однако их изучение сильно осложнено трудностями культивирования. Для этой группы NGS-секвенирование маркерных последовательностей на основе тотальной ДНК из природных проб представляется особенно перспективным решением.

Для оценки разнообразия ранних голомикот в городских парках Китая мы анализировали пробы донных отложений из водоемов парков Сямэня, Шэньчжэня и Уханя (из трех различных провинций Китая, расположенных, соответственно, на юго-востоке, юге и в центре страны), собранные в июне 2024 г. Амплификацию V4 региона гена 18S rPHK проводили в ходе одноступенчатой ПЦР с использованием антиметазойных праймеров EUK565F\_NGS/UnionMet\_R. Полученные в результате секвенирования на платформе Illumina MiSeq прочтения после контроля качества были собраны, обработаны и классифицированы с помощью программного пакета Mothur. Более 2000 целевых ASV (amplicon sequence variants) были таксономически определены (BLAST) и встроены в выравнивание, содержащее 750 референсных последовательностей розеллид, микроспоридий и афелид из Генбанка, а затем использованы для филогенетического анализа.

Поскольку метабаркодинговый подход позволяет изучать некультивируемую часть природного разнообразия, значительная часть обнаруженных ASV ожидаемо попадает в крупные клады «природных» последовательностей (LKM11, wweuk6), либо группируется с последовательностями, полученными в предшествующих метабаркодинговых проектах (MZ923251, MN097047). Полученные ASV также пополняют несколько клад, содержащих описанные виды родов *Rozella*, *Paramicrosporidium*, *Aphelidium*, *Paraphelidium*, *Nucleophaga* и позволяют расширить представления об их генетическом разнообразии.

Поддержано грантами РНФ № 24-44-00096 (сбор проб), № 23-74-00071 (молекулярные исследования) и проектом № 128785151 СПбГУ (подходы для анализа метагенома).

## **Metabarcoding approach to studying the diversity of early Holomycota in bottom sediments of water bodies in urban parks in China**

*Glotova A.A.<sup>1,2</sup>, Smirnov A.V.<sup>1</sup>, Mazei Y.A.<sup>3</sup>, Mazei N.G.<sup>3</sup>, Tsyganov A.N.<sup>3</sup>, Nassonova E.S. \*<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University., Moscow, Russia

\* e-mail: nosema@mail.ru

## **Видовое и генетическое разнообразие гемоспоридий (Apicomplexa, Haemosporida) воробыинообразных птиц острова Колгуев (Баренцево море)**

*Жукова Е.А.\*<sup>1</sup>, Лощагина Ю.А.<sup>2</sup>, Платонова Е.В.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт географии РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Биологическая станция «Рыбачий», Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: Rinazhukova1509@gmail.com

Гемоспоридии птиц – это группа паразитических простейших из класса Apicomplexa. Представители трех родов *Plasmodium*, *Haemoproteus* и *Leucocystozoon* распространены среди большинства видов птиц во всех климатических зонах, передаются кровососущими самками двукрылых насекомых (Diptera) и могут вызывать у своих позвоночных хозяев тяжёлые заболевания – гемоспоридиозы. На данный момент информация о распространённости и разнообразии гемоспоридий птиц и их переносчиков в северных широтах довольно скучна.

Цель нашего исследования - выявить зараженность гнездящихся на острове Колгуев воробыинообразных птиц гемоспоридиями трех родов (*Plasmodium*, *Haemoproteus*, *Leucocystozoon*) и установить видовое и генетическое разнообразие этих паразитов.

Материал был собран в июне 2024 года (10.06.24 – 17.06.24) и в июне, июле 2025 года (25.06.25 -13.07.25). Были отобраны образцы крови 65 птиц из 9 родов. Зараженность птиц гемоспоридиями оценивалась с помощью микроскопии мазков крови, а также методом полимеразной цепной реакции (ПЦР-анализа) с амплификацией фрагмента 478 п.о. митохондриального гена (*cyt b*) паразита.

По результатам микроскопии кровепаразиты были найдены у 24,6% птиц, обнаружены представители всех трёх родов, встречающихся у птиц в умеренных широтах. Наиболее распространёнными были паразиты рода *Leucocystozoon* (более 60% от всех заражённых птиц). Заражённость представителями родов *Plasmodium* и *Haemoproteus* - 6,25% и 12,5%, соответственно. Выявлен 1 случай коинфекции (*Haemoproteus* + *Leucocystozoon*). Полученные после ПЦР ампликоны были отправлены на секвенирование по Сэнгеру для определения вида и генетической линии паразитов. Данная работа расширяет наши знания о гемоспоридиях птиц в районе Крайнего Севера, который ранее практически не был исследован в отношении кровяных споровиков птиц.

*Проект выполняется при поддержке гос. задания ЗИН РАН № 125012800913-4.*

## **Prevalence and diversity of avian haemosporidian parasites (Apicomplexa: Haemosporida) in passerine birds of the Kolguev island**

*Zhukova E.A.\*<sup>1</sup>, Loshchagina J.A.<sup>2</sup>, Platonova E.V.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Institute of Geography, Russian Academy of Science, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Zoological Institute RAS, Biological Station “Rybachi”, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: Rinazhukova1509@gmail.com

# **Метабаркодинговое исследование водных и почвенных экосистем: разнообразие патогенных и свободноживущих раковинных амёб Rhogostomidae (Cercozoa)**

*Загумённая О.Н.\*<sup>1,2</sup>, Кирюхин Б.А.<sup>2</sup>, Загумённый Д.Г.<sup>1,2</sup>,  
Герасимова Е.А.<sup>2</sup>, Тихоненков Д.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия

<sup>2</sup> Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

\* e-mail: zagumelga@gmail.com

Метабаркодирование по гену 18S rPHK — эффективный инструмент экологического мониторинга, позволяющий выявлять скрытое разнообразие микробиальных эукариот. Одной из значимых групп являются протисты Cercozoa, особенно семейство Rhogostomidae — широко распространённые раковинные амёбы, включающие свободноживущие и патогенные формы, обитающие в водной и почвенной среде.

Rhogostomidae обладают высоким экологическим значением, но слабо изучены из-за трудностей микроскопического обнаружения. В водных экосистемах они нередко доминируют среди раковинных амёб. Планктонные формы являются паразитами рыб и потенциальными переносчиками легионелл. В почве ризо- и филобионтные формы ассоциированы с корневыми зонами растений и также могут быть условно патогенными. Метабаркодинговый анализ 20 водных (лесоболотные и лесостепные озёра) и 50 почвенных биотопов выявил ASV, соответствующие паразитическим амёбам, способным содержать патогенные бактерии. В лесостепных озёрах обнаружены ASV родов *Rhogostoma* и *Fisculla*, в лесоболотных — только *Rhogostoma*. Установлено, что планктонные формы чаще встречаются в стоячих водоёмах с повышенной минерализацией в засушливых регионах.

В почве Rhogostomidae входят в число доминирующих протистов (до 5% от общего разнообразия). Их разнообразие коррелирует с типом растительности и региональными условиями. Максимальные значения индекса Шеннона зафиксированы в агроценозах с культурой *Agropyron cristatum*, минимальные — в экстремальных или нарушенных биотопах. Это подтверждает потенциал Rhogostomidae как биоиндикаторов восстановления почв.

Экспедиционные работы, пробоподготовка и секвенирование выполнены при поддержке правительства Тюменской области в рамках проекта № 89-ДОН Западно-Сибирского межрегионального научно-образовательного центра и министерства науки и высшего образования РФ (соглашение № 075-15-2024-563). Биоинформационическая и математическая обработка выполнены за счет гранта Российского научного фонда № 23-14-00280, <https://rscf.ru/en/project/23-14-002>

## **Metabarcoding of aquatic and soil ecosystems: diversity of pathogenic and free-living testate amoebae of the family Rhogostomidae (Cercozoa)**

*Zagumyonna O.N.\*<sup>1,2</sup>, Kiriukhin B.A.<sup>2</sup>, Zagumyonnny D.G.<sup>1,2</sup>,  
Gerasimova E.A.<sup>2</sup>, Tikhonenkov D.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Papanin Institute for Biology of Inland Waters Russian Academy of Sciences, Borok, Russia

<sup>2</sup> Tyumen State University, Tyumen, Russia

\* e-mail: zagumelga@gmail.com

## **Qui quaerit, reperit: история о том, как метагеномный анализ помог обнаружить новый случай гиперпаразитизма микроспоридий в маритах *Derogenes varicus***

*Камышацкая О.Г.\*<sup>1</sup>, Скобкина О.А.<sup>1,2</sup>, Кулишкин Н.С.<sup>2</sup>, Кремнев Г.А.<sup>3</sup>, Насонова Е.С.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: oksana.kamyshatskaya@gmail.com

Микроспоридии, обладая широким спектром хозяев, нередко становятся участниками гиперпаразитических ассоциаций. Их исследование представляет особый интерес с точки зрения истории становления жизненных циклов и радиации этих паразитов.

В ходе метагеномного скрининга коллекции ДНК трематод из беломорских рыб с помощью праймеров, специфичных для микроспоридий, было показано, что в маритах *Derogenes varicus* (Derogenidae) можно обнаружить микроспоридий из клады 5 (III) – Marinospordidia. Основываясь на этих результатах, мы прицельно провели изучение паразитофауны трески *Gadus morhua* и керчака *Myoxocephalus scorpius*. В маритах трематод *D. varicus* из этих рыб были обнаружены пролиферативные стадии и споры микроспоридий. Секвенирование гена 18S рРНК показало, что полученные последовательности изолятов из горбуши и керчака идентичны. При этом сходство с последовательностями близких видов из клады 5 (III) достигало только 74-88%.

Изучение тонкого строения этих паразитов показало, что это мономорфная диплокариотическая микроспоридия. Вытянутые эллипсоидные споры содержат диплокарион, изофиллярный полярный филамент из 11-12 витков, расположенных в один ряд. Двухчастный ламеллярный поляропласт представлен плотноложенными ламеллами внешней части и более рыхло расположенными ламеллами внутренней части. Задняя вакуоль хорошо выражена. Ультраструктура спор изученных изолятов напоминает споры других описанных микроспоридий – паразитов трематод *Toguebayea baccigeri* и *Nosema podocotyloidis*, однако обладает уникальными характерными чертами. Описанные изоляты потенциально являются представителями нового для науки вида.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-74-00071.*

## **Qui quaerit, reperit: Metagenomic analysis reveals a new case of microsporidian hyperparasitism in maritae of *Derogenes varicus***

*Kamyshatskaya O.G.\*<sup>1</sup>, Skobkina O.A.<sup>1,2</sup>, Kulishkin N.S.<sup>2</sup>, Kremnev G.A.<sup>3</sup>, Nassonova E.S.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Cytology, RAS, laboratory of Cytology of Unicellular Organisms, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Zoological Institute of RAS, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: Scorpi.kamyshatskaya@gmail.com

# **Паразиты водорослей: таксономические и эволюционные аспекты**

*Карпов С.А.<sup>1,2,3,4</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова,  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Институт биологии внутренних вод РАН, пос. Борок, Россия  
e-mail: sakarpov4@gmail.com

Эндо- и эктопаразиты водорослей широко представлены на филогенетическом дереве эукариот. Они располагаются в разных супергруппах: Alveolata, Rhizaria, Amoebozoa и Opisthokonta. Эти паразиты имеют большое значение в жизни водоемов полностью возвращая содержимое клетки крупных несъедобных водорослей в круговорот органических веществ. Их роль в регулировании цветений водорослей недооценена: паразиты водорослей конкурируют между собой за хозяина, практически полностью уничтожая доминирующий вид водоросли, меняя, таким образом, экологическую ситуацию в водоеме. Эта их способность давать вспышки численности в плотных популяциях водорослей губительна для аквакультур открытых бассейнов и лабораторных коллекций, где эти одноклеточные паразиты являются настоящими вредителями. Многие биологические особенности паразитов еще неизвестны. Вместе с тем, использование молекулярно-биологических, геномных и транскриптомных технологий при изучении альвеолат и опистоконтов идет полным ходом и позволяет лучше понять разнообразие, филогенетические отношения и биологию отдельных стадий жизненного цикла паразитов.

В докладе будет показано генетическое и морфологическое разнообразие эндо- и эктопаразитов водорослей, лежащее в основе современной таксономии. Пути становления паразитизма сходны во всех четырех суперкластерах: питание крупными водорослями приводит к внутриклеточному паразитизму. С практической точки зрения, расширение наших знаний о биологии паразитов водорослей позволяет глубже понять взаимодействие популяций паразита и хозяина и обсуждать решение проблем вредоносных цветений и сохранения аквакультур.

*Работа поддержана грантом РНФ № 23-14-00280 и грантом СПбГУ № 124032000041-1.*

## **The parasites of algae: taxonomy and evolutionary aspects**

Karpov S.A.\*<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Zoological Institute RAS, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup> North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation

<sup>4</sup> Institute of Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Russia

\* e-mail: sakarpov4@gmail.com

## **Болеют ли цестоды микоплазмой? Бактериальные спутники *Bothriocephalus scorpii***

*Kolesnikov I.A.\*, Biserova N.M.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: kolesivan96@gmail.com

Структурное взаимодействие цестод с кишечной микрофлорой хозяина было описано лишь для немногих видов ленточных червей. В пределах микротрихиального бордюра обнаружены кокки, бациллы и спирохеты, образующие иногда плотные контакты с апикальной мембраной тегумента. В настоящей работе впервые описаны бактерии микоплазмы, населяющие тегумент ювенильных и половозрелых *Bothriocephalus scorpii* (Cestoda: Bothriocephallidea) из кишечника трехиглой колюшки *Gasterosteus aculeatus*.

Отлов трехиглой колюшки проводили в Кандалакшском заливе Белого моря. В ходе вскрытия извлекали кишечник, содержащий цестоду *B. scorpii*, и фиксировали в 2,5% глутаральдегиде по стандартной методике для ТЭМ (Бисерова, 2013). Ультраструктуру *B. scorpii* изучали на сериях ультратонких срезов.

На поверхности червей в большом количестве обнаружены овальные микоплазмы, несущие органеллу прикрепления в виде электронноплотной структуры на суженном конце. Бактерии ориентированы сужением к апикальной мембране тегумента. На слизистой кишечника хозяина бактерии отсутствуют. Наблюдали проникновение бактерий в цитоплазму тегумента, где они оказываются окружены мембранный эндосомы, приобретают высокую электронную плотность и делятся. В ответ на проникновение бактерий апикальная мембрана тегумента образует эвагинации, внутри которых располагается сразу 1-4 бактерии в общей эндосоме. Также в тегументе образуются ямки, заполненные многочисленными бактериями. Кроме тегумента микоплазмы обнаружены в канальцах и в полости верши протонефридиев; отмечено изменение ультраструктуры микроворсинок и эпителия экскреторных каналов.

Таким образом, впервые описано взаимодействие микоплазмы с покровами и эпителием выделительной системы ювенильных и половозрелых *B. scorpii* из кишечника трехиглой колюшки; показаны изменения ультраструктуры тегумента и экскреторного эпителия в ответ на инвазию. Выявленные структурные взаимодействия могут отражать как патологический процесс, так и симбиотические отношения между цестодой и микоплазмой.

## **Can cestodes suffer from mycoplasmosis? Bacterial satellites of *Bothriocephalus scorpii***

*Kolesnikov I.A.\*, Biserova N.M.*

Department of Invertebrate Zoology, School of Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: kolesivan96@gmail.com

## **Разнообразие и эволюция грегарин линии Dactylophoroidea - специфических паразитов губоногих многоножек**

*Кудрявкина А.И.\*<sup>1</sup>, Миролюбова Т.С.<sup>1</sup>, Михайлов К.В.<sup>2</sup>, Алёшин В.В.<sup>2</sup>, Симдянов Т.Г.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт физико-химической биологии имени А.Н.Белозерского, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: kudrialex23@gmail.com

Грегарины (Apicomplexa) встречаются у большинства групп беспозвоночных, включая многоножек. Однако их разнообразие и филогенетические связи, особенно у форм, паразитирующих в губоногих многоножках (Chilopoda), до недавнего времени оставались не исследованными с применением молекулярно-генетических методов. Нами были получены молекулярные данные и изучены особенности морфологии и жизненного цикла представителей семейств Trichorhynchidae и Dactylophoridae специфичных паразитов губоногих многоножек. На основании молекулярной филогении по генам рибосомного оперона и мультигенной белковой филогении мы показали, что представители семейств Trichorhynchidae и Dactylophoridae образуют обособленную, базальную ветвь наземных грегарин. В совокупности с морфологическими данными это послужило основанием для выделения нового надсемейства Dactylophoroidea superfam. nov. Исследование жизненного цикла представителей Trichorhynchidae показало, что для них характерен фронтальный сизигий — стадия, предшествующая половому процессу, что позволяет рассматривать данный признак как синапоморфию Dactylophoroidea. В составе семейства Dactylophoridae, характеризующегося специализированными прикрепительными структурами — ризоидами, мы описали новый род на основании нового типового вида. Его особенностью является расположение ризоидов не только на протомерите, но и на проксимальной части дейтомерита. Такая организация прикрепительных структур ранее не была известна и существенно дополняет представления об эволюции механизмов прикрепления у грегарин. Таким образом, молекулярные и морфологические данные показали, что грегарины губоногих многоножек образуют самостоятельную эволюционную линию с характерными синапоморфиями. Учреждение надсемейства Dactylophoroidea и описание рода *Costarhiza* уточняют систематику группы и расширяют представления об эволюции наземных грегарин, которые играют важную роль в экосистемах.

*Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 24-24-00560.*

## **Diversity and evolution of gregarines of the Dactylophoroidea lineage – specific parasites of centipedes**

*Kudriavkina A.I.\*<sup>1</sup>, Miroliubova T.S.<sup>1</sup>, Mikhailov K.V.<sup>2</sup>, Aleoshin V.V.<sup>2</sup>, Simdianov T.G.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Belozersky Institute for Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: kudrialex23@gmail.com

# **Гликозилирование белков как потенциальный молекулярный маркер устойчивости инфузорий рода *Paramecium* к заражению симбиотическими микроорганизмами**

*Максимова М.С.\*, Шапошникова Т.Г., Сабанеева Е.В.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: mariamaximovabio@gmail.com

Гликаны – простые и сложные сахара – могут быть ковалентно присоединены к белкам или липидам в составе гликоконъюгатов, формирующих молекулярный ландшафт клеточной поверхности. Такие молекулы часто играют ключевую роль в межклеточном распознавании и формировании симбиотических взаимодействий. Несмотря на высокое разнообразие ассоциаций инфузорий рода *Paramecium* с прокариотическими и эукариотическими симбионтами, тонкие механизмы, лежащие в основе их становления, остаются слабо изученными. В частности, практически не исследованы паттерны гликозилирования у представителей этого рода и их связь с восприимчивостью к инфекции. В настоящей работе методом лектинового blotting (с использованием WGA и ConA) были охарактеризованы паттерны гликозилирования у клонов инфузорий комплекса *Paramecium aurelia* и *P. caudatum*, различающихся по чувствительности к заражению микроспоридиями *Globosporidium parameci* и бактериями *Holospora obtusa*, соответственно. Устойчивые клоны демонстрировали большее количество лектин-связывающих белков, что может отражать защитную функцию гликоконъюгатов клеточной поверхности инфузории. Сравнение различных клонов одного и того же вида показало, что у представителей комплекса криптических видов *P. aurelia* паттерны гликозилирования в пределах одного вида одинаковы, тогда как у *P. caudatum* наблюдаются выраженные межклональные различия. С помощью конфокальной микроскопии определено распределение гликоконъюгатов в клетке инфузории. Их локализация в области цитоплазматической мембрany, буккальной впадины и пищеварительных вакуолей позволяет предположить участие гликанов в процессах первичного распознавания симбионтов и селективного эндоцитоза.

Полученные данные подтверждают, что гликозилирование может играть существенную роль на начальных этапах взаимодействия *Paramecium* с симбионтами и рассматриваться как потенциальный молекулярный маркер устойчивости к заражению.

*Работа выполнена при поддержке СПбГУ, шифр проекта № 124032000041-1.*

## **Protein glycosylation as a potential molecular marker of resistance in *Paramecium* ciliates to infection with symbiotic microorganisms**

*Maksimova M.S.\*, Shaposhnikova T.G., Sabaneyeva E.V.*

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russian Federation

\* e-mail: mariamaximovabio@gmail.com

# **Исследование ретротранспозонов в геномах микроспоридий и их хозяев**

*Маркелова А.Ю.\*<sup>1</sup>, Райко М.П.<sup>1,3</sup>, Насонова Е.С.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Институт биоинформатики, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: a.mark3lova4@yandex.ru

Транспозоны (transposable elements, TE) – повторяющиеся последовательности, которые составляют значительную часть генетического материала эукариот. Микроспоридии — облигатные внутриклеточные паразиты, геномы которых варьируются по размеру более чем на порядок, а их тесный контакт с хозяевами создает предпосылки для горизонтального переноса (ГП) мобильных элементов. Однако роль ТЕ в эволюции паразитических эукариот остается не до конца изученной. Были исследованы геномы микроспоридий *Dictyocoela muelleri*, *Nosema granulosis* и *Hamiltosporidium tvaerminnensis* и их хозяев (*Gammarus roeselii*, *Daphnia magna*), чтобы оценить роль ГП повторов в расширении геномов. Использовали de novo поиск повторов и их классификацию (Earl Grey), а также проведение филогенетического анализа (CD-HIT, MAFFT, IQ-TREE).

У *D. muelleri* и *N. granulosis* были обнаружены LINE/CR1, >90% идентичные повторам *G. roeselii*, которые могут быть кандидатами на ГП, но их вклад не превышает 0,15% генома, отсутствие эндокулеазного домена ставит под сомнение их активность, а сложность раздельной сборки паразита и хозяина оставляет риск примеси ридами хозяина. Иная динамика выявлена у *H. tvaerminnensis*, где одно семейство LINE/Dong-R4 занимает ~6% генома и демонстрирует два пика дивергенции, что согласуется с предполагаемой реактивацией дремлющего элемента, однако подтверждений ГП от *D. magna* не получено.

Таким образом, микроспоридии могут демонстрировать разные пути накопления ТЕ. В одних линиях наблюдается возможный горизонтальный перенос от хозяина, хотя данное событие не сильно влияет на размер генома паразитов, в других линиях можно наблюдать циклические вспышки активности собственных элементов, которые вносят значительный вклад в ДНК-массу. Результаты указывают на то, что горизонтальный перенос играет вспомогательную роль, тогда как вертикальная передача паразита и популяционный дрейф создают благоприятную почву для периодического увеличения количества мобильных элементов.

*При поддержке гранта РНФ № 23-74-00071.*

## **Investigation of retrotransposons in the genomes of microsporidia and their hosts**

*Markelova A.Y.\*<sup>1</sup>, Rayko M.P.<sup>1,3</sup>, Nassonova E.S.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Laboratory of Cytology of Unicellular Organisms, Institute of Cytology RAS, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Bioinformatics Institute, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: a.mark3lova4@yandex.ru

## **Грегарины линии *Actinocephaloidea*, паразитирующие в губоногих многоножках**

*Мартынникова Е.П.\*<sup>1</sup>, Симдянов Т.Г.<sup>1</sup>, Кудрявкина А.И.<sup>3</sup>, Михайлов К.В.<sup>2</sup>,  
Миролюбова Т.С.<sup>2,3</sup>, Алёшин В.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт физико-химической биологии имени А.Н.Белозерского, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: martynnikova@gmail.com

*Actinocephaloidea* – экологически и морфологически разнообразная и многочисленная линия грегарин. Представители этого надсемейства могут быть как кишечными, так и тканевыми и внутриклеточными паразитами. Среди этой группы встречаются паразиты различных насекомых, многоножек, паукообразных и олигохет; их радиация происходила во влажных наземных, пресноводных и почвенных местообитаниях. Тем не менее, эволюционные взаимоотношения этих грегарин изучены слабо и фрагментарно. Для нашего исследования была выбрана ранее не изученная молекулярно-филогенетическими методами категория актиноцефалоидей – паразиты губоногих многоножек (*Chilopoda*). Мы получили первые молекулярные данные для грегарин из костянок (*Lithobiomorpha*), сколопендр (*Scolopendromorpha*) и мухоловок (*Scutigeromorpha*). Нам удалось обнаружить первую актиноцефалиду, паразитирующую в мухоловках (ранее были известны только их специфичные паразиты – трихоринхи из *Dactylophoroidea*). С помощью молекулярной филогении по генам рибосомного оперона нам удалось установить, что актиноцефалоидей губоногих не являются монофилетичной группой: грегарина из мухоловок формирует раннюю эволюционную линию надсемейства, а грегарины из костянок и сколопендр реконструируются в кроне филогенетического дерева, не являются сестринскими линиями, так как разобщены паразитами различных насекомых, но формируют базальные линии внутри своих клад. Таким образом, связь с хилоподами – базальный признак векторе эволюции от специфичных паразитов хилопод *Dactylophoroidea* до *Actinocephaloidea*, имеющих широкий круг хозяев.

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 24-24-00560.*

## **Gregarines of the *Actinocephaloidea* lineage parasitizing centipedes (*Chilopoda*)**

*Martynnikova E.P.\*<sup>1</sup>, Simdyanov T.G.<sup>1</sup>, Kudriavkina A.I.<sup>3</sup>, Mikhailov K.V.<sup>2</sup>,  
Miroliubova T.S.<sup>2,3</sup>, Aleoshin V.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, A.N. Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology,  
Moscow, Russia

<sup>3</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution (RAS), Moscow, Russia

\* e-mail: martynnikova@gmail.com

## Грегарины симфил

*Miroliubova T.S.\*<sup>1,2</sup>, Kudriavkina A.I.<sup>1</sup>, Mikhailov K.V.<sup>2</sup>, Aleoshin V.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции имени А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Научно-исследовательский институт физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского, Москва, Россия

\* e-mail: provorosenok@gmail.com

Симфилы (*Myriapoda: Symphyla*) — детритофаги лесных и почвенных экосистем, участвующие в разложении органического вещества. При этом некоторые виды, в частности в агроценозах, могут приобретать статус вредителей, повреждая корни сельскохозяйственных культур. До недавнего времени сведения о таком важном аспекте биологии симфил, как их паразитофауна, отсутствовали. Нам удалось обнаружить у симфил кишечных грегарин (*Apicomplexa: Gregarinomorpha*). Мы получили первые молекулярные данные, а также изучили особенности морфологии и жизненного цикла этих паразитов. С помощью мультигенного филогенетического анализа мы установили, что грегарины симфил формируют отдельную кладу, сестринскую грегаринам двупарноногих многоножек (надсемейство *Stenophoroidea*). Подобно стенофоридам, грегарины симфил обладают слаборазвитым простым эпимеритом и большую часть внутрикишечного этапа жизненного цикла проводят в виде одиночных гамонтов (открепленная форма). Однако, в отличие от стенофорид, у которых гаметоцисты раскрываются путем разрыва гиалиновой оболочки, гаметоцисты грегарин симфил формируют специальные споровыводящие трубы — спородукты. Ранее формирование спородуктов считалось апоморфией *Gregarinoidea* (паразиты различных насекомых), которые, согласно нашим реконструкциям филогенетии, являются сестринской группой общей клады *Stenophoroidea* и грегарин симфил. В отличие от двух последних, грегариноиды характеризуются ранними сизигиями (объединениями гамонтов). Ооцисты грегарин симфил, как и некоторых грегариноидов, имеют цилиндрическую форму, в то время как у стенофорид ооцисты оvoidные. Таким образом, формирование спородуктов, очевидно, плезиоморфный признак, а грегарины симфил — отдельная эволюционная линия наземных грегарин с уникальным набором морфологических и биологических характеристик.

*Работа выполнена в рамках проекта РНФ № 24-24-00560.*

## Gregarines of symphylans

*Miroliubova T.S.\*<sup>1,2</sup>, Kudriavkina A.I.<sup>1</sup>, Mikhailov K.V.<sup>2</sup>, Aleoshin V.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution (RAS), Laboratory of systematics and evolution of parasites, Moscow, Russia

<sup>2</sup> M. V. Lomonosov Moscow State University, The A.N. Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Moscow, Russia

\* e-mail: provorosenok@gmail.com

## **Проблемы идентификации компетентных переносчиков гемоспоридий птиц (Apicomplexa: Haemosporida)**

*Платонова Е.В.\*, Ерохина М.М., Давыдов А.А., Мухин А.Л.*

Биологическая станция "Рыбачий" Зоологического института РАН, Рыбачий, Россия

\* e-mail: plat.992@gmail.com

Гемоспоридии родов *Plasmodium*, *Haemoproteus* и *Leucocytozoon* (Haemosporida: Plasmodiidae, Haemoproteidae, Leucocytozoonidae) широко распространены и передаются среди большинства видов птиц в различных климатических зонах по всему миру. Жизненный цикл этих паразитов облигатный гетероксенный, включающий в себя бесполое размножение (мерогония) в позвоночном хозяине и половой процесс с бесполым развитием (спорогония) инфекционных для птиц стадий-спорозоитов в беспозвоночном хозяине-переносчике. Трансмиссия гемоспоридий происходит с помощью кровососущих самок двукрылых насекомых (Diptera).

На настоящий момент известно, что комары (сем. Culicidae) переносят паразитов из рода *Plasmodium*, в то время как *Haemoproteus* передается мокрецами (сем. Ceratopogonidae, преимущественно род *Culicoides*) и кровососками (Hippoboscidae), а *Leucocytozoon* - мошками (Simuliidae). Компетентный переносчик – это тот, в котором паразит завершает спорогонию, образуя подвижные спорозоиты, которые, в свою очередь, инъецируются в позвоночного хозяина при последующем кровососании насекомого. Компетентность определяется биотическими (специфичностью, иммунитетом и поведением переносчика) и абиотическими факторами (температурой, влажностью), которые влияют на особенности взаимоотношений позвоночного хозяина, переносчика и паразита.

В последние десятилетия накоплен большой объем данных, который раскрывает видовое и генетическое разнообразие кровяных споровиков и их распространенность среди популяций диких, содержащихся в неволе и домашних птиц. При этом то, что касается определения компетентных векторов этих паразитов, остается практически неизученным и тормозит дальнейшее изучение трансмиссии гемоспоридий. Такая слабая изученность переносчиков этих паразитов связана со сложностью работы с двукрылыми в природе и в экспериментальных условиях.

В данном докладе будут рассмотрены основные проблемы изучения переносчиков гемоспоридий птиц, а также представлены полученные результаты наших последних исследований.

## **Dipteran insects transmitting avian haemosporidian parasites: problems in identification of competent vectors**

*Platonova E.V.\*, Erokhina M.M., Davyдов А.А., Mukhin A.L.*

Biological station of Zoological Institute of Russian Academy of Science, Rybachy, Russia

\* e-mail: plat.992@gmail.com

## **Гемопаразиты рода *Hepatozoon* в популяции озерных лягушек Нижегородской области**

*Плотникова В.Д.\* Романова Е.Б.*

ННГУ им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия

\* e-mail: psyche\_medea@mail.ru

Сложность и неоднородность протекания популяционных процессов, характер отношений в системе «паразит-хозяин» в постоянно изменяющихся условиях среды обитания осложняет выявление адаптационных изменений организма амфибий, которые являются хозяевами внутриэритроцитарных и внеклеточных гемопаразитов. Цель работы – оценка гемопаразитарной нагрузки, функционирования иммунной системы и морфофизиологических показателей озерной лягушки *Pelophylax ridibundus* (Pallas, 1771) в динамике четырехлетнего мониторинга.

Объектом исследования являлись здоровые и инфицированные *Hepatozoon* sp. озерные лягушки из популяции озера Силикатное (г. Нижний Новгород, 2021–2024 гг.). Экстенсивность инвазии в 2021 году составила 54.2%, в 2022 году - 50.0%, в 2023 году - 21.7%, а в 2024 году - 55.0%. Интенсивность инвазии возросла с 3.0 отн. ед. (2021 г.) до 17.3 отн. ед. (2024 г.). Индекс обилия гемопаразитов наиболее существенно увеличился для самок. Сравнительный лейкоцитарный профиль крови озерных лягушек не различался, за исключением миелоцитов, доля которых была выше у инфицированных особей. Функциональная активность гуморального иммунитета, оцениваемая по уровню иммунных комплексов (ЦИК), у инфицированных особей возрастила. Напротив, у здоровых особей общее содержание крупных ЦИК за период исследований не изменялось. Отметим повышенное содержание мелких ЦИК в сыворотке крови здоровых и инфицированных особей в течение всего периода наблюдений. Установлена отрицательная корреляция между долей инфицированных эритроцитов и отношением уровня крупных ЦИК к мелким. Оценка индексов органов (печени, почек, сердца, селезенки, гонад, тимуса) выявила снижение индексов сердца и селезенки на фоне возрастания индексов почек и гонад у инфицированных лягушек.

Результаты проведенного исследования свидетельствуют об усиении реакций адаптивного иммунитета и снижении врожденного иммунного ответа у озерных лягушек в условиях химического загрязнения водоема и дополнительной антигенной нагрузки в виде гемопаразитов.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке программы стратегического академического лидерства «Приоритет 2030»*

## **Немопаразиты рода *Hepatozoon* в популяции озерных лягушек (*Pelophylax ridibundus*) of the Nizhny Novgorod region**

*Plotnikova V.D.\* Romanova E.B.*

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia

\* e-mail: psyche\_medea@mail.ru

## **Механизмы прикрепления и питания паразитических динофлагеллят (Dinoflagellata)**

*Прилуцкий М.Е.\*<sup>1</sup>, Паскерова Г.Г.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: mhl981622@gmail.com

Dinoflagellata – очень крупная и разнообразная группа водных одноклеточных организмов, ведущих свободный или симбиотический образ жизни. При огромном пуле современных работ по свободноживущим представителям, паразитические динофлагелляты оказываются вне внимания исследователей и поэтому остаются слабо изученными. Одна из актуальных задач при исследовании паразитических организмов – исследование механизмов прикрепления паразита к тканям хозяина и получения им питательных веществ от хозяина. Мы изучили морфологию разных динофлагеллят, паразитирующих на или в полихетах Белого моря. Представители рода *Haplozoon* паразитируют в кишке полихет. Для них характерна функциональная многоклеточность: зрелая многоядерная клетка разделена на гетерономные компартменты, взаимное расположение которых различается у разных видов. Предполагалось, что паразиты могут получать питание от клетки хозяина с помощью его аппарата прикрепления на переднем конце. Не отвергалась идея получения питательных веществ из полости кишки хозяина всей поверхностью тела паразита. В нашем распоряжении имеется также материал по динофлагелляте неизвестного вида, ведущей прикрепленный эктопаразитический образ жизни на поверхности переднего конца полихеты *Euchone analis*. На основе данных, полученных с помощью современных методов световой и электронной микроскопии, мы установили строение прикрепительного аппарата исследованных паразитов и предложили вероятные механизмы питания гаплозоонов и эктопаразита полихеты *Euchone analis*. Анализ полученных и привлеченных из литературы данных позволил нам провести сравнение стратегий паразитирования среди динофлагеллят.

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 125012800903-5 «Паразиты животных и растений – видовое разнообразие, эволюция и пути трансмиссии в естественных и антропогенных ландшафтах».*

## **Feeding and attachment mechanisms in parasitic dinoflagellates (Dinoflagellata)**

*Prilutsky M.E.\*<sup>1</sup>, Paskerova G.G.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russian Federation

\* e-mail: mhl981622@gmail.com

## **Биоразнообразие симбионтов инфузорий рода *Paramecium***

*Сабанеева Е.В.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: e.sabaneeva@spbu.ru

Инфузории часто вступают в симбиотические ассоциации с другими микроорганизмами, причем некоторые виды в большей степени склонны к формированию симбиозов по сравнению с другими видами. Наибольшим разнообразием в этом плане отличаются инфузории рода *Paramecium*. Этот род насчитывает около 16 морфологических видов, некоторые из которых включают криптические виды. К числу симбионтов парамеций относятся как прокариоты, так и эукариоты. Среди симбионтов обнаруживаются эндосимбионты (цитоплазматические и внутриядерные) и эпифионты.

У представителей рода *Paramecium* известно порядка 60 различных симбиотических организмов, филогенетическое положение многих из которых в настоящее время установлено с использованием молекулярных данных. К их числу относятся, например, подвижные симбиотические бактерии *Ca. Trichorickettsia mobilis* из макронуклеуса инфузории *P. multimicronucleatum*, бактерии *Ca. Myxastix nordicus* и *Pseudolyticum multiflagellatum* из цитоплазмы солоноватоводной *P. nephridiatum*, а также эукариотические эндосимбионты цитоплазмы инфузорий, дрожжи *Rhodotorula mucilaginosa* из *P. bursaria* и микроспоридии *Globosporidium parameci* из *P. primaurelia*. Эндосимбионты заметно отличаются между собой по своей специфичности к виду хозяина. Способность к формированию симбиотических ассоциаций существенно различается не только у различных видов в пределах рода *Paramecium*, но и в пределах группы криптических видов *P. aurelia* или даже между клонами одного вида. Набор эндосимбиотических микроорганизмов может рассматриваться как важная видовая характеристика инфузорий рода *Paramecium*, и биоразнообразие симбионтов может послужить «ключом» к пониманию межвидовых различий на уровне внутриклеточных молекулярных механизмов.

*Поддержан СПбГУ, проект № 124032000041-1.*

## **Biodiversity of symbionts in the genus *Paramecium* (Ciliophora)**

*Sabaneyeva E.V.*

Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia  
e-mail: e.sabaneeva@spbu.ru

# Скрининг микроспоридий в геномах членистоногих, кольчатых червей и их паразитов в базе данных RefSeq

Самусик В.А.\*<sup>1</sup>, Полузеров С.А.<sup>1,2</sup>, Райко М.П.<sup>1,3</sup>, Насонова Е.С.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Институт биоинформатики, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Лаборатория цитологии одноклеточных организмов, Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: niksamusik@gmail.com

Микроспоридии (*Holomycota, Microsporidia*) — облигатные внутриклеточные паразитические протисты, филогенетически родственные грибам. Из-за микроскопических размеров и внутриклеточной локализации они могут секвенироваться вместе с геномами хозяев. В нашей работе мы исследовали базу геномов животных (*Arthropoda, Annelida* и т.д.) и протистов (*Sporozoa, Amoebozoa* и т.д.) на предмет загрязнения последовательностями микроспоридий.

Мы подготовили выборку последовательностей гена 18S рРНК канонических микроспоридий (long-branch microsporidia) и их ближайших родственников, в т.ч. так называемых short-branch microsporidia, мечниковеллид (Metchnikovellida), и розеллид (Rozellida), и использовали ее для запросов в BLAST по базе RefSeq по основным группам хозяев микроспоридий. Мы отбирали для анализа геномы хозяев, если в них обнаруживались последовательности, совпадающие с репрезентативными более чем на 60%.

Отобранные геномы были обработаны с помощью разработанного нами пайплайна ([github.com/venikkus/microsporidia\\_screening](https://github.com/venikkus/microsporidia_screening)), который включал скачивание сборок, симуляцию покрытия, биннинг MaxBin2, оценку BUSCO и отбор наиболее полных бинов.

В результате анализа было выделено 10 геномов с потенциальной контаминацией микроспоридиями. Мы провели филогенетический анализ с помощью пайплайна, включающего BUSCO phylogenomics и IQ-TREE (ML, 1000 бутстрепов). Большинство бинов группировалось за пределами микроспоридий, однако бин из генома муравья *Nylanderia fulva* кластеризовался внутри канонических микроспоридий, а из амебы *Dictyostelium purpureum* — базально относительно канонических микроспоридий и мечниковеллид.

В дальнейшем мы планируем уточнить филогенетическое положение найденного контаминирующего организма в бине *D. purpureum*, идентифицировать в сборках геномов хозяев скэффолды, принадлежащие паразитам, аннотировать обнаруженные геномы и расширить исследование на другие базы.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-74-00071.

## Screening of microsporidia in the genomes of arthropods, annelids and their parasites in the RefSeq database

Samusik V.\*<sup>1</sup>, Poluzerov S.<sup>1,2</sup>, Raiko M.<sup>1,3</sup>, Nassonova E.<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Bioinformatics Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Laboratory of Cytology of Unicellular Organisms, Institute of Cytology RAS, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: niksamusik@gmail.com

## **Тонкое строение и развитие микроспоридии, паразитирующей в раках-отшельниках *Pagurus pubescens* из Белого моря**

*Скобкина О.А.\*<sup>1,2</sup>, Камышацкая О.Г.<sup>1</sup>, Миролюбов А.А.<sup>3</sup>, Фролова Е.В.<sup>1</sup>, Миролюбова Т.С.<sup>4</sup>, Шклляр А.А.<sup>2</sup>, Кремнев Г.А.<sup>3</sup>, Лянгузова А.Д.<sup>3</sup>, Илюткин С.А.<sup>2</sup>, Алешин В.В.<sup>5,6</sup>, Насонова Е.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, Москва, Россия

<sup>5</sup> Институт проблем передачи информации имени А. А. Харкевича РАН, Москва, Россия

<sup>6</sup> МГУ имени М.В. Ломоносова, НИИ физико-химической биологии имени А.Н. Белозерского, Москва, Россия

\* e-mail: levyashyk@mail.ru

Микроспоридии – разнообразная группа внутриклеточных паразитов с широким спектром хозяев. Особенно широко эти паразиты представлены у членистоногих и, в частности, у ракообразных. В этой работе представлены результаты изучения особенностей развития и тонкого строения преспоровых стадий и спор микроспоридии из раков-отшельников, собранных на Белом море. Пролиферативные стадии паразитов развиваются в индивидуальных вакуолях, которые впоследствии трансформируются в спорофорные пузырьки. Эписпоральное пространство вакуолей электронно-плотное, содержит многочисленные тубулярные структуры, контактирующие с оболочкой паразитов. В ходе пролиферации формируются многоядерные плазмодии, претерпевающие розетковидную плазмотомию с образованием восьми споробластов. В цитоплазме ранних споробластов отмечены необычные довольно крупные электронно-плотные глобулы, от которых, по-видимому, в ходе дальнейшего развития отшнуровываются элементы полярной трубы. Зрелые споры овальные или яйцевидные, монокариотические, размером 5 x 3.5 мкм, располагаются в спорофорных пузырьках по восемь штук (октоспоры). Стенка спор состоит из выраженной электронно-прозрачной эндоспоры и многослойной экзоспоры и декорирована тонкими трубчатыми выростами («щетинками»). Полярная трубка длинная анизофиллярная, передний виток крупнее, остальные 11-15 витков одинаковой толщины, уложены в 3-4 ряда. Якорный диск и полярный сак имеют каноническую грибоподобную форму. Поляропласт двухчастный, его передняя часть сформирована плотно прилегающими друг к другу ламеллами, окружающими заднюю везикулярную часть. Задняя вакуоль хорошо выражена. Морфологически и филогенетически изучаемая микроспоридия близка к изолированному в Чили единственному изученному представителю рода *Areospora* – *A. rohanae* из южного королевского краба *Lithodes santolla*.

Исследование выполнено при поддержке РНФ - проект № 23-74-00071 с использованием оборудования Научного парка СПбГУ.

## **Ultrastructure and development of microsporidia parasitizing the hermit crab *Pagurus pubescens* from the White Sea**

*Skobkina O.A.\*<sup>1,2</sup>, Kamyshatskaya O.G.<sup>1</sup>, Miroliubov A.A.<sup>3</sup>, Frolova E.V.<sup>1</sup>, Miroliubova T.S.<sup>4</sup>, Kremnev G.A.<sup>3</sup>, Lianguzova A.D.<sup>3</sup>, Ilyutkin S.A.<sup>2</sup>, Aleoshin V.V.<sup>5,6</sup>, Nessonova E.S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Cytology Russian Academy of Science, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, SPbU, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences (ZIN), Saint Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>5</sup> Institute for Information Transmission Problems (Kharkevich Institute),

Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>6</sup> Belozersky Institute of Physicochemical Biology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: levyashyk@mail.ru

## **Сезонные изменения экспрессии генов иммунного ответа у *Mytilus galloprovincialis* при инвазии *Nematopsis legeri***

*Унне В.А.\*<sup>1</sup>, Водясова Е.А.<sup>1</sup>, Серебрякова М.К.<sup>2</sup>, Токмакова А.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФИЦ Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия

<sup>2</sup> Российский государственный педагогический университет им. А. И. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: uppeviktoria@ibss-ras.ru

*Mytilus galloprovincialis* является важным объектом аквакультуры. Однако успешное разведение этого вида часто осложняется паразитарными инвазиями, в частности, заражением *Nematopsis legeri*. Целью настоящего исследования было изучение сезонных изменений экспрессии ключевых генов иммунного ответа и клеточного состава гемолимфы у средиземноморских мидий, зараженных грегаринами *N. legeri*.

Исследование проводилось в течение одного года — весной(май) и осенью(сентябрь). Объектом изучения служили *M. galloprovincialis*, отобранные из естественной среды обитания в прибрежной зоне (Карантинная бухта, г.Севастополь). Всего было проанализировано 93 особи, из них 75 с подтверждённой инвазией *N. legeri* и 18 — интактных особей. Уровень заражённости определяли при микроскопическом анализе временных препаратов жабр. Вариабельность клеточного состава гемолимфы оценивалась с помощью проточной цитометрии. Экспрессия генов, кодирующих белки иммунного ответа — лектин-С типа (*CLEC*), галектин-8 (*Gal-8*), цистатин (*CST*) и ферритин (*FTH*) — анализировалась методом ОТ ПЦР. Проведённый анализ выявил выраженные сезонные колебания иммунного статуса у *M. galloprovincialis*, инфицированных *N. legeri*.

Весной у заражённых мидий выявлено увеличение количества гранулоцитов и значительная активация экспрессии генов *CLEC* и *Gal-8*. Такая реакция свидетельствует о мобилизации защитных механизмов иммунной системы в ответ на заражение, что может быть связано с сезонным повышением активности паразита и необходимостью восстановления иммунной готовности после зимнего периода. Осенью у заражённых особей наблюдалось значительное снижение экспрессии ключевых генов врождённого иммунитета — *CLEC* и *Gal-8*., а также уменьшение доли гранулоцитов в гемолимфе. Эти изменения, вероятно, отражают состояние иммунодефицита, вызванное продолжительной паразитарной нагрузкой в течение летнего периода, когда интенсивность инвазии достигает максимума.

*Исследование поддержано темой госзадания ИнБЮМ им. А.О. Ковалевского, № 124022400148-4.*

## **Seasonal changes in the expression of immune response genes in *Mytilus galloprovincialis* during *Nematopsis legeri* invasion**

*Uppe V.A.\*<sup>1</sup>, Vodiasova E.A.<sup>1</sup>, Serebryakova M.K.<sup>2</sup>, Tokmakova A.S.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Sevastopol, Russia

<sup>2</sup> Herzen State Pedagogical University of Russia, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: uppeviktoria@ibss-ras.ru

## **Паразиты паразитов: мечниковеллиды (Opisthokonta: Microsporidia) Белого и Баренцева морей**

*Фролова Е.В.\*<sup>1</sup>, Райко М.П.<sup>1</sup>, Паскерова Г.Г.<sup>3</sup>, Смирнов А.В.<sup>2</sup>, Насонова Е.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: uroborospora@gmail.com

Мечниковеллиды (*Metchnikovellida*) — монофилетическая группа микроспоридий, паразитирующих в грегаринах, обитающих в кишечнике морских аннелид. Они занимают базальное положение относительно «канонических» микроспоридий на филогенетических деревьях, а их развитие завершается образованием спор в толстостенных цистах. Лишь на этих финальных стадиях возможно идентифицировать виды с помощью световой микроскопии. С начала XX века выделяют три рода по форме цист: *Metchnikovella* (овальные, с одной–двумя полярными пробками), *Amphiamblis* (палочковидные с затуплёнными полюсами) и *Amphiacantha* (веретеновидные с заострёнными концами).

Мы исследовали паразитофауну грегарин из литоральных (*Pygospio elegans*, *Capitella capitata*, *Alitta virens*) и сублиторальных (*Ophelia limacina*, *Travisia forbesii*, *Scoletoma fragilis*) полихет Белого и Баренцева морей. Заражённых грегарин индивидуально изучали с помощью высококачественной световой микроскопии, а затем использовали для выделения ДНК с последующей полногеномной амплификацией. Мы обнаружили 12 видов мечниковеллид, еще два изолята предполагаемых новых видов выявлены на этапе обработки геномных данных. Большинство видов мечниковеллид встречается в обоих морях. Также были выявлены смешанные инфекции внутри гемипопуляций грегарин, что в сочетании с низкими экстенсивностью и интенсивностью заражения затрудняет исследование этой группы гиперпаразитов. На филогеномном дереве полученные изоляты мечниковеллид формируют четыре клады, однако распределение морфологических признаков цист, используемых в диагностике родов, не вполне соответствует сформировавшимся кладам. Таким образом, необходимо выделение новых таксонов внутри отряда *Metchnikovellida* и пересмотр классификации некоторых видов. Для дальнейшего понимания филогении и эволюции группы необходимы расширение географии исследований, включение новых видов хозяев-полихет в исследование, а также изучение ультраструктуры мечниковеллид, в особенности спор и цист.

*Исследование выполнено при поддержке РНФ - проект № 23-74-00071 с использованием оборудования Научного парка СПбГУ.*

## **Parasites of Parasites: Metchnikovellids (Opisthokonta: Microsporidia) of the White and Barents Seas**

*Frolova E.\*<sup>1</sup>, Rayko M.<sup>1</sup>, Paskerova G.<sup>3</sup>, Smirnov A.<sup>2</sup>, Nassonova E.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Cytology Russian Academy of Science, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: uroborospora@gmail.com

## **Молекулярные последствия коинфекции инфузорий бактериями *Holospora*: транскриптомный подход**

*Чекрыгин С.А.\*, Сабанеева Е.В., Лебедева Н.А.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: tchekrygin.sergej@yandex.ru

Инфузории *Paramecium caudatum* часто служат модельными организмами для изучения внутриклеточного симбиоза, особенно в контексте взаимодействия с бактериями рода *Holospora*, обладающими строгой ядерной специфичностью. *H. undulata* инфицирует микронуклеус (Ми), тогда как *H. obtusa* заселяет макронуклеус (Ма). Молекулярные последствия присутствия холоспор в клетке инфузории остаются неизвестны. Настоящее исследование направлено на анализ изменений транскриптома инфузории при различных вариантах инфекции.

В работе исследовали 5 экспериментальных групп: моноинфекция *H. undulata*; моноинфекция *H. obtusa*; совместная инфекция (коинфекция), при которой каждый симбионт находится в специфичном ядре; коинфекция в Ма с утратой Ми; контроль. Для каждой группы проводили экстракцию тотальной РНК, построение библиотек кДНК и секвенирование на платформе DNBSEQ. Сборка транскриптома *de novo* и последующий анализ дифференциальной экспрессии позволили охарактеризовать транскрипционный ответ хозяина.

Транскриптомы 5 групп различались между собой. Выраженные изменения экспрессии генов выявлены при коинфекции, особенно в случае коинфекции в Ма. Отмечалась активация генов, обеспечивающих биогенез рибосом (метилирование и процессинг рРНК, транслокацию белков и сборку субъединиц рибосом), метаболизм и синтез белка. Подавлялась экспрессия генов, связанных с регуляцией процессинга мРНК, включая сплайсинг, транспорта по микротрубочкам, экспорта макромолекул, сигнальных каскадов и трансмембранныго транспорта. Заметно снижалась экспрессия генов, кодирующих компоненты сплайсосомы и белки, отвечающие за экспорт субъединиц рибосом, что указывает на существенную перестройку ядерных функций. Таким образом, инфекция *Holospora* оказывает значительное влияние на транскриптом инфузории, причём характер изменений зависит от топологии инфекции. Эти результаты позволят глубже понять молекулярные механизмы конкуренции симбионтов и их воздействия на клетку хозяина.

*Поддержан СПбГУ, проект № 124032000041-1.*

## **Molecular consequences of ciliate co-infection by *Holospora* bacteria: a transcriptomic approach**

*Chekrygin S.\*<sup>1</sup>, Sabaneeva E.<sup>1</sup>, Lebedeva N.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: tchekrygin.sergej@yandex.ru

## **Дальневосточный "убийца" амёб *Nucleophaga amutiana* — филогенетическое положение, развитие и хозяинная специфичность**

*Шкляр А.А.\*<sup>1</sup>, Насонова Е.С.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: a.shklyar@spbu.ru

К роду *Nucleophaga* относятся внутрияденные паразиты различных протистов. В настоящий момент нуклеофаги входят в состав слабоизученной группы базальных микроспоридий, большая часть разнообразия которых обнаружена в метагеномных исследованиях и до сих пор не изучена на организменном уровне. Большинство видов нуклеофаг были описаны до середины XX века. К настоящему моменту только три вида *Nucleophaga* поддерживаются в культуре и исследованы с помощью электронно-микроскопических и молекулярных методов: *N. amoebae*, *N. terricola* и *N. striatae*, все они выделены в Европе. Мы вывели в культуру четвёртую линию нуклеофаг, изолированных на Дальнем Востоке России, паразитирующих в амёбах *Thecamoeba* sp. Жизненный цикл этого паразита, исследованный на живых заражённых клетках амёб, протекал таким же образом, как у представителей вида *N. amoebae*. Впервые для представителей базальных микроспоридий нами был задокументирован в реальном времени процесс плазмотомии, приводящий к разделению многоядерного плазмодия на одноядерные клетки, споробласти. Были проведены экспериментальные заражения, которые показали, что амёбы видов *T. quadrilineata* и *T. foliovenanda* способны поддерживать развитие паразита. У амёб вида *T. onigiri* развитие завершалось образованием морфологически атипичных спор, тератоспор. Амёбы вида *T. vitturta* оказались abortивным хозяином, развитие в этих амёбах останавливалось на стадии образования плазмодия. Полученная последовательность гена 18S рРНК дальневосточного изолята в V2 и V3 вариабельных регионах более сходна с *N. terricola*, а в V4 регионе – с *N. amoebae*. Филогенетический анализ на основе последовательностей гена 18S рРНК показал, что новый изолят образует отдельную линию внутри рода *Nucleophaga* и может быть описан как новый вид.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-74-00071 и с использованием оборудования Научного парка СПбГУ.*

## **The Far Eastern amoeba "killer" *Nucleophaga amutiana* — phylogenetic position, development, and host specificity**

*Shklyar A.A.\*<sup>1</sup>, Nassonova E.S.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Cytology RAS, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: a.shklyar@spbu.ru

**СИСТЕМАТИКА  
СИМБИОТИЧЕСКИХ  
ОРГАНИЗМОВ**

**Биологические, молекулярные и эволюционные аспекты  
биоразнообразия trematod кефалевых рыб  
Восточно-Азиатского региона**

*Atopkin D.M.*

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты  
Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия  
e-mail: atopkin@biosoil.ru

На основании анализа комплекса морфологических и молекулярных данных обосновано 23 новых таксона разного уровня, включая 1 подсемейство, 3 рода и 19 видов trematod семейств Haploporidae, Haplosplanchnidae, Lecithasteridae, Bivesiculidae и Monorchiidae, циркулирующих через кефалевых рыб Восточно-Азиатского региона. Данна комплексная характеристика для ранее описанных видов trematod кефалевых рыб исследуемого региона, включая типовые виды родов *Parasaccocoelium*, *Skrjabinolecithum* (Haploporidae) и *Haplosplanchnus* (Haplosplanchnidae).

Для представителей семейств Haploporidae и Haplosplanchnidae показана несогласованность видовых морфологических и молекулярных признаков. Типовой вид рода *Skrjabinolecithum*, *S. spasskii* (Haploporidae), ранее охарактеризованный как генетически гетерогенный и широко распространенный вид, на самом деле представляет собой относительно однородный генетически, но морфологически изменчивый вид, ареал которого ограничен прибрежными водами Японского моря.

Результаты филогенетического анализа Haploporidae указывают на тропическое происхождение филогенетической линии видов рода *Parasaccocoelium* в пределах Восточно-Азиатского региона. Показано также, что подсемейства Haploporinae и Pseudohaploporinae, циркулирующие, соответственно, в Средиземноморье и Восточно-Азиатском регионе, филогенетически наиболее близки среди всех представителей кефалевых Haploporidae. Результаты подтвердили гипотезу роли кефалевых рыб как «экологического моста» для перехода гаплопорид с морской ихтиофауны на пресноводную.

Показано, что в пределах каждого изучаемого семейства trematod четко дифференцируются линии паразитов кефалевых рыб, за исключением Haplosplanchnidae, где trematоды разных родов представляют собой глубоко дифференцированные линии, обладающие высоким морфологическим сходством. Среди кефалевых trematod Monorchiidae (Monorchiata) и Haploporidae (Haploporata) – сестринские группы, что указывает на общность происхождения и эволюционные взаимосвязи этих двух групп.

**Biological, molecular, and evolutionary aspects of trematode  
biodiversity in mullet fish in the East Asian region**

*Atopkin D.M.*

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia  
e-mail: atopkin@biosoil.ru

## **Молекулярные маркеры - ключ к разгадке скрытого разнообразия инфузорий-эндобионтов (Litostomatea, Trichostomatia)**

*Белоконь М.Е.\*<sup>1</sup>, Сказина М.А.<sup>1</sup>, Чистякова Л.В.<sup>1</sup>, Корнилова О.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> РГПУ им. Герцена, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: belokon.me@gmail.com

Инфузории-эндобионты (Litostomatea, Trichostomatia) представляют собой многочисленную группу симбиотических протистов, обитающих в пищеварительном тракте различных беспозвоночных и позвоночных животных, преимущественно растительноядных млекопитающих. Несмотря на важную роль в процессах пищеварения хозяина, генетическое разнообразие инфузорий-трихостоматид остаётся малоизученным. В отличие от свободноживущих инфузорий, для эндобионтных инфузорий практически отсутствуют исследования, посвящённые внутривидовой и межвидовой изменчивости. У трихостоматид, утративших митохондрии, ключевыми объектами анализа служат ядерные гены рРНК – участок 18S рДНК и внутренние транскрибуируемые спейсеры (ITS), различающиеся степенью консервативности и вариабельности.

Мы впервые провели оценку внутривидовой и межвидовой изменчивости последовательности региона ITS у инфузорий-эндобионтов, в сравнении с последовательностью гена 18S рРНК, используя оригинальные данные и данные GenBank. В рамках анализа были рассчитаны два типа генетических дистанций: (1) количество нуклеотидных замен, деленное на общее число позиций в финальном выравнивании, и (2) количество нуклеотидных замен на сайт, рассчитанное с использованием модели максимального правдоподобия. Характер изменчивости по указанным двум маркерам отличается у представителей различных семейств трихостоматид. В целом последовательность гена 18S рРНК инфузорий-эндобионтов оказывается более вариабельной по сравнению с регионом ITS. Результаты молекулярно-генетического анализа позволяют предположить, что некоторые виды (например, *Tripalmaria dogieli*, *Buxtonella sulcata* и *Balantiodies coli*) в действительности представляют собой комплексы криптических видов. Мы считаем, что на данном этапе изучения изменчивости данной группы организмов необходимо включать оба маркера в молекулярно-генетические исследования.

## **Molecular markers as keys to understanding diversity of endosymbiotic ciliates (Litostomatea, Trichostomatia)**

*Belokon M.E.\*<sup>1</sup>, Skazina M.A.<sup>1</sup>, Chistyakova L.V.<sup>1</sup>, Kornilova O.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ZIN RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Herzen University, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: belokon.me@gmail.com

## **Оофильтные водоросли, выделенные из икры амфибий культуральными методами**

*Boldina O.N.*

Ботанический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: Boldina@binran.ru

В конце XIX в. естествоиспытатели обратили внимание на кладки амфибий, окрашенные в зелёный цвет (Orr, 1888). Позже выяснили, что цвет кладок обязан развитию в них зелёной монадной водоросли, получившей название *Oophila ambistomatis* Lambert ex Wille (1909). Дальнейшее изучение зелёных кладок различных групп амфибий позволило расширить таксономический список видов оофильтных водорослей. Оказалось, что именно хламидомонадовые водоросли являются преобладающими, а род *Oophila* - гетерогенным, представленным двумя основными кладами (A и B), включающим другие рода хламидомонад. Число достоверно выявленных видов водорослей ещё невелико, а большинство работ проведено на кладках амфибий, обитающих преимущественно в Северной Америке. В последние годы появились современные данные по оофильтным водорослям Западной Европы (Vences et al., 2024, Mol. Phyl. Evol). Исследований такого рода в России практически нет. Нами изучены кладки в Ленинградской области, Западных районах СПб, а также образцы из Московской области. Хозяин – широко-распространенная в Европе и Азии лягушка *Rana temporaria* L. Первоначально, кладки просматривали с помощью световой микроскопии. При выявлении в них клеток водорослей применяли метод клонирования на агаровой среде Kuhl с добавкой витаминов группы В или без них. Для этого использовали посевы единичных яиц с зародышем или их цитоплазмы. Одновременно уточняли состав водорослей в месте обитания и выполняли посевы с тела лягушек обоих полов.

Идентификацию клональных культур осуществляли методами световой и трансмиссионной электронной микроскопии, в некоторых случаях – методами секвенирования 18S рРНК. Обнаружено более 10 таксонов оофильтных водорослей, относящихся к разным кладам. Флористический состав оофильтных водорослей из российских водоемов отличается от таковых из Америки, Европы и Азии. Показано, что в одних и тех же местообитаниях состав оофильтных и свободноживущих водорослей различается, при этом последние могут встречаться в икре других водоемов.

*Исследование выполнено по плановой теме БИН РАН № 121021600184-6.*

## **Oophilic algae from amphibian eggs selected by cultural methods**

*Boldina O.N.*

Komarov Botanical Institute RAS, St. Petersburg, Russia  
e-mail: Boldina@binran.ru

## **Реконструкция филогении эхиностоматидных trematod лысухи**

*Vlasenkov S.A.*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н Северцова РАН, Москва, Россия  
e-mail: svlasenkov22@gmail.com

Echinostomatidae – одно из самых многочисленных семейств trematod. Молекулярные исследования свидетельствуют о кризисе действующей, морфологически обоснованной системы этой группы паразитов. Однако, молекулярные данные все еще недоступны для многих эхиностоматид, что делает невозможным полноценную таксономическую ревизию семейства. При паразитологическом исследовании лысухи *Fulica atra* из европейских и азиатских частей России нами собран материал по трем видам эхиностоматид, морфологически идентифицированным как *Echinostoma grande* Bashkirova, 1946, *Echinostoma cf. sarcinum* Dietz, 1909 и *Echinostoma bancrofti fulicae* Macko, 1968. Филогения этих таксонов ранее не изучалась. Филогенетические анализы на основе маркеров ядерной (ген 28S *pPHK* и регион ITS2) и митохондриальной (гены *coxl* и *nd1*) ДНК показали, что только *E. grande* кластеризуется с истинными представителями *Echinostoma* Rudolphi, 1809. *Echinostoma b. fulicae* оказалась членом рода *Neomoliniella* Vainutis, Voronova, Andreev & Shchelkanov, 2023. Данные по 28S *pPHK* гену свидетельствуют о генетическом сходстве *E. b. fulicae* с типовым видом рода *Neomoliniella* и их вероятной конспецифичности. Положение *Echinostoma cf. sarcinum* вариабильно на филограммах, построенных по разным маркерам. Однако ни в одной из них этот вид не поддерживается как член рода *Echinostoma*.

## **Reconstructing the phylogeny of echinostomatid trematodes of the European coot**

*Vlasenkov S.A.*

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia  
e-mail: svlasenkov22@gmail.com

## **Молекулярно-генетическая идентификация и филогеография *Schistosoma mansoni* из Гвинеи**

*Водясова Е.А.\**, *Прохорова Д.А.*, *Уппе В.А.*, *Богачева Е.А.*,  
*Челебиева Э.С.*, *Дмитриева Е.В.*

ФИЦ Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН, Севастополь, Россия  
\* e-mail: eavodiasova@gmail.com

Шистосомоз человека – тропическое заболевание, связанное с паразитированием 6 видов трематод рода *Schistosoma* Weinland, 1858, из которых два – *S. haematobium* (Bilharz, 1852) и *S. mansoni* Sambon, 1907 – вызывают 99% случаев заражения шистосомозом во всем мире, при этом 90 % из них приходится на Африку. Регион Гвинейской Республики исследован только в отношении инфицированности населения. В базе GenBank NCBI среди 586210 записей по различным фрагментам ДНК шистосом только 9 относятся к представителям этого рода, происходящим из Гвинеи. При этом, они получены из яиц *S. mansoni*, паразитировавших у мигрантов из этой страны, проживающих в Европе. В ноябре 2024 г. в 4-х водоемах, расположенных в префектуре Киндия (Гвинея), найдены моллюски *B. pfeifferi*, зараженные трематодами рода *Schistosoma*. Из 1376 исследованных биомфалярий у 32 особей найдены церкарии и спороцисты шистосом. От 14 морфологически идентичных церкариев были секвенированы ITS1 рДНК и COI мДНК. Фрагмент ITS1, длиной 518 п.н., показал 100 % идентичность с аналогичными участками ДНК *S. mansoni* из Африки и Бразилии. Филогенетический анализ показал достоверное (100 %) дистанцирование секвенированной пробы от линий близкого вида *S. rodhaini* и гибридов *S. rodhaini*×*S. mansoni*. Этот результат подтверждает идентификацию вида как *S. mansoni*.

Полученные 14 последовательностей участка гена COI, длиной 357-425 п.н., были представлены 4 гаплотипами. Анализ гаплотипической сети, включающей полученные последовательности и 314 аналогичных локусов мДНК *S. mansoni* из различных регионов Африки, Аравийского п-ова и Латинской Америки, показал, что два наиболее представленные в пробах из Гвинеи гаплотипа (78 %) встречаются также в соседних с Гвинеей странах Западной Африки и в Южной Америке, один – широко распространен во всех регионах и один гаплотип оказался уникальным.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в форме субсидии из федерального бюджета (Соглашение № 075-15-2024-655, проект № 13.2251.21.0260).*

## **Molecular genetic identification and phylogeography of *Schistosoma mansoni* from Guinea**

*Vodiasova E.\**, *Prokhorova D.*, *Uppe V.*, *Bogacheva E.*, *Chelebieva E.*, *Dmitrieva E.*  
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia  
\* e-mail: eavodiasova@gmail.com

# **Плеоморфизм как стратегия адаптации симбиотических систем: поиск генетических и экологических детерминант выбора способа размножения у лишайников рода *Umbilicaria***

*Давыдов Е.А.*

Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия  
e-mail: eadavydov@yandex.ru

Лишайники семейства *Umbilicariaceae* представляют собой подходящую модель для изучения адаптивных стратегий в симбиотических системах. Они демонстрируют разнообразие способов размножения, включая половое (аскоспоры) и бесполое (таллоконидии), что позволяет исследовать эволюционные преимущества и недостатки различных репродуктивных путей. Наше исследование направлено на прояснение филогенетических взаимоотношений и видового статуса *Umbilicaria decussata* и *U. polaris*, различающихся преобладающим способом размножения. С целью определения генетической структуры и филогенетических связей между *U. decussata* и *U. polaris* был проведен комплексный анализ с использованием филогенетических построений на основе шести филогенетических маркеров (ITS/5.8S, rpb1, rpb2, mcm7, mtSSU, mtLSU) и мультигенного коалесцентного подхода. В общей сложности, изучены 205 последовательностей ДНК, выделенной из 40 образцов *U. decussata* и *U. polaris*, собранных по всему миру.

Результаты анализа филограмм и сетей гаплотипов не выявили четкого разделения между *U. decussata* и *U. polaris*, указывая на возможность их конспецифичности и предполагая, что репродуктивные различия могут быть обусловлены эпигенетическими или экологическими факторами. Оценка молекулярного разнообразия (AMOVA) также не подтвердила значимых генетических различий, что подкрепляет гипотезу об адаптивной роли плеоморфизма. Внутри комплекса выявлено четыре генетические линии, морфологические отличия между которыми не очевидны.

Полученные сведения позволяют рассматривать комплекс *U. decussata/polaris* как потенциальный пример плеоморфного вида, в котором выбор между половым и бесполым размножением является гибкой стратегией адаптации. Дальнейшие исследования, направленные на выявление эпигенетических и экологических факторов, влияющих на репродуктивный выбор, а также изучение механизмов переключения между разными способами размножения, могут значительно углубить понимание эволюционной динамики адаптации симбиотических систем.

## **Pleomorphism as an adaptation strategy for symbiotic systems: search for genetic and ecological determinants of the switches of reproduction mode in lichens of the genus *Umbilicaria***

*Davydov E.A.*

Altai State University, Barnaul, Russia  
e-mail: eadavydov@yandex.ru

## **Структура и таксономическое разнообразие микробиомов центрохелидных солнечников (Haptista: Centroplasthelida)**

*Герасимова Е.А.\*<sup>1</sup>, Балкин А.С.<sup>1,2</sup>, Созонов Г.А.<sup>1</sup>, Пощина Д.В.<sup>1</sup>, Катаев В.Я.<sup>1</sup>, Чаган Т.А.<sup>1</sup>, Загуменный Д.Г.<sup>1,3</sup>, Калеева Е.И.<sup>1</sup>, Тихоненков Д.В.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> Тюменский государственный университет, Тюмень, Россия

<sup>2</sup> Институт клеточного и внутриклеточного симбиоза УрО РАН, Оренбург, Россия

<sup>3</sup> Институт биологии внутренних вод им. И.Д. Папанина РАН, Борок, Россия

\* e-mail: ea-ermolenko@yandex.ru

Протисты – наиболее многочисленная и эволюционно разнообразная группа эукариот на Земле, обладающая крайне высоким морфологическим и экологическим разнообразием. Протисты встречаются во всех средах обитания на нашей планете и во многом приспособились к выживанию в разных условиях. Значительная роль в адаптации протистов к условиям среды связана с их симбиотическими отношениями с прокариотами, которые в настоящее время остаются слабо изученными. Установление таких отношений обычно происходит за счет компенсации ограниченных метаболических возможностей хозяина биохимической универсальностью симбионта или приобретением взаимовыгодных преимуществ. Возникающие симбиотические ассоциации наделяют протистов способностью развиваться в определенных условиях и вырабатывать разнообразные стратегии адаптации к условиям окружающей среды. В работе мы сфокусировались на изучении таксономического разнообразия и структуры микробиомов центрохелидных солнечников – группы свободноживущих гетеротрофных протистов, широко представленных в водных и почвенных биотопах. Микробиомы клональных культур солнечников были изучены в трех биологических повторностях методом высокопроизводительного секвенирования ампликонов гена 16S рРНК на платформе PacBio. Анализ таксономического разнообразия выявил доминирование филумов Pseudomonadota с наибольшей относительной представленностью классов Alphaproteobacteria и Gammaproteobacteria и филума Bacteroidota с абсолютным доминированием представителей класса Bacteroidia. Анализ альфа-разнообразия выявил статистически значимые различия в богатстве и разнообразии микробных сообществ между исследуемыми образцами. Было установлено, что микробиомы солнечников достоверно отличаются в зависимости от местообитания (пресноводные, почвенные) и видовой принадлежности хозяина (PERMANOVA на основе индекса Брея-Кертиса, p-value = 0,0001).

*Исследование выполнено за счет гранта РНФ № 24-74-10031.*

## **Structure and taxonomic diversity of microbiomes of centrohelid heliozoans (Haptista: Centroplasthelida)**

*Gerasimova E.A.\*<sup>1</sup>, Balkin A.S.<sup>1,2</sup>, Sozonov G.A.<sup>1</sup>, Poshvina D.V.<sup>1</sup>, Kataev V.Y.<sup>1</sup>, Chagan T.A.<sup>1</sup>, Zagumyonyi D.G.<sup>1,3</sup>, Kaleeva E.I.<sup>1</sup>, Tikhonenkov D.V.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> University of Tyumen, Tyumen, Russia

<sup>2</sup> Institute for Cellular and Intracellular Symbiosis, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>3</sup> Papanin Institute for Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Russia

\* e-mail: ea-ermolenko@yandex.ru

## **Изменчивость, видовое разнообразие и систематика trematод Asymphylodoridae Szidat, 1943**

*Ивашико Я.И.\*, Атопкин Д.М.*

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты

Восточной Азии ДВО РАН, Владивосток, Россия

\* e-mail: ivashko.yana@bk.ru

На основании данных морфологии и изменчивости нуклеотидных последовательностей ДНК исследовано видовое разнообразие tremатод подсемейства Asymphylodoridae на юге российского Дальнего Востока (РДВ) и европейской части России. Обосновано шесть новых видов рода *Parasymphylodora* и один вид рода *Asymphylodora*, циркулирующие через брюхоногих моллюсков *Bythinidae* и карповых рыб в Приморском крае РДВ. Впервые применены молекулярные характеристики в качестве диагностических признаков для делимитации таксонов родового уровня внутри подсемейства.

Для европейских видов Asymphylodoridae описано несколько морфотипов: пять для *P. markewitschi* и три – для *A. tincae*.

Показано, что видовое разнообразие tremатод Asymphylodoridae значительно выше на юге РДВ, в то время как спектр окончательных хозяев tremатод этой группы шире в европейской части России.

Впервые на основании оценки изменчивости частичных нуклеотидных последовательностей ITS1 яДНК и гена *coxl* мтДНК изучена генетическая структура популяции tremатоды *Parasymphylodora ussuriensis*, циркулирующего через пресноводных брюхоногих моллюсков *Parafossarulus* spp. и карасей *Carassius gibelio* на юге РДВ. Выполнен сравнительный анализ генетической структуры популяций этого вида с таковой для tremатоды *Carassotrema koreanum*, также циркулирующего через карасей *C. gibelio*, но использующего в жизненном цикле солоноватоводных моллюсков *Stenothyra*. Показано, что генетические структуры популяций изучаемых видов tremатод значительно различаются. Вид *C. koreanum* по данным обладает довольно высоким уровнем изменчивости гена *coxl* мтДНК и выраженной гетерогенной генетической структурой популяции. Для вида *P. ussuriensis* показано отсутствие выраженной генетической структуры популяции и соответствие модели экспансии.

Выявленные популяционно-генетические различия двух видов tremатод скорее связаны с их циркуляцией через разные виды брюхоногих моллюсков, относящихся к разным экологическим группам и имеющих разную эволюционную историю.

## **Variability, species diversity, and systematics of trematodes**

### **Asymphylodoridae Szidat, 1943**

*Ivashko Y.I.\*, Atopkin D.M.*

Federal Scientific Center of East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

\* e-mail: ivashko.yana@bk.ru

## **Внешность бывает обманчива: интегративное исследование видового комплекса *Zelentia pustulata* (Gastropoda: Nudibranchia)**

*Индриксон Я.В. <sup>\*1</sup>, Екимова И.А.<sup>1</sup>, Щепетов Д.М.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> The Steinhardt Museum of Natural History, Israel National Center for Biodiversity Studies, Tel Aviv, Israel

\* e-mail: indriksonne@gmail.com

Недавние ревизии семейства Fionidae s.l. установили ряд новых таксонов, однако в некоторых случаях границы между ними остаются спорными. В данном исследовании мы провели обновленные молекулярный и морфологический анализы видового комплекса *Zelentia pustulata* в Атлантике и Арктике. Материалом для данного исследования послужили 63 экземпляра *Z. pustulata* и *Z. roginskae*. Исследование включало как морфологические (стандартные анатомические методики и сканирующую электронную микроскопию - СЭМ), так и молекулярные методы. Род *Zelentia* был восстановлен как монофилетический. Виды *Zelentia ninel*, *Z. willowsi* и *Z. fulgens* были восстановлены каждый как монофилетические с высокой поддержкой. Что касается видового комплекса *Zelentia pustulata*, то *Z. perinicea*, *Z. pustulata*, *Z. roginskae* и все новые образцы *Zelentia* sp. образовали высокоподдерживаемую кладу в обоих анализах. Внутри этой клады *Z. perinicea* не образовала отдельную группу. Отдельная сеть гаплотипов для кластера видового комплекса *Z. pustulata* включает 42 гаплотипа, выявлены три основные гаплогруппы. Исследованные экземпляры демонстрируют непрерывный ряд морфологической изменчивости. Оценка времени дивергенции предполагает сложную эволюционную историю для данного вида, следующую за плейстоценовыми оледенениями в Арктике и Атлантике, что отражается в обнаруженной дивергенции. Основываясь на наших интегративных результатах и филогеографическом подходе мы показываем, что *Zelentia pustulata* и *Z. roginskae* представляют собой один вид, который высоко гетерогенен как на морфологическом, так и на молекулярном уровнях. Данное исследование важно для будущих исследований арктического биоразнообразия, поскольку оно подчеркивает необходимость учитывать сложную эволюционную историю и филогеографические паттерны при разграничении таксонов, населяющих регионы, переживающие быстрые изменения окружающей среды.

*Исследование поддержано грантом РНФ № 74-25-10006.*

## **When coloration lies: Integrative studies of *Zelentia pustulata* species complex (Gastropoda: Nudibranchia)**

*Indriksone J.<sup>\*1</sup>, Ekimova I.<sup>1</sup>, Schepetov D.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

<sup>2</sup> The Steinhardt Museum of Natural History, Israel National Center for Biodiversity Studies, Tel Aviv, Israel

\* e-mail: indriksonne@gmail.com

## **Моногенеи рода *Heterocotyle* (Monocotylidae) скатов сем. Dasyatidae, обитающих у побережья Вьетнама**

*Канаева А.В.\*<sup>1</sup>, Дмитриева Е.В.<sup>1</sup>, Во Т.Х.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, Россия

<sup>2</sup> Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского

Тропического научно-исследовательского и технологического центра, Нячанг, Вьетнам

\* e-mail: kanaevaalika@ibss-ras.ru

Род *Heterocotyle* Scott, 1904 насчитывает 21 номинальный вид, представители которого паразитируют у хрящевых рыб в Атлантическом, Индийском и Тихом океанах. В ходе исследований, проведённых в 2019–2023 гг. у побережья Вьетнама, моногенеи рода *Heterocotyle* были обнаружены у скатов *Hemitrygon bennetti* Müller & Henle, 1841, *Hemitrygon* sp. и *Telatrygon zugei* Müller & Henle, 1841. На основании морфологических признаков, а именно копулятивного органа, представленного расплющенной трубкой без поддерживающей части, в 1,5–2 раза короче семенного резервуара, и наличия четырёх полукруглых выростов на дорсальной стороне прикрепительного диска, обнаруженные моногенеи были идентифицированы как *H. chinensis* Timofeeva, 1983. Из 67 обследованных особей *H. bennetti*, заражёнными *H. chinensis* оказались 90%, интенсивность инвазии варьировала от 1 до 32 экз./особь (в среднем 8±6 экз./особь). Среди 25 экз. *Hemitrygon* sp. и 38 экз. *T. zugei*, инвазия этой моногенеей отмечена у 76 % и 13 %, соответственно, при этом паразиты были обнаружены единично (1–3 экз./особь). Впервые для *H. chinensis* была получена частичная последовательность гена 28S рДНК. Отметим, что в GenBank NCBI представлено лишь три нуклеотидные последовательности (28S) для двух видов рода *Heterocotyle*.

Ранее *H. chinensis* регистрировался у нескольких видов скатов в западной части Тихого океана, в том числе у типового хозяина – *Hemitrygon akaiei* Müller & Henle, 1841 в Жёлтом и Японском морях, у *H. navarrai* Steindachner, 1892 и *Neotrygon kuhlii* Müller & Henle, 1841 в Восточно-Китайском море, а также у *H. fluviorum* Ogilby, 1908 и *Himantura uarnak* Forsskål, 1775 у тихоокеанского побережья Австралии. Таким образом, *Heterocotyle chinensis* впервые найден у побережья Вьетнама и у новых для него видов хозяев: *H. bennetti*, *Hemitrygon* sp. и *T. zugei*.

*Исследование поддержано темой госзадания ИнбЮМ РАН № 124022400148-4 и НИР Совместного Российско-Вьетнамского Тропцентра «Эколан Э-3.1».*

## **Monogeneans of the genus *Heterocotyle* (Monocotylidae) from Dasyatidae stingrays off the coast of Vietnam**

*Kanaeva A.V.\*<sup>1</sup>, Dmitrieva E.V.<sup>1</sup>, Vo T.H.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas, Sevastopol, Russia

<sup>2</sup> Coastal Branch of the Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Nha Trang, Viet Nam

\* e-mail: kanaevaalika@ibss-ras.ru

**Новые находки *Doropygus humilis* Stock, 1967 (Copepoda:  
Notodelphyidae), ассоциированные с *Styela clava* (Asciidae)  
из Японского моря**

*Кобелецкая М.А.\*, Савченко А.С., Темерева Е.Н.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: margarita.kobeletskaya@gmail.com

Асцидии – это морские прикрепленные организмы, большинство из которых являются фильтраторами и прогоняют воду через жаберную глотку, на стенках которой оседает планктон. Глотка асцидий – это уникальное местообитание, в котором благодаря постоянной циркуляции происходит смена воды, приносящей пищу и уносящей продукты обмена, гаметы и потомство. В ходе изучения пищеварительной системы *Styela clava*, собранных в заливе Восток Японского моря, нами были обнаружены обитатели глотки, которых мы идентифицировали как веслоногих раков *Doropygus humilis*. Всего было вскрыто и обследовано 12 асцидий, в восьми из которых были обнаружены самки *D. humilis*. Максимальное количество раков на одного хозяина составляло 5. Семь экземпляров *D. humilis* были исследованы молекулярно-генетическими и морфологическими методами, в том числе для определения состава пищевого комка в кишечнике. Асцидии являются излюбленным местообитанием копепод: только из семейства Notodelphyidae в них обитает 378 видов. Эти и другие обитатели асцидий подарили им название “ascidian hotel”. *D. humilis* описан из многих видов асцидий: одиночных и колониальных, из разных родов и даже семейств, в самых разных акваториях. Всесветный ареал этого вида и низкая специфичность к хозяевам порождает вопрос, является ли *D. humilis* действительно одним видом или группой похожих видов. Решение этого вопроса требует привлечения обширного материала из разных акваторий и применения молекулярно-генетических методов. Нами впервые получены последовательности 18S рРНК и CO1 *D. humilis*, которые могут быть использованы для молекулярной идентификации и филогенетического анализа. Другой важный вопрос – это особенности биологии *D. humilis*. До сих пор не установлено, имеются ли у этого вида специализированные конечности, отвечающие за прикрепление к стенкам глотки в условиях сильных токов воды. Чем питаются раки: взвесью из воды или слизью и тканями глотки асцидии? Ответы на эти вопросы мы попробовали найти в ходе данного исследования.

**New records of *Doropygus humilis* Stock, 1967 (Copepoda: Notodelphyidae)  
associated with *Styela clava* (Asciidae) from the Sea of Japan**

*Kobeletskaya M.A.\*, Savchenko A.S., Temereva E.N.*

Lomonosov Moscow State University, Russia

\* e-mail: margarita.kobeletskaya@gmail.com

## **Новый вид водяных клещей подсемейства Najadicolinae из Приморского**

*Кузнецова И.А.\*<sup>1</sup>, Кондаков А.В.<sup>1</sup>, Чапурина Ю.Е.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова  
УрО РАН, Архангельск, Россия

<sup>2</sup> ООО "Мабскейл", Тольятти, Россия  
\* e-mail: kia.iepn@gmail.com

Описан новый вид рода *Najadicola* из пресноводного двустворчатого моллюска *Middendorffinaia mongolica*, обитающего в р. Завитая Приморского края России. Морфологическое строение *Najadicola tuzovskii* sp. nov. соответствует признакам подсемейства Najadicolinae (Smith, 2020). Генитальное поле самца *N. tuzovskii* не сращено в единую пластинку и имеет меньшее число вертлужных впадин, в отличие от *N. loeiensis* и *N. ingens* (99 против 212 и 180-240 соответственно). Половой диморфизм *N. tuzovskii* проявляется значительно более крупной идиосомой беременной самки, вздутой за счёт заполняющих её яиц; наличием папиллярного отростка со щетинкой на P5 и лопатчатой щетинкой на P4. Генитальное поле самки отличается наличием выраженного яйцеклада между створками поля и большим числом вертлужных впадин. Впервые получено генетическое подтверждение принадлежности рода *Najadicola* к семейству Pionidae.

*Исследования выполнены при поддержке госзадания FUUW-2025-0022.*

## **A new species of water mites of the subfamily Najadicolinae from Primorsky Krai**

*Kuznetsova I.\*<sup>1</sup>, Kondakov A.<sup>1</sup>, Tshapurina Yu.E.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, Russia

<sup>2</sup> Mabscale, LLC, Tolyatti, Russia  
\* e-mail: kia.iepn@gmail.com

**Первые генетические данные о *Ergasilus sieboldi* (Nordmann 1832)  
(Copepoda: Poecilostomatoida) Европейского Севера России**

*Кузнецова И.А.\*, Кондаков А.В., Ануфриев В.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика

Н.П. Лаверова УрО РАН, Архангельск, Россия

\* e-mail: kia.iepn@gmail.com

Впервые получены генетические данные о *Ergasilus sieboldi* (Copepoda: Poecilostomatoida) на Европейском Севере России. Морфологическая идентификация была проведена с помощью классических определителей (Бауэр, 1987, Кабата, 1988). Представлено подробное морфологическое описание изученных образцов.

**First genetic data on *Ergasilus sieboldi* (Nordmann 1832) (Copepoda:  
Poecilostomatoida) from the European North of Russia**

*Kuznetsova I.\*, Kondakov A., Anufriev V.*

N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Arkhangelsk, Arkhangelsk

\* e-mail: kia.iepn@gmail.com

## **Что смывы с морских арктических губок могут рассказать о разнообразии веслоногих раков (Copepoda)?**

*Новиков А.А.\*, Морозов Г.С.*

Казанский федеральный университет, Казань, Россия

\* e-mail: aleksandr-novikov-2011@list.ru

Существующие данные указывают на крайне низкое видовое разнообразие бентосных копепод в российских арктических морях. Это может отражать как реальную бедность фауны, так и недостаточную изученность региона. Для проверки гипотезы изучено биоразнообразие эпифионтов губок, собранных в Баренцевом (14 проб) и Карском (18 проб) морях, а также море Лаптевых (26 проб). Пробы губок промывали для сбора ассоциированной фауны с последующим анализом ракообразных в смывах.

Всего выявлено 111 видов из 22 семейств (Cyclopoida – 7 видов, Harpacticoida – 100 видов, Siphonostomatoida – 4 вида). Видовой состав и обилие копепод различаются между морями: для Баренцева моря характерны Laophontidae и Dactylopusiidae (обилие водорослей), для Карского — Ectinosomatidae (влияние эстуария), для моря Лаптевых — аномально высокое разнообразие Canthocamptidae.

Установлено, что губки родов *Polymastia*, *Tetilla* и *Thenea* являются ключевыми биотопами, поддерживая наибольшее число эпифионтов благодаря сложной поверхности. В целом, на губках массово встречаются специфические таксоны (Ectinosomatidae, Canthocamptidae), в то время как характерные обитатели илистых грунтов Aegithidae и Pseudotachidiidae практически отсутствуют. Также обнаружено 4 вида облигатных симбионтов губок из семейств Artotrogidae и Asterocheridae. Описаны два новых вида — *Heteropsyllus spongiophilus* и *Mesopsyllus glacialis* со сходными морфологическими адаптациями (вилоизмененные максиллипеды), вероятно, связанными с жизнью на губках.

Исследование демонстрирует, что губки выступают в роли уникальных и продуктивных биотопов-оазисов, значительно увеличивая локальное разнообразие морской бентоса. Полученные данные несколько меняют существующие представления: за последние 15 лет известное разнообразие гарпактикоид в Карском море и море Лаптевых удвоилось. Большая часть обнаруженных видов не является симбионтами губок в прямом смысле, но встречаются и переходные формы (вероятные факультативные симбионты), так и облигатные эктосимбионты, питающиеся губками.

## **What can washings from Arctic sea sponges tell us about the diversity of copepods (Copepoda)?**

*Novikov A.A.\*, Morozov G.S.*

Kazan Federal University, Kazan, Russia

\* e-mail: aleksandr-novikov-2011@list.ru

## **Паразиты морских нематод**

*Русин Л.Ю.<sup>1</sup>, Хорхордина П.В.<sup>2,3</sup>, Миролюбова Т.С.<sup>2,4</sup>, Паскерова Г.Г.<sup>5</sup>, Скобеева В.А.<sup>2,3</sup>,  
Голышев С.А.<sup>2</sup>, Михайлова К.В.<sup>1,2</sup>, Чесунов А.В.<sup>3</sup>, Алёшин В.В. <sup>\*2,3</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> НИИ физико-химической биологии имени А.Н.Белозерского МГУ им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия

<sup>4</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>5</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: Aleshin@genebee.msu.su

Самые многочисленные животные на Земле, если считать по видам, – насекомые, а если по особям – круглые черви (нематоды). О консументах почвенных нематод кое-что известно, но о том, кто ест морских нематод, известно очень мало. Мы нашли внутри морских свободноживущих нематод посторонних многоклеточных (других нематод) и одноклеточных, из которых наиболее обычны диплонемиды рода *Rhynchopis*, кокцидии рода *Rhytidocystis* и грибы. Судя по прижизненным наблюдениям, личинки паразитических нематод и одноклеточные паразитоиды на начальной стадии заражения локализуются в полости тела хозяина – между кишечником и стенкой тела. В свободноживущей нематоде *Bathylaimus arcticus* отмечено совместное присутствие паразитических нематод и одноклеточных.

Предварительная оценка экстенсивности заражения приводит к показателю ~ 1% нематод на литорали Белого моря, одномоментно зараженных диплонемидами и другими паразитоидами в августе. При кажущейся незначительности такого уровня, недельный срок от визуального старта инфекции до летального исхода и простая экстраполяция на год позволяют предположить, что значительная доля популяции нематод съедается паразитами и паразитодами. Следовательно, нематоды могут выполнять роль специфической экологической ниши для поддержания циклов в морских паразитарных сообществах, значение которой еще предстоит оценить.

*В настоящее время работы по микроорганизмам, ассоциированным с нематодами, поддержаны Российским научным фондом, проект № 25-74-20009.*

## **Marine Nematode Parasites**

*Rusin L.Y.<sup>1</sup>, Khorkhordina P.V.<sup>2,3</sup>, Miroliubova T.S.<sup>2,4</sup>, Paskerova G.G.<sup>5</sup>, Scobeyeva V.A.<sup>2,3</sup>,  
Golyshev S.A.<sup>2</sup>, Mikhailov K.V.<sup>1,2</sup>, Tchesunov A.V.<sup>3</sup>, Aleoshin V.V. <sup>\*2,3</sup>*

<sup>1</sup> Kharkevich Institute for Information Transmission Problems, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>4</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>5</sup> Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russian Federation

\* e-mail: Aleshin@genebee.msu.su

## Жгутиковая Nucleariida - необычный паразит водоросли Белого моря

Селюк А.О.\*<sup>1,2</sup>, Вишняков А.Э.<sup>2</sup>, Драчко Д.О.<sup>1</sup>, Карпов С.А.<sup>1,2,3,4</sup>

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> СЗГМУ им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>4</sup> Институт биологии внутренних вод РАН, пос. Борок, Россия

\* e-mail: aleksey1seluk@gmail.com

Протисты - паразиты водорослей встречаются в разных группах эукариот: Alveolata, Stramenopila, Rhizaria и Opisthokonta. Известно, что аквакультуры водорослей, используемые для получения биотоплива и выращиваемые в открытых бассейнах, часто массово поражаются этими паразитами. Они развиваются и дают вспышки численности при высокой плотности водорослей, и могут снижать численность доминирующих при цветении видов. Их всестороннее изучение критически важно как для разработки методов борьбы с ними, так и использования их в борьбе с вредоносными цветениями. Самые многочисленные и агрессивные паразиты водорослей – это синдиниды (Dinophyta), хитридиевые грибы и афелиды, относящиеся к Holomycota (Opisthokonta). Они могут уничтожать до 90% биомассы цветущей водоросли в водоеме. Летом 2023 года из проб, собранных в окрестностях ББС МГУ, мы выделили необычного паразита зеленой водоросли *Rhizoclonium* sp., чьи расселительные стадии имеют один направленный назад жгутик, что свидетельствует о принадлежности этого паразита к Opisthokonta. Он просверливает отверстие в клеточной стенке хозяина, проникает внутрь и выедает содержимое водоросли. Затем клетки делятся пополам, отращивают задний жгутик и выходят из опустошенной клетки хозяина. Мы исследовали ультраструктуру основных стадий его жизненного цикла и секвенировали гены 18S, ITS1/2 и 5.8S рРНК. Филогенетические построения показывают, что он относится к нуклеариидам – свободноживущим амебам, которые иногда могут питаться водорослями, но не имеют жгутиковых форм. Нуклеарииды представляют базальную ветвь Holomycota и еще плохо изучены. Поэтому их многообразие в основном представлено природными сиквенсами. Изученный нами паразит маркирует одну из таких безымянных клад и расширяет наши представления о морфологическом разнообразии нуклеариид.

*Работа поддержана грантом СПбГУ № 124032000041-1, РНФ № 23-14-00280 и студенческим проектом СПбГУ № 2411-033. Благодарим РМиКТ СПбГУ и ЦКП «Таксон» ЗИН РАН за доступ к оборудованию и обеспечение работ.*

## Flagellated nucleariid - unusual algal parasite from the White Sea

Seliuk A.O.\*<sup>1,2</sup>, Vishnyakov A.E.<sup>2</sup>, Drachko D.O.<sup>1</sup>, Karpov S.A.<sup>1,2,3</sup>

<sup>1</sup> Zological Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint-Petersburg, Russia

<sup>4</sup> Institute of Biology of Inland Waters, Russian Academy of Sciences, Borok, Russia

\* e-mail: aleksey1seluk@gmail.com

## **Филогения нематоды *Trophomera* sp. (Nematoda: Benthimermithidae), ассоциированной с двустворчатым моллюском *Vesicomya* cf. *sergeevi* (Bivalvia: Vesicomyidae: Vesicomyinae) из хадали Японского желоба**

*Timchenko A.I.\*, Portnova D.A., Simakova U.V., Belov D.A., Krylova E.M.*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия  
\* e-mail: timchenko.ai@ocean.ru

Нематоды рода *Trophomera* (Benthimerithidae) паразитируют в основном на глубоководных морских беспозвоночных. Филогения бентимермитид в целом и рода *Trophomera* в частности изучены слабо, что связано с трудностями сбора глубоководного материала и малым количеством проб, считающихся пригодными для молекулярных исследований. Из 42 видов рода, молекулярные данные доступны только для *T. conchicola*, *T. granovitchi* и *T. cf. marionensis*. В коллекции, собранной во время 59-го рейса НИС «Витязь» (1976 г.) в Японском желобе на глубине 7370 м, мы обнаружили многочисленные экземпляры двустворчатого моллюска *Vesicomya* cf. *sergeevi*, зараженные нематодой неописанного вида рода *Trophomera*. Моллюски были зафиксированы в 4% формалине, затем переведены в 70% спирт, где хранились до 2024 г. Для определения таксономического и филогенетического положения нематоды мы предполагали протестировать методику выделения ДНК из тканей нематод, фиксированных формалином, и провести молекулярно-генетический анализ. Самки и ювенильные особи нематод были извлечены из четырех особей моллюсков. Молекулярный анализ нематод включал выделение ДНК методом для образцов, фиксированных формалином, ПЦР-амплификацию и секвенирование фрагмента 18S рРНК (Bhadury et al., 2007, Zool. Scr.). Филогенетическую реконструкцию выполняли методами Байесовского анализа и максимального правдоподобия.

Для двух половозрелых особей *Trophomera* sp. была выполнена ПЦР-амплификация и секвенирование вариабельного фрагмента гена 18S рРНК длиной 350 п.н. Филогенетический анализ показал более близкое родство между *Trophomera* sp. и *T. cf. marionensis*, паразитом глубоководной амфиподы *Hirondellea dubia* из желоба Кермадек, чем с видом *T. conchicola*, найденным в двустворчатых моллюсках *Idas modiolaeformis* и *Lucinoma kazani* из Средиземного моря. Результаты работы подчеркивают перспективы использования музеиного материала нематод, фиксированного формалином, для молекулярно-генетического анализа.

*Работа поддержанна грантом РНФ № 24-17-00321.*

## **Phylogeny of the nematode *Trophomera* sp. (Nematoda: Benthimerithidae) associated with the bivalve *Vesicomya* cf. *sergeevi* (Bivalvia: Vesicomyidae: Vesicomyinae) from the hadal zone of the Japan Trench**

*Timchenko A.I.\*, Portnova D.A., Simakova U.V., Belov D.A., Krylova E.M.*

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: timchenko.ai@ocean.ru

## **Вариабельность ITS-региона скребней *Polymorphus phippsi* (Acanthocephala: Polymorphidae)**

Унтилова А.А.\*<sup>1,2</sup>, Дюмина А.В.<sup>1</sup>, Галактионов К.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: nasta.untilik@gmail.com

Валидность вида *Polymorphus phippsi* (Acanthocephala, Polymorphidae) ставилась под сомнение, но подтверждена по молекулярным данным (Diumina et al., 2024, Parazitologâ). Для скребней этого вида нами показана высокая изменчивость по морфометрическим признакам, что может свидетельствовать как о морфологической пластиности, так и о наличии криптического разнообразия. Для проверки наличия криптических видов ряд авторов (Garcia-Varela et al., 2015) предлагает использовать ITS-регион (ITS1-5.8S-ITS2). Этот маркер широко применяется в филогенетических и биogeографических исследованиях, а также при различении близкородственных видов, хотя скорость накопления в нем мутаций сильно варьирует у различных групп организмов. Так, у многих видов скребней показана высокая консервативность ITS-региона: последовательности либо полностью идентичны у всех образцов, либо отличаются точечными мутациями или инсерциями/делециями нуклеотидов как у скребней *Polymorphus minutus* s.l. Аллельные варианты последовательности ITS-региона *P. minutus* s.l. соответствуют разным криптическим видам, выделенным по морфометрическим признакам и маркеру COI (Zittel et al., 2018, Parasitology). В рамках данной работы рассматривается вариабельность ITS-региона у скребней *P. phippsi*, собранных на побережье Белого, Баренцева и Печорского морей. У особей *P. phippsi* обнаружена высокая вариабельность последовательности ITS-региона, вероятно, связанная не только с внутривидовой, но и с внутригеномной изменчивостью. Помимо двух участков с делециями/инсерциями нуклеотидов в ITS1, сходными с теми, которые наблюдаются у *P. minutus* s.l., в последовательностях есть большое количество точечных замен. Однако, в отличие от последовательностей *P. minutus* s.l., у образцов *P. phippsi* нет согласованности в изменениях митохондриального гена COI и ITS-региона. Обнаруженные аллели также имеют различную частоту встречаемости в различных локациях.

## **Intraspecific variability of ITS region of ribosomal DNA of acanthocephalan *Polymorphus phippsi* (Acanthocephala: Polymorphidae)**

Untilova A.A.\*<sup>1,2</sup>, Diumina A.V.<sup>1</sup>, Galaktionov K.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Zological Institute RAS, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: nasta.untilik@gmail.com

## **Результаты молекулярной идентификации trematod пресноводных брюхоногих моллюсков**

*Хребтова И.С.\* , Аксёнова О.В., Кондаков А.В.*

Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова  
УрО РАН, Архангельск, Россия  
\* e-mail: irinahrebtova@bk.ru

Изученность фауны trematod в разных регионах неодинакова, и наибольшее количество работ посвящено trematodам позвоночных животных, но эпидемический процесс поддерживается за счет сохранения циркуляции паразитов в окружающей среде и основное значение здесь играют промежуточные хозяева, роль которых, как правило, выполняют моллюски. Для лучшего понимания реализации жизненных циклов паразитов и всестороннего анализа паразитарных систем необходимо изучать trematod не только на стадии их окончательных хозяев, но и немаловажно иметь знания об их промежуточных хозяевах. К сожалению, далеко не всегда даже специалистам-паразитологам удается надежно определить вид trematod на этапе их развития в теле моллюска. Отчасти решить эту проблему, т.е. провести идентификацию trematod на различных фазах их жизненного цикла, и одновременно установить их промежуточных хозяев, позволяют молекулярно-генетические методы.

Целью работы было изучение trematodoфауны пресноводных брюхоногих моллюсков в различных водных объектах на основе молекулярно-генетических методов. Материалом для исследования послужили образцы моллюсков из коллекции Российского музея центров биоразнообразия ФИЦКИА УрО РАН. Всего изучено 3311 экз. моллюсков из шести семейств, собранных в период с 2012 по 2024 г. в пресноводных водоемах России и зарубежья. Молекулярную идентификацию trematod и моллюсков проводили на основе ядерных (ITS2, 28S) и митохондриальных (COI) маркеров по стандартным методикам, подробно описанных в наших предыдущих работах.

В результате исследования идентифицировано 82 вида trematod, относящихся к 36 семействам и 50 родам. Обнаруженные нами trematody использовали в качестве промежуточных хозяев 56 видов брюхоногих моллюсков. Всего выявлено 52 вида trematod у моллюсков семейства Lymnaeidae, 18 видов у сем. Planorbidae, 4 вида у сем. Valvatidae, по 3 вида у сем. Physidae и у сем. Viviparidae и 2 вида у сем. Neritidae.

*Исследования выполнены при поддержке госзадания FUUW-2025-0005 (№ 125022002728-9).*

## **Results of molecular identification of trematodes in freshwater gastropods**

*Khrebtova I.S.\* , Aksanova O.V., Kondakov A.V.*

Federal Research Center for Comprehensive Study of the Arctic named after Academician N.P. Laverov,  
Arkhangelsk, Russia  
\* e-mail: irinahrebtova@bk.ru

# **Необходимость изучения генетического разнообразия микобионтов и фотобионтов охраняемых видов лишайников: постановка проблемы и первые результаты**

*Яковченко Л.С.\*<sup>1,2</sup>, Давыдов Е.А.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> Алтайский государственный университет, Барнаул, Россия

<sup>2</sup> Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,  
Владивосток, Россия

<sup>3</sup> Государственный природный заповедник «Тигирекский» (Барнаул, Россия)

\* e-mail: lidiyakovchenko@mail.ru

Сохранение генетического разнообразия и поддержание экологической устойчивости охраняемых видов лишайников требует комплексного подхода, учитывающего как микобионт (грибной компонент), так и фотобионт (водоросль или цианобактерия). Потенциальная потеря региональных популяций повлечет за собой снижение генетической гетерогенности вида и, как следствие, его экологической устойчивости, что делает изучение генетического разнообразия критически важным для разработки эффективных стратегий охраны.

Целью нашей работы является генетическая паспортизация мико- и фотобионтов охраняемых видов лишайников для разработки научно обоснованных стратегий их сохранения. Лишайник можно рассматривать как голобионт, где геном каждого из партнеров вносит вклад в фенотип и адаптацию всего симбиотического организма. В умеренных регионах лишайники, как правило, обладают высокой избирательностью по отношению к фотобионтам. Особый интерес представляет явление фитосимбиодемы – способность одного и того же микобионта образовывать симбиоз как с зелеными водорослями, так и с цианобактериями. Гетероморфные фитосимбиодемы характерны для семейства Lobariaceae, многие виды которого включены в списки охраняемых видов.

Исследования репродуктивных параметров и обилия видов, наряду с оценками генетического разнообразия мико- и фотобионтов, перспективны для понимания происхождения, возраста популяций, а также способности видов к расселению и освоению новых местообитаний. Дальнейшие исследования позволят оценить генетическую вариабильность микобионта и фотобионта модельных видов с разными способами размножения и углубить понимание эволюционной динамики адаптации симбиотических систем.

*Исследование поддержано грантом РНФ № 25-24-20159 и Алтайским краем.*

## **The need to study the genetic diversity of both mycobionts and photobionts of protected lichen species: problem statement and first results**

*Yakovchenko L.S.\*<sup>1,2</sup>, Davyдов Е.А.<sup>1,3</sup>*

<sup>1</sup> Altai State University, Barnaul, Russia

<sup>2</sup> Federal Scientific Center of East Asian Terrestrial Biodiversity of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russia

<sup>3</sup> Tigirek State Nature Reserve, Barnaul, Russia

\* e-mail: lidiyakovchenko@mail.ru

# **ФИТОПАТОГЕНЫ**

## **Биоконтроль *Botrytis* sp., продуцирующего абсизовую кислоту, с помощью *Rhodococcus* sp., метаболизирующего абсизовую кислоту, на подсолнечнике и томатах**

**Белимов А.А.\*<sup>1</sup>, Шапошников А.И.<sup>1</sup>, Азарова Т.С.<sup>1</sup>, Юзихин О.С.<sup>1</sup>, Вишневская Н.А.<sup>1</sup>,  
Шахназарова В.Ю.<sup>1</sup>, Лебединский М.И.<sup>1</sup>, Бородина Е.В.<sup>1</sup>, Гоголев Ю.В.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной

микробиологии», Санкт-Петербург, Санкт-Петербург и Ленинградская область, Россия, Россия

<sup>2</sup> Казанский институт биохимии и биофизики – обособленное структурное подразделение Федерального  
исследовательского центра "Казанский научный центр РАН", Казань, Россия

\* e-mail: belimov@rambler.ru

Фитогормон абсизовая кислота (АБК) участвует в регуляции адаптации растений к абиотическим стрессам, но играет негативную роль в устойчивости к фитопатогенным грибам, которые продуцируют АБК и этим нарушают индукцию защитных реакций растений. Нами селектированы АБК-метаболизирующая ризосферная бактерия *Rhodococcus* sp. P1Y (Belimov et al., 2014, Plant Physiol Biochem) и АБК-продуцирующий фитопатогенный гриб *Botrytis* sp. ВА3, который поражает подсолнечник и томаты. При совместном культивировании *Rhodococcus* sp. P1Y и *Botrytis* sp. ВА3 ризобактерия потребляла грибную АБК, но не влияла на рост гриба. Обработка проростков подсолнечника экзогенной АБК и инокуляция грибом ВА3 ингибировали рост корней и побегов. Штамм P1Y не влиял на рост подсолнечника но устранил отрицательное влияние ВА3 и экзогенной АБК на растения. Бактерии снижали концентрацию экзогенной и грибной АБК в питательном растворе и корнях до уровня неинокулированных грибом растений. Изучен биоконтроль гриба ВА3 бактерией P1Y в условиях дефицита водного питания томатов сорта Ailsa-Craig и его мутанта *flaccia* с пониженным биосинтезом АБК. Инокуляция ВА3 снижала биомассу корней и побегов у Ailsa-Craig, но стимулировала рост у *flaccia*. Инокуляция P1Y нивелировала ингибирующее и стимулирующее действие гриба. ВА3 снижал устьичную проводимость и повышал содержание АБК в корнях и эффективность использования воды у *flaccia* в условиях засухи. Инокуляция штаммом P1Y ослабляла эти эффекты гриба. Проведен анализ влияния этих микроорганизмов на другие фитогормоны в растениях и выявлены существенные эффекты на гормональный статус. Впервые установлено, что АБК-продуцирующие фитопатогены могут ингибировать и/или стимулировать рост растений за счет модуляции концентрации АБК и направленность эффекта определяется генотипом растения. Результаты описывают новый механизм биоконтроля и реакцию растений на комбинированный стресс обусловленную микробной продукцией и деструкцией АБК.

*Работа поддержанна проектом РНФ № 24-16-00166.*

## **Biocontrol of abscisic acid-producing *Botrytis* sp. by abscisic acid-metabolizing *Rhodococcus* sp. on sunflower and tomato**

**Belimov A.A.\*<sup>1</sup>, Shaposhnikov A.I.<sup>1</sup>, Azarova T.S.<sup>1</sup>, Yuzikhin O.S.<sup>1</sup>, Vishnevskaya N.A.<sup>1</sup>,  
Shahnazarova V.Y.<sup>1</sup>, Lebedinsky M.I.<sup>1</sup>, Borodina E.V.<sup>1</sup>, Gogolev Y.V.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Kazan Institute of Biochemistry and Biophysics – a separate structural division of the Federal Research Center  
"Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences", Kazan, Russia

\* e-mail: belimov@rambler.ru

# **Бактериальные гены вирусного происхождения вовлечены в процессы бактериальной колонизации растений**

*Бурыгин Г.Л.\*<sup>1,2,3</sup>, Чекмарева А.А.<sup>1</sup>, Рогов Д.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Саратовский государственный университет генетики, биотехнологии и инженерии  
им. Н.И. Вавилова, Саратов, Россия

<sup>2</sup> Саратовский национальный исследовательский государственный университет  
им. Н.Г. Чернышевского, Саратов, Россия

<sup>3</sup> Институт биохимии и физиологии растений и микроорганизмов,  
ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», Саратов, Россия

\* e-mail: buryingl@gmail.com

Одним из ключевых параметров, влияющих на успешность колонизации ризобактериями растений, является гидрофобность их клеточной поверхности. Для многих бактерий показано присутствие в структуре поверхностных полисахаридов нестехиометрического метилирования или ацетилирования, кодируемого генами профагов и влияющего на гидрофобности микробных клеток. Целью данной работы было изучение влияния модификаций О-полисахаридов ризобактерий на колонизацию корней растений.

Были использованы штаммы ризобактерий с нестехиометрически метилированными О-полисахаридами клеточной поверхности: *Azospirillum brasiliense* Sp7 и Jm6B2; с нестехиометрически ацетилированными – *Azospirillum soli* CC-LY788 и *Ochrobactrum cytisi* IPA7.2; и немодифицированными – *Azospirillum lipoferum* SR65. Гидрофобность клеток оценивали по распределению в системе «н-гексадекан:вода». Прикрепление бактерий к корням картофеля определяли после 30 минут инкубации методом подсчёта колониеобразующих единиц.

Для штаммов с нестехиометрическим метилированием и ацетилированием О-полисахаридов (но не для штамма SR65) показано повышение в 2,0-2,5 раза индекса гидрофобности бактериальных клеток при увеличении времени культивирования. Повышение гидрофобности клеток приводило к возрастанию в 30-70 раз количества прикрепившихся к корням бактерий. В генах штаммов Sp7 (NZ\_CP033312-NZ\_CP033317) и IPA7.2 (NZ\_MOEC00000000) установлены гены, вовлечённые в соответственно метилирование и ацетилирование О-полисахаридов этих штаммов. По генному окружению выявленных генов сделано предположение о появлении в геноме вместе с ДНК бактериофагов. Высказана гипотеза о повышении эффективности колонизации бактериями корней растений при возрастании гидрофобности поверхностных полисахаридов ризосферных бактерий при попадании в неблагоприятные условия среды за счёт активации метил- и ацетилтрансфераз вирусного происхождения.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 22-26-00293.*

## **Bacterial genes of viral origin are involved in bacterial colonization of plants**

*Burygin G.L.\*<sup>1,2,3</sup>, Chekmareva A.A.<sup>1</sup>, Rogov D.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Vavilov University, Saratov, Russia

<sup>2</sup> Saratov State University, Saratov, Russia

<sup>3</sup> Institute of Biochemistry and Physiology of Plants and Microorganisms, Saratov Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences (IBPPM RAS), Saratov, Russia

\* e-mail: buryingl@gmail.com

## **Взаимодействие инвазивных фитопатогенных бактерий с микробиотой местных растений-хозяев**

*Дренова Н.В.<sup>1</sup>, Дудченко И.П.<sup>1</sup>, Агаркова Н.А.<sup>2,1</sup>, Трошкова А.А.<sup>3,1</sup>, Лаврентьева К.А.<sup>3</sup>,  
Кондратьев М.О.<sup>1</sup>, Джалилов Ф.С.<sup>3,1</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский центр карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»), Быково, Россия

<sup>2</sup> Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

<sup>3</sup> Российский государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева), Москва, Россия

\* e-mail: drenova@mail.ru

Для оценки риска внедрения и разработки мер защиты против инвазивных фитопатогенов необходимо учитывать состав и свойства микробиоты местных растений-хозяев. Здесь мы объединили основные сведения о потенциале микробиоты растений-хозяев карантинных бактерий *Erwinia amylovora* (ожог плодовых культур) и *Xanthomonas hyacinthi* (желтая болезнь гиацинтов).

Использованы метод секвенирования, совместного культивирования, лабораторные и вегетационные испытания на искусственном инфекционном фоне. Антагонистические бактерии и дрожжи обоих возбудителей встречались в 70-80% образцов из различных регионов РФ, составляя 15-25% всех культивируемых видов, в концентрации  $10^0\text{-}10^7$  КОЕ/г. Преобладали виды pp. *Pseudomonas* и *Bacillus*, общими были pp. *Curtobacterium*, *Erwinia*, *Flavobacterium*, *Frigoribacterium*, *Kocuria*, *Rahnella*, *Staphylococcus*.

Наибольшую активность против *E. amylovora* на средах проявляли штаммы *Gluconobacter*, *Staphylococcus*, *Pseudomonas* группы *fluorescens*, встречались бактерии *Acinetobacter*, *Hafnia*, *Lactobacillus*, *Paenibacillus*, *Pantoea*, дрожжи *Metschnikowia* и *Aureobasidium*. Специфичными для мелколуковичных были pp. *Burkholderia* и *Janthinobacterium*.

В опытах на яблоне наиболее эффективными были штаммы *P. orientalis*, *Pseudomonas* sp., *B. subtilis*, *M. pulcherrima*, а также *P. agglomerans* и непатогенный штамм *E. rhamphicola*, сохранявший высокую концентрацию на растении не менее 7 суток. Только 21% штаммов-антагонистов *X. hyacinthi* были активны против *E. amylovora* на питательных средах, и ни один не был эффективен во всех вегетационных опытах. Отмечена гниль плодов, вызываемая эндофитными грибами под воздействием *E. amylovora*, тогда как грибы р. *Monilinia* при высоком уровне инфекции опережали развитие бактерии, что очевидно может уменьшать популяцию инвазивного возбудителя.

Таким образом, показано взаимовлияние инвазивных и местных микроорганизмов, которое может быть использовано для борьбы с новыми опасными фитопатогенами.

*Исследования выполнены по Государственному заданию № 12304250011-9.*

## **Interactions of invasive phytopathogenic bacteria with the microbiota of native host plants**

*Drenova N.V. \*<sup>1</sup>, Dudchenko I.P.<sup>1</sup>, Agarkova N.A.<sup>1,2</sup>, Troshkova A.A.<sup>1,2</sup>, Lavrentieva K.A.<sup>2</sup>,  
Kondratiev M.O.<sup>1</sup>, Jalilov F.S.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Plant Quarantine Centre, Bykovo, Russian Federation

<sup>2</sup> Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russian Federation

\* e-mail: drenova@mail.ru

## **Эндофитные грибы, вызывающие гниль плодов яблони под воздействием *Erwinia amylovora***

*Дудченко И.П.<sup>1</sup>, Дренова Н.В. \*<sup>1</sup>, Лаврентьева К.А.<sup>2</sup>, Смирнов А.Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский центр карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»), Быково, Россия

<sup>2</sup> Российской Государственный аграрный университет им. К.А. Тимирязева (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева), Москва, Россия  
\* e-mail: drenova@mail.ru

В ходе испытания устойчивости сортов яблони к бактериальному ожогу плодовых культур (возб. *Erwinia amylovora*) методом инокуляции незрелых плодов в условиях влажной камеры, зараженные плоды некоторых сортов формировали смешанные или нетипичные для ожога симптомы, препятствующие корректной оценке сортостойчивости. Целью данного исследования было определение состава и свойств эндофитных грибов, вызывающих гниль инокулированных плодов.

Мякоть инокулированных плодов с очагами гнили и формирующимся мицелием микроскопировали, проводили предварительную идентификацию, отсевали на КГА и инкубировали 5 суток при 24 °С. Чистые культуры идентифицировали культурально-морфологическим методом. Массовые морфотипы культивировали совместно со штаммом *E. amylovora* CFBP1430 на среде КГА.

В ходе исследования из мякоти инокулированных *Erwinia amylovora* плодов с признаками гнили выделены 65 изолятов 12 морфотипов, состав которых практически не различался у разных сортов. Наиболее массовые изоляты представлены видами *Fusarium* spp., *Alternaria* spp., *Botrytis cinerea*. Встречались штаммы *Aureobasidium pullulans*, *Stimphylium* sp., *Sphaeropsis* sp., *Gloeosporium* sp., *Monilinia fructigena*. При совместном культивировании *E. amylovora* замедляла рост большинства штаммов грибов, возможно, быстрее расходуя питательные вещества из среды. Некоторые штаммы р. *Fusarium* подавляли рост бактериальной культуры.

По всей видимости, роль *E. amylovora*, нейтральная по отношению к некоторым условно-патогенным эндофитным грибам, состоит в подавлении иммунитета и/или первичном разрушении тканей плода, создающих условия для развития грибов. Установленный состав массово развивающихся видов, вызывающих гниль инфицированных плодов, может быть использован для подбора фунгицидов при проведении экспериментальных исследований и в перспективе для снижения ущерба от бактериального ожога на относительно устойчивых сортах.

Исследования выполнены по Государственному заданию № 12304250011-9.

## ***Endophytic fungi causing apple fruit rot under the influence of Erwinia amylovora***

*Dudchenko I.P.<sup>1</sup>, Drenova N.V. \*<sup>1</sup>, Lavrentieva K.A.<sup>2</sup>, Smirnov A.N.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Plant Quarantine Centre (VNIIKR), Bykovo, Russian Federation

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Russian State Agrarian University named after K.A. Timiryazev”, Moscow, Russian Federation  
\* e-mail: drenova@mail.ru

**Антибиотическая активность *Xenorhabdus* spp. (Enterobacteriaceae)  
симбионтов энтомопатогенных нематод (Rhabditida: Steinernematidae)  
против различных патогенов на картофеле**

*Kotova Z.P.\*, Danilov L.G.*

Северо-Западный Центр междисциплинарных исследований проблем продовольственного обеспечения - обособленное структурное подразделение Санкт-Петербургского Федерального исследовательского центра РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: zinaida\_kotova@mail.ru

В настоящее время стратегии биологического контроля становятся альтернативными методами традиционным химикатам в борьбе с болезнями растений в программах комплексной борьбы с вредителями и болезнями растений. В связи с этим, проведение исследований по отбору видов и штаммов симбиотических бактерий энтомопатогенных нематод сем. *Steinernematidae* из природных популяций в качестве биологических средств защиты против возбудителей заболевания картофеля *Phytophthora infestans* и *Rhizoctonia solani*. Были изучены возможности использования наиболее эффективных культур симбиотических бактерий *Xenorhabdus* spp., отобранных из 15 природных популяций энтомопатогенных нематод (ЭПН) семейства *Steinernematidae*. Проведенная сравнительная оценка выявила штаммы симбиотических бактерий, обладающие наибольшей антибиотической активностью против тестируемых видов грибов. Наибольшей противомикробной активностью в отношении гриба *P. infestans* обладали штаммы *Steinernema feltiae* (SRP18-91) – VII-погост и Псков 15 – 46, 41 и 40 %, соответственно. В целом, оценка влияния штаммов симбиотических бактерий рода *Xenorhabdus* на рост мицелия грибов обоих патогенов продемонстрировала, что они подавляли рост грибов *R. solani* на 8% более эффективно, чем рост грибов из мицелия и склероций *P. infestans*. В опытах *in vitro* лучшее сдерживание зоны роста гриба *R. solani* на 3-й и 5-й дни учетов наблюдали у *Steinernema carpocapsae* штамм "agriotos" и штамма Псков 1. Наибольшую антибиотическую активность против гриба *P. infestans* проявили *S. feltiae* (SRP18-91), № 42, Псков 15 и VII-погост. В результате лабораторной оценки эффективности различных штаммов симбиотических бактерий против возбудителей заболеваний картофеля определены основные направления дальнейшей работы по изучению возможностей эффективного использования симбиотических бактерий в полевых условиях.

**Antibiotic activity of *Xenorhabdus* spp. (Enterobacteriaceae) symbionts of  
entomopathogenic nematodes (Rhabditida: steinernematidae) against  
various pathogens on potato**

*Kotova Z.P.\*, Danilov L.G.*

North-West Centre for Interdisciplinary Research of Food Supply Problems - separate structural subdivision of the St. Petersburg Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: zinaida\_kotova@mail.ru

## **Эндофитная *Beauveria bassiana* усиливает рост и устойчивость растений картофеля к возбудителю черной парши *Rhizoctonia solani***

*Крюкова Н.А.\*<sup>1</sup>, Толоконникова Х.П.<sup>1</sup>, Тюрин М.В.<sup>1</sup>, Томилова О.Г.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: dragonfly6@yandex.ru

Энтомопатогенные грибы рода *Beauveria* являются космополитами, они широко распространены по всему миру, традиционно привлекают внимание своей способностью вызывать микозы у членистоногих из разных таксономических групп (Zimmerman, 2007, Biocontrol. Sci. Technol.). Помимо инсектицидных свойств интерес исследователей вызывает эндофитная компетенция грибов этого рода. Отмечается, что растения, ассоциированные с *Beauveria*, активнее растут, легче переносят абиотические и биотические стрессы. Ранее нами была проведена серия лабораторных и полевых экспериментов по изучению различных аспектов взаимодействия эндофитной *Beauveria bassiana* с растениями картофеля. Целью настоящей работы была оценка влияния эндофитной *B. bassiana* на рост, окислительный стресс и антиоксидантную активность ферментов картофеля, инфицированного возбудителем черной парши *Rhizoctonia solani*. Колонизация растений картофеля эндофитным энтомопатогенным грибом *B. bassiana* на инфекционном фоне *R. solani* привела к изменению ряда физиологических показателей и ключевых параметров иммунитета растений, повышающих его стрессоустойчивость. Обработка *B. bassiana* способствовала снижению поражения ризоктониозом и нивелировала негативное влияние инфекционного процесса на рост, в частности, на развитие корней. Формирование стрессоустойчивости растений, по всей видимости, тесно сопряжено с преодолением окислительного стресса. Установлено значительное повышение активности антиоксидантного комплекса ферментов (пероксидаз, полифенолоксидаз, супероксиддисмутаз и фенилаланин аммоний лиазы) в ответ как на колонизацию *B. bassiana*, так и при совместном внесении грибов. Следует отметить, чтоmono-инокуляция *B. bassiana* вызывает ответ в более ранний период, тогда как максимальный подъем антиоксидантов при совместном внесении грибов зафиксирован при развитии признаков заболевания. Эти результаты выявили потенциал *B. bassiana* для стимулирования роста картофеля и снижения тяжести заболевания черной паршой.

## **The endophytic *Beauveria bassiana* enhances the growth and resistance of potato plants to the black scurf pathogen, *Rhizoctonia solani***

*Kryukova N.A.\*<sup>1</sup>, Tolokonnikova K.P.<sup>1</sup>, Tyurin M.V.<sup>1</sup>, Tomilova O.G.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: dragonfly6@yandex.ru

## **Влияние нанокомпозита Se на бактерию *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, возбудителя кольцевой гнили картофеля**

*Morits A.C.\*, Graskova I.A.*

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, Иркутск, Россия

\* e-mail: aconitkaaco@gmail.com

Фитопатогенные микроорганизмы способны вызывать различные патологии у культурных растений, что может привести к значительным потерям урожая. Основной причиной порчи сельскохозяйственных культур являются фитопатогенные грибы и бактерии. Среди самых распространенных фитопатогенов картофеля и овощных культур является род *Clavibacter*. Патоген является узкоспециализированным для представителей семейства *Solanaceae*. *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus* (*Cms*) вызывает у растения-хозяина системное заболевание - кольцевую гниль картофеля, являясь грамположительной бактерией, аэробом с прямыми или слегка изогнутыми палочками (Граскова И.А., и др. 2018). На ранних стадиях инфицирования патоген распространяется по сосудам ксилемы, нарушая транспорт воды и вызывая увядание растения.  $\text{Se}^0$ -содержащие нанокомпозиты являются перспективными в качестве обеззаражающего агента (Папкина А.В. и др., 2015). Нанокомпозит селена с арабиногалактаном (НК Se/Ag) оказывает положительный эффект на картофель, селен не накапливается в тканях, стимулирует рост растений и представляет интерес для рассмотрения в качестве потенциально экологически безопасного агента для оздоровления сельскохозяйственных растений от патогенных бактерий (Перфильева А.И. и др., 2019). Цель данной работы: исследование воздействия НКSe на физиологобиохимические показатели и механизм подавления *Cms* ВКМ Ас-1405 в течении 180 минут. Выявлен подавляющий эффект на жизнеспособность клеток, также изменение мембранныго потенциала клетки снижено, наблюдается исчезновение флюoresценции красителя TMRM, интенсивность дыхания клетки уменьшается с 30 минуты, метаболическая активность дегидрогеназ понижается на 120 минуте, интенсивность образования АФК наблюдалось на 30, 120 минутах. При воздействии НК Se/Ag происходила активация сигнальной системы и адаптационных ответов у бактерии. НК Se/Ag оказывал воздействие на фитопатоген картофеля, что свидетельствует о его бактерицидном действии.

## **Effect of Se nanocomposite on *Clavibacter michiganensis* subsp. *sepedonicus*, the causative agent of potato ring rot**

*Morits A.\*, Graskova I.*

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Irkutsk, Russia

\* e-mail: aconitkaaco@gmail.com

# **Симбиотические отношения возбудителя розового бактериоза зерна пшеницы и ржи *Erwinia rhabontici* (Millard 1924) Burkholder 1948 с другими представителями бактериальной микробиоты зерновых культур**

*Панченко К.В.<sup>1</sup>, Ерёмина У.В.<sup>1</sup>, Доморатская Д.А.<sup>1,2</sup>, Словарева О.Ю.<sup>\*1,3</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский центр карантина растений (ФГБУ "ВНИИКР"), Быково, Россия

<sup>2</sup> Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва, Россия

<sup>3</sup> Российской университет дружбы народов, Москва, Россия

\* e-mail: slovareva.olga@gmail.com

*E. rhabontici* причиняет экономический ущерб производству широкого перечня с.-х. культур, особенно зерновых (Huang et al., 2003, Plant Pathol. Bull.; Jeger et al., 2023, Phytopathol.). Одним из факторов, индуцирующих бактериоз, является наличие у растений механических повреждений (Sellwood, Lelliott, 1978, Plant Pathol.). Случай выделения фитопатогена из пораженных тканей показывают наличие сопутствующего комплекса бактерий (Gvozdyak et al., 1987, Mikrobiol. Z.; Лазарев и др., 2020, ВЗР). Присутствие в растении определенных микроорганизмов может играть не менее важную роль в развитии бактериоза, вызываемого *E. rhabontici*, чем механические повреждения. Цель исследования – определение характера взаимодействия *E. rhabontici* с другими видами бактерий зерновых культур.

Выборка испытуемых штаммов включала более 100 различных видов. Бактерии в фазе активного роста наносили стерильной петлей перпендикулярно культуре *E. rhabontici*, предварительно нанесенной на поверхность плотной среды R2A. Петлю обжигали после каждого пересечения двух штрихов. Результаты взаимодействия фиксировали через 72 ч.

С большинством видов отмечен нейтральный характер взаимодействия – штрихи оставались ровными, в местах пересечения отсутствовало ингибирование роста или разрастание какой-либо из культур. В других вариантах, одна из культур начинала расти поверх другой, полностью или частично покрывая ее на протяжении всего штриха. Наиболее интересным стало взаимодействие *E. rhabontici* с культурой *Acidovorax avenae* subsp. *avenae*, в котором последняя приобрела ярко-розовый цвет. Розовая окраска совершенно не свойственна *A. avenae* subsp. *avenae*, но характерна для некоторых штаммов *E. rhabontici* и обусловлена выработкой пигмента ферророзамина А, чаще всего вследствие конкуренции с другими микроорганизмами за питательные вещества (Born et al., 2016, Microbiol.). Мы предполагаем, что указанный характер взаимодействия между двумя фитопатогенами будет играть важную роль при совместном заражении растения.

## **Symbiotic relationships between the causative agent of pink grain of cereals *Erwinia rhabontici* (Millard 1924) Burkholder 1948 and other representatives of cereal crops bacterial microbiota**

*Panchenko K.V.<sup>1</sup>, Eremina U.V.<sup>1</sup>, Domoratskaya D.A.<sup>1,2</sup>, Slovareva O.Y.<sup>\*1,3</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Plant Quarantine Center ("FGBU VNIIKR"), Bykovo, Russia

<sup>2</sup> Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Moscow, Russia

<sup>3</sup> RUDN University, Moscow, Russia

\* e-mail: slovareva.olga@gmail.com

## **Мониторинг цистообразующих нематод (Tylenchida: Heteroderidae) на полях КФХ на территории Центрально-Европейской части России**

*Хусаинов Р.В.*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия  
e-mail: ren.khusainov@gmail.com

Цистообразующие нематоды являются одной из наиболее вредоносных групп нематод для различных сельскохозяйственных культур. При паразитировании они могут угнетать развитие растений, приводить к снижению урожайности и ухудшению качества продукции (Subbotin et al., 2010; Чижов и др., 2012).

Почвенные и растительные пробы отбирались в летне-осенний период с полей полевых и овощных культур на территории Тверской, Ярославской, Костромской, Калужской, Московской, Владимирской, Брянской, Орловской, Тульской, Рязанской, Курской, Липецкой, Тамбовской и Воронежской областей в 2015-2020 гг. Всего было обследовано более 8000га полей в 36 хозяйствах.

По результатам обследований полевых аgroценозов было выявлено 12 видов гетеродерид из 3 родов (*Globodera rostochiensis*, *Heterodera carotae*, *H. cruciferae*, *H. filipjevi*, *H. latipons*, *H. medicaginis*, *H. pratensis*, *H. ripae*, *H. schachtii*, *H. trifolii*, *H. sp.* и *Punctodera sp.*). В целом, гетеродериды обнаруживались на полях с.-х. культур редко (13% от всех образцов). Из выявленных видов наиболее часто встречаемыми были *H. cruciferae* (16%), *H. filipjevi* (19%), *H. pratensis* (17%), *H. trifolii* (22%). Прочие виды встречались довольно редко или единично. Популяции *G. rostochiensis* распределялись по всей площади полей равномерно. Численность цист составляла от 3 до 39 шт /100 см<sup>3</sup> почвы. Виды рода *Heterodera* распределялись по площади полей преимущественно очагово. Высокие численности были характерны для *H. cruciferae*, *H. filipjevi*, *H. ripae* и *H. trifolii* (12-50 цист /100 см<sup>3</sup> почвы). Виды *H. filipjevi*, *H. pratensis* и *H. trifolii* обнаружены более чем в половине из обследованных регионов. *H. cruciferae* была обнаружена на полях в Тверской, Ярославской, Калужской, Московской и Тульской областях (4-46 цист /100 см<sup>3</sup> почвы). *H. schachtii* обнаружена в Курской и Воронежской областях (6-13 цист /100 см<sup>3</sup> почвы). Поддержанию высоких численностей гетеродер на полях, в отсутствии основного растения-хозяина, способствовали факультативные хозяева – сорные растения.

## **Monitoring of cyst-forming nematodes (Tylenchida: Heteroderidae) in peasant farms in the Central part of European Russia**

*Khusainov R.V.*

A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian  
e-mail: ren.khusainov@gmail.com

## **Конвергентная эволюция фитопаразитов**

*Шестеперов А.А., Щитков Г.С.\**

ВНИИП – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН, Москва, Россия  
\* e-mail: shchitkovgeorgii@gmail.com

Конвергентная эволюция — процесс, при котором у неродственных групп организмов развиваются сходные адаптации к одинаковым условиям среды. У фитопаразитов независимо сформировались схожие структуры для питания на растениях. У животных-фитопаразитов (тихоходки, нематоды, клещи, насекомые) возник колюще-сосущий ротовой аппарат со слюнными железами (КСРА и СЖ), способный прокалывать клетки растений (Четвериков, 2015; Klimov et al., 2018, Mol. Phylogenet. Evol.). У паразитических растений развились гаустории — аналогичные органы питания.

Основная причина конвергенции — сходство экологических ниш. У фитопаразитов КСРА и СЖ эволюционировали для прокалывания тканей, подавления защиты растений и эффективного питания. Минимизация повреждений хозяина способствует долгосрочному паразитизму. У растений-фитопаразитов (омела, повилика, заразиха) гаустории выполняют схожие функции, формируя проводящие мостики с сосудами хозяина (Joel et al., 2013; Westwood et al., 2010). Конвергенция демонстрирует универсальность адаптаций к паразитизму, несмотря на разное происхождение групп.

## **Convergent evolution of phytoparasites**

*Shestepetrov A.A., Shchitkov G.S.\**

All-Russian Research Institute of Parasitology – Branch of the FSBSI FRC VIEV RAS, Moscow, Russia  
\* e-mail: shchitkovgeorgii@gmail.com

# **ЭВОЛЮЦИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ ОРГАНИЗМОВ**

## **Ранние стадии эволюции паразитизма у нематод: нейрональные основы поведенческой пластиности у *Alloionemata appendiculatum***

**Белолюбская К.И.<sup>1</sup>, Иванова Е.С.<sup>1</sup>, Апарина М.С.<sup>1,2</sup>, Мазакина В.В.<sup>1</sup>, Тетерина А.А.<sup>1,3</sup>,  
Спиридонов С.Э.<sup>1</sup>, Ефейкин Б.Д.<sup>1</sup>, Ивашиклин Е.Г.\*<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт биологии развития имени Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт экологии и эволюции, Университет Орегона, Юджин, США

\* e-mail: evgeny.g.ivashkin@sev-in.ru

Эволюция паразитизма подчиняется общей логике: сначала формируются поведенческие адаптации, затем — морфологические. Нематоды — удобная модель для изучения таких переходов. При высокой консервативности нервной системы (~300 нейронов) они демонстрируют широкий спектр симбиотических стратегий — от комменсализма до облигатного паразитизма — с богатым поведенческим и морфологическим репертуаром. Особенно интересны виды на ранних этапах паразитизма, такие как *Alloionemata appendiculatum* (Rhabditida, Alloionematidae), сочетающая свободноживущие поколения в почве и паразитическую стадию.

Инвазивные личинки L3 демонстрируют активное поисковое поведение, а паразитические стадии L3–L4 развиваются в складках тела наземных гастропод, питаясь их микрофлорой и дожидаясь гибели хозяина. Мы исследовали организацию нервной системы *A. appendiculatum* с акцентом на глутаматергические интернейроны — ключевые элементы регуляции поведения у Bilateria. Применены транскриптомный анализ с оценкой дифференциальной экспрессии генов, гибридизация *in situ* методом HCR, конфокальная микроскопия с трёхмерной реконструкцией, а также поведенческие тесты. Выявлены значимые различия в экспрессии генов *snt-1* (ортолог пан-нейронального маркера синаптотагмина 1) и *eat-4* (мембранный глутаматный транспортер) между стадиями. Впервые выполнено детальное описание нервной системы этого вида с идентификацией нейронов и сравнением между стадиями и полами. Составлены схемы глутаматергических компонентов для разных этапов жизненного цикла. Сопоставление с модельной нематодой *C. elegans* позволило выделить как консервативные элементы, так и специфические черты, возможно связанные с переходом к паразитизму. Показаны различия в локомоторных паттернах. Нервная система *A. appendiculatum* сочетает консервативность с вариативностью глутаматергических нейронов, отражая нейробиологическую основу поведенческой пластиности при переходе к паразитическому образу жизни.

*Выполнено при поддержке РНФ № 19-74-20147.*

## **Early Stages of Evolutionary Transitions to Parasitism in Nematodes: Neural Basis of Behavioral Plasticity in *Alloionemata appendiculatum***

**Belolyubskaya K.I.<sup>1</sup>, Ivanova I.S.<sup>1</sup>, Aparina M.S.<sup>1,2</sup>, Mazakina V.V.<sup>1</sup>, Teterina A.A.<sup>1,3</sup>,  
Spiridonov E.S.<sup>1</sup>, Efeikin B.D.<sup>1</sup>, Ivashkin E.G.\*<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Koltzov Institute of Developmental Biology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Institute of Ecology and Evolution, University of Oregon, Eugene, USA

\* e-mail: evgeny.g.ivashkin@sev-in.ru

## **Умные цестоды: что мы знаем и хотели бы узнать про ленточных червей**

*Бисерова Н.М.*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия  
e-mail: nbiserova@yandex.ru

Доклад посвящен обзору современных данных о ленточных червях, включая новые сведения о филогенезе, морфологии и жизненных циклах. Особое внимание уделено новым данным о взаимоотношениях цестод с хозяином, выявлении манипуляционных факторов и участия нервной системы цестод в данных процессах.

Нейро-железистая интеграция как эволюционный компромисс. Новые исследования дают картину нервной системы цестод как высоко адаптивной комплексной системы, интегрирующей сенсорные, двигательные и секреторные функции, обеспечивающие эволюционный успех этих паразитов. Цестоды обладают механическими, сенсорными и биохимическими инструментами для управления средой обитания (т.е. хозяином). Нейро-экзокринная секреция, обнаруженная у ряда видов на стадии плероцеркоида, стирает границы между нервной и эндокринной системами у цестод. У дифиллотриид мозг выступает в роли нейросекреторного центра, напрямую влияющего на физиологию хозяина. У цестод обнаружены специализированные нейросекреторные нейроны, аксоны которых напрямую открываются на поверхность тела паразита, без посредничества классических железистых клеток. Это прямой нейрогормональный канал коммуникации между паразитом и хозяином.

Экологическая детерминация эволюционных путей: сравнительный анализ показывает, что у цестод, паразитирующих на разных хозяевах, развиваются различные стратегии. Эволюция цестод представляет сложный баланс процессов полимеризации и олигомеризации, где редукция одних систем компенсируется усложнением других. Микротрихи рассмотриваются как апоморфия цестод среди плоских червей. Их рост является результатом полимеризации актина в кортикальном слое тегумента. Электронно-плотные кончики микротрихий обогащены гликопротеинами, которые обеспечивают защиту от протеолитических ферментов хозяина и участвуют в адгезии. Протеомный анализ тегумента выявил наличие уникальных антигенных белков, которые локализуются в микротрихиях и играют ключевую роль во взаимодействии между паразитом и хозяином.

## **Smart cestodes: what we know and want to know about tapeworms**

*Biserova N.M.*

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia  
e-mail: nbiserova@yandex.ru

## **Морфология и развитие симбионтов: новые горизонты визуализации с использованием конфокальной микроскопии**

*Воронежская Е.Е.*

Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН  
e-mail: elena.voronezhskaya@idbras.ru

В современных исследованиях прогресс во многом определяется расширением спектра используемых методов. Внедрение подходов из смежных областей позволяет не только глубже изучить объект, но и получить принципиально новые данные. А использование нескольких методических подходов в комплексе позволяет получить целостную картину изучаемого объекта или явления. В докладе будут представлены примеры использования лазерной сканирующей конфокальной микроскопии для визуализации объектов зоологии, паразитологии и биологии развития. Конфокальная микроскопия позволяет визуализировать мельчайшие детали организации тканей и клеток. Традиционно для выделения структур интереса применяются специфические антитела, распознающие отдельные белки. Совмещение нескольких флуоресцентных маркеров дает возможность изучать взаимное расположение молекул и клеток в пределах одного объекта. Дополнительно информативным источником сигнала служит автофлуоресценция тканей и органов; варьируя параметры возбуждения и эмиссии, можно дифференцировать структуры внутри одного организма. Послойное сканирование обеспечивает построение не только плоских (2D), но и объемных (3D) моделей, позволяет выявлять колокализацию и пространственные связи элементов.

Особое внимание будет уделено применению микроскопии с суперразрешением, расширяющей возможности стандартной конфокальной микроскопии. Будут представлены примеры совмещения различных подходов маркирования — иммуноцитохимии, анализа пролиферации и флуоресцентной *in situ* гибридизации.

Обсуждены технические возможности микроскопов разных производителей и условия, позволяющие получать изображения оптимального качества. В целом, конфокальная микроскопия является мощным инструментальным комплексом, открывающим новые перспективы в изучении симбиотических организмов на клеточном и тканевом уровнях.

## **Morphology and development of symbionts: advancing visualization with confocal microscopy**

*Voronezhskaya E.E.*

Koltzov Institute of Developmental Biology RAS  
e-mail: elena.voronezhskaya@idbras.ru

## **Эволюция trematod семейства Renicolidae – из эстуариев в море**

*Галактионов К.В.\*<sup>1,3</sup>, Соловьева А.И.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: kirill.galaktionov@zin.ru

**Renicolidae** (*Microphalloidea*) – небольшое семейство широко распространенных ренальных trematod водных и околоводных птиц. Жизненные циклы известны для немногих видов, обладающих типичными ксифидиоцеркариями, характерными для *Microphalloidea*. К церкариям рениколид относят и личинок совершенно иного облика (группы *Rhodometora*) – крупных, лишенных стилета, с длинным хвостом, снабженным плавательной мембраной, многочисленными железами проникновения и сложно устроенной выделительной системой. Столь контрастные отличия от ксифидиоцеркарий вызывали сомнения в принадлежности церкарий *Rhodometora* к видам *Renicolidae*. С использованием молекулярных маркеров нами показано, что такие виды формируют самостоятельную кладу в рамках этого таксона. Все они паразитируют в морских рыбоядных птицах и их вторыми промежуточными хозяевами (2ПХ) служат рыбы. Виды со стилетными церкариями в качестве 2ПХ используют моллюсков и полихет, их мариты паразитируют у птиц эстуарно-прибрежного комплекса, питающихся беспозвоночными. Они составили на молекулярном дереве 2 клады, одна из которых объединяет паразитов утиных, а вторая – куликов и чаек. Паразитирование в чайках-полифагах определило переход рениколид на использование в качестве 2ПХ рыб и формирование, через формы с "переходным" морфотипом, церкарий *Rhodometora*.

Показано, что личинки этого типа более продвинуты в своем развитии, чем ксифидиоцеркарии, и приобретают некоторые черты организации марит. Изменяется и поведение – ксифидиоцеркарии присуща стратегия активного поиска, а личинкам *Rhodometora* – подражания добыче. Включение в жизненный цикл в качестве 2ПХ мобильных рыб позволило рениколидам освоить типичных морских птиц (чистиковых, пингвинов, пеликанов и др.), и перейти к трансмиссии в экосистемах открытого моря. Это стало генеральной линией в эволюции таксона, способствовавшей его расцвету – большинство видов рениколид приурочено именно к рыбоядным птицам.

*Работа выполнена в рамках гранта РНФ № 23-14-00329 и темы ЗИН РАН № 125012800903-5.*

## **Evolution of trematodes of the family Renicolidae – from estuaries to the sea**

*Galaktionov K.V.\*<sup>1,3</sup>, Solovyeva A.I.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Cytology of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

<sup>3</sup> Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: kirill.galaktionov@zin.ru

## **Эволюция бактериофагов, поражающих *Xanthomonas campestris***

*Игнатов А.Н.*

Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия  
e-mail: ignatov\_an@pfur.ru

Вирулентность бактериофагов (фагов) по отношению к патогенным бактериям сделала их перспективным предметом исследований в микробиологии и фитопатологии. Геномный анализ фагов часто затруднены из-за активного горизонтального переноса генов. Это характерно в т.ч. для лизогенных фагов, интегрированных в бактериальную хромосому («профаги»). Нами было проведено исследование профагов в бактериальных геномах и активных фагов гамма-протеобактерий рода *Xanthomonas* с целью оценить вероятность активизации профагов и их способности заражать широкий спектр бактерий. Фаг PBR31 заражает *X. campestris* pv. *campestris* - патогена крестоцветных растений (Tarakanov et al. 2024, Viruses). Известно об отличии PBR31 от известных фагов, а также о его отдаленном родстве с группой *Lederbergvirus*. Повторный анализ, проведенный нами, показывает высокое сходство большей части генома PBR31 с профагом *Ralstonia pickettii*, и широкое присутствие гомологичных последовательностей среди родственных бетапротобактерий, что предполагает эволюционно быстрый переход фага к вирулентности для ксантомонад. Фаг Murka, был выделен из почвы на полях с растениями капусты, пораженной *X. campestris* pv. *campestris* (Evseev et al., 2024, Viruses). Фаг Murka принадлежит роду *Foxunavirus*, распространенному в Западной Европе. Фаг заражал штаммы бактерии-хозяина из Краснодарского края, Москвы, Тирасполя (Молдова) и из Японии, в то время как штаммы из Украины, Беларуси, Нидерландов, и Великобритании были устойчивы. Murka и близкородственные фаги проявляют строго литический фенотип, но геномный анализ показал наличие у Murka и других *Foxunavirus* лизогенетического аппарата, а анализ геномов таксономически-удаленных бактерий выявил большое число потенциальных профагов, близких к *Foxunavirus*. Обсуждается предположение, что переход от лизогенного к литическому образу жизни может быть спровоцирован разрушением гена функциональной фаговой интегразы вставками и делециями мобильных элементов (Evseev et al., 2024, Viruses).

## **Evolution of bacteriophages infecting *Xanthomonas campestris***

*Ignatov A.N.*

RUDN University, Moscow, Russia  
e-mail: ignatov\_an@pfur.ru

## **Будни манипуляторов: инвазивные столоны Rhizocephala как двигатель их эволюции**

*Лянгузова А.Д.\*<sup>1,2</sup>, Арбузова Н.А.<sup>1</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>2</sup>, Петруняк А.М.<sup>2</sup>,  
Лапшин Н.Е.<sup>2</sup>, Миролюбов А.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: reinhardtlenon@gmail.com

Феномен паразито-хозяинного манипулирования возникал многократно в различных эволюционных линиях. Независимо паразиты переходили и к непосредственному взаимодействию с нервной системой заражённых особей. Корнеголовые ракообразные (*Rhizocephala*) — уникальный пример таксона высокого ранга, все представители которого облигатно контактируют с нервной тканью хозяина. В теле заражённого хозяина — другого ракообразного — расположены трофические столоны ризоцефал. Часть столонов проникает в ганглии брюшной нервной цепочки. Тонкое строение таких инвазивных столонов указывает на высокую синтетическую активность и активный транспорт веществ от паразита к хозяину и от хозяина к паразиту.

Инвазивные столоны корнеголовых представлены бокаловидными органами, преобразованными в чашеподобную конструкцию и расположенными в зоне тел нейронов ганглия, и нейропиль-ассоциированными столонами, проникающими глубже в нейропиль и не изменяющими свою форму по сравнению с трофическими столонами. Бокаловидные органы характерны для базальных семейств ризоцефал. Детали строения этих органов (количество клеточных слоёв, наличие/отсутствие внеклеточного матрикса), а также их расположение в конкретном отделе нервной системы варьирует у представителей разных семейств. Например, бокаловидные органы характерны для сем. *Mycetomorphidae*, филогенетическое положение которого долгое время оставалось неясным. Наличие бокаловидных органов подтверждает более базальное положение этой группы корнеголовых. Строение бокаловидных органов р. *Lernaeodiscus*, напротив, подтверждает их выделение из сем. *Peltogastridae*, что согласуется и с полученными нами молекулярно-генетическими данными.

Нейропиль-ассоциированные столоны, по-видимому, появляются позднее в эволюции ризоцефал. У некоторых представителей происходит потеря бокаловидных органов, и их полная замена на нейропиль-ассоциированные столоны. По-видимому, наличие исключительно нейропиль-ассоциированных столонов — апоморфия для клады «*Polyascidae + акентрогониды*».

## **Everyday life of manipulators: invasive rootlets of *Rhizocephala* as the engine of their evolution**

*Lianguzova A.\*<sup>1,2</sup>, Arbuзova N.<sup>1</sup>, Krupenko D.<sup>2</sup>, Petruniak O.<sup>2</sup>, Lapshin N.<sup>2</sup>, Miroliubov A.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute of RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> St Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: reinhardtlenon@gmail.com

## **Как придумать мышечную систему заново: эволюционная пластичность корнеголовых ракообразных**

*Миролюбов А.А.\*<sup>1</sup>, Арбузова Н.А.<sup>1</sup>, Крупенко Д.Ю.<sup>2</sup>, Кремнев Г.А.<sup>1</sup>, Лянгузова А.Д.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: alexmioliubov@gmail.com

Паразитизм часто сопровождается значительными изменениями строения организмов. Одними из наиболее видоизменённых паразитов являются корнеголовые ракообразные (*Rhizocephala*) — облигатные эндопаразиты других ракообразных. Взрослое тело ризоцефал не имеет общих черт в строении с их личинкой и формируется заново в результате катастрофического метаморфоза. В дальнейшем из этой группы клеток разовьется интерна и экстерна, трофическая и репродуктивная части тела соответственно. При этом, мышечная система не наследуется от личинки к взрослому организму и по сути формируется *de novo*.

Целью работы было сравнение мышечных систем у нескольких видов корнеголовых, относящихся к разным семействам (*Peltogastridae*, *Sacculinidae*, *Polyascidae*, *Peltogasterellidae*).

Принцип организации мышечной системы взрослых самок корнеголовых не имеет аналогов среди свободноживущих ракообразных, строение этой системы отличается у разных семейств.

В экстерах мышцы образуют слои кольцевых и продольных волокон; их количество и толщина варьируют и зависят от размеров. В интерне у *Peltogastridae* мышечные волокна оплетают стенку главного столона, тогда как у *Sacculinidae* и *Polyascidae* они формируют звёздчатые конструкции, объединённые в сеть и располагающиеся в каждом столоне. У представителей *Peltogasterellidae* в интерне встречаются оба этих варианта устройства мышечной системы, а у ряда видов из других семейств мышцы в интерне отсутствуют.

Высокое разнообразие типов организации мышечной системы, по-видимому, связано с тем, что у взрослых особей она формируется вторично в ходе метаморфоза и, как и тело взрослого животного в целом, является относительно молодой в эволюционном отношении. С этим, вероятно, связаны и часто наблюдаемые аномалии развития у корнеголовых. Таким образом, морфогенетическая гибкость может рассматриваться как следствие относительной незрелости механизмов, регулирующих развитие.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-24-00133.*

## **How to reinvent the muscular system: evolutionary plasticity of parasitic barnacles**

*Miroliubov A.\*<sup>1</sup>, Arbuzova N.<sup>1</sup>, Krupenko D.<sup>2</sup>, Kremnev G.<sup>1</sup>, Lianguzova A.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: alexmioliubov@gmail.com

## **Ранняя эволюция микроспоридий**

*Насонова Е.С.\*<sup>1</sup>, Райко М.П.<sup>1</sup>, Фролова Е.В.<sup>1</sup>, Камышацкая О.Г.<sup>1</sup>, Шкляр А.А.<sup>2</sup>, Глотова А.А.<sup>1</sup>, Бондаренко Н.И.<sup>1</sup>, Смирнов А.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: nosema@mail.ru

Микроспоридии - широко распространенная и богатая видами группа облигатных внутриклеточных паразитов животных и некоторых протистов. Биосинтетические пути и молекулярные механизмы у этих паразитов сильно редуцированы, геномы у большинства миниатюрны и компактно организованы. Одним из основных вызовов в изучении этой группы является реконструкция ранних этапов ее эволюционной истории. Метагеномные исследования продемонстрировали огромное "скрытое" разнообразие ранних микроспоридий и филогенетически близких к ним групп организмов, в то время как известно лишь небольшое число описанных представителей. Обнаружение и изучение новых организмов из этой группы представляет особый интерес. Мы изолировали ранних микроспоридий из широкого круга хозяев: от протистов (грегарина из морских аннелид, свободноживущие амебы) до Metazoa (тардиграды, насекомые) и идентифицировали несколько новых для науки видов и линий этих паразитов. Для расшифровки геномов этих миниатюрных внутриклеточных паразитов использовали подходы одноклеточной геномики и метагеномики, в т.ч. полногеномную амплификацию ДНК, биннинг первичных метагеномных сборок и последующую деконтаминацию. Секвенированные геномы варьировали в размере от 2,5 до 9 млн.п.н., содержали 1500-3800 белок-кодирующих генов. В некоторых линиях мы наблюдали полную или частичную редукцию митохондриального генома, в то время как в других он не подвергался выраженному упрощению. Филогеномный анализ продемонстрировал широкое распространение смешанных инфекций гиперпаразитических микроспоридий. Сравнительный геномный анализ позволил предположить, что раннее развитие микроспоридий включало в себя ряд независимых потерь и приобретений генов и молекулярных механизмов, которые проходили по-разному в разных линиях, по-видимому, в результате адаптации к разным хозяевам.

*Исследование выполнено при поддержке РНФ - проект № 23-74-00071 с использованием оборудования Научного парка СПбГУ.*

## **Early evolution of microsporidia**

*Nassonova E.S.\*<sup>1</sup>, Rayko M.P.<sup>1</sup>, Frolova E.V.<sup>1</sup>, Kamyshatskaya O.G.<sup>1</sup>, Shklyar A.A.<sup>2</sup>, Glotova A.A.<sup>1</sup>, Bondarenko N.I.<sup>1</sup>, Smirnov A.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Cytology RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: nosema@mail.ru

## **Стратегии паразитизма у споровиков (Sporozoa, Apicomplexa): пересмотр традиционных представлений об эволюции группы**

*Паскерова Г.Г.*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: gitapasker@yahoo.com

У споровиков известны две стратегии эндопаразитизма: внеклеточный (полостной, тканевой) и внутриклеточный. В результате исследований представителей базальных линий споровиков (паразитов морских беспозвоночных, главным образом, полихет) мы получили новые данные, позволяющие пересмотреть традиционные взгляды на эволюцию группы. Выявлен новый способ взаимодействия споровиков с клеткой хозяина: паразит находится снаружи клетки хозяина; однако протист окружен специализированными цитоплазматическими выростами пораженной клетки, формирующими обособленную паразитофорную нишу на ее апикальной поверхности. Предложена гипотеза, согласно которой споровики демонстрируют два типа внеклеточного паразитизма: открытый (у грегарин) и закрытый (у протококцидий и криптоспордий) эпицеллюлярный паразитизм (Paskerova et al., 2023, Diversity; Valigurová et al., 2015, PLoS ONE). Впервые показано наличие кратковременного внутриклеточного этапа развития трофозоита у архигрегарин и агамококцидий – филогенетически древних споровиков, паразитизм которых ранее рассматривался как внеклеточный (Miroliubova et al., 2020, Sci. Rep.; Paskerova et al., 2018, Protist). Это позволяет обосновать гипотезу о том, что внутриклеточная локализация (во всяком случае, на раннем этапе развития трофозоита) является анцестральной чертой для споровиков. В результате пересмотрена догма о том, что становление внутриклеточного паразитизма произошло в результате адаптации лишь одной специализированной филогенетической ветви споровиков – кокцидий. Получены данные о широком распространении пластид среди представителей разных филогенетических линий (Janouškovec et al., 2019, eLife), что хорошо согласуется с гипотезой раннего возникновения внутриклеточного паразитизма в группе Sporozoa. Подтверждена функциональная значимость апикопласта как органеллы, которая обеспечивает внутриклеточные стадии споровиков метаболитами, необходимыми для формирования и развития паразитофорной ниши вокруг паразита в цитоплазме клетки хозяина.

*Работа выполнена в рамках темы государственного задания № 125012800903-5 "Паразиты животных и растений – видовое разнообразие, эволюция и пути трансмиссии в естественных и антропогенных ландшафтах".*

## **Strategies of parasitism in sporozoans (Sporozoa, Apicomplexa): reconsideration of traditional ideas about the evolution of the group**

*Paskerova G.G.*

Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia  
e-mail: gitapasker@yahoo.com

## **Амебоидные протисты и их эндобионты – «Троянские кони» микробного мира**

*Смирнов А.В.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: alexey.smirnov@spbu.ru

Представители супергруппы Amoebozoa известны как хозяева многочисленных и разнообразных эндобионтов, начиная от водорослей и заканчивая бактериями и вирусами (в том числе – сложными консорциумами из нескольких видов бактерий, глубоко интегрированными в энергетический обмен клетки у архамеб). При этом клетки многих видов амеб могут служить векторами для находящихся в них организмов, которые сохраняются в цитоплазме клеток и в цистах амеб в течение многих лет и в любой момент могут быть выделены клеткой во внешнюю среду. Так, из примерно 500 видов бактерий, потенциально патогенных для человека, более 100 способны сохраняться и размножаться внутри клеток амеб. В клетках амеб обнаруживается широкий спектр вирусов, начиная от гигантского мимивируса (который, как оказалось, может участвовать в развитии пневмонии) и до хорошо известных вирусов, в том числе – патогенных для человека – таких как вирус Коксаки, способный выживать в трофозоитах *Acanthamoeba castellanii* и сохранять инфекционность не менее 6 месяцев. Из-за этого амеб часто называют «троянскими конями» в мире микробов.

Результаты филогенетических реконструкций показывают, что упомянутый уже мимивирус приобрел многие гены путем горизонтального переноса генов либо от своих амебных хозяев, либо от бактерий, паразитирующих на тех же хозяевах. Это дает основание утверждать, что амебы являются своего рода “плавильными котлами” эволюции, в которых в результате рекомбинации могут возникать различные новые организмы, включая гигантские вирусы со сложным репертуаром генов различного происхождения. Подобный перенос генов приводит к взаимной адаптации и видоизменению генома и амеб, и населяющих их бактерий и вирусов. Какие новые сочетания генов «сварятся» в этом кotle, насколько они могут быть опасны, как предотвратить их потенциальное распространение – пока совершенно неясно.

*Поддержано РНФ № 24-44-00096 (экспериментальные данные) и СПбГУ № 128785052 (подходы к анализу метагеномных данных).*

## **Amoeboid protists and their endobionts – the “Trojan horses” of the microbial world**

*Smirnov A.V.*

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia  
e-mail: alexey.smirnov@spbu.ru

## ***Microphallus pseudopygmaeus* (Microphallidae, Digenea) — единый вид и уникальная модель для изучения специфичности trematod**

*Соколова А.И.\*<sup>1,2</sup>, Гончар А.Г.<sup>1,2</sup>, Галактионов К.В.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: igorevna1864@mail.ru

Трематоды — паразитические плоские черви со сложным жизненным циклом. Считается, что они высоко специфичны к первому промежуточному хозяину (моллюску). В полном соответствии с этими представлениями, пять видов микрофаллид группы “pygmaeus” заражают только литторин (Caenogastropoda), но спектр хозяев одного вида, *Microphallus pseudopygmaeus*, очень выделяется: он включает 14 видов гастропод, среди которых есть и представители другого подкласса, Vetigastropoda. Это делает *M. pseudopygmaeus* уникальной моделью для изучения специфичности и видообразования.

Мы получили частичные последовательности митохондриального гена *coxl* и рибосомальных маркеров 28S рДНК и ITS2 для *M. pseudopygmaeus* от девяти видов хозяев, в том числе *Margarites* spp. (Vetigastropoda), и провели «barcoding gap» анализ с включением близкородственных видов рода *Microphallus*. Данные подтвердили единство вида и его широкую специфичность. Однако сеть гаплотипов по *coxl* выявила связанную с хозяевами генетическую дивергенцию, особенно у изолятов из *Margarites* spp. и *Cryptonatica affinis*. Проявляется ли эта дивергенция ещё каким-то образом? Мы хотим проверить, сохранил ли *M. pseudopygmaeus* способность одинаково эффективно заражать литторин вне зависимости от того, в каком моллюске развивались его метацеркарии: *L. saxatilis* или *M. groenlandicus*. Для этого мы планируем провести эксперименты по заражению *L. saxatilis* яйцами *M. pseudopygmaeus*, которые имеют происхождение из *L. saxatilis* и из *M. groenlandicus*. Этот подход предполагает разработку протокола культивирования марит *M. pseudopygmaeus* *in vitro* на питательной среде вплоть до получения зрелых яиц с жизнеспособными мирадиациями. Наши результаты расширят представления о взаимоотношениях в системе трематоды—первый промежуточный хозяин и будут значимы для понимания эволюционных механизмов смены хозяев у паразитов.

*Работа поддержанна грантом РНФ № 25-24-00316; секвенирование выполнено в Научном парке СПбГУ (ресурсный центр «Развитие молекулярных и клеточных технологий»).*

## ***Microphallus pseudopygmaeus* (Microphallidae, Digenea) is a single species and a unique model for studying trematode specificity**

*Sokolova A.\*<sup>1,2</sup>, Gonchar A.<sup>1,2</sup>, Galaktionov K.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Saint-Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Zoological Institute RAS, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: igorevna1864@mail.ru

# **ЭКОЛОГИЯ СИМБИОТИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

## **Роль крабов - мутуалистов в повышении устойчивости кораллов к хищникам**

*Бритаев Т.А.<sup>1</sup>, Дудка К.К.<sup>2</sup>, Лищенко Ф.В.<sup>1,2</sup>, Мартин Д.С.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Приморское отделение Совместного Российско-Вьетнамского Тропического Научно-исследовательского и Технологического Центра, Нячанг Вьетнам

<sup>3</sup> Центр научных исследований Бланеса (CEAB-CSIC), Бланес, Испания

Пересадка подращённых фрагментов кораллов является важным инструментом восстановления рифов, однако их высокая гибель на ранних этапах снижает её эффективность. Мы исследовали взаимосвязь между размером колоний кораллов *Pocillopora* и *Acropora*, выращенных в питомнике, присутствием симбиотических крабов родов *Trapezia* и *Tetralia* соответственно, и выживаемостью колоний после пересадки. Эксперименты проводили в естественных условиях у острова Че, Вьетнам. Максимальная смертность кораллов *Pocillopora* наблюдалась среди свежих фрагментов и трёхмесячных колоний (более 90%), вследствие хищничества со стороны морских звезд *Culcita novaeguineae* и *Acanthaster planci*. В шести- и двенадцатимесячных колониях, в которых сформировались пары крупных крабов – мутуалистов *Trapezia*, смертность была значительно ниже – 67% и 48% соответственно. У *Acropora* смертность была много выше (84–100%) и не зависела от размеров колоний. На участке, где хищные морские звезды были удалены, смертность кораллов была низкой, 12–23% у *Pocillopora* и 27–42% у *Acropora* и не зависела от размеров колоний. Высокая смертность *Acropora* объясняется неспособностью их симбионтов – мелких крабов *Tetralia* эффективно противостоять нападению звезды *A. planci*. Тогда как более крупные и агрессивные крабы *Trapezia* успешно отражают нападение хищников. Наши результаты подчёркивают ключевую защитную роль крабов-мутуалистов, которая усиливается с увеличением размера и возраста колонии у *Pocillopora*. Мы рекомендуем откладывать пересадку фрагментов кораллов из питомников в естественные условия до тех пор, пока колонии не достигнут объёма 0,4–1,0 дм<sup>3</sup> и в них не сформируются функциональные симбиотические сообщества, способные успешно защищать хозяина. Такой подход позволит повысить эффективность восстановления коралловых рифов.

*Исследование финансировалось РНФ, грант № 24–14-00288.*

## **The Role of Mutualistic Crabs in Enhancing Coral Sustainability to Predators**

*Britayev T.A.<sup>1</sup>, Dudka K.K.<sup>2</sup>, Lischenko F.V.<sup>1,2</sup>, Martin D.S.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences

<sup>2</sup> Coastal Branch, Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Nha Trang, Vietnam

<sup>3</sup> Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CEAB-CSIC), Blanes, Spain

## **Паразито-хозяинные отношения эктоформы олигохеты *Chaetogaster* sp. и моллюсков *Radix auricularia* в озёрах юга Приморского края**

*Вайнутис К.С., Бирюков И.Ю., Фоминов В.С., Афанасьев К.А., Буховец А.А.*

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет (Владивосток, Россия)

Паразито-хозяинные отношения олигохет *Chaetogaster lymnaei* и моллюсков рода *Lymnaea* были исследованы на примере различных водоёмов Кемеровской области, где была показана зависимость заражённости церкариями от заражённости олигохетами (Маниковская, 2019, 2022). Известны две формы олигохет *C. lymnaei*: эктоформа – комменсал лёгочных моллюсков; эндоформа – почечный паразит (Сапаев, 1975). Согласно литературным данным обе формы заметно отличаются морфологически и ранее рассматривались как биологические виды (Вагин, 1946; Сапаев, 1975). Современных данных, подтверждающих достоверность этих суждений, равно как и данных по секвенированию, предоставлено не было.

Для олигохет из водоёмов Приморского края оценка заражённости моллюсков олигохетами, морфологические и генетические данные последних отсутствуют. Впервые *Chaetogaster* обнаружен на севере Приморья у *Physa fontinalis* в Лучегорском водохранилище. В мае 2023 г. эктоформы наблюдались в *Radix auricularia* реки Болотной на юге Приморского края. В апреле 2025 г. радиксы реки Болотной не были заражены олигохетами, однако наблюдалась суперинвазия церкариями двух видов. В озёрах города Владивосток был предварительно изучен состав церкарий, заражающих *R. auricularia*, – *Echinostomatidae* и *Orientocreatiidae* (Беляев и соавт., 2024; Бирюков, Вайнутис, 2024). В некоторых случаях интенсивность инвазии моллюсков церкариями могла составлять менее ста особей на одного моллюска, а экстенсивность инвазии моллюсков эктоформой *Chaetogaster* значительно превосходила таковую церкарий – 100% в весенний период 2024 г.

На основе морфологического анализа олигохеты были идентифицированы как *Chaetogaster lymnaei*. Собран репрезентативный материал и выделена ДНК олигохет для дальнейшего проведения молекулярно-генетических исследований. Цель настоящего исследования – оценка индексов инвазии (интенсивность и экстенсивность) моллюсков *Radix auricularia* эктоформой *Chaetogaster* и морфологическое описание последних.

## **Parasite-host interactions between the ectoform of the oligochaete *Chaetogaster* sp. and the snails *Radix auricularia* in lakes of the south of Primorsky region**

*Vainutis K.S., Biryukov I.Yu., Fominov V.S., Afanasyev K.A., Bukhovets A.A.*

Far Eastern State Technical Fisheries University (Vladivostok, Russia)

## **Отражение различий между двумя заливами оз. Байкал в уровне сходства между паразитофаунами симпатрических видов хариусов**

*Дугаров Ж.Н.\*<sup>1</sup>, Бурдуковская Т.Г.<sup>1</sup>, Сондуева Л.Д.<sup>1</sup>, Балданова Д.Р.<sup>1</sup>, Батуева М.Д.<sup>1</sup>,  
Хамнueva Т.Р.<sup>1</sup>, Жепхолова О.Б.<sup>1</sup>, Толочко Л.В.<sup>1</sup>, Шестериков Д.С.<sup>1</sup>, Коновалова В.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, г. Улан-Удэ, Россия

<sup>2</sup> Байкальский филиал ФГБНУ «ВНИРО», г. Улан-Удэ, Россия

\* e-mail: dugarov59@mail.ru

Наибольшее видовое разнообразие хариусов наблюдается в восточной части Евразии, в которой отмечено значительное количество зон симпатрии видов этого рода. Одной из таких зон является восточная часть оз. Байкал, в которой расположены по соседству Баргузинский и Чивыркуйский заливы, разделенные полуостровом Святой Нос. В этих заливах совместно обитают черный *Thymallus baicalensis* Dybowski, 1874 и белый *T. brevipinnis* Svetovidov, 1931 байкальские хариусы, анализ паразитофауны которых представлен в этой работе. Черный и белый байкальские хариусы оз. Байкал четко дифференцируются по числу жаберных тычинок, длине парных плавников и высоте задней части спинного плавника; имеются различия по рисунку и форме спинного плавника, а также по ряду биологических показателей: темпам линейного и весового роста, плодовитости, жирности, биотопическому распределению, местам нереста и схеме миграций (Тугарина, 1981; Егоров, 1985; Книжин и др., 2006). Выявлен двухкратно меньший уровень сходства по видовому составу паразитических Metazoa между популяциями черного и белого хариусов в Баргузинском заливе по сравнению с Чивыркуйским, обусловленный характерными особенности первого из этих заливов. Во-первых, Баргузинский залив, в отличие от Чивыркуйского, вследствие влияния р. Баргузин разделяется на две половины, северную, с более высоким биоразнообразием, и южную. Во-вторых, в Баргузинском заливе образуются сгущения планктона преимущественно в северной его половине, чего не отмечается в Чивыркуйском заливе. В-третьих, в Баргузинском заливе только белый хариус массово отмечается и в северной, и в южной его части, черный хариус приурочен к южной части залива; в Чивыркуйском заливе черный и белый хариусы нагуливаются совместно в его литорали и сублиторали.

Полученные результаты показывают перспективность использования результатов исследований уровня сходства по видовому составу паразитов между группировками симпатрических видов рыб для оценки различий между водоемами, в которых они обитают.

## **Reflection of differences between two bays of Lake Baikal in the level of similarity between parasite faunae of sympatric grayling species**

*Dugarov Z.N.\*<sup>1</sup>, Burdukovskaya T.G.<sup>1</sup>, Sondueva L.D.<sup>1</sup>, Baldanova D.R.<sup>1</sup>, Batueva M.D.<sup>1</sup>,  
Khamnueva T.R.<sup>1</sup>, Zhepkholova O.B.<sup>1</sup>, Tolochko L.V.<sup>1</sup>, Shesterikov D.S.<sup>1</sup>, Konovalova V.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of General and Experimental Biology of the Siberian Branch of the RAS, Ulan-Ude, Russia

<sup>2</sup> Baikal branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Ulan-Ude, Russia

\* e-mail: dugarov59@mail.ru

# **Различия в зараженности массовыми видами симбионтов литоральных и сублиторальных мидий в Белом море**

*Krapivin V.A.*

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия  
Институт проблем экологии и эволюции им. Северцова РАН, Москва, Россия  
e-mail: v.krapivin@spbu.ru

Паттерны заражения малоподвижных организмов симбионтами могут отличаться как между поселениями и регионами, так и внутри поселений. Нами экспериментально показаны различия в заражении симбионтами беломорских *Mytilus edulis* в литоральной и сублиторальной части естественных поселений.

Эксперименты проводились в районе УНБ СПбГУ «Беломорская» в 2020, 2021 и 2025 годах. В 2020-2021 и в 2021-2022 гг. садки с исходно незараженными моллюсками, полученными с искусственных субстратов, экспонировались в течение года в четырех естественных поселениях мидий. По 4 садка были установлены в сублиторальной и литоральной частях каждого поселения. По завершении экспериментов мидии были изучены на наличие симбионтов. В 2025 году были поставлены эксперименты для изучения выживаемости комменсальных турбеллярий *Urasoma* sp. в мидиях в условиях литорали. В одном из поселений мидий в зоне, примерно соответствующей нулю глубин и в зоне на высоте около 0,6 м над уровнем моря в течение месяца экспонировались по 4 садка с мидиями, собранными в данной зоне и по 4 садка с мидиями, перемещенными из другой зоны. Из каждого садка раз в три приливно-отливных цикла в течение недели и один раз через месяц брали выборку из 30 мидий и проверяли их на предмет заражения турбелляриями.

В результате экспериментов 2020-2022 гг. было установлено, что в сублиторали выше вероятность заражения мидий кооменсальными турбелляриями *Urasoma* sp. и *Graffilidae* gen. sp. и ниже — метацеркариями двух видов trematod, чем на литорали. В результате экспериментов 2025 г. установлено, что комменсальные турбеллярии *Urasoma* sp. в условиях литорали способны выживать в некоторых особях месяц и более, но новых заражений, по-видимому, не происходит, помещенные же на границу литорали и сублиторали незараженные моллюски начинают заражаться комменсалами не раньше, чем через неделю. Вероятно, заражению мидий *Urasoma* sp. на литорали в исследованном регионе мешает неспособность инвазионной стадии выживать в условиях приливно-отливной зоны.

## **Differences in infection patterns among mussels from subtidal and intertidal zones of the White Sea**

*Krapivin V.*

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation  
Institute of Ecology and Evolution A.N. Severtsov RAS, Moscow, Russian Federation  
e-mail: v.krapivin@spbu.ru

## **Экологическая безопасность применения энтомопатогенного вируса DsCPV-1 для нецелевых беспозвоночных**

*Мартемьянов В.В.\*<sup>1,2</sup>, Белевич О.Э.<sup>2</sup>, Юрченко Ю.А.<sup>2</sup>, Харламова Д.Д.<sup>2</sup>, Шаталова Е.И.<sup>3</sup>, Субботина А.О.<sup>1,2</sup>, Игнатьева А.Н.<sup>4</sup>, Токарев Ю.С.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Научно-технологический университет «Сириус», Сириус, Россия

<sup>2</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>3</sup> Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, Краснообск, Россия

<sup>4</sup> Всероссийский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: martemyanov79@yahoo.com

Вирусы цитоплазматического полиэдроза (ВЦП) — это РНК-содержащие вирусы семейства Spinareoviridae, которые индуцируют острые инфекции у насекомых и могут использоваться для производства инсектицидных препаратов. Недавно мы обнаружили уникальный штамм ВЦП, выделенный из гусениц *Dendrolimus sibiricus* (DsCPV-1), который демонстрирует привлекательные характеристики инсектицидных обработок против чешуекрылых. Одной из важных особенностей этого штамма является широкий круг хозяев среди отряда Lepidoptera. Обратной стороной широкой специфичности является воздействие на нецелевые виды беспозвоночных при массовом применении. В данной работе мы представляем результаты тестирования DsCPV-1 против пресноводных беспозвоночных, медоносных пчел и беспозвоночных хищников, чтобы проверить безопасность применения DsCPV-1 при использовании в полевых условиях последующее возможное загрязнение водоемов дождовыми стоками. Для работы были использованы индикаторные виды гидробионтов: *Gammarus lacustris*, *Anopheles messeae*, *Coenagrion lunulatum*, *Cloeon robusta*, *Chironomus* sp., *Ilyocoris cimicoides*, *Plea minutissima*, *Aedes aegypti* и *Daphnia magna*. Также были протестированы опылители (*Apis mellifera*) и наземный энтомофаг, который может использоваться при интегрированном подходе в сочетании с вирусным препаратом - *Podisus maculiventris*. Вероятность накопления этого вируса в организме беспозвоночных и его передачи по трофической цепи оценивали двумя методами: биотестированием и молекуллярно-диагностическим анализом. При биотестировании изучаемых видов не было получено значимого влияния вируса на выживаемость нецелевых беспозвоночных, а молекуллярный анализ показал отсутствие мультипликации вируса в организмах нецелевых хозяев. Таким образом, результаты показывают, что вирус DsCPV-1 обладает отличной экологической безопасностью для многих видов беспозвоночных и может быть рекомендован для борьбы с чешуекрылыми вредителями в лесном и сельском хозяйстве в рамках продвижения зеленых технологий.

*Результаты получены при финансовой поддержке исследования, реализуемого в рамках государственной программы федеральной территории «Сириус» «Научно-технологическое развитие федеральной территории «Сириус» (Соглашение №24-03 от 27.09.2024).*

## **Ecological safety of entomopathogenic virus DsCPV-1 application for non-target invertebrates**

*Martemyanov V.V.\*<sup>1,2</sup>, Belevitch O.E.<sup>2</sup>, Yurchenko Y.A.<sup>2</sup>, Kharlamova D.D.<sup>2</sup>, Shatalova E.I.<sup>3</sup>, Subbotina A.O.<sup>1,2</sup>, Ignatieve A.N.<sup>4</sup>, Tokarev Y.S.<sup>4</sup>*

<sup>1</sup> Sirius University of Science and Technology, Sirius, Russia

<sup>2</sup> Institute of systematics and ecology of animals SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>3</sup> Siberian Federal Research Center of Agro-biotechnology RAS, Krasnoobsk, Russia

<sup>4</sup> All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: martemyanov79@yahoo.com

## **Различные по происхождению субпопуляции краба *Trapezia septata* на ранних стадиях заселения кораллов *Pocillopora verrucosa***

*Меркин В.А.\*<sup>1</sup>, Бритаев Т.А.<sup>1</sup>, Буюновский А.И.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова, Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБНУ «ВНИРО», Москва, Россия

\* e-mail: vmx7@mail.ru

Склерактиниевые кораллы являются хозяевами для множества симбиотических организмов, включая крабов семейства Trapeziidae, играющих ключевую роль в защите и поддержании кораллов. Эти крабы демонстрируют положительную корреляцию размера с колониями кораллов-хозяев, что может быть результатом либо выбора хозяина мигрирующими крабами (гипотеза «мигрантов»), либо ограничений роста, накладываемых долгосрочным проживанием (гипотеза «резидентов»).

В данном исследовании мы изучили обилие, размер, соотношение полов, использование хозяина и плодовитость крабов *Trapezia septata* в выращенных в питомнике 9-месячных колониях кораллов *Pocillopora verrucosa* у побережья острова Че (Вьетнам) и сравнили результаты с более ранними стадиями роста, чтобы оценить, какая гипотеза лучше объясняет наблюдаемую взаимосвязь размера краба и хозяина. Распространённость *T. septata* в кораллах была высокой (88,4%) и увеличивалась с размером колонии для взрослых особей, в то время как для молоди она оставалась низкой (16,2%) и не зависела от размера. Соотношение полов варьировалось в зависимости от размера колонии: самцы и самки преобладали в колониях меньшего и большего размера соответственно.

Размер краба коррелировал с размером колонии у разнополых пар, в то время как у одиночных крабов и тех, что находились в более крупных группах, наблюдалась слабая корреляция или её отсутствие. Плодовитость была выше у крабов, чей размер коррелировал с размером колонии.

В нашем эксперименте мы идентифицировали две группы крабов *T. septata*: «мигранты» — мелкие особи, и «резиденты» — крупные зрелые особи в парах. Обе группы различаются по поведению, размеру и функциональным характеристикам, что предлагает новое понимание структуры популяции и моделей использования хозяина. Однако роль этих групп в формировании пространственной структуры популяции остаётся неясной из-за почти полного отсутствия данных о скорости роста крабов и продолжительности их жизни и требует дальнейших исследований.

*Данное исследование было профинансировано грантом РНФ № 24-14-00288.*

## **Different origin subpopulations of the crab *Trapezia septata* during the early stages of colonization of *Pocillopora verrucosa* corals**

*Merkin V.A.\*<sup>1</sup>, Britayev T.A.<sup>1</sup>, Buyanovsky A.I.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> A. N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution (IPEE), Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography (VNIRO), Moscow, Russia

\* e-mail: vmx7@mail.ru

# **Сезонные изменения группировок партенит двух видов trematod рода *Himasthla* Dietz, 1909 (сем. Himasthlidae) в литоральных моллюсках Белого моря**

*Nikolaev K.E.\*<sup>1</sup>, Levakin I.A.<sup>1</sup>, Galaktionov K.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: kirill.nicolaev@gmail.com

Проведен анализ сезонных изменений возрастного состава группировок партенит (редий) двух близких видов trematod – *Himasthla elongata* в моллюсках *Littorina littorea* и *H. littorinae* в *L. saxatilis* и *L. obtusata*. Использована оригинальная методика оценки демографического состава группировок редий в моллюсках-хозяевах, основанная на оценке возраста эмбрионов гермафродитного поколения, развивающихся в этих партенитах.

В группировках партенит *H. elongata* сезонные изменения выражены незначительно. В составе группировки постоянно имеется пул молодых особей (20-25% группировки), не претерпевающий значимых сезонных изменений. Редии, содержащие подвижных церкарий (40-50%), также присутствуют на протяжении всего года, за исключением зимы, когда их доля снижается до 13%. Доля редий с ранними (7-10%), и поздними (25-30%) эмбрионами церкарий, а также дегенерирующих редий (10-15%) относительно постоянна во все сезоны.

Группировки партенит *H. littorinae* претерпевают более выраженные сезонные перестройки. Доля молодых редий в составе группировки, неизменная весной и летом (10-12%), значительно возрастает осенью (20%), а доля зрелых редий, максимальная летом (30%), значительно снижается в осенние месяцы (до 4%). Доля редий с эмбрионами церкарий (40-50%) а также дегенерирующих редий (10%) постоянна во все сезоны. На основании полученных данных можно предположить, что в крупных, долгоживущих моллюсках *L. littorea* имеет место постоянное самообновление группировки партенит *H. elongata* за счет постоянно имеющегося и пополняющегося пула молодых редий и гибели старых особей, кроме зимы когда развитие партенит приостанавливается. Обновление состава группировок редий *H. littorinae* приурочено к осенне-зимнему периоду, когда большая часть зрелых редий дегенерирует, а им на смену приходят особи следующей партеногенетической генерации. Развитие этих молодых редий проходит летом следующего года.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-14-00329 и в рамках тем госзадания № 125012800889-2 и № 125012800903-5*

## **Seasonal changes within the partenitae infrapopulations in two species of the genus *Himasthla* Dierz, 1909 (Digenea: Himasthlidae) from the intertidal molluscs at the White Sea.**

*Nikolaev K.E.\*<sup>1</sup>, Levakin I.A.<sup>1</sup>, Galaktionov K.V.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute RAS, Saint Petersburg, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

\* e-mail: kirill.nicolaev@gmail.com

## **Влияние гемоспоридий на территориальное поведение воробьиных птиц**

*Opaev A.C.\*<sup>1</sup>, Babykina M.S.<sup>2</sup>, Dombrovskaya Y.V.<sup>3</sup>, Meshcheryagina S.G.<sup>4</sup>, Shishkina E.M.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Хинганский государственный природный заповедник, Архара, Россия

<sup>3</sup> Научный центр зоологии и гидроэкологии НАН РА, Ереван, Армения

<sup>4</sup> Институт экологии растений и животных УрО РАН, Екатеринбург, Россия

\* e-mail: aleksei.opaev@sev-in.ru

Гемоспоридии – внутриклеточные паразиты, промежуточными хозяевами которых являются позвоночные животные, а переносчики – двукрылые насекомые. Гемоспоридии часто инфицируют птиц: у многих видов заражено до 30–50% особей. Наиболее опасна для птицы острая фаза – первые 2–4 недели после заражения – которая может приводить к гибели. Затем инфекция переходит в хроническую стадию. Влияние на птиц хронической стадии почти не изучено. Нередко считается, что оно минимально, т.к. инфицированные особи могут успешно выживать и размножаться.

В жизни многих видов воробьиных птиц важную роль играет территориальное поведение, направленное на защиту гнездового участка. Мы изучали влияние зараженности гемоспоридиями на территориальное поведение самцов четырех видов пеночек (*Phylloscopus*). В полевых экспериментах с трансляцией видовой песни мы имитировали вторжение постороннего самца на участок резидента. Затем птиц отлавливали для взятия образцов крови. Для выявления гемоспоридий использовали ПЦР-скрининг и анализ мазков крови. Материал собран в 2017–2023 гг. в Амурской области и на Камчатке.

Гемопаразиты были редки у пеночек голосистой (*P. schwarzi*, n=50) и бурой (*P. fuscatus*, n=38): выявлены у 12% и 5% самцов, соответственно. У двух других видов было заражено больше особей: 42% у светлоголовой пеночки (*P. coronatus*, n=26) и 58% у камчатской таловки (*P. examinandus*, n=38). У первого вида встречались гемоспоридии из родов *Plasmodium* и *Leucocystozoon*, а у второго доминировали линия BT1 *Leucocystozoon* sp.

Мы не выявили различий в поведении между зараженными и «здоровыми» самцами у бурой и голосистой пеночек. Не исключено, что это связано с небольшой долей зараженных птиц. У двух других видов поведение зараженных и «здоровых» особей различалось. Первые вели себя в эксперименте менее активно, чем незараженные. Более активное и/или агрессивное поведение в территориальном контексте может давать « здоровым » самцам конкурентное преимущество.

*Исследование поддержано проектом РНФ № 24-24-00131.*

## **Haemosporidian infection can influence territorial behaviour of passerine birds**

*Opaev A.S.\*<sup>1</sup>, Babykina M.S.<sup>2</sup>, Dombrovskaya Y.V.<sup>3</sup>, Meshcheryagina S.G.<sup>4</sup>, Shishkina E.M.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Khingan Nature Reserve, Arkhara, Russia

<sup>3</sup> Scientific Center of Zoology and Hydroecology of NAS RA, Yerevan, Armenia

<sup>4</sup> Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, Russia

\* e-mail: aleksei.opaev@sev-in.ru

**Нематоды *Tarantobelus* spp. (Panagrolaimomorpha; Panagrolaimidae) –  
новые паразиты, использовавшие подходящие преадаптации в  
условиях, созданных человеком?**

*Осипов Д.В.*

Московский зоопарк, Москва, Россия  
e-mail: araneus2000@yandex.ru

Нематоды семейства Panagrolaimidae встречаются, как правило, в гниющих органических остатках, питаясь размножающимися в субстрате бактериями. Оральному нематодозу содержащихся в неволе пауков-птицеедов, вызванному нематодами этого семейства, посвящен ряд работ (Pizzi et al., 2003; Осипов, Спиридонов, 2017; Abolafia et al., 2018; Wyrobisz-Papiewska et al., 2019; Schurkman et al., 2022; Baniya et al., 2023). Описан новый род Tarantobelus, включающий 2 паразитирующих на пауках вида. При заболевании в первую очередь поражается область рта, изменяется поведение, постепенно развивается истощение и наступает смерть. Лечение может избавить пауков от паразитов, но гибель, как правило, все равно неизбежна из-за нарушений во время следующей линьки.

На этиологию и патогенез этого заболевания существуют альтернативные точки зрения. Возможно, что Tarantobelus - изначально свободноживущие нематоды, переходящие к паразитическому образу жизни "на наших глазах". Сочетание черт биологии птицеедов, характера распространения их в террариумистике и особенностей формирования живых коллекций в неволе могло предоставить возможность использования уже имевшихся преадаптаций этих нематод для эффективного освоения ими нового жизненного пространства.

**Is *Tarantobelus* hematodes (Panagrolaimomorpha; Panagrolaimidae) the  
new parasites exploited their suitable preadaptations in human-created  
situation?**

*Osipov D.V.*

Moscow Zoo, Moscow, Russia  
e-mail: araneus2000@yandex.ru

## **Лишайниковые симбиозы: организмы или экосистемы?**

*Панкратов Т.А.*

Институт микробиологии им. С.Н. Виноградского ФИЦ Биотехнологии РАН, Москва, Россия  
e-mail: tpankratov@gmail.com

Традиционное представление о лишайниках как дуальных симбиозах устарело в конце 20 века, когда в них были обнаружены постоянно живущие формы других организмов, одноклеточных и многоклеточных. Тем не менее две концепции, "микобионт-фотобионт в мутуалистическом симбиозе", "микобионт-паразит фотобиона" до сих пор существуют. Описаны также варианты сосуществования компонентов лишайников друг с другом, такие как паразитизм одного микбиона на другом или на фотосинтезирующем партнере, концепция убежища, фотосимбиодемы, лихенкольный паразитизм. Лишайники по-прежнему идентифицируют по морфологическим признакам и воспринимаются как организмы и объекты таксономии.

В середине 20-го века были обнаружены и описаны так называемые лихенизированные грибы, или полулишайники, в которых гриб не вступает в тесный мутуалистический или паразитический симбиоз с водорослями, формируя промежуточные стадии. В последние 25 лет стало очевидным, что лишайники — это комплексные системы, в которых присутствуют как постоянно живущие, так и транзиторные виды микроорганизмов, бактерии, разные виды водорослей, дрожжи, грибы, простейшие. В этой связи возникает вопрос о том, какой класс систем представляют собой лишайники. С одной стороны, в них прослеживаются признаки биоценоза, где есть эдификатор (фотобионт), есть развитые сети потребления углеводов (грибы, бактерии, простейшие), есть конкуренция за пищу, топические взаимодействия, основные виды взаимодействий организмов (мутуализм, паразитизм, комменсаллизм и т. д.), это открытые системы с выраженным признаками резистентного гомеостаза. С другой стороны, будучи целостной системой, они имеют определенные, генетически заданные морфотип и структуру. Предлагается рассматривать лишайники как особый тип открытых комплексных экосистем с генетически детерминированным морфогенезом и морфологией, подверженной модификации при смещении баланса видов в талломе.

*Работа поддержанна грантом РНФ № 25-24-00195.*

## **Lichen symbioses: organisms or ecosystems?**

*Pankratov T.*

S.N. Winogradsky Institute of Microbiology, Federal Research Center of Biotechnology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
e-mail: tpankratov@gmail.com

## **Влияние участков отмершей поверхности кораллов на состав и структуру сообщества эктосимбионтов.**

*Петроченко Р.А.\*<sup>1</sup>, Лищенко Ф.В.<sup>1,2</sup>, Бритаев Т.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Приморское отделение Российско-Вьетнамского Тропического центра, Нячанг, Вьетнам

\* e-mail: petrochenko.roman.2017@post.bio.msu.ru

Коралловые рифы являются источником пищи и убежища для различных видов симбионтов. На структуру сообществ симбионтов влияют различные факторы, роль которых не до конца ясна. В данном исследовании мы оценили влияние участков отмершей поверхности (УОП) на разнообразие и обилие симбионтов в посадках коралла *Pocillopora verrucosa*. Плотность посадки, размер колоний и бличинг рассматривались как дополнительные параметры. Согласно нашей гипотезе, появление УОП на колонии приводит к изменению сообществ симбионтов: разнообразие и обилие облигатных симбионтов снижаются, а факультативных увеличиваются. 200 колоний были высажены на рамки на 9 месяцев. После экспозиции кораллы были измерены, а их фауна собрана, подсчитана и идентифицирована. Из 190 колоний, живых к концу эксперимента, 62 колонии имели УОП. Только одна имела более 75% мертвой поверхности, 13 колоний имели 25-50%, а 48 имели менее 25%. Число видов эктосимбионтов составило 77: 66 видов на колониях с мертвой поверхностью и 59 на здоровых. Обобщенные линейные модели показали статистически значимое увеличение видового богатства и обилия факультативных симбионтов в колониях с УОП, однако значимых различий у облигатных симбионтов не было обнаружено. Также значимое влияние оказала плотность посадки колоний. Влияние бличинга было слабым. Влияние размера было статистически незначимым. Различие в реакции на УОП можно объяснить различиями в экологических потребностями облигатных и факультативных симбионтов.

Данное исследование было профинансировано грантом РНФ № 24-14-00288.

## **The influence of the dead surface of coral colonies on the composition and structure of the associated community of ectosymbionts**

*Petrochenko R.\*<sup>1</sup>, Lishchenko F.<sup>1,2</sup>, Britayev T.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Laboratory of Marine Invertebrate Morphology and Ecology, A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences (RAS), Moscow, Russia

<sup>2</sup> Coastal Branch of the Joint Vietnam-Russia Tropical Science and Technology Research Center, Nha Trang, Vietnam

\* e-mail: petrochenko.roman.2017@post.bio.msu.ru

## **Концепция симбиотической организации наземных экосистем**

*Савинов А.Б.*

Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского, Нижний Новгород, Россия  
e-mail: sabcor@mail.ru

Стремительно накапливающиеся в настоящее время данные о многочисленных симбиозах в экосистемах позволяют переосмысливать традиционные концепции экологии об организации, функционировании и развитии биосистем организменного и надорганизменного уровней. Растет количество публикаций концептуального характера, где в качестве участников экосистемных процессов рассматриваются, например, не отдельные особи, а симбиотические системы – холобионты, аутоценозы (Savinov, 2011, Rus. J. Ecol.; Rosenberg, Zilber-Rosenberg, 2018, Microbiome; Lyu et al., 2021, Microorganisms). При таком подходе важно предпринять, как представляется, и другие изменения методологии. Во-первых, условиться, что популяционному уровню соответствует система холобионтов одного вида, названная автором демоценозом (Savinov, 2011, Rus. J. Ecol.). Во-вторых, принять, что наземные биоценозы организованы иначе: по мнению автора, здесь по существу складывается особый симбиотический комплекс – геосимбиоз, включающий надземную часть – филлосферон (в частности, это фитосимбиозы с участием эндофитных грибов) и подземную – микоризон, где важны симбиозы на основе микориз (Савинов, 2014, 2017, 2024). В наземной экосистеме между членами геосимбиоза возникают каналы «перекачки» веществ, энергии и информации, то есть многие продуценты метаболически связаны посредством микориз и корневищ растений-паразитов в динамичную симбиотическую систему. Такая концепция принципиально отлична от канонических представлений в экологии об организации наземных экосистем. При этом концепции микоризных сетей («mycorrhizal network», «wood-wide web»), отчасти сходные с концепцией геосимбиоза, обсуждаются и зарубежными авторами (Karst et al., 2023, Nat. Ecol. Evol.; Merckx et al., 2024, Nat. Plants).

### **The concept of symbiotic organization of terrestrial ecosystems**

*Savinov A.B.*

Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russia  
e-mail: sabcor@mail.ru

## **Вклад клептопластии в массовое размножение миксотрофных протистов, вызывающих вредоносные «цветения» в прибрежных акваториях разнотипных водоемов**

*Скарлато С.О.*

Институт цитологии РАН, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: sergei.skarlato@mail.ru

Одна из актуальных и пока неразрешенных экологических проблем в прибрежных районах водоемов разного типа – периодические массовые вспышки размножения планктонных микроорганизмов. Среди последних особенно заметную роль играют планктонные динофлагелляты, многие виды которых вызывают вредоносные «цветения воды», или «красные приливы». В последние годы немало усилий было направлено на выявление не только экологических и гидрографических характеристик потенциально опасных областей водной среды, но и на изучение морфологических, молекулярно-генетических и физиологических особенностей организации клеток самих динофлагеллят, которые способствуют вспышкам численности этих протистов. В результате было установлено, что существенный вклад в общий фотосинтез, рост и размножение клеток динофлагеллят вносит клептопластия. Клептопластия – это явление приобретения, накопления и использования в качестве дополнительных «реакторов» фотосинтеза так называемых клептопластов, т.е. не ассимилированных хлоропластов микроводорослей, поглощённых клеткой миксотрофа при его фаготрофном питании. Установлено, что клептопласты могут не просто сохраняться, но и фотосинтезировать в клетке «хозяина» в течение многих месяцев. Нами разработана математическая модель клептопластии на основе базового уравнения Ж. Моно и оригинальной системы дифференциальных уравнений для простой биологической системы: 1 клетка протиста, 1 неорганический и 1 органический ресурс. Модель протестирована с использованием экспериментальных данных по питанию динофлагеллят *Prorocentrum cordatum* криптофитовыми водорослями *Teleaulax* sp. Предложен оригинальный Индекс клептопластии, отражающий вклад этого процесса в формирование «цветений» миксотрофных динофлагеллят. Моделирование показало, что клептопластия может на 40% увеличить скорость деления клеток *P. cordatum*, способствуя быстрому росту их популяции и формированию «красных приливов».

*Работа поддержанна Российским научным фондом, проект № 22-14-00056-П.*

## **The contribution of kleptoplastidy to the mass reproduction of myxotrophic protists causing harmful blooms in coastal areas of different water bodies**

*Skarlato S.O.*

Institute of Cytology RAS, St. Petersburg, Russia  
e-mail: sergei.skarlato@mail.ru

# **Изотопные подписи в системе паразит-хозяин на примере *Triaenophorus crassus* (Cestoda) и симпатрической пары сигов (*Coregonus lavaretus*) Телецкого озера (Республика Алтай)**

*Соловьев М.М.\*<sup>1,2</sup>, Власенко П.Г.<sup>1,2</sup>, Колмогорова Т.В.<sup>1</sup>, Кашинская Е.Н.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: yarmak85@mail.ru

Паразиты являются неотъемлемыми компонентами водных трофических сетей, но из-за особенностей их жизненного цикла, устройства пищеварительной системы, размеров, и пр. определить пищевые отношения в системе паразит-хозяин становится сложной задачей. Анализ соотношения стабильных изотопов N и C является распространенным методом для оценки трофических взаимодействий между различными компонентами пищевой сети, включая паразитов. Симпатрические сиги Телецкого озера (Республика Алтай) представлены двумя формами/видами – сиг телецкий (*Coregonus lavaretus pidschian*) и сиг Правдина (*C. l. pravdinellus*) по типу питания относящиеся к бентофагам и планктофагам соответственно. Оба сига в озере являются вторыми промежуточными хозяевами цестод *Triaenophorus crassus*, локализующимися в их мышечной ткани.

Цель данного исследования – определить соотношение стабильных изотопов азота и углерода в системе хозяин-паразит на примере симпатрической пары сигов и их мышечных паразитов – цестод *T. crassus*. Для достижения поставленной цели в начале осени 2017 года нами были отловлены ставными жаберными сетями сиг телецкий и сиг Правдина. Для всех отловленных сигов был проведен анализ зараженности плероцеркоидами *T. crassus*. Далее образцы мышц и паразитов были высушены при 60 °C для последующего определения соотношения стабильных изотопов N и C. В результате проведенных исследований показано, что сиги в 100% случаев достоверно отличались между собой по соотношению изотопов углерода (-20.38 ± 2.19 и -29.74 ± 0.94 для сига телецкого и Правдина, соответственно), в то время как по соотношению изотопов азота достоверных отличий между сигами не обнаружено. Была выявлена достоверно значимая положительная корреляция изотопов углерода и азота у *T. crassus* и соответствующей особью телецкого сига. В то время как для соответствующих особей сига Правдина и *T. crassus* такая корреляция была отмечена только для изотопов азота.

*Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 23-74-10101.*

## **Isotopic signatures in the parasite-host system: *Triaenophorus crassus* (Cestoda) and a sympatric pair of whitefish (*Coregonus lavaretus*) from Teletskoye Lake (Altai Republic)**

*Solovyev M.M.\*<sup>1,2</sup>, Vlasenko P.G.<sup>1,2</sup>, Kolmogorova T.V.<sup>1</sup>, Kashinskaya E.N.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Institute of systematics and ecology of animals SB RAS, Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup> Institute of ecology and evolution A.N. Severtsov RAS, Moscow, Russia

\* e-mail: yarmak85@mail.ru

## **Паразиты у Полярного круга: как сезон и температура определяют эмиссию церкарий в Белом море?**

*Федоров Д.Д.\*, Левакин И.А., Аристов Д.А., Галактионов К.В.*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: daniil.fedorov@zin.ru

Данные о сезонной динамике продукции расселительных стадий паразитов, в частности церкарий трематод, необходимы для адекватного прогнозирования изменения паразитарной нагрузки на морские прибрежные экосистемы в теплеющей Субарктике. Существующие в литературе сведения по эмиссии церкарий из моллюсков-хозяев фрагментарны, но, свидетельствуют, что ведущим фактором, регулирующим этот процесс, является температура.

Мы исследовали длительную (в течение месяца) динамику суточной продукции церкарий 4 массовых видов трематод Белого моря (*Himasthla elongata*, *Cryptocotyle lingua* из *Littorina littorea* и *Maritrema subdolum*, *Cryptocotyle concava* из *Peringia ulvae*) в различные гидрологические сезоны при высоких и низких температурах. Установлено, что помимо ожидаемого позитивного влияния температуры на общий уровень эмиссии, критически важным фактором является сезон, определяющий направление её динамики. Весной высокая температура вызывала положительную динамику — суточный выход церкарий у всех видов возрастал в течение эксперимента. Напротив, осенью тот же температурный режим приводил к отрицательной динамике — суточный выход снижался с течением времени. Это объясняется динамикой сезонных перестроек группировок партенит в моллюске-хозяине, и температурно-зависимыми изменениями их функциональной активности.

*Работа выполнена на ББС ЗИН РАН «Картеш», при поддержке гранта РНФ № 23-14-00329.*

## **Parasites at the Arctic Circle: how season and temperature drive cercarial emission in the White Sea?**

*Fedorov D.\*, Levakin I., Aristov D., Galaktionov K.*

Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

\* e-mail: daniil.fedorov@zin.ru

# **Случайность или закономерность: почему *Littorina littorea*, заражённые спороцистами *Microphallus pygmaeus* (Trematoda: Microphallidae), покидают раковину?**

*Федоров Д.Д.\*, Левакин И.А., Кремнев Г.А., Галактионов К.В.*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия  
\* e-mail: daniil.fedorov@zin.ru

В сложном жизненном цикле трематод метацеркарий представляют собой покоящуюся стадию, инвазионную для окончательного хозяина. Эти личинки способны вызывать патологические изменения у промежуточного хозяина и прицельно или неспецифично изменять его фенотип, что может увеличивать вероятность успешной трансмиссии паразита.

При сборе моллюсков *Littorina littorea* в окрестностях Беломорской биостанции ЗИН РАН, была обнаружена аномалия: некоторые литорины выпадали из раковины. Детальный осмотр этих моллюсков под бинокуляром показал, что они заражены трематодами *Microphallus pygmaeus*, при этом их колумеллярный мускул был атрофирован и содержал дочерние спороцисты. Для сравнительного анализа мы изготовили гистологические срезы колумеллярного мускула у *L. littorea* и *L. saxatilis* инвазированных *M. pygmaeus*, а также контрольной группы (незаражённые *L. littorea*). В лакунах гемоцеля колумеллярного мускула зараженных *L. littorea* обнаружены спороцисты со зрелыми метацеркариями, которые распирали окружающие мышечные волокна, тогда как у *L. saxatilis* спороцисты в этой части тела отсутствовали. Поэтому, именно присутствие паразита в колумеллярном мускуле приводит к его атрофии и дисфункции у *L. littorea*, и, как следствие, откреплению моллюска от раковины. Такое изменение в фенотипе хозяина можно интерпретировать по-разному. С одной стороны, это адаптация паразита, которая может повышать доступность зараженных моллюсков для окончательного хозяина (утиных), но одновременно увеличивается и их уязвимость для других хищников (например, рыб). Однако, вероятнее это патогенез в неспецифичном хозяине. Этот вывод подкрепляется тем, что у основных хозяев паразита — более мелких улиток *L. saxatilis* и *L. obtusata* — заражение *M. pygmaeus* не приводит к утрате раковины. Вероятная причина — разница в размерах лакун гемоцеля, позволяющая спороцистам проникать в колумеллярный мускул именно у крупной *L. littorea*, вызывая его дисфункцию.

*Работа выполнена при поддержке Гос. Задания № 125012800903-5*

## **Coincidence or pattern: why do *Littorina littorea* infected with sporocysts of *Microphallus pygmaeus* (Trematoda: Microphallidae) abandon their shells?**

*Fedorov D.D.\*, Levakin I.A., Kremnev G.A., Galaktionov K.V.*

Zoological Institute of Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia  
\* e-mail: daniil.fedorov@zin.ru

# **ЭКТОПАРАЗИТЫ, ПАРАЗИТОИДЫ**

## **На пути к стабильному лабораторному выращиванию паразитоида *Telenomus tetratomus***

*Агеев А.А.\*, Головина А.Н., Шестопалова А.В.*

Филиал ФБУ ВНИИЛМ «Центр лесной пирологии», Красноярск, Россия

\* e-mail: ageev\_aa@mail.ru

*Telenomus tetratomus* (Thomson, 1861) (Hymenoptera: Scelionidae) – ключевой паразитоид яиц сибирского шелкопряда, *Dendrolimus sibiricus* (Tschetv., 1908), - опасного вредителя хвойных лесов Северной Азии. Многочисленные исследования признают *T. tetratomus* перспективным агентом биологического контроля, однако методы его лабораторного культивирования до сих пор не разработаны, что сдерживает его практическое применение.

Настоящее исследование направлено на разработку методики создания устойчивой лабораторной культуры *T. tetratomus*. Нам удалось успешно поддерживать многопоколенческую культуру паразитоида. Ключевым результатом является разработка режима длительного холодового хранения (свыше 9 месяцев), обеспечивающего выживаемость диапаузирующих самок на уровне до 50%. Выведенные из диапаузы самки характеризуются высокой репродуктивной активностью и продолжительностью жизни, достигающей 12 месяцев.

Основными проблемами массового разведения остаются оптимизация протоколов индукции и завершения диапаузы, а также олигофагия паразитоида, что существенно ограничивает круг пригодных видов-хозяев. Кроме того, было установлено, что культивирование без фазы диапаузы приводит к резкому снижению паразитической активности и выживаемости самок, начиная с третьего поколения.

*Выполнено при поддержке РНФ № 23-16-00262.*

## **Towards stable laboratory rearing of the parasitoid *Telenomus tetratomus***

*Ageev A.\*, Golovina A., Shestopalova A.*

Center of Forest Pyrology, All-Russia Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry,

Krasnoyarsk, Russia

\* e-mail: ageev\_aa@mail.ru

## **Вирус клещевого энцефалита влияет на жизненный цикл иксодовых клещей (Acarina, Ixodidae)**

*Белова О.А.\**, *Полиенко А.Е.*, *Карганова Г.Г.*

Федеральный научный центр исследований и разработки иммунобиологических препаратов им. М.П. Чумакова РАН (Институт полиомиелита), Москва, Россия

\* e-mail: mikasusha@bk.ru

Иксодовые клещи *Ixodes ricinus* (Linnaeus, 1758) и *I. persulcatus* Schulze, 1930 (Acarina, Ixodidae) являются основными переносчиками и резервуарами вируса клещевого энцефалита (ВКЭ). На территории Восточно-Европейской равнины и в странах Балтии ареалы этих видов клещей перекрываются, образуя обширные зоны симпатрии, где возможно появление стерильных гибридов, также способных к передаче ВКЭ. Ранее было показано, что ВКЭ может влиять на поведение и физиологию иксодид, в частности, на сроки линьки клещей и диапаузу. В данной работе мы изучили влияние ВКЭ на успешность зимовки напитавшихся личинок и сроки линьки нимф (при питании в разное время года) *I. persulcatus*, *I. ricinus* и их гибридов.

Личинок и нимф клещей заражали ВКЭ путём их питания на инфицированных мышах. Зимовка напитавшихся личинок проходила с декабря по март на открытом балконе. Личинок сажали в нейлоновые мешочки, которые помещали в пенопластовое укрытие с 30-санитметровым слоем листовой подстилки. После зимовки линька наблюдалась только у *I. persulcatus* и их гибридов ( $\text{♀}I. persulcatus \times \text{♂}I. ricinus$ ). Успешность линьки была значительно выше у инфицированных клещей. Ни одна из личинок *I. ricinus* не пережила зиму, а среди их гибридов ( $\text{♀}I. ricinus \times \text{♂}I. persulcatus$ ) выжили несколько зараженных ВКЭ особей.

За развитием нимф после питания наблюдали в лабораторных условиях при комнатной температуре и естественном освещении. Сроки линьки как зараженных ВКЭ, так и незараженных нимф во всех группах зависели от сезона питания клещей. При питании нимф весной, начало линьки зараженных вирусом особей наблюдалось раньше, по сравнению с незараженными. При питании летом и осенью наблюдалось увеличение сроков начала линьки у зараженных ВКЭ нимф, по сравнению с незараженными; диапауза у зараженных нимф начиналась на месяц ранее, чем у незараженных. Полученные результаты свидетельствуют о воздействии ВКЭ на нейроэндокринную систему клещей, направленном на более раннюю активизацию и сохранение при зимовке зараженных особей.

## **Tick-borne encephalitis virus affects the life cycle of ixodid ticks (Acarina, Ixodidae)**

*Belova O.A.\**, *Polienko A.E.*, *Karganova G.G.*

Chumakov Federal Scientific Center for Research and Development of Immune-and-Biological Products of Russian Academy of Sciences (Institute of Poliomyelitis), Moscow, Russia

\* e-mail: mikasusha@bk.ru

## **Сезонная и суточная активность *Ixodes persulcatus* (Acari, Ixodidae) в Карелии (Россия)**

*Бугмырин С.В. \*<sup>1</sup>, Беспятова Л.А.<sup>1</sup>, Горбач В.В.<sup>2</sup>, Александров А.А.<sup>2</sup>, Лютикова Н.А.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

<sup>2</sup> Петрозаводский государственный университет, Петрозаводск, Россия

\* e-mail: sbugmyr@mail.ru

Таежный клещ *Ixodes persulcatus* (Schulze, 1930) (Acari, Ixodidae), основной переносчик вируса клещевого энцефалита и один из самых широко распространенных видов иксодовых клещей в Палеарктике. Сезонный ход активности *Ixodes persulcatus* был прослежен в периоды с 1982 по 1990 и с 2012 по 2025 года в среднетаежной подзоне Карелии (N62.0697, E33.961). Учеты иксодовых клещей проводили стандартными методами сбора с растительности на флаг. В районе исследования взрослые клещи *I. persulcatus* имеют ярко выраженную весенне-летнюю активность, с одновершинной кривой изменения численности. Сравнивая данные мониторинга в 1980-х и в 2010-гг в можно отметить значительное возрастание численности *I. persulcatus* в районе исследования. В настоящее время мы отмечаем некоторый сдвиг активности клещей на более ранние сроки, по сравнению с прошлым периодом. В мае-июне 2023 и 2024 года в условиях природного эксперимента (опыт в садках) изучалась суточная активность самцов и самок *Ixodes persulcatus*. С интервалом два часа оценивали активность клещей – число особей, находящихся в данный момент на стенке садка или деревянных шпажках. Непрерывная регистрация микроклиматических условий (температура, относительная влажность, освещенность) осуществлялась ручными тестерами и логгерами. В течение периода исследования в зависимости от времени суток процент активных особей варьировал от 3% до 97%. Наименьшее число активных особей (как самцов так и самок) отмечали в дневное время. Показана определенная зависимость активности клещей от температуры и относительной влажности воздуха. Наибольшие риски нападения клещей на человека в Карелии возникают с середины мая по начало июня при значениях температуры и относительной влажности воздуха около 17°C и 80%, соответственно.

*Исследования выполнены при поддержке грантов РНФ и ФВИ РК (№23-14-20020, <https://rscf.ru/project/23-14-20020/>).*

## **Seasonal and diel activity of *Ixodes persulcatus* (Acari, Ixodidae) in Karelia**

*Bugmyrin S. \*<sup>1</sup>, Bespyatova L.<sup>1</sup>, Gorbach V.<sup>2</sup>, Aleksandrov A.<sup>2</sup>, Lyutikova N.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Institute of Biology, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petozavodsk, Russia

<sup>2</sup> Petrozavodsk State University, Petozavodsk, Russia

\* e-mail: sbugmyr@mail.ru

## ***Ischnopsyllus variabilis* (Wagner, 1898) как вектор и паразит рукокрылых на северо-западе России**

*Viskontene A.*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия  
ЦНИИ Эпидемиологии Роспотребнадзора, Москва, Россия  
e-mail: alex.viskontene@gmail.com

*Ischnopsyllus variabilis* (Wagner, 1898) — широко распространённый вид сем. Ischnopsyllidae, паразит гладконосых летучих мышей. Имеет западно-палеарктический ареал. Блоха поликсенна, однако многими авторами отмечена как специфический паразит *Pipistrellus nathusii*.

В период с 2022 по 2024 гг. на территории северо-запада России было собрано 286 особей *I. variabilis* (74 в Калининградской, 7 Ленинградской, 189 Псковской и 15 — Вологодской областях). Насекомых счесывали с живых рукокрылых при помощи пинцета; определение проводилось по морфологическим признакам. Для уточнения векторного потенциала часть паразитов была протестирована с помощью ПЦР в режиме реального времени с использованием родоспецифичных праймеров к *Borrelia*, *Rickettsia* и *Bartonella*.

Большая часть особей *Ischnopsyllus variabilis* (97.2%) обнаружена на летучих мышах в летний период. Это может быть связано как с отсутствием на северо-западе в холодное время года представителей рода *Pipistrellus*, так и с особенностями жизненного цикла *I. variabilis*, чей выплод приурочен к размножению хозяина. Зимой самцов и самок было примерно поровну. Летом значительно преобладали самки (75.54%), среди которых почти все были размножающимися, с темными покровами и небольшими жировыми вакуолями. Чаще всего блохи паразитировали на *Pipistrellus nathusii* (92 летучие мыши). Также обнаружены на 1 *P. pygmaeus*, 2 *Nyctalus noctula*, 2 *Vespertilio murinus*, 8 *Eptesicus nilssonii*, 3 *Barbastella barbastellus*, 1 *Myotis brandtii* и 1 *M. dasycneme*. Индекс обилия (ИО) для выводковых колоний разных видов существенно отличался: 0.03 для *Vespertilio murinus*, 1.53 *E. nilssonii*, 3.44 — *P. nathusii*. При этом в материнской колонии *P. nathusii* для взрослых самок ИО составил 1.73, а для молодых особей обоих полов 2.42. В колонии *Vespertilio murinus* блохи этого вида встречались совместно с *Ischnopsyllus obscurus* и *I. intermedius*.

ДНК *Rickettsia* и *Borrelia* не были обнаружены. Некоторые особи *I. variabilis* оказались носителями бактерий рода *Bartonella*.

## **Bat ectoparasite and vector *Ischnopsyllus variabilis* (Wagner, 1898) in the north-west of Russia**

*Viskontene A.*

Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia  
Central Research Institute of Epidemiology, Moscow, Russia  
e-mail: alex.viskontene@gmail.com

## **Опыт изучения гаплотипического разнообразия *Cyamus ceti* (Amphipoda), эктопаразитов серого кита (*Eschrichtius robustus*)**

*Логинова О.А.\*<sup>1</sup>, Белокобыльский И.Ф.<sup>2</sup>, Спиридонов С.Э.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт океанографии и рыбного хозяйства,  
Москва, Россия

\* e-mail: loginova\_spb@bk.ru

Во время научного сопровождения аборигенного промысла серых китов (*Eschrichtius robustus*) в районе с. Лорино (Чукотский автономный округ, Россия) в 2024 году были собраны особи т. н. «китовых вшей», ракообразных эктопаразитов рода *Cyamus*. Известно, что у серых китов паразитирует три вида циамид: *C. ceti*, *C. kessleri* и *C. scattoni*. Для молекулярных исследований членистооногие были помещены в контейнеры с 70° этианолом. Материал был доставлен для изучения в Центр паразитологии ИПЭЭ РАН (Москва, Россия). Из двух образцов была выделена ДНК при помощи набора QIAamp DNA Accessory Set, Mini Kit (Голландия). Для амплификации фрагмента гена *CoxI* mtDNA длиной 750 п.н. были использованы праймеры Jercy (5'-TAC CAA CAT TTA TTC TGR TTT TTY GG-3'; прямой) и Patcy (5'-ACT AGC ACA TTT ATC TGT CAC ATT A-3'; обратный). Продукты амплификации были очищены и переданы в ООО «Генотех» для секвенирования. Анализ полученных нуклеотидных последовательностей позволил идентифицировать собранных циамид как представителей вида *C. ceti*. Их филогенетический анализ показал, что изучаемые образцы вполне укладываются в богатое гаплотипическое разнообразие этого вида, выявленное С. М. Callahan (2008). Важно, что в отличие от двух других видов циамид, *C. ceti* не является видоспецифичным для серого кита, так как он обнаружен ещё и у гренландского кита (*Balaena mysticetus*). Причем дистанция между этими двумя сестринскими кладами значительно больше, чем средние парные различия, наблюдаемые внутри клады *C. ceti*.

## **A study of the haplotype diversity of *Cyamus ceti* (Amphipoda), ectoparasite of the gray whale (*Eschrichtius robustus*)**

*Loginova O.\*<sup>1</sup>, Belokobylskiy I.<sup>2</sup>, Spiridonov S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution of the RAS, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow, Russia

\* e-mail: loginova\_spb@bk.ru

## **Особенности биологии паразита мышевидных грызунов *Ctenophthalmus uncinatus* (Siphonaptera: Hystrichopsyllidae) в Карелии**

*Лютикова Н.А.\*, Беспятова Л.А., Лебедева Д.И., Бугмырин С.В.*

Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

\* e-mail: tasha\_dein@mail.ru

Блохи (Insecta, Siphonaptera) представляют собой группу облигатных гнездовоноровых паразитов млекопитающих и птиц. Паразит мелких млекопитающих *Ctenophthalmus (Euctenophthalmus) uncinatus uncinatus* (Wagner, 1898), относящийся сем. Hystrichopsyllidae, имеет западно-палеарктический тип ареала.

Материалом для изучения послужили сборы блох, полученные в ходе стационарных и маршрутных паразитологических исследований животных, выполненные на территории Карелии и Мурманской области. Мелких млекопитающих отлавливали в разные сезоны года с использованием линий ловушек Геро. Определение блох выполнено по морфологическим признакам. Собрano и определено 6209 экз. блох, из которых 804 экз. относились к виду *C.uncinatus*.

Вид, являющийся паразитом мелких лесных грызунов, преимущественно встречается на полевках р. *Clethrionomys*. На территории Карелии видовой состав хозяев *C.uncinatus* насчитывает 13 видов млекопитающих. В среднетаежной подзоне Карелии *C.uncinatus* является доминирующим видом блох у рыжей полевки (*Clethrionomys glareolus*), с показателями встречаемости – 15.6% и индекса обилия – 0.3. Имаго *C.uncinatus* на грызунах отмечается с марта по октябрь. В течение года наблюдается два пика численности в мае (показатель прокормления мелких млекопитающих составляет 2.3) и второй подъем численности отмечается в октябре. Большинство личинок *C.uncinatus*, выплодившихся в конце лета и осенью, заканчивают метаморфоз и уходят на зимовку в коконах.

В результате выборочного генотипирования участка митохондриального гена цитохромоксидазы I (COX 1), получены данные, характеризующие гаплотипическое разнообразие этого вида блох. Анализ 21 особи *C.uncinatus* с территории Карелии выявил 12 различных гаплотипов. Уникальные гаплотипы паразита были получены как из изолированных популяций (острова Белого моря), а также с территории Гомсельгского стационара, где проанализировано наибольшее количество экземпляров.

*Исследование выполнено в рамках темы НИР КарНЦ РАН (№ г. р. 122032100130-3).*

## **Features of the biology of the parasite of mouse-like rodents *Ctenophthalmus uncinatus* (Siphonaptera: Hystrichopsyllidae) In Karelia**

*Lyutikova N.A.\*, Bespyatova L.A., Lebedeva D.I., Bugmyrin S.V.*

Institute of Biology of Karelian Research Centre, Petrozavodsk, Russia

\* e-mail: tasha\_dein@mail.ru

## **К вопросу о хост-специфичности блох (Siphonaptera: Ischnopsyllidae) рукокрылых Поволжья**

*Малавина М.С.\*<sup>1,2</sup>, Смирнов Д.Г.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

<sup>2</sup> Центр гигиены и эпидемиологии в Пензенской области, Пенза, Россия

\* e-mail: mariamalavina3@gmail.com

Представители сем. Ischnopsyllidae (Siphonaptera) являются специфическими эктопаразитами рукокрылых и лишь в редких случаях встречаются на других животных, однако для некоторых блох рукокрылых список возможных хозяев составляет более 20 видов гладконосых летучих мышей, что может являться свидетельством слабой зависимости этой группы эктопаразитов от основного кормового ресурса и способности легко преодолевать ограничения в расселении, связанные с ареалами прокормителей. В данном сообщении рассмотрен вопрос паразито-хозяинной специфичности для 7 видов блох сем. Ischnopsyllidae: *Ischnopsyllus elongatus*, *I. obscurus*, *I. octactenus*, *I. variabilis*, *I. plumatus*, *I. intermedius* и *Myodopsylla trisellis*, паразитирующих на рукокрылых Поволжья. Материал для исследования собран в Самарской, Пензенской, Астраханской обл. и респ. Мордовия с 2017 по 2021 г. Построение нулевой модели, предполагающей, что взаимодействия хозяина и паразита случайны, и сравнение ее с реальными данными проводили с помощью пакета 'econullnetr' (R version 4.5).

Наибольшую избирательность в отношении кормового ресурса демонстрируют виды *Ischnopsyllus elongatus* (основной хозяин – *Nyctalus noctula*) и *I. obscurus* (основной хозяин – *Vespertilio murinus*). *Ischnopsyllus octactenus* и *I. variabilis* же проявляют высокую толерантность к прокормителю, однако более склонны к паразитизму на *Pipistrellus nathusii*, поликсенность отмечена для *I. intermedius*. Количество взаимодействий *Myodopsylla trisellis* и *Myotis brandtii* лежит в рамках нулевой модели, но при этом *M. trisellis* не отмечена нами на других возможных хозяевах (рукокрылых рода *Myotis*), часто указываемых другими авторами в качестве ее основных прокормителей, что возможно связано с высокой численностью *M. brandtii* на территории Самарской Луки (по данным зимних учетов в 16 раз превышает численность *M. daubentonii* и *M. dasypneme*). Количество находок *Ischnopsyllus plumatus* (4 особи) сочтено недостаточным для интерпретации результатов моделирования.

## **On the issue of host specificity of the Volga bat fleas (Siphonaptera: Ischnopsyllidae)**

*Malyavina M.S.\*<sup>1,2</sup>, Smirnov D.G.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Penza State University, Penza, Russia

<sup>2</sup> Center of Hygiene and Epidemiology in the Penza region, Penza, Russia

\* e-mail: mariamalavina3@gmail.com

## **Функциональная и численная реакция паразитоида *Latibulus argiolus* (Rossi, 1790) (Hymenoptera, Ichneumonidae) в поселениях хозяина**

*Русин А.И.\*<sup>1</sup>, Русина Л.Ю.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский зоопарк, Москва, Россия

\* e-mail: antonrusin2018@gmail.com

Паразитоид *Latibulus argiolus* (Rossi, 1790) (Hymenoptera, Ichneumonidae), специализирующийся на социальных осах рода *Polistes*, демонстрирует сложный комплекс поведенческих и популяционных реакций на пространственно-временное распределение хозяина, в частности, *Polistes nimpha* (Christ, 1791) (Hymenoptera, Vespidae). Исследования, проведенные в Хопёрском государственном заповеднике и других регионах, показывают, что взаимодействие между паразитоидом и хозяином является динамичным и зависит от множества факторов.

Функциональная реакция паразитоида выражается в увеличении доли зараженных ячеек в семьях при росте локальной плотности хозяина (Викторов, 1976). Этот процесс часто носит агрегированный характер: у одного гнезда могут одновременно или последовательно охотиться несколько самок паразитоида. Для успешного заражения в Мещерском национальном парке они адаптировались к ритму жизни хозяев, проводя атаки преимущественно в ранние утренние часы (4:50–6:11), когда активность ос минимальна (Русин и др, 2022). Численная реакция проявляется в скоплении активных самок в местах с высокой плотностью гнездования ос (Русина и др, 2023).

Ключевым фактором являются погодные условия. Холодная весна задерживает гнездование ос, нарушая синхронизацию с циклом паразитоида. В таких условиях критически важно раннее заражение (до выхода рабочих), наносящее семье наибольший ущерб.

Пространственная структура поселений ос также важна: от агрегированной в начале сезона до случайной под воздействием хищников (птиц, млекопитающих, муравьев) к его концу. Паразитоиды эффективнее в устойчивых скоплениях гнезд. Защитное поведение хозяев (хаотичное движение рабочих по соту со специфическим звуком для мобилизации семьи) затрудняет проникновение *L. argiolus* и снижает успех паразитизма.

Таким образом, *L. argiolus* – значимый регулятор численности ос. Множественность факторов (погода, хищники, пространственное распределение) делает систему «паразитоид-хозяин» крайне динамичной и сложноорганизованной.

## **Functional and numerical response of the parasitoid *Latibulus argiolus* (Rossi, 1790) (Hymenoptera, Ichneumonidae) in host colonies**

*Rusin A.I.\*<sup>1</sup>, Rusina L.Y.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> MUCTR, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Moscow Zoo, Moscow, Russia

\* e-mail: antonrusin2018@gmail.com

## **Видовая специфика популяционных систем ос-полистов (Hymenoptera: Vespidae): роль хищников и паразитов**

*Rусина Л.Ю.\*<sup>1</sup>, Русин А.И.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Московский зоопарк, Москва, Россия

<sup>2</sup> РХТУ им. Д.И. Менделеева, Москва, Россия

\* e-mail: lirusina@yandex.ru

Типологическое разнообразие вариантов пространственно-этологической структуры и организации популяции у разных видов ос-полистов и на разных фазах их динамики численности достаточно велико и связано с влиянием абиотических (погодно-климатических) и биотических (характера растительности, хищников и паразитов, плотности популяции) факторов; со спецификой перестройки ее структуры, связанной с миграционными процессами на уровне особи и на уровне семьи (Русина, 2009). Период от закладки гнезда до выхода рабочих в их жизненном цикле является критическим, поскольку погибает (главным образом, от хищников) до 80 % популяции (Русина, 2006). После разрушения первичного гнезда самки *Polistes nimpha*, *P. dominula* повторно отстраивают гнезда либо подселяются в чужие семьи, агрессивно изгоняя резидентную самку (узурпация) или остаются с ней в гнезде, приобретая доминантный статус или становясь подчиненной особью. У *P. mongolicus* (облигатный гаплометрозд) вселения самок в чужие гнезда не отмечали, а доля вторичных гнезд достигает почти половины семей, вырастивших половое поколение. При изучении связи недокорма (пищевой депривации) выращиваемых личинок репродуктивных особей с их фенотипической изменчивостью было проанализировано воздействие узурпации семьи чужой самкой, хищников, паразитоидов (*Elasmus schmitti*, *Latibulus argiolus*), паразитов (клещ *Sphexicozella connivens*) и социальных паразитов (*P. atrimandibularis*) (Русина, 2016 Зоол.ж.; Русина и др., 2016, Евроаз.энт.ж; Русин, Гилев, 2024).

По результатам исследования локальных поселений ресоциальных ос-полистов на этапе основания семей и в репродуктивный период показан конвенциальный изоморфизм, который обусловлен морфологической, пространственно-временной и ролевой неоднородностью самок-основательниц и самцов. Популяционные системы ос-полистов адаптируются к воздействиям внешней среды благодаря сложной структуре, наличию иерархических структур управления, способности к самоорганизации и опережающей обратной связи.

## **Species specificity of *Polistes* (Hymenoptera: Vespidae) population systems: the role of predators and parasites**

*Rusina L.Y.\*<sup>1</sup>, Rusin A.I.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Moskow Zoo, Moskow, Russian Federation

<sup>2</sup> Mendeleev University of Chemical Technology, Moskow, Russian Federation

\* e-mail: lirusina@yandex.ru

## **Паразитирование иксодовых клещей на маралах (*Cervus elaphus sibiricus*) Республики Алтай в зимний период**

*Saitov V.R., Bakhtushkina A.I.*

Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия  
Горно-Алтайский научно-исследовательский институт сельского хозяйства (филиал) Томского  
государственного университета, Майма, Россия

В Евразии для некоторых видов иксодовых клещей характерна бимодальная модель активности, включающая основной пик численности весной – в начале лета и второй пик в конце лета – начале осени. Многолетними исследованиями поголовья маралов (*Cervus elaphus sibiricus*) в обследованных районах Горного Алтая (Марченко, Бахтушина, 2010) определен 1 вид треххозяинного клеща – *Dermacentor pictus* (Hermann, 1804). Систематика семейства Ixodidae пересмотрена и вместо вида *D. pictus* сейчас выделяют вид – *Dermacentor reticulatus* (Fabricius, 1794) (= *D. pictus* Hermann, 1804). В 2000 году во время январского осмотра маралов ( $t = 17^{\circ}\text{C}$ ), фермы Актел, Шебалинского района Республики Алтай (СО РАН АЭХ) нами у обследованных животных в области ушной раковины с наружной стороны в волосяном покрове (участок задних ушных вен) у всех маралов было отмечено наличие присосавшихся, но без признаков питания клещей вида *Dermacentor reticulatus*. Экстенсивность инвазии составила 100%, индекс обилия – 16,2. Согласно многолетним наблюдениям в весенне-летний период, клещи в большей мере локализовались на ушах (78,4%), шее (13,6%) и спине (7,9%). Зимнее обитание иксодид на оленевых описано в зарубежной литературе (Kjellander et al., 2023). Это первый случай, когда зимой в Скандинавии задокументирована активность нимф и самок треххозяинного клеща вида – *Ixodes ricinus*, прикрепляющихся и питающихся на косулях. Погодными условиями, регулирующими зимнюю активность самок, были температура и осадки, а самая низкая расчетная температура воздуха для обнаружения активного клеща была ниже  $5^{\circ}\text{C}$ . В сообщении (Saleh et al., 2024) однохозяинный вид *Dermacentor albipictus*, называют зимним клещом, паразитом копытных Северной Америки. Считается, что данный вид иксодид единственный для Американского континента, нападающий с октября по апрель, особенно на лосей, с тяжелыми последствиями для здоровья хозяина-прокормителя.

## **Ixodid ticks' parasitism on maral deer (*Cervus elaphus sibiricus*) in the Altai Republic during winter**

*Saitov V.R., Bakhtushkina A.I.*

Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russia  
Gorno-Altaisk Scientific Research Institute of Agriculture (branch) Tomsk State University, Maima, Russia

## **Влияние температуры на соотношение полов наездника *Habrobracon hebetor* в лабораторных условиях.**

*Уткузова А.М.\*<sup>1</sup>, Игнатьева А.Н.<sup>1</sup>, Черткова Е.А.<sup>2</sup>, Токарев Ю.С.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт систематики и экологии животных СО РАН, Новосибирск, Россия

\* e-mail: alsuvizr@mail.ru

Луговой мотылек (*Loxostege sticticalis*) один из наиболее опасных вредителей сельского хозяйства. Его высокая вредоносность обусловлена многогодностью и интенсивным питанием гусениц, а также способностью взрослых особей к дальним миграциям. Благодаря этому за короткий срок мотылек способен заселять значительные территории.

Для регуляции численности вредителей в сельском хозяйстве широко применяются энтомофаги, в том числе эктопаразитоид гусениц чешуекрылых *Habrobracon hebetor*. Результативность его применения в биологической защите растений во многом зависит от комплекса внешних и внутренних факторов, определяющих уровень паразитической активности. Особое значение имеет присутствие внутриклеточного симбионта *Wolbachia*, который способен изменять физиологические процессы хозяев. Не менее важным является температурный фактор, определяющий как успешность заражения, так и динамику развития энтомофага.

Цель проведённых исследований заключалась в оценке воспроизводства *H. hebetor* на гусеницах *L. sticticalis*. Для экспериментов использовались две линии паразитоида: одна естественно инфицирована бактерией *Wolbachia*, другая — свободна от этой инфекции.

В результате проведенных экспериментов с тремя температурными режимами (23, 26 и 29°C) и общей выборкой 260 особей отмечено, что при более высоких температурах в потомстве паразитоида дикого типа (естественно инфицированного эндосимбионтом) доля самок повышается. В то же время, в линии, лишённой *Wolbachia*, данная закономерность не прослеживается. Дальнейшее изучение совместного влияния температуры и эндосимбионта на паразитоида представляется перспективным для совершенствования методик массового разведения и применения энтомофага.

*Поддержано грантом РНФ № 23-16-00262.*

## **Can temperature influence sex ratio in the parasitic wasp *Habrobracon hebetor* under laboratory conditions?**

*Utkuzova A.M.\*<sup>1</sup>, Ignatiyeva A.N.<sup>1</sup>, Chertkova E.A.<sup>2</sup>, Tokarev Y.S.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Institute of Plant Protection, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Institute of Systematics and Ecology of Animals Siberian Branch of RAS, Novosibirsk, Russia

\* e-mail: alsuvizr@mail.ru

# **НЕМАТОЛОГИЧЕСКИЙ СИМПОЗИУМ**

## **Биология и анатомия семейства Cyartonematidae**

*Бушикова А.К.\*<sup>1</sup>, Чесунов А.В.<sup>1</sup>, Миролюбова Т.С.<sup>2,3</sup>, Алёшин В.В.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, НИИ физико-химической биологии имени А.Н.Белозерского, Москва, Россия

\* e-mail: annakonstbush@gmail.com

The position of the family Cyartonematidae, together with the related Meyliidae, remains unclear in the nematode systems. The morphology of Cyartonematidae is characterised by distinctive structures: (1) a unique pattern of head sensilla; (2) a pharynx consisting of an anterior muscular part, a narrow isthmus, and a terminal glandular enlargement; (3) the presence of two enormous pseudocoelomocytes in the anterior part of the body; (4) a blind-ended midgut, without any signs of a rectum or anus; (5) female ovaries combining features of the straight and antidromous types.

During work with *Cyartonema zosterae* in the White Sea, we revealed a phenomenon that has not been previously described in nematodes. Live specimens in a calm state appear pink or even dark red due to subcuticular pigment granules distributed in stripes along the nematode's body. If touched, the nematodes bend sharply and release clouds of red pigment that dissolve in seawater. The nematode's body then becomes discoloured. The substance is secreted along the entire body, apparently directly through the cuticle. The functions of the secretion and the method of its release remain unknown. It can be assumed that this reaction is a defensive mechanism and that the active substance in the mixture released is capable of repelling potential predators.

*The research is supported by the Russian Science Foundation project No. 25-74-20009.*

## **Biology and anatomy of the family Cyartonematidae**

*Bushkova A.K.\*<sup>1</sup>, Tchesunov A.V.<sup>1</sup>, Miroliubova T.S.<sup>2,3</sup>, Aleoshin V.V.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Belozersky Institute of Physico-Chemical Biology, Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, Russian Federation

\* e-mail: annakonstbush@gmail.com

## **Formation of soil nematode communities under the influence of the invasive plant *Heracleum sosnowskyi*: the role of abiotic environmental factors**

*Kalinkina D.S.\*, Sushchuk A.A., Matveeva E.M.*

Institute of Biology, Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk, Russia

\* e-mail: kalinkinads@gmail.com

Currently, one of the serious ecological problems is the introduction and spread of invasive plant species in new ecosystems. The formation of plant communities under the influence of an alien species leads to changes in natural communities, including abiotic and biotic components within soil ecosystems. In this regard, the aim of the study is to identify patterns in the formation of diversity and structure of soil nematode communities under the influence of abiotic environmental factors in the context of the invasion of Sosnowsky's hogweed (*Heracleum sosnowskyi* Manden.) into meadow biocenoses. Monodominant communities of the invasive plant and adjacent meadows were studied in the Republic of Karelia (Essoyla, 61°49'N, 33°09'E; Shuya, 61°52'N, 34°14'E), as well as in the Leningrad (60°05'N, 32°23'E) and Moscow (55°37'N, 36°29'E) regions. The following abiotic factors were analyzed: biocenosis type (hogweed/meadow), pH, total carbon and nitrogen, available phosphorus and potassium, and nitrate nitrogen. The study showed that, on average, the total abundance and relative abundance of bacterial feeders increase under hogweed, while the proportions of nematodes, associated with plants and plant parasites are higher in meadow biocenoses. Using the R software, a redundancy analysis (RDA) was conducted, which revealed that all studied factors, except nitrate nitrogen, had a significant effect ( $p<0.05$ ) on nematode community parameters. The combination of assessed abiotic factors explains about 50% of the variation in nematological parameters. Trophic groups including plant parasites, nematodes, associated with plants, and omnivores demonstrated a positive correlation with nitrogen and carbon content but a negative correlation with soil pH. Bacterial feeders showed the opposite pattern. Other nematological parameters (total abundance, ecological indices, etc.) weakly correlated with the studied factors.

*Support: Russian Science Foundation, grant no. 24-24-00512.*

## **Formation of soil nematode communities under the influence of the invasive plant *Heracleum sosnowskyi*: the role of abiotic environmental factors**

*Kalinkina D.S.\*, Sushchuk A.A., Matveeva E.M.*

Institute of Biology, Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk, Russia

\* e-mail: kalinkinads@gmail.com

## **Микробиом симбионтов *Scolytus jacobsoni* (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): результаты морфологического и молекулярно-генетического анализа.**

*Kerchev I.A.\*<sup>1,2</sup>, Kabilov M.R.<sup>3</sup>, Subbotin S.A.<sup>4</sup>, Ryss A.Y.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

<sup>3</sup> Институт химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН, Новосибирск, Россия

<sup>4</sup> Plant Pest Diagnostic Center, California Department of Food and Agriculture, 3294 Meadowview Road, Sacramento, CA 95832-1448, USA

\* e-mail: ivankerchev@gmail.com

Голландская болезнь ильмовых (ГБИ) - пример трансмиссивного заболевания, распространяемого короедами рода *Scolytus*. Симбиотические биомы, ассоциированные с переносчиками в их естественном ареале, остаются недостаточно изученными. Ключевым остается вопрос: связаны ли трофически нематоды и грибы одного переносчика, или нематоды питаются в дереве за счет внешних не-энтомохорных сапротрофов. Объектом исследования служил симбиотический комплекс дальневосточного короеда *Scolytus jacobsoni* вызывающего усыхание вяза японского *Ulmus davidiana* в Уссурийском заповеднике (Приморский край). Видовая идентификация нематод проводилась с помощью морфологического и молекулярно-генетического методов. Таксономический состав грибного сообщества короеда был определен методом метабаркодирования с секвенированием ITS-локуса на платформе Illumina MiSeq. Анализу подвергалась суммарная экстрагированная ДНК из пула особей жука. Обнаружено ассоциированное с *S. jacobsoni* грибное сообщество и нематода *Bursaphelenchus ussuriensis*, близкая к ассоцииированному с ГБИ на северо-западе РФ *B. ulmophilus* (переносчики *S. multistriatus*, *S. scolytus*). Нематоды размножены в культуре лабораторного гриба *Botrytis cinerea*. Микробиом короеда *S. jacobsoni* оказался сложным и многоуровневым. Выявлен патоген — *Ophiostoma novo-ulmi* subsp. *americana* и наибольшее относительное обилие (87%) дрожжей рода *Candida*, а также для гниющей древесины типичные грибы р. *Graphium*, *Sporendoncladia*, *Clonostachys*. Дрожжи доминируют также в нематохорном комплексе *B. ussuriensis* в лабораторной культуре. Исследование аутохтонных симбиотических комплексов позволяет выявить фундаментальные механизмы формирования и функционирования многокомпонентных симбиотических систем, что критически важно для разработки прогностических моделей трансмиссивных заболеваний древесных растений.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда: проект № 25-24-00043.*

## **The Microbiome of *Scolytus jacobsoni* Symbionts (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae): Results of Morphological and Molecular Genetic Analysis**

*Kerchev I.A.\*<sup>1,2</sup>, Kabilov M.R.<sup>3</sup>, Subbotin S.A.<sup>4</sup>, Ryss A.Y.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute, Russian Academy of Sciences, Sankt-Peterburg, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, 3Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

<sup>3</sup> Institute of Chemical Biology and Fundamental Medicine, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>4</sup> Plant Pest Diagnostic Center, California Department of Food and Agriculture, Sacramento, USA

\* e-mail: ivankerchev@gmail.com

## **Особенности оценки устойчивости диких видов картофеля к *Ditylenchus destructor* Thorne, 1945**

*Колесников М.В.\*<sup>1</sup>, Приданников М.В.<sup>1</sup>, Лиманцева Л.А.<sup>1</sup>, Чалая Н.А.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский институт генетических ресурсов растений  
имени Н.И. Вавилова (ВИР), Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: maximus1237@yandex.ru

*Ditylenchus destructor* – серьезный вредитель клубней картофеля в России. Устойчивость картофеля к дитиленхозу в настоящее время недостаточно изучена. Одна из причин – отсутствие общепринятой методики оценки растительного материала к данному виду нематод. Для оценки устойчивости сортов картофеля к стеблевой нематоде существует несколько основных подходов, имеющих свои преимущества в зависимости от задач. Ключевые различия между ними заключаются в способе заражения клубней и учете пораженности. Работа с дикими видами дополнительно затруднена их слабым клубнеобразованием, что вызвало необходимость разработать методику на основе существующих.

Приоритетной задачей данного исследования был поиск перспективных генотипов диких видов для селекции, в связи с чем основное внимание было уделено качественной оценке признака устойчивости, а не количественным параметрам поражения. В данной работе использован предварительно отобранный материал из коллекции картофеля ВИР. Для стимулирования клубнеобразования подобран восьмичасовой режим освещения. Источником инфекции служили пораженные клубни картофеля из лабораторной коллекции, где *D. destructor* поддерживается в вегетационных сосудах на сорте "Инноватор". В качестве инокулюма использовалась водная суспензия из измельченной зараженной ткани клубня.

Инокулюм вносили в почву через 2 недели после высадки образцов. Заражённость составляла около 2500 личинок на растение. Учет пораженности проводили по качественным признакам в конце вегетации: проявлению симптомов на клубнях и наличию нематод в тканях. Использовали 2 категории: устойчивые и неустойчивые. Выделение слабопоражаемых образцов было нецелесообразно в связи с возможностью дальнейшего развития *D. destructor* в клубнях при хранении.

В результате выделены 22 потенциально устойчивых к *D. destructor* образца (относившихся к 12 видам), после дополнительных исследований они могут быть использованы в селекции. Предложенная методика показала себя перспективной для оценки диких видов картофеля.

## **Specifics of Evaluating Resistance in Wild Potato Species to *Ditylenchus destructor* Thorne, 1945**

*Kolesnikov M.V.\*<sup>1</sup>, Pridannikov M.V.<sup>1</sup>, Limantceva L.A.<sup>1</sup>, Chalaya N.A.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences (IEE RAS), Moscow, Russia

<sup>2</sup> N.I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

\* e-mail: maximus1237@yandex.ru

# **О восприимчивости лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) к сосновой стволовой нематоде *Bursaphelenchus xylophilus* и восприимчивости лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) к сосновой стволовой нематоде**

*Кулинич О.А.\*<sup>1,2</sup>, Арбузова Е.Н.<sup>1</sup>, Козырева Н.И.<sup>1</sup>, Чалкин А.А.<sup>1</sup>,  
Кажан Е.А.<sup>3</sup>, Щуковская А.Г.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский центр карантина растений, МО, г.о. Раменский, р.п. Быково, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Российский государственный аграрный университет — МСХА имени К. А. Тимирязева (РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева), Москва, Россия

\* e-mail: okulinich@mail.ru

Возбудитель вилта хвойных пород – нематода *Bursaphelenchus xylophilus* относится к наиболее опасным патогенам хвойных лесов. Вторичный ареал этого североамериканского организма включает соседние с РФ страны (Китай, Республика Корея, Япония), но на территории России *B. xylophilus* пока не обнаружен. В число растений-хозяев *B. xylophilus* входят почти все хвойные, однако выявляются устойчивые растения. Цель исследований – изучение степени восприимчивости к *B. xylophilus* лиственницы сибирской, как одной из основных лесообразующих пород на территории РФ. Исследования проводили два года в лабораторных условиях при +21...+24 °C и использовали пяти-шестилетние саженцы. В 2024 г. 8 саженцев были заражены нематодами в количестве 5000 особей/растение, в 2025 г. 7 саженцев инокулировали 1000 и 300 особями/растение. Контролем служили растения, инокулированные дистиллированной водой. Степень увядания (СУ) саженцев оценивали по 5-балльной шкале. В 2024 г. при инокулюме 5000 нематод было отмечено одновременное пожелтение всех растений (2 СУ) на 10-е сутки. На 18-е сутки желтая хвоя начала обильно опадать и все растения погибли (5 СУ), за исключением одного саженца (3 СУ), который дал побеги. В 2025 г. при инокулюме 1000 нематод/саженец наблюдали аналогичный процесс поражения у всех растений (1 СУ) на 15-й день опыта. Полная гибель (5 СУ) 5-ти из всех исследуемых саженцев этого варианта произошла на 69 день эксперимента. Два зараженных растения (3 СУ) сформировали новые побеги. При инокулюме 300 нематод 1 СУ отмечена на 26-е сутки у всех растений. Шесть саженцев полностью погибли (5 СУ) на 69 сутки. Одно растение (3 СУ) показало резистентность к патогену. Сделаны выводы, что лиственница сибирская восприимчива к *B. xylophilus*, однако часть растений проявляют устойчивость к патогену. Анализ показал, что гибель лиственницы от *B. xylophilus* может наблюдаться в районах, расположенных на широте Екатеринбурга, Красноярска, Новосибирска и южнее.

## **About the susceptibility of the siberian larch (*Larix sibirica*) to the pinewood nematode *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner & Buhrer) nickle**

*Kulinich O.A.\*<sup>1,2</sup>, Arbuzova E.N.<sup>1</sup>, Kozyreva N.I.<sup>1</sup>, Chalkin A.A.<sup>1</sup>,  
Kazhan E.A.<sup>3</sup>, Shchukovskaya A.G.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Plant Quarantine Center, Bykovo village, Ramenskoye, Moscow Region, Russia

<sup>2</sup> Institute of Ecology and Evolution. A.N. Severtsov Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K. A. Timiryazev (RGAU-MSAA named after K. A. Timiryazev), Moscow, Russia

\* e-mail: okulinich@mail.ru

# **Diversity and structure of soil nematode communities in small-leaved forests of the Republic of Karelia**

*Matveeva E.M., Sushchuk A.A., Kalinkina D.S.*

Institute of Biology, Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk, Russia  
e-mail: anna\_sushchuk@mail.ru

Small-leaved forests are secondary communities that succeed coniferous forests, primarily after clear-cutting. In Karelia, pine forests cover 63.8% of the forested area, spruce – 25.2%, birch – 10.1%, and aspen – 0.7% (Sakovets & Ivanchikov, 2003). Despite their widespread occurrence, small-leaved forests remain understudied in regional nematological research compared to dominant coniferous forests or economically important meadows. This study aims to analyze the diversity and community structure of soil nematodes in birch and aspen small-leaved forests in the Republic of Karelia and compare them with nematode communities in other biocenoses. It has been shown that nematode abundance in small-leaved forests is high (5,780 ind./100 g of soil), second only to spruce forests. Due to leaf litter and herbaceous vegetation, soils in small-leaved forests are more fertile and less acidic (Mamai *et al.*, 2013), which may explain the high nematode abundance. Bacterial feeders prevail in the nematode community, followed by nematodes associated with plants and fungal feeders in trophic group dominance. High occurrence is noted for gg. *Acrobeloides*, *Plectus*, *Aphelenchoides*, *Eudorylaimus* (100% of samples), as well as *Clarkus*, *Coslenchus*, *Malenchus*, *Heterocephalobus*, *Tylencholaimus* (89% of samples). By average relative abundance, *Acrobeloides*, *Plectus*, and *Tylencholaimus* dominate the samples. Overall, nematode diversity in small-leaved forests is high – 28 genera on average. So, small-leaved forests are intermediate in diversity between coniferous forests (23–25 genera) and meadows (30 genera). High structure index values ( $SI = 66.3$ ) indicate complex, multi-component food webs and undisturbed soil ecosystems. The enrichment index, indicating soil fertility ( $EI = 41.1$ ) and channel index, reflecting organic matter decomposition ( $CI = 40.4$ ) place small-leaved forests closer to meadows.

*Support: State Order to KarRC RAS 122032100130-3.*

## **Diversity and structure of soil nematode communities in small-leaved forests of the Republic of Karelia**

*Matveeva E.M., Sushchuk A.A., Kalinkina D.S.*

Institute of Biology, Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk, Russia  
e-mail: anna\_sushchuk@mail.ru

## **Нематоды озера Севан**

*Мокиевский В.О.\*<sup>1</sup>, Гарлицкая Л.А.<sup>2</sup>, Азовский А.И.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Центр зоологии и гидроэкологии НАН, Ереван, Республика Армения

<sup>3</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: vadim@ocean.ru

Данные по фауне свободноживущих нематод Севана крайне ограничены. Первые сведения основаны на сборах 1937-39 гг., обработанных А.А. Парамоновым (Фридман, 1950). Коллекцию нематод, собранную в 1986 г., обработали С.А. Акопян и В.Г. Гагарин. В июле-октябре 2024 г. нами выполнена еще одна съемка (45 количественных проб). Объем коллекции А.А. Парамонова неизвестен, коллекция В.Г. Гагарина и С.А. Акопян включала 2300 особей, в наших сборах обработано 407 особей. Всего за время исследования в озере обнаружено 26-27 видов свободноживущих нематод (в коллекции Парамонова 13 видов, в списке Гагарина и Акопян - 23, наш список включает 9 точно установленных видов и 4-5 неопределенных форм).

Видовой состав нематод Севана в разные периоды менялся незначительно (большая часть найденных нами видов отмечались и ранее). Однако структура сообщества заметно изменилась. Если в начале XX в. по числу видов и численности преобладали хромадориды (*Punctodora ratzemburgensis*, *Chromadorita leucarti*, *Chromadorina bioculata*, *Ethmolaimus pratensis*), то в более поздних съемках лидируют монхистериды, в первую очередь *Monhystera pallidicola* (45% всей численности в 1986 г., 39% - в 2024 г.). Снизилась роль сем. *Triplonchida*, *Enoplida* и *Mononchida*. В целом наблюдается тенденция к смене более чувствительных форм (persisters) более устойчивыми (opportunistic), что, вероятно, связано с процессом эвтрофикации водоема и усилением гипоксии. Общая плотность по сравнению с 1980-ми годами снизилась в 4-6 раз. Изменилось и распределение по глубинам: упала численность литорального населения, большая часть нематод сосредоточена на глубине 25 м (соответствует положению термо- и оксицилина в период летней стратификации). Относительно низкое разнообразие эноплид, тобрилид и дорилаймид, вероятно, связано с высокой минерализацией воды.

## **Nematodes of the Lake Sevan**

*Mokievsky V.O.\*<sup>1</sup>, Garlitska L. .<sup>2</sup>, Azovsky A.I.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> P.P. Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Scientific Center of Zoology and Hydroecology NAS, Yerevan, Republic of Armenia

<sup>3</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: vadim@ocean.ru

**Новая находка нематод из ---отряда Plectida в кишечнике  
глубоководных эхиурид (Annelida: Echiura) из Курило-Камчатского  
желоба**

*Мордухович В.В.\*<sup>1,2</sup>, Зограф Ю.К.<sup>1</sup>, Семенченко А.А.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> ННЦМБ ДВО РАН, Владивосток, Россия

<sup>2</sup> Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

<sup>3</sup> ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, Владивосток, Россия

\* e-mail: vvmora@mail.ru

Currently, many examples of symbiotic relationships, including endoparasitic ones, between nematodes and marine invertebrates are known. These include representatives of the order Plectida, such as *Smithsoninema inaequale*, *Onchium metocellatum* and *O. ocellatum* found in marine protists; *Neocamacolaimus parasiticus*, from the benthic polychaete, several species of the genus *Domorganus* from different species of Lumbricidae and Enchytraeidae, and all species of the family Benthimerithidae from different species of Nematoda, Priapulida, Bivalvia and Crustacea.

During a study of invertebrates from the Kuril-Kamchatka Trench, numerous nematode individuals were found in the intestine of the echiurid *Maxmuelleri* sp., which was caught at a depth of 7154 m. All of these individuals were represented by immature females. The nematodes that were found are characterized by annulated cuticle, setiform cephalic sensilla, and amphids with small fovea and pore-like apertures. The buccal cavity of these nematodes is devoid of armament, pharynx is muscular. The tail is conoid; caudal glands and a spinneret are present. Morphological (optical microscopy and SEM) and genetic (analysis 18S and 28S RNA gene sequences) analysis of these nematodes supports their classification within the order Plectida, but outside the families with known parasitic forms (Benthimerithidae, Camacolaimidae, and Ohridiidae).

**New record of plectid nematodes in the intestine of deep-sea spoon worms  
(Annelida: Echiura) from the Kuril-Kamchatka Trench**

*Mordukhovich V.\*<sup>1,2</sup>, Zograf J.<sup>1</sup>, Semenchenko A.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> NSCMB FEB RAS, Vladivostok, Russia

<sup>2</sup> FEFU, Vladivostok, Russia

<sup>3</sup> FSC of Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

\* e-mail: vvmora@mail.ru

## **Изменение генетической карты влияет на экспрессию митохондриальных генов**

*Николаева О.В.<sup>1</sup>, Овчаренко А.С.\*<sup>1,2</sup>, Хорхордина П.В.<sup>1,2</sup>, Миролюбова Т.С.<sup>1,3</sup>, Садовская Н.С.<sup>1</sup>, Скобеева В.А.<sup>1,2</sup>, Санамян Н.П.<sup>4</sup>, Панина Е.Г.<sup>5</sup>, Михайлов К.В.<sup>1,6</sup>, Русин Л.Ю.<sup>6</sup>, Чесунов А.В.<sup>1,2</sup>, Алёшин В.В.<sup>1,2,6</sup>*

<sup>1</sup> НИИ физико-химической биологии им. А.Н. Белозерского, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

<sup>4</sup> Камчатский филиал Тихоокеанского института географии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский, Россия

<sup>5</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>6</sup> Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича РАН, Москва, Россия

\* e-mail: aovcharenko03@yandex.ru

Митохондриальные гены большинства видов животных содержат одинаковые наборы генов, причем у многих видов белок-кодирующие гены (PCGs) располагаются строго в определенном порядке, формируя синтении – консервативные блоки генов. Некоторые синтении сохраняются на протяжении сотен миллионов лет и обнаружаются в митохондриальных геномах позвоночных и беспозвоночных животных. Подобная эволюционная консервативность указывает на функциональную роль взаиморасположения PCGs, однако биохимический или физиологический механизм влияния порядка генов в mtДНК на жизнеспособность не известен. Среди животных, однако, встречаются и таксоны с уникальным порядком генов в mtДНК, полностью утратившие консервативные синтении. К последним до недавнего времени относили круглых червей (нематод), пока некоторые из канонических синтений животных не обнаружились у ранее не исследованных нематод. К ним относится и семейство морских нематод Thoracostomopsidae (Nematoda, Enoplida). Мы секвенировали полные митохондриальные гены трех видов Thoracostomopsidae, определили порядок генов и уровни их экспрессии согласно RNA-seq у всех доступных представителей семейства. Обнаружено, что у пяти видов Thoracostomopsidae реализовано три варианта расположения PCGs в mtДНК, а относительные уровни их мРНК коррелируют с порядком генов, а не филогенией видов. Мы предполагаем, что транслокации PCGs влияют на уровень экспрессии не только у нематод. Также мы предполагаем, что транслокации в mtДНК могут оказывать комбинированный эффект, не ограничивающийся влиянием на уровни транскрипции отдельных мРНК.

### **Genetic map changes affect mitochondrial gene expression**

*Nikolaeva O.V.<sup>1</sup>, Ovcharenko A.S.<sup>1,2</sup>, Khorkhordina P.V.<sup>1,2</sup>, Mirolyubova T.S.<sup>1,3</sup>, Sadovskaya N.S.<sup>1</sup>, Skobeeva V.A.<sup>1,2</sup>, Sanamyan N.P.<sup>4</sup>, Panina E.G.<sup>5</sup>, Mikhaylov K.V.<sup>1,6</sup>, Rusin L.Y.<sup>6</sup>, Tchesunov A.V.<sup>1,2</sup>, Aleoshin V.V.\*<sup>1,2,6</sup>*

<sup>1</sup> A.N. Belozersky Research Institute of Physicochemical Biology, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Biology Department of Lomonosov State University, Moscow, Russia

<sup>3</sup> A.N. Severtsov Institute of Ecology and Evolution Problems of the RAS, Moscow, Russia

<sup>4</sup> Kamchatka Branch of the Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia

<sup>5</sup> Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, Saint-Petersburg, Russia

<sup>6</sup> A.A. Kharkevich Institute for Information Transmission Problems of the Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia

\* e-mail: aleshin@genebee.msu.su

## **Фитопаразитические нематоды на растениях рода *Ficus* L., 1753 при контейнерном выращивании в Московской области**

*Плыкина М.С.<sup>1</sup>, Буторина Н.Н.\*<sup>1</sup>, Пустов Н.Ю.<sup>1</sup>, Иванов А.В.<sup>2</sup>, Чернышев Д.В.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Всероссийский центр карантина растений (ФГБУ «ВНИИКР»), р.п. Быково, Московская область, Россия

<sup>3</sup> Питомник растений, Московская область, Россия

\* e-mail: nbut@list.ru

Наиболее значимыми фитопаразитическими нематодами на растениях рода *Ficus*, являются галловые нематоды рода *Meloidogyne*. На сегодняшний день не существует сортов и подвоев полностью устойчивых к галловым нематодам. Эта проблема актуальна не только в открытом грунте, но и при контейнерном выращивании, поскольку инфицированы могут быть и подвой и используемый грунт. Наиболее часто инжир поражают три вида галловых нематод – *M. incognita*, *M. javanica*, *M. arenaria*. Задачей данного исследования было определение видового состава галловых нематод поражающих различные виды рода *Ficus* при контейнерном выращивании в Московской области. В качестве растений хозяев галловой нематоды были рассмотрены *F. carica*, *F. palmata* и *F. afghanica*. Выбор растений был обусловлен тем, что данные виды считаются, имеющими повышенную или высокую толерантность к галловым нематодам.

При обследовании растений вида *F. carica* были найдены крупные сингаллы. Степень заражения - 4 по пятибалльной шкале (поражено 100% корневой системы). По результатам морфологического и молекулярного анализа были обнаружен вид *M. incognita*.

При обследовании корневой системы растений вида *F. palmata* были найдены галлы средних размеров. Степень заражения - 3 по пятибалльной шкале (поражено 75% корневой системы). По результатам морфологического и молекулярного анализа были обнаружены виды *M. incognita* и *M. luci*.

Кроме того были обнаружены нематоды рода *Helicotylenchus* – *H. digonicus* и *H. vulgaris*. При обследовании корневой системы растений вида *F. afghanica* также были найдены галлы средних размеров. Степень заражения - 3 по пятибалльной шкале (поражено 75% корневой системы). По результатам морфологического и молекулярного анализа был обнаружен вид *M. incognita*.

Проведенные исследования позволили конкретизировать виды галлообразующих нематод, поражающих инжир при выращивании в контейнерной культуре в Московской области. Полученные данные можно использовать при разработке системы защиты инжира от нематод фитопаразитов.

## **Complex of nematodes on plants of the genus *Ficus* L., 1753 during container cultivation in the Moscow region**

*Plykina M.S.<sup>1</sup>, Butorina N.N.\*<sup>1</sup>, Pustov N.Y.<sup>1</sup>, Ivanov A.V.<sup>2</sup>, Chernyshov D.V.<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences (IEE RAS), Moscow, Russia

<sup>2</sup> All-Russian Plant Quarantine Center (FGBU “VNIIKR”), Bykovo, Moscow region, Russia

<sup>3</sup> Nursery-garden, Moscow region, Russia

\* e-mail: nbut@list.ru

## **Исследования симбиотических связей группы видов *Bursaphelenchus hofmanni***

*Полянина К.С.\*, Рысс А.Ю.*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: Kristina.Polyanina@zin.ru

Среди нематод *Bursaphelenchus* spp. – наиболее опасные стволовые патогены деревьев со сложным циклом, включающим жука переносчика и симбиотические грибы. Наибольшее внимание уделяют группе видов *Xylophilus*, для них доказано фитопаразитическое питание тканями ксилемы хвойных, тогда как остальные группы рассматриваются как битрофы с преимущественно микотрофным питанием. Жизненные циклы видов группы *Hofmanni* изучены недостаточно. Эта группа объединяет паразитов лиственных и одного патогена хвойных *B. hofmanni*, а также *B. ultrophilus*, ассоциированного с голландской болезнью вязов. При мониторинге лесов вблизи природного заказника «Линдудовская роща» были обнаружены массивы усыхающих елей, зараженные короедом *Ips typographus*. Под надкрыльями жука были обнаружены дауер-личинки рода *Bursaphelenchus*. Нематоды первично культивированы на стерильных хвойных черенках по методике Рыssa, где успешно размножились, что указывает на способность вида питаться растительными клетками без облигатного питания мицелием. Затем нематоды размножены в стандартном мицелии *Botrytis cinerea* и идентифицированы как *Bursaphelenchus hofmanni* Braasch, 1998, обнаруживаемый в Европе в древесине ели *Picea abies*. Части тела жука-переносчика помещены питательную среду для идентификации энтомохорных грибов – потенциальных симбионтов нематод. Исследования включают морфологический и молекулярно-филогеографический анализ, тестирование по выявлению ассоциативных связей в микробиоме нематода-гриб-жук-дерево. Полученные данные важны для мониторинга лесных экосистем, включающим паразитические виды потенциального карантинного значения.

*Исследование выполнено за счет гранта РНФ: проект № 25-24-00043.*

## **Research on symbiotic associations within the *bursaphelenchus hofmanni* species group**

*Polyanina K.S.\*, Ryss A.Y.*

Zoological Institute RAS (ZIN RAS), St. Petersburg, Russia

\* e-mail: Kristina.Polyanina@zin.ru

**Первое нахождение паразитической нематоды рода *Trophomera* Rubtzov et Platonova, 1974 (Benthimermithidae) в ультраабиссальном двустворчатом моллюске *Vesicomya cf. sergeevi* Filatova, 1971**

Портнова Д.А.\*<sup>1</sup>, Тимченко А.И.<sup>1</sup>, Чесунов А.В.<sup>2</sup>, Крылова Е.М.<sup>1</sup>, Белов Д.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

\* e-mail: daria.portnova@gmail.com

Нематоды семейства Benthimermithidae Petter, 1980 (Plectida) являются внутренними паразитами морских беспозвоночных, обычно глубоководных. Бентимермиды встречаются крайне редко, биология как семейства, так и рода *Trophomera* изучены неудовлетворительно, для большей части описанных видов хозяева не установлены. Большинство из 42 видов *Trophomera* описаны либо по самцам, либо по самкам, что ограничивает число диагностических признаков. Хозяева известны только для четырёх видов рода. Случай паразитизма в двустворчатых моллюсках до сих пор был отмечен для *T. conchicola*, обитающей в Средиземном море на глубине около 1100 м в районе углеводородных выходов в двустворках *Idas modiolaformis* и *Lucinoma kazani*.

Мы обнаружили нематод при вскрытии мелкоразмерного (до 4.8 мм) двустворчатого моллюска *Vesicomya cf. sergeevi* в пробе, взятой в 1976 году во время 59-го рейса НИС «Витязь» в Японском желобе на глубине 7370 м. Образцы были зафиксированы в 4% формалине, затем переведены в 70% спирт. В ходе исследования нескольких десятков моллюсков было установлено, что каждый экземпляр заражен 6–10 скрученными в клубок паразитами, располагающимися в дорсальной части тела в непосредственной близости к перикарду и средней кишке моллюска. Нематоды представлены самками до 6 мм длиной и ювенильными особями на разных стадиях развития. Самцы обнаружены не были.

На основании совокупности морфологических признаков и данных генетического анализа мы предполагаем, что обнаруженные нематоды принадлежат к роду *Trophomera* (RUBTZOV et PLATONOVA, 1974). По генетическим характеристикам, паразиты отличаются от известных секвенированных видов этого рода. Впервые полученный массовый материал червей рода *Trophomera* позволил выявить и описать характерные морфологические признаки нескольких стадий развития.

Работа поддержанна грантом РНФ № 24-17-00321.

**The first record of a parasitic nematode of the genus *Trophomera* Rubtzov et Platonova, 1974 (Benthimermithidae) in an ultra-abyssal bivalve mollusk**

***Vesicomya cf. sergeevi* Filatova, 1971**

Portnova D.\*<sup>1</sup>, Timchenko A.<sup>1</sup>, Tchesunov A.<sup>2</sup>, Krylova E.<sup>1</sup>, Belov D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, 36 Nakhimovsky Prospekt, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

\* e-mail: daria.portnova@gmail.com

## **Вероятность возникновения устойчивости к нематицидам у фитопаразитических нематод**

*Пустов Н.Ю.*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия  
e-mail: nik.pustik@mail.ru

В настоящее время много внимания уделяется химическим мерам борьбы с фитопаразитическими нематодами. При этом, список нематицидов, разрешенных к применению в РФ скучен (на данный момент два препарата на основе оксамила, один на основе флуопирама и один на основе *Arthrobotrys oligospora*). Основным действующим веществом (ДВ) на протяжении последних лет в этом списке является оксамил. Такая ситуация вызывает опасения, так как постоянное использование одного и того же вещества может приводить к возникновению резистентности. Для нематицидов это считается маловероятным, по следующим причинам: нематициды редко применяются более одного раза за сезон; многие нематициды подвержены быстрой деградации в почве, что снижает продолжительность их воздействия; сообщения о возникновении устойчивых популяций в природе, до недавнего времени, фактически отсутствовали, не ясна степень риска их возникновения.

Однако, следует учесть и другие аспекты: флуопирам и оксамил используются как пестициды для других вредных объектов. Оксамил используется как инсектицид. Флуопирам используется как фунгицид, на данный момент зарегистрирован в РФ для применения на картофеле (сейчас только на этой культуре в РФ зарегистрирован нематицид на его основе) с нормой применения по ДВ меньше, чем у нематицида. То же самое наблюдается для моркови, сои, сахарной свеклы и других культур. Получается, что, в качестве фунгицида, его дозы снижены, а кратность применения в течении сезона больше, чем у нематицидных препаратов. Обеспокоенность вызывает факт, что есть сообщения о популяциях нематод, устойчивых к флуопираму, например, в Японии и США.

Учитывая вышесказанное, существует риск, что новые препараты могут устареть, едва появившись. Недостаточная изученность вопроса оставляет неясным, способны ли фитопаразитические нематоды вырабатывать резистентность к оксамилу и флуопираму в естественных условиях ведения сельского хозяйства в РФ. Мы планируем провести серию опытов, посвященных этим вопросам.

## **Probability of emergence of resistance to nematicides in plant-parasitic nematodes**

*Pustov N.Y.*

Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences (IEE RAS), Moscow, Russia  
e-mail: nik.pustik@mail.ru

**Проверка *in vitro* гипотезы трехстороннего симбиоза в трансмиссивной инфекции древесных растений на примере связи нематод и грибов в энтомохорном микробиоме**

*Ryss A.Y.*

Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: nema@zin.ru

Nematode infections cause loss to forest plantations and need in the monitoring and plant quarantine management. The most dangerous are the transmissive diseases vectored by the longhorn and bark beetles. Beetles vectors the propagules of the nematodes and fungi under elytrae and in tracheas. After transmission nematodes feed on plant cells using stylet, and later on fungal mycelium in dead plant. Depending on the woody plant disease, nematode or fungus acts as the true pathogen or opportunist. Our goal is to study the nematode-fungi interaction carried by the same vector species using the tripartite symbiosis hypothesis (2 pests and one vector). The interactions of five nematode species belonging to *Bursaphelenchus* and *Aphelenchoïdes* with tree species of entomochore pathogenic fungi were studied *in vitro*. Several fungi were detected as the preferable substrata to propagate nematode species. During tests on the elm, ash, spruce, fir and pine cuttings it was shown that the disinfected conifer trees be good substrata to propagate nematodes (parasitic relations), but co-inoculation with fungi distinctly enforced their propagation (synergy). Nematodes moved from the inoculation point along the stem, accumulating in its basal part and thus presumably blocked the nutrition transportation in plant (pathogenesis). Some of the nematode species carried the pathogenic fungi (nematochore). The nematodes infected by culturable endoparasitic fungus *Drechmeria* were detected which may be used for the biological control of pests. The synergy may be used to control of nematode-fungi infections with fungicides.

*Research is supported by the Russian Science Foundation, project № 25-24-00043.*

**In vitro testing of the tripartite symbiosis hypothesis for the transmissive infections of the woody plants focusing on the entomochore nematode-fungi microbiome**

*Ryss A.Y.*

Zoological institute RAS, Saint Petersburg, Russia  
e-mail: nema@zin.ru

## **Тесты специфичности стволовых нематод из ясеня к грибам от жуков переносчиков**

*Рысс А.Ю.\*<sup>1</sup>, Кази И.М.<sup>2</sup>, Селиук А.О.<sup>1,3</sup>, Селиховкин А.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

\* e-mail: nema@zin.ru

Tree diseases cause a damage to forest and park plantations. Their pathogens – fungi, nematodes and their insect vectors need regular monitoring of their expansion due to climate warming and flows of infested wood materials. The etiology of epiphytic diseases is unclear due to complex relationships in the ‘vector-fungus-nematode’ system. The objective was to evaluate the suitability of entomochore fungi as a food substrate for nematodes inhabiting beetle galleries in diseased trees. An cultural isolate of *Laimaphelenchus heidelbergi* (Aphelenchoididae) from the galleries of the *Agrilus planipennis* (AGRPL) in *Fraxinus pennsylvanica* was used as the test phyto-mycophagous nematode. *Botrytis cinerea* (BC) was used as a control feed fungus. The other test fungi (identified by ITS and 18S rRNA) were: *Alternaria tenuissima* AT; *Hymenoscyphus fraxineus* (CHAAFR); *Bjerkandera adusta* (BA), *Leptographium piceardum* (LP); *Sydiowia polyspora* (SYDOPO); *Geosmithia morbida* (GEOHMO); *Trichoderma* sp. (TS). The tests were conducted during 21 days at 25°C, with the inoculum of 200 nematodes. The highest final nematode abundances were detected for BC (control), AT, BA; medium quantities for LP, CHAAFR, SYDOPO, and the lowest abundances for GEOHMO and TS. Results indicated the successful trophic relationships between nematodes and fungi vectored by beetles. *Trichoderma* spp., as potential agents of the biological control, can also serve as the poor feed substrates for nematodes. Nematodes of the genus *Laimaphelenchus* have been propagated *in vitro* for the first time, and have shown to be polyphagous to entomochoric fungi. *Laimaphelenchuspenardi* and *L. heidelbergi* were obligatory associated with the infested ash trees in St. Petersburg.

Acknowledgements to: Subbotin S.A., Kazartsev I.A., Shabunin D.A.

*The study was financially supported by a grant from the Russian Science Foundation, project No. 24-16-00092. Live cultures (UFK ZIN RAS) were maintained using the State assignment 125012800903-5.*

## **Host specificity tests of xylobiont nematodes from ash trees to fungi from vector beetles**

*Ryss A.Y.\*<sup>1</sup>, Kazi I.M.<sup>2</sup>, Seliuk A.O.<sup>1,3</sup>, Selikhovkin A.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> St. Petersburg State Forestry University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

\* e-mail: nema@zin.ru

## **Новые находки энтомохорных и нематохорных грибов в фитопатогенной симбиотической триаде «стволовая нематода - гриб - жук переносчик»**

*Селиук А.О.\*<sup>1,2</sup>, Керчев И.А.<sup>3</sup>, Казарцев И.А.<sup>4</sup>, Куленич О.А.<sup>5</sup>, Рысс А.Ю.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Зоологический институт РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup> ИМКЭС СО РАН, Томск, Россия

<sup>4</sup> ВИЗР, Санкт-Петербург - Пушкин, Россия

<sup>5</sup> ВНИИКР, Быково, Московская область, Россия

\* e-mail: aleksey1seluk@gmail.com

The nematode infections of woody plants are the transmissive infections where the causative agents are microbioms of nematodes with phytopathogenic fungi vectored by beetles. The monitoring of forest and park diseases was carried out for the *Abies sibirica* (Tomsk region), *A. nephrolepis* and *Pinus koraiensis* (Primorsky Territory), *Picea abies* (Leningrad region), *Ulmus glabra* (St. Petersburg). The entomochore fungi were isolated on microbiological media with the subsequent identification using partial ITS rRNA and EF<sub>a</sub> gene sequences analysis in GenBank. The fungi isolated from the bark beetle elytrae were as follows: from *Ips typographus* (*P. abies*): *Leptographium piceardum*, *Sydowia polyspora*; from *Polygraphus proximus* (*A. sibirica*): *Ophiostoma floccosum*, *Rhizopus stolonifera*, *Mucor hiemalis*, *Alternaria alternata*. Some fungi were isolated from nematodes as symbionts: from *Laimaphelenchus hyrcanus* (from *U. glabra* declined by the Dutch elm disease, DED) the endoparasitic fungus *Drechmeria* was isolated which kills nematodes and may be used for the biological control; from *Laimaphelenchus* sp. inhabiting *Fraxinus excelsior*: *Leptosphaeria etheridgei*; from *Laimaphelenchus armandii* inhabiting *P. koraiensis* in tunnels of *Ips duplicatus*: *Exophiala oligosperma*; from *Panagrolaimus* sp. (*U. glabra*, killed by DED): *Graphium radicum*; from *Bursaphelenchus cf. hofmanni* (*A. nephrolepis*): *Trichoderma harzianum*. The collection of fungi was used in the nematode *Bursaphelenchus* spp. propagation tests. These nematodes combine the plant parasitic and fungal feeding at different stages of the life cycle.

*Research was supported by the Russian Science Foundation, project № 25-24-00043.*

## **New records of the entomochore and nematochore fungi in the phytopathogenic symbiotic trio nematode-fungus-beetle vector**

*Seliuk A.O.\*<sup>1,2</sup>, Kerchev I.A.<sup>3</sup>, Kazartsev I.A.<sup>4</sup>, Kulinich O.A.<sup>5</sup>, Ryss A.Y.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Zoological Institute RAS, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

<sup>3</sup> IMCES SB RAS, Tomsk, Russia

<sup>4</sup> VIZR, St. Petersburg-Pushkin, Russia

<sup>5</sup> VNIIKR, Moscow region, Bykovo, Russia

\* e-mail: aleksey1seluk@gmail.com

## **Наблюдения за распределением личинок энтомопатогенных нематод в почве смешанного леса**

*Спиридонов С.Э.\*, Миронова Е.И.*

Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\*e-mail: s\_e\_spiridonov@rambler.ru

Изучали динамику численности инвазионных личинок почвенных энтомопатогенных нематод рода *Steinernema* (Steinernematidae, Rhabditida) на экспериментальном участке ( $10 \times 10$  м) в течение года. Пробы почвы из двух слоев (0-5 и 5-10 см от поверхности) были собраны в смешанном лесу (126 проб). Выделение нематод проводили с помощью двух центрифугирований: в воде и в растворе  $MgSO_4$  плотностью 1.15 при 2500 об/мин с добавлением каолина, запечатывающего слой осадка. Личинок отбирали под бинокуляром в камере Богорова по внешним признакам (форма и размер тела, характер движений). Определение подтверждали изучением морфологии личинок в капле воды во временных препаратах при увеличении микроскопа  $\times 400$ . Видовую принадлежность личинок с большим количеством гранул запасных питательных веществ, а потому непрозрачных, проверяли анализом последовательности ITS rDNA. Обнаружено два вида штейнернематид: *Steinernema kraussei* и *S. poinari*, причем их численность в пробах отрицательно коррелировала (коэф. Спирмена, rho = -0.32, p = 0.0002). Нематоды были распределены агрегированно (случайный фактор «точка сбора пробы» объяснял 44% вариации в численности), как это было показано ранее для родственных *S. affine* и *S. feltiae* (Spiridonov *et al.*, 2007 Appl. Soil Ecol.). В большинстве проб почвы численность штейнернематид составляла в среднем ( $\pm$ станд. откл.)  $0.023 \pm 0.035$  инд./г, однако в нескольких пробах (9 из 126) она была выше на порядки ( $0.26 - 5.43$  инд./г). Достоверных различий в общей численности нематод между слоями почвы не обнаружено (GLMM). Личинки энтомопатогенных нематод представляли собой одну из домinantных групп почвенных нематод, наравне с плектидами. При выделении из замерзшей почвы в феврале ( $-1.5^{\circ}C$ ) личинки сохраняли жизнеспособность.

Выполнено при поддержке РНФ № 19-74-20147.

## **Observations on the distribution of entomopathogenic nematode juveniles in the soil of a mixed forest**

*Spiridonov S.E.\*, Mironova E.I.*

SIEE RAS, Moscow, Russia

\* e-mail: s\_e\_spiridonov@rambler.ru

**Формирование сообществ почвенных нематод под воздействием  
инвазивного вида *Heracleum sosnowskyi*:  
роль абиотических факторов среды**

*Калинкина Д.С., Сушчук А.А., Матвеева Е.М.*

Институт биологии Карельского научного центра РАН, Петрозаводск, Россия

Within the frame of problem of aggressive invasive species *Heracleum sosnowskyi* Manden., which is spreading throughout the regions of Russia, including the northern areas, and poses a threat to humans, the effects of hogweed management methods on plant condition and soil nematode communities were assessed. Field experiments were conducted at the Agrobiological Station (Petrozavodsk, 61°45'03"N, 34°20'49"E) and included variant with glyphosate-based herbicide «Roundup», covering the soil surface with black polyethylene film, and hot water treatment. An untreated control plants were used for comparison. There were demonstrated a high effectiveness of herbicidal treatment and black film soil coverage against hogweed. The effect on soil nematode communities was no obvious. In control, high soil nematode diversity (35 genera) and average regional abundance (2,341 ind./100 g) were observed. Bacterial- and fungal feeders dominated in the community with prevalent g. *Plectus*. Black film did not significantly affect nematode abundance and diversity (2,586 ind., 34 genera), but altered community structure: bacterial feeders and omnivores dominated, predator abundance rose, plant parasites declined, and *Rhabditis* became prevalent. Herbicide treatment slightly reduced nematode abundance and diversity (2,092 ind., 28 genera). In the community structure, as in the control, bacterial- and fungal feeders were in high numbers; however, the abundance of the latter increased; dominant genera were *Rhabditis* and *Paraphelenchus*. Hot water treatment also slightly reduced nematode abundance and diversity (1,936 ind., 30 genera); bacterial feeders dominated (71.7%) with prevalent g. *Rhabditis*. Thus, hot water, like other treatments, increased r-strategists in the nematode community. Overall, black film and herbicide affected more nematological parameters, but their impact did not indicate soil ecosystem degradation ( $SI > 50$ ). Thus, these methods are the most effective against Sosnowsky's hogweed with minimal impact on soil biota.

*Russian Science Foundation, grant no. 24-24-00512, <https://rscf.ru/en/project/24-24-00512/>*

**Formation of soil nematode communities under the influence of the  
invasive species *Heracleum sosnowskyi*:  
the role of abiotic environmental factors**

*Kalinkina D.S., Sushchuk A.A., Matveeva E.M.*

Institute of Biology, Karelian Research Centre, RAS, Petrozavodsk, 185910, Russia; e-mail:  
[anna\\_sushchuk@mail.ru](mailto:anna_sushchuk@mail.ru).

## **Филогения нематоды *Trophomera* sp. (Nematoda: Benthimermithidae), ассоциированной с двустворчатым моллюском *Vesicomya* cf. *sergeevi* (Bivalvia: Vesicomyidae: Vesicomyinae) из хадали Японского желоба**

*Тимченко А.И.\*, Портнова Д.А., Симакова У.В., Белов Д.А., Крылова Е.М.*

Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия  
\* e-mail: timchenko.ai@ocean.ru

Нематоды рода *Trophomera* (Benthimerithidae) паразитируют в основном на глубоководных морских беспозвоночных. Филогения бентимермитид в целом, и рода *Trophomera* в частности изучены слабо, что связано с трудностями сбора глубоководного материала и малым количеством проб, считающихся пригодными для молекулярных исследований. Из 42 видов рода молекулярные данные доступны только для *T. conchicola*, *T. granovitchi* и *T. cf. marionensis*. В коллекции, собранной во время 59-го рейса НИС «Витязь» (1976 г.) в Японском желобе на глубине 7370 м, мы обнаружили многочисленные экземпляры двустворчатого моллюска *Vesicomya* cf. *sergeevi*, зараженные нематодой неописанного вида рода *Trophomera*. Моллюски были зафиксированы в 4% формалине, затем переведены в 70% спирт, где хранились до 2024 г.

Для определения таксономического и филогенетического положения нематоды мы предполагали протестировать методику выделения ДНК из тканей нематод, фиксированных формалином, и провести молекулярно-генетический анализ. Самки и ювенильные особи нематод были извлечены из четырех особей моллюсков. Молекулярный анализ нематод включал выделение ДНК методом для образцов, фиксированных формалином, ПЦР-амплификацию и секвенирование фрагмента 18S рРНК (Bhadury et al., 2007, Zool. Scr.). Филогенетическую реконструкцию выполняли методами Байесовского анализа и максимального правдоподобия.

Для двух половозрелых особей *Trophomera* sp. была выполнена ПЦР-амплификация и секвенирование вариабельного фрагмента гена 18S рРНК длиной 350 п.н. Филогенетический анализ показал более близкое родство между *Trophomera* sp. и *T. cf. marionensis*, паразитом глубоководной амфиподы *Hirondellea dubia* из желоба Кермадек, чем с видом *T. conchicola*, найденным в двустворчатых моллюсках *Idas modiolaeformis* и *Lucinoma kazani* из Средиземного моря. Результаты работы подчеркивают перспективы использования музеиного материала нематод, фиксированного формалином, для молекулярно-генетического анализа.

*Работа поддержанна грантом РНФ № 24-17-00321.*

## **Phylogeny of the nematode *Trophomera* sp. (Nematoda: Benthimerithidae) associated with the bivalve *Vesicomya* cf. *sergeevi* (Bivalvia: Vesicomyidae: Vesicomyinae) from the hadal zone of the Japan Trench**

*Timchenko A.I.\*, Portnova D.A., Simakova U.V., Belov D.A., Krylova E.M.*

Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: timchenko.ai@ocean.ru

## **Биоразнообразия морских свободноживущих нематод южной части полуострова Камчатка**

*Фадеева Н.П.\*, Керемиева Е.В.*

Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

\* e-mail: nfadeeva2006@yandex.ru

Мейобентос прибрежной зоны южного побережья Камчатки изучен меньше всего. В ходе исследовательских рейсов на НИС «Профессор Мультановский» (Тихоокеанский плавучий университет) в августе 2023 и 2024 годов в южной части Камчатки были собраны бокс-корером ( $0,1 \text{ м}^2$ ) пробы на 23 станциях на глубине от 14 до 780 м в 2023 году и на 53 станциях на глубине от 14 до 320 м в 2024 году. Одновременно проводился отбор проб для гранулометрического анализа и определения содержания органических веществ в донных осадках и проведения биотестирования.. Менофауна многоклеточных животных была представлена 15 высшими таксонами: Nematoda, Nargracicoida, Priapulida, Kinorhyncha, Tardigrada, Ostracoda, Gastrotricha, Hydrozoa, Polychaeta, Oligochaeta, Turbellaria, Amphipoda, Isopoda, Cumacea, Foramiferia. Нематоды составляли от 42 до 99% общей численности менофауны. Всего в пробах было выявлено 98 видов нематод, относящихся к 77 родам. Наиболее массовыми видами были *Sabatieria pulchra aff.*, *Richtersia* sp., *Microlaimus* sp., *Bathylaimus* sp., *Comesa* sp. Состав донных осадков и гидродинамический режим определяли модели биоразнообразия в изученных акваториях. Сравнение пространственно-временных моделей биоразнообразия с другими заливами дальневосточных морей в умеренных регионах выявило сходство. Наблюдаемые эффекты для нематод включали снижение численности и разнообразия, а также сходные изменения в таксономической и трофической структуре из-за органического обогащения грунта. Влияние вулканической активности на бентосные сообщества и донные отложения в районе полуострова Камчатка до сих пор изучено недостаточно. Для полного понимания биогеохимических особенностей изменения состава донных осадков и их воздействия на биоразнообразие необходимы дополнительные исследования.

*Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, проект № FZNS-2024-0037 «Комплексный экологический мониторинг прибрежных морских и наземных экосистем Камчатки».*

## **Biodiversity patterns of free-living marine nematodes shoreline zone southern part of Kamchatka Peninsula**

*Fadeeva N.P.\*, Keremsheva E.V.*

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation

\* e-mail: nfadeeva2006@yandex.ru

## **Исходный материал для селекции на устойчивость к стеблевой нематоде (*Ditylenchus destructor* Thorne) среди диких видов картофеля.**

*Чалая Н.А.\*<sup>1</sup>, Колесников М.В.<sup>2</sup>, Лиманцева Л.А.<sup>2</sup>, Приданников М.В.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова (ВИР),  
Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия  
\* e-mail: spb.chalaya@mail.ru

Стеблевая нематода *Ditylenchus destructor* (Thorne, 1945) – возбудитель дитиленхоза, или сухой гнили картофеля, наносит значительный ущерб урожаю как в период вегетации, так и при хранении (Шестеперов и др., 2014).

Вовлечение в селекцию диких видов картофеля (*Solanum* spp.), обладающих целевыми свойствами, позволит создавать новые сорта, устойчивые к данному заболеванию. По результатам скрининга, проведённого более 50 лет назад, в коллекции ВИР были выявлены источники устойчивости к *Ditylenchus destructor* (Камераз, Олифер, 1974). Однако, агрессивность и вирулентность патогенов может меняться с течением времени. Для исследования были отобраны образцы диких видов картофеля из коллекции ВИР, среди которых ранее выделяли устойчивые к *D. destructor* клоны, а также новые, прежде не оцененные, *Solanum* spp.

Исследования проводились в лаборатории фитопаразитологии центра паразитологии ИПЭЭ им. А.Н. Северцова в 2023-2024 гг. Инфекционным агентом служили нематоды вида *Ditylenchus destructor* из коллекции лаборатории, воспроизведимые на картофеле сорта Innovator. Видовая принадлежность культуры подтверждена морфологическим и молекулярным методами.

Для оценки использовали клубни образцов диких видов картофеля относящиеся к 10 видам (26 образцов), а также пять клонов межвидового гибрида Apta × *S. tarijense*. В качестве поражаемого контроля служил сорт Детскосельский.

В результате исследования выделены перспективные клоны показавшие устойчивость к стеблевой нематоде у образцов видов *Solanum chacoense* syn. *S. knappei* к-2061; *S. chacoense* f. *gibberulosum* к-2739; *S. chacoense* к-18872, 19265, 19957, 23108; *S. commersonii* к-18978; *S. jamesii* к-24922, 24923; *S. kurtzianum* к-18258; *S. pinnatisectum* к-24239; *S. polytrichon* к-8815; *S. stoloniferum* к-3335, 20106, 24263, 24420; *S. yungazense* к-2820 и четырех клонов межвидового гибрида Apta × *S. tarijense* (t-3, t-7, t-10, t-15). Впервые устойчивый генотип выявлен у образца вида *S. mochiquense* к-23429.

## **Source material for breeding resistance to the potato rot nematode *Ditylenchus destructor* Thorne among wild potato species.**

*Chalaya N.A.\*<sup>1</sup>, Kolesnikov M.V.<sup>2</sup>, Limantceva L.A.2, Pridannikov M.V.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (VIR), St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences (IEE RAS), Moscow, Russia

\* e-mail: spb.chalaya@mail.ru

## **Изучение возможности переноса нематод рода *Bursaphelenchus* вершинным короедом *Ips acuminatus***

*Чалкин А.А.\*<sup>1</sup>, Козырева Н.И.<sup>1</sup>, Арбузова Е.Н.<sup>1</sup>, Кулинич О.А.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> Всероссийский центр карантина растений, МО, г.о. Раменский, р.п. Быково, Россия

<sup>2</sup> Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия

\* e-mail: chalkin10@ya.ru

«Вилт хвойных пород» - одно из самых опасных заболеваний хвойных растений для РФ. К развитию данного заболевания приводит заражение деревьев сосновой стволовой нематодой *Bursaphelenchus xylophilus*. Этот карантинный организм отсутствует на территории РФ, однако распространен в граничащих с Россией странах: Китае, Республике Корея, Японии. Цикл развития ряда видов нематод рода *Bursaphelenchus* осуществляется с участием переносчиков – жуков семейств Curculionidae или Cerambycidae. Для проникновения нематод в жука-переносчика существует особая трансмиссивная стадия (dauerlarvae). Этих энтомофильных личинок трансмиссивной стадии жук переносит на здоровое растение в период дополнительного питания или на ослабленное (погибшее дерево) во время откладки яиц. Короеды рода *Ips* являются массовыми вредителями в лесных насаждениях и обильно заселяют как здоровые, так и ослабленные деревья. С целью изучения возможности переноса жуком *Ips acuminatus* фитопатогенных нематод *B. xylophilus* были проведены лабораторные эксперименты, выполненные на базе ФГБУ «ВНИИКР». Для этого в один энтомологический изолятор поместили фрагмент ствola сосны, зараженный короедом *I. acuminatus*, и аналогичный фрагмент ствola, зараженный нематодой *B. xylophilus*. В течение месяца жуки заселили зараженную нематодой древесину, а через 25 суток около половины отродившихся молодых жуков были заражены нематодой *B. xylophilus*. Кроме того, с помощью методов молекулярной диагностики в образцах древесины и в жуках было выявлено наличие других видов нематод: *Bursaphelenchus paraburgeri*, *B. doui*, а также *Teratorhabditis synpapillata* и *Micoletzkyia synpapillata*. Около 90% всех извлеченных из имаго *I. acuminatus* нематод находились в среднегрудном отделе жука под элитрами. На поверхности жуков нематод не обнаружено. Полученные данные позволяют предположить, что вершинный короед *I. acuminatus* может являться потенциальным переносчиком сосновой стволовой нематоды *B. xylophilus*.

## **Study of the possibility of transfer of nematodes of the genus *bursaphelenchus* by the bark beetle *ips acuminatus***

*Chalkin A.A.\*<sup>1</sup>, Kozyreva N.I.<sup>1</sup>, Arbuzova E.N.<sup>1</sup>, Kulinich O.A.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> All-Russian Plant Quarantine Center, Bykovo village, Ramenskoye, Moscow Region, Russia

<sup>2</sup> Center for Parasitology, Institute of Ecology and Evolution. A.N. Severtsov Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

\* e-mail: chalkin10@ya.ru

## **Конвергентная эволюция фитопаразитов**

*Шестеперов А.А., Щитков Г.С.*

ВНИИП – филиал ФГБНУ ФНЦ ВИЭВ РАН, Москва, Россия  
e-mail: shchitkovgeorgii@gmail.com

Конвергентная эволюция — процесс, при котором у неродственных групп организмов развиваются сходные адаптации к одинаковым условиям среды. У фитопаразитов независимо сформировались схожие структуры для питания на растениях. У животных-фитопаразитов (тихоходки, нематоды, клещи, насекомые) возник колюще-сосущий ротовой аппарат со слюнными железами (КСРА и СЖ), способный прокалывать клетки растений (Четвериков, 2015; Klimov et al., 2018, Mol. Phylogenet. Evol.). У паразитических растений развились гаустории — аналогичные органы питания.

Основная причина конвергенции — сходство экологических ниш. У фитопаразитов КСРА и СЖ эволюционировали для прокалывания тканей, подавления защиты растений и эффективного питания. Минимизация повреждений хозяина способствует долгосрочному паразитизму. У растений-фитопаразитов (омела, повилика, заразиха) гаустории выполняют схожие функции, формируя проводящие мостики с сосудами хозяина (Joel et al., 2013; Westwood et al., 2010). Конвергенция демонстрирует универсальность адаптаций к паразитизму, несмотря на разное происхождение групп.

## **Convergent evolution of phytoparasites**

*Shesteparov A.A., Shchitkov G.S. \**

All-Russian Research Institute of Parasitology – Branch of the FSBSI FRC VIEV RAS, Moscow, Russia

\* e-mail: shchitkovgeorgii@gmail.com

## **Конгресс исследователей симбиотических систем**

6-11 Октября, 2025 года, г. Москва

**КИСС-2025**

ИПЭ РАН  
Ленинский проспект, д. 33, 119071, Москва,  
+7 495 633-09-22  
admin@sevin.ru

ISBN 978-5-600-04857-7



9 785600 048577