

УДК 550.7:57.08

АКТУАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ БИОТЫ ЕСТЕСТВЕННЫХ КАРСТОВЫХ ПЕЩЕР

Егор В. Горилый¹, @¹, Дмитрий В. Сущёв¹, @²

¹ Кемеровский государственный университет, 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6

@¹ nankainodaty@mail.ru

@² sushev@mail.ru

Поступила в редакцию 04.08.2017. Принята к печати 28.05.2018.

Ключевые слова: методы исследования организмов, биоразнообразие, спелеофлора, спелеофауна, биоспелеология, карстовые пещеры.

Аннотация: Представленная статья рассматривает основополагающие методы исследования биологического разнообразия естественных карстовых пещер. Рассмотрены методики изучения основных групп пещерных организмов всех уровней дислокационной дифференциации с учетом образования трофической зависимости и соответствующих экологических ниш. Пещеры – уникальные природные экосистемы, живое население которых часто формировалось в длительной изоляции и при значительно обедненных пищевых ресурсах. Карстовые пещеры возникают в результате разрушения горных пород под воздействием подземных вод и геологических процессов. Живые организмы, отмеченные в пещерных экосистемах, отличаются специфическими механизмами адаптации и подразделяются на 3 группы: троглобионты – постоянные обитатели пещер; троглофилы – оптимально приспособленные к специфической среде обитания; троглоксены – широко распространённые организмы, использующие пещеры сезонно. В пещерах встречаются представители всех основных групп организмов, населяющих биосферу: бактерии, грибы, низшие и высшие растения, членистоногие, рыбы, земноводные, рептилии, птицы и млекопитающие.

Для цитирования: Горилый Е. В., Сущёв Д. В. Актуальные методы исследования биоты естественных карстовых пещер // Вестник Кемеровского государственного университета. Серия: Биологические, технические науки и науки о Земле. 2018. № 1. С. 10–19.

Исследование экосистем естественных карстовых пещер представляет определённый научный интерес, поскольку пещеры – это не имеющие аналогов среды со своими особенными условиями, и по сей день в определённой степени являются *terra incognita*.

Подземные экосистемы отличаются отсутствием солнечного света, существенным ограничением пищевых ресурсов и органической составляющей, постоянной температурой и влажностью, а также полной или частичной изоляцией от поверхности, формируя совершенно уникальные сообщества организмов, представляющих большой потенциал для исследователей. В условиях пещер способны формироваться различные специфические адаптации, образуются эндемичные формы жизни, благодаря которым мы можем узнать о механизмах и возможностях жизни осваивать новые пространства.

Несмотря на то, что акцент статьи сделан на исследовании подземных экосистем с помощью современных методик биоспелеологии, значительная часть рассматриваемых технологий и методов берёт своё начало с первой половины XX в. Претерпевая незначительные изменения в области использования новых материалов и большей автоматизацией, но сохраняя основной принцип действия, они актуальны и по сей день.

Целью данной статьи является обзор методов изучения биоты естественных карстовых пещер. Данная статья не претендует на охват и подробное изложение

всех полевых и лабораторных методик. Упоминание методик, имеющих общий характер для множества исследуемых групп, имеет место лишь в качестве примера.

Подземные экосистемы представлены большим биоразнообразием: от простейших, бактерий и водорослей до членистоногих и позвоночных. В зависимости от характера питания, образа жизни, периодичности посещения пещер и уровня организации живые организмы подземных экосистем занимают различные экологические ниши и могут быть разделены на следующие группы.

Троглобионты – животные, постоянно обитающие в пещерах, трещинах горных пород, пещерных водоёмах или водотоках. Среди троглобионтов много видов ракообразных, гораздо реже среди них встречаются моллюски, коловратки, пиявки, полихеты и насекомые. В некоторых естественных пещерах в районах с тёплым климатом обитают некоторые виды насекомых, а также некоторые отряды рыб и земноводных [1]. Вид комаров-звонцов *Troglocladius hajdi* из семейства хирономиды (*Chironomidae*) – предположительно первый летающий троглобионт среди 21 000 видов пещерных животных [2, с. 831].

В качестве особого подраздела троглобионтов можно выделить так называемых стигобионтов – животных, обитающих исключительно в подземных водах. К ним можно отнести многие виды высших (амфи-

поды, изоподы) и низших (остракоды, копеподы) ракообразных, некоторых моллюсков, рыб (виды родов *Amblyopsis*, *Tiphlichtys*, *Chologaster*) и пр. Общей чертой для всех этих организмов является феномен регрессивной эволюции: депигментация покровов тела, ослабление или полная редукция органов зрения, гипертрофия конечностей и др.

Троглофилы – это животные, способные обитать в пещерах и иногда образующие обособленные сообщества, способные обитать и на поверхности. Нередко хорошо приспособлены к жизни под землей, используют пещеры как укрытия или для охлаждения, необходимого в их жизненном цикле. Троглофилами являются и многие зеленые растения. Некоторые их виды, нуждаясь в малом количестве света, проникают довольно далеко от входа в пещеры. Так, для развития цветковых и лишайников хватает 0,4 %, а для папоротников и водорослей – даже 0,05 % нормального дневного света. Разумеется, данные условия возможны только в передних галереях пещер, наиболее близких к входу.

Троглоксены – это широко распространенные организмы, способные жить (случайно проникнув) и в пещерах (некоторые мириаподы, насекомые, млекопитающие и др.). Заносятся водой или ветром, характеризуются широкой экологической валентностью, могут нормально существовать и размножаться в подземных условиях, однако в конечном итоге они либо возвращаются на поверхность, либо погибают.

Методы изучения бактерий

Бактерии играют в некоторых пещерных экосистемах ключевую роль, поскольку отвечают за хемосинтез и способствуют установлению в пещерах автономии – независимости от аллохтонной органики, поступающей извне. Примечательно, что экосистема пещеры Аялон послужила основой создания теории о существовании глобальной подземной биосферы – «Офелы», основанной на хемосинтезе и не зависимой от внешней поверхностной фотосинтезирующей биосферы, так и не получившей всеобщего признания в научных кругах [3].

Кроме того, бактерии в результате жизнедеятельности способны преобразовывать неорганическое вещество, способствуя развитию карстовых проявлений, концентрации различных веществ и т. д. Это объясняет значительный научный интерес к исследованиям бактериальной флоры последних 20 лет. При этом микробиология пещер до настоящего времени в полной степени не разработана.

Совокупность различных специфических параметров микроклимата пещер создала приемлемые условия для обитания большинства типов бактерий: грамотрицательные (*Gracilcutes*), грамположительные (*Firmicutes*), микоплазмы (*Tenericutes*), археи (*Mendosicutes*).

Уникальным специфическим методом изучения бактерий в естественных карстовых пещерах является метод идентификации с помощью ультрафиолетового излучения. Использование специальной аппаратуры ультрафиолетового излучателя длиной волны ближне-

го – 400–300 нм (NUV) – и среднего спектров – 300–200 нм (MUV) – в совокупности со специальной оптикой позволяет обнаружить микроорганизмы на стенах и в водоёмах пещер и произвести первичную примерную идентификацию типов микроорганизмов.

Принцип данной методики заключается в обработке излучателем исследуемой поверхности и дальнейшей детекции свечения видимого спектра, отраженного микроорганизмами под воздействием ультрафиолетового излучения MUV. Для обнаружения микроорганизмов с помощью NUV необходимо использовать специализированные очки UV-NUV, преобразующие отраженное излучение в излучение видимого спектра. После проводится фиксация полученных результатов.

Принцип данной методики широко используется в различных изысканиях криминалистических экспертиз.

Среди методов общего характера, используемых для изучения данной группы пещерных обитателей, стоит выделить методы световой и электронной микроскопии, а также метод молекулярно-биологического анализа генов 16S рРНК [4].

Методы изучения растений

Низшие растения (водоросли), встречающиеся в водоёмах, являются хорошими индикаторами условий обитания, так как для своего развития они требуют строго определенных значений экологических факторов. Зная состав и динамику обилия таких видов-индикаторов, можно оценить по их наличию и количественному развитию качество воды водоема и его экологическое состояние. В качестве примера подобных организмов карстовых пещер выступают водоросли отдела *Chlorophyta*, в основном представленные *Chlorophyceae* и *Trebouxiophyceae*. Совокупность условий внутри пещер, таких как постоянная высокая влажность и температура, создаёт прекрасную среду для этой исследуемой группы.

Специфическими методами изучения водорослей в естественных карстовых пещерах является метод забора проб фитобентоса посредством фильтрования воды через планктонные сети различной конструкции и сбор проб наилка и донных отложений с помощью различных аппаратов и инструментов. Выбор метода отбора проб фитобентоса зависит от типа водоема, степени развития водорослей, задач исследования, имеющихся в наличии приборов, оборудования и пр. [5, с. 68–74].

Одним из таких методов является фильтрование воды через планктонные сети различной конструкции. Планктонная сеть состоит из металлического кольца и пришитого к нему конического мешка из мельничного шелкового или капронового сита или иного типа. К узкому выходному отверстию плотно прикрепляется стаканчик, который имеет выводную трубку, закрытую краном или зажимом Мора. При сборе планктона поверхностных слоев воды планктонную сеть опускают в воду так, чтобы верхнее отверстие сети находилось на 5–10 см над ее поверхностью. Сетяные пробы фитопланктона можно изучать в живом и фиксированном состоянии [6].

Существующие методы отбора проб фитобентоса предусматривают сбор водорослей, обитающих на поверхности донных грунтов и отложений, в их толще (глубиной до 1 см) и в специфическом придонном слое воды толщиной 2–3 см. Для изучения видового состава фитобентоса достаточно извлечь на поверхность некоторое количество донного грунта с отложениями. На мелководье (до 0,5–1,0 м глубины) это достигается с помощью опущенной на дно пробирки или сифона – резинового шланга со стеклянными трубками на концах, в который засасывают наилок. На больших глубинах качественные пробы отбирают с помощью ведерка или стакана, прикрепленного к палке, различными грабельками, «кошками», драгами, дночерпателями, илососами, из которых наиболее прост в изготовлении и удобен в работе илосос Перфильева [7].

Высшие растения также являются объектами пристального изучения пещерной биоты. Уникальным специфическим методом изучения растений в естественных карстовых пещерах является метод глубокого замораживания и скалывания. Принцип метода заключается в использовании глубокой заморозки с использованием жидкого азота (-196 °С). Это имеет большое значение, поскольку открывает возможность сохранения исследуемого образца в неизменном виде, без повреждения клеток и субклеточных структур и части питательного субстрата у корней. Посредством быстрой заморозки остаются в сохранности все компоненты биоты, естественной средой обитания которых являются непосредственно сами исследуемые растения. Особый интерес данная методика представляет для изучения симбиотических взаимосвязей, без которых выживание зелёных высших растений в пещерах невозможно [8].

Среди методов общего характера, используемых для изучения данной группы пещерных обитателей в лабораторных условиях, стоит выделить методы световой и электронной микроскопии, биохимические, цитохимические, электрофизиологические методы и методы молекулярной биологии.

Методы изучения грибов

Широкое распространение и высокая биохимическая активность микоценозов обуславливают их важную роль в миграции биогенных элементов и биомассы в замкнутых циклах естественных карстовых пещер [9]. Естественной экологической нишей пещерных грибов являются подстилочные и гумусовые сапротрофы в верхних галереях пещер, ризосферы, бриотрофы и капротрофы в обитаемых пещерах. В условиях естественных карстовых пещер данная группа организмов представлена низкоорганизованными грибами следующих отделов: Zygomycota, Ascomycota, Deuteromycota.

Уникальным специфическим методом изучения грибов в естественных карстовых пещерах является метод идентификационных жидких или порошковых реагентов. Принцип действия заключается в системном заборе проб почвы и наносного материала, соскобов со стен пещер с дальнейшим использованием жидких или по-

рошковых реагентов на исследуемых образцах с целью определения содержания в почве хитина, эргостерина, жирных кислот и ферментов. Реагенты, действуя в комплексе или узконаправленно, изменяют окраску исследуемых образцов, позволяя в дальнейшем использовать местную почву для детальных лабораторных анализов и точного определения таксономии штамма исследуемой территории [10].

Методы изучения животных

Разнообразие различных питательных субстратов позволило животным занять огромное количество различных экологических ниш, среди которых как перманентные, так и временные сезонные укрытия. Например, разнообразие различных питательных субстратов и наносного материала карстовых пещер, наличие водоёмов, а также относительно бедное, но достаточное количество органической материи, позволило моллюскам успешно найти свою экологическую нишу в карстовых пещерах. Разумеется, подземные моллюски претерпели определённые изменения и отличаются от своих наземных сородичей меньшими размерами, более хрупкими раковинами, блеклой или полностью отсутствующей окраской. Объектом изучения выступают двусторчатые, брюхоногие и – значительно реже – головоногие.

Специфическим методом исследования данной группы является метод установки специальных запруд водоёмов. Сбор моллюсков производится посредством инструментального сбора при помощи скребков в заранее установленных деревянных рамках запруды площадью от 0,1 до 1,0 м², выбирая внутри них моллюсков скребком или руками. В лужах или на побережье более крупных водоёмов (прудов, озёр) моллюсков собирают сачком треугольной или круглой формы из конгресс-канвы или редкой мешочной ткани. В побережье крупных подземных прудов и озёр богатые сборы приносит осмотр вынимаемых камней [3].

Особого внимания требует сбор моллюсков в пещерных и родниковых водоёмах: грунт, который можно взять руками или скребком, должен тщательно просматриваться под лупой, а моллюски размером 1–2 мм – выбираться из песка с помощью пипетки, кисточки или тонкого пинцета [11].

Членистоногие представляют собой очень широкий спектр видов и экологических ниш и самую крупную по количеству видов группу троглобионтов – от редуцентов-стратобионтов до активных хищников и летающих насекомых. Поэтому, учитывая количество методик и приспособлений, необходимо вынести их в отдельные категории. Для данной группы организмов характерен наиболее широкий спектр адаптаций.

Методы исследования членистоногих делятся на 2 группы.

Методы пассивного отлова

1. С использованием барьеров (методы сбора беспозвоночных, основанные на создании непреодолимых препятствий на путях миграций этих животных).

1. С фиксацией при помощи клея:

а) на почве: жерди с клеем [12]; клейкая рамка для учета жуков [13]; клеевые трубки для отлова блох в норах животных [14];

б) на поверхности водоемов: плавающая ловушка для отрождающихся насекомых [15];

в) над уровнем почвы в воздухе: клеевые щиты; способ отлова слепней [16].

2. Без использования клея в качестве фиксатора:

а) в почве: ловчие канавы [12; 17]; ловушка для медведок [18]; крестообразные ловчие канавы [19]; ловушка для изучения миграции педобионтов [20];

б) в водоемах: простая ловушка для отлова выходящих из воды веснянок [21]; ловушка для изучения миграции беспозвоночных по поверхности воды [20];

в) в подстилке: ловушки для стратобионтов [20];

г) на почве: почвенные ловушки с барьерами [22]; ловушки для почвенных беспозвоночных [23]; миграционная ловушка [20];

д) над уровнем почвы в воздухе: ловушка палаточного типа [24]; ловушка Малезе [25]; барьерная ловушка [26].

II. С использованием ловчих ям и емкостей для сбора беспозвоночных: почвенные ловушки [27; 28]; ловчие ямы [14]; двойная банка с воронкой [19]; почвенная ловушка с воронкой; почвенная ловушка с сепаратором [20].

III. С использованием ловчих конусов (методы отлова, основанные на использовании отрицательного геотаксиса беспозвоночных): ловушка для выходящих из почвы жуков [29]; складная ловушка для выходящих из воды насекомых [30, с. 8].

Методы активного отлова

I. Механический захват отдельных особей и колоний беспозвоночных.

1. Без использования приспособлений: ручной сбор.

2. С использованием приспособлений: энтомологический пинцет [28]; пробирка для сбора мошек [31]; ловчий цилиндр [32]; микросачок и устройство для захвата беспозвоночных [20].

II. Вакуумный захват (методы отлова беспозвоночных при помощи всасывания и присасывания).

1. При помощи легких человека: эксгаустеры [14; 20; 32]; москитоловка [32]; вакуумный «магнит» [20].

2. При помощи насосов:

а) с ручным приводом: эксгауستر с резиновой грушей; вакуумный всасывающий аппарат для эффективного сбора муравьев; насос-эксгауستر для сбора мелких насекомых; насос-ловушка для скрытно живущих беспозвоночных [20];

б) с автоматическим приводом:

– с электромотором или двигателем внутреннего сгорания: механический коллектор [33]; механический аспиратор; портативная всасывающая ловушка для сбора насекомых [31]; всасывающая ловушка для сбора популяций членистоногих [32]; легкий аппарат автономного действия для сбора насекомых всасыванием [33];

– с использованием давления воды; ловушка для планктона и зообентоса.

III. Изъятие части субстратов с живущими в них беспозвоночными.

1. В водоемах: скребок и драга [28]; устройство для добычания растительности из водоемов [31].

2. На суше: прибор для взятия проб; почвенные буры; бур для отлова блох в норах животных, скребок-выгребалка [14].

IV. Ручная разборка субстратов.

1. С изъятием проб исследуемых субстратов; методика исследования зимующих беспозвоночных [20].

2. Без изъятия проб исследуемых субстратов: устройство для экспресс-анализа состава и численности герпетобионтов и рама для экспресс-анализа состава и численности беспозвоночных [20].

V. Отлов беспозвоночных с применением предварительного их обездвиживания при помощи химических веществ [14]; отлов беспозвоночных с использованием ручного пульверизатора.

VI. Просеивание (методы извлечения беспозвоночных из рыхлых субстратов при помощи сит и подобных им приспособлений).

1. Ручное устройство для оперативного просеивания подстилки.

2. Механическое сито [14]; аппарат Гоукинса для просеивания почвы.

VII. Промывание (методы отлова беспозвоночных посредством отделения их от частиц субстратов при помощи воды).

1. Метод воронки для качественного анализа почвенных организмов [34]; промывочные установки; набор сит для извлечения нематод из почвы [14]; метод извлечения личинок насекомых из почвы.

2. Устройство для сбора членистоногих с листьев растений.

VIII. Процеживание (методы отлова водных беспозвоночных при помощи сетей, водных сачков и подобных им приспособлений): ловушки для планктона; трал Сигби, салазочный трал, рачня, рачий черпак [28]; техника сбора водных жуков в стоячих водоемах; сети [35]; сачок Бальфур-Брауна [36].

Рыбы в пещерах встречаются не так часто, как беспозвоночные, но легко проникают извне, если есть выход в водоём достаточного размера. Представители пещерных рыб – эндемические обитатели, и их отличительной особенностью является отсутствие зрения и притупленный слух, что стало известно при изучении вида *Astyanax jordani*. Большинство видов рыб, обитающих в подземных пещерных водах, лишены окраски, глаза их в той или иной степени редуцированы, так как в темноте пещер зрение не функционирует, однако отлично развиты обоняние, вкус и осязание как компенсация за утраченное зрение [1].

Поэтому помимо ручного сбора с использованием сетей и неводов стало возможным использование специфических методов исследования пещерных рыб – установка специальных запруд с использованием различных приманок с целью выявления позитивных раздражителей данной исследуемой группы и подво-

дные наблюдения на различных глубинах при помощи разных аппаратов (батискафы, батипланы и др.) и подводного телевидения. Благодаря этому в свою очередь стало возможным детальное изучение реакции рыб на звуковые волны различной частоты, на свет, на воздействие электрического и магнитного полей и мониторинг их образа жизни.

Земноводные представлены протейями (один вид – *Proteusanguinus*), пещерными саламандрами и тритонами. Методы изучения пещерных рыб применимы и к земноводным, однако в качестве уникального метода выступает сбор икры с помощью искусственных аппаратных массивов [37].

Полевые методы оценки численности земноводных могут быть условно поделены на 3 основные группы: учёт в водных биоценозах; учёт земноводных на эмбриональных и личиночных стадиях развития; учёт по следам жизнедеятельности.

Учёты земных и водных биоценозов имеют как общие, так и специфические особенности.

Среди методов, носящих общий характер оценки численности в водоёмах, стоит выделить метод удаляемых проб. Этот метод является своеобразным эталоном при оценке численности земноводных. Метод удаляемых проб позволяет обойтись без огораживаний (технически очень сложных) и даёт возможность сравнительно полно учесть всех животных на участке работ. Но этот метод требует значительно больших затрат труда и времени, чем учёт на маршрутах, что ограничивает его применение.

Представители Рептилий являются троглофилами – в основном они используют пещеры не в качестве постоянного места обитания, а в качестве укрытия с постоянной, приемлемой для них средой, укрытия от своих естественных врагов и местом для удобной кладки яиц. В пещерах встречаются черепахи, змеи, ящерицы и даже крокодилы.

Среди специфических методов исследования можно выделить исследование кладок яиц в качестве исследования по продуктам жизненного цикла. Отдельно стоит упомянуть оценочный метод размера глазного хрусталика и построения вариационных кривых по длине тела в качестве исследования возрастного состава популяции рептилий. Впрочем, данные методы позволяют определить возрастную структуру лишь приблизительно и в идеале требуют обширного материала для статистического анализа. В 1969 г. была опубликована методика точного определения возраста по окрашенным срезам костей, а затем еще ряд подтверждений и дополнений к этой методике. Но эта методика совершенно не применима в полевых условиях, так как требует навыков работы с микроскопом и владения техникой специальной окраски.

Птицы не отличаются большим биоразнообразием и за редкими исключениями представлены Сивообразными (*Strigiformes*) и Стрижеобразными (*Apodes*), например пещерной совой (*Athenecunicularia*). Среди специфических методов исследования стоит отметить чипирование, кольцевание, миграционный мониторинг и использование ловчих сетей.

В настоящее время в большинстве стран мира применяются следующие три основные группы методик учета птиц: линейные трансекты (маршрутные учеты); точечные учеты; картирование территорий (площадочные учеты). Эти три группы методик одобрены Международным комитетом по учетам птиц, и для них выработаны международные стандарты. Каждая из этих методик применяется в зависимости от целей исследования, особенностей местности, в которой проводится учет, сезона года и численности птиц, наличия времени и трудовых ресурсов [38, р. 108–140].

Маршрутный метод используется чаще всего для получения приблизительных данных о численности (относительной плотности) населения птиц в разных биотопах при их небольшой мозаичности силами ограниченного числа хорошо знающих птиц наблюдателей. Преимуществами данного метода является широкий охват территории, сезонная и биотопическая универсальность (учеты можно проводить в любой сезон года и в любом биотопе). Недостатками являются невысокая точность данных о плотности населения, повышенные требования к квалификации учетчиков.

Метод точечных учетов применяется для регулярного слежения за изменениями численности разных (модельных) видов в очень мозаичном ландшафте, в том числе силами орнитологов-любителей, не очень хорошо знающих птиц. Преимуществами данного метода являются методическая простота проведения учета, возможность пользования простейшими транспортными средствами, невысокие требования к квалификации учетчиков. Недостатки – низкая точность данных о плотности населения птиц, необходимость точного соблюдения множества стандартов при проведении учета [39].

Метод картирования территорий применяется при необходимости получить точные данные об абсолютной численности (плотности) населения разных видов птиц на данном конкретном участке территории. Преимуществом данного метода является высокая точность данных о плотности населения птиц, возможность попутного изучения территориального поведения птиц. Недостатком этого метода является большая трудоемкость, небольшая величина охватываемой территории, временная ограниченность применения (в основном в гнездовой сезон).

Самым ярким представителем млекопитающих, обитающим в карстовых пещерах, является отряд летучие мыши (*Microchiroptera*) – ещё один яркий пример троглофилии. Сразу следует отметить, что процесс изучения рукокрылых несколько сложнее, чем может показаться на первый взгляд. И если вы не ставите перед собой задачу изучить региональную фауну летучих мышей, то следует ограничиться общим описанием, по возможности не беспокоя и не касаясь образцов [40]. В настоящее время существует целый комплекс разработок, направленных на изучение летучих мышей [41].

Практика ряда исследований в различных странах мира показала, что ультразвуковой акустический мониторинг летучих мышей очень удобен в использова-

нии и дает большой массив информации. К сожалению, как и все методы, он имеет и недостатки. Так, например, невозможно получить данные об анатомо-морфологических особенностях летучих мышей, определить их половую принадлежность. Но для природоохранных целей метод прекрасно подходит. Для регистрации звуковых сигналов летучих мышей используется ультразвуковой детектор с растяжением по времени – Tranquility Transect.

Активно используемые в последние десятилетия технические средства обнаружения и идентификации летучих мышей – ультразвуковые бэт-детекторы – позволяют безошибочно определять места обитания видов, но в большинстве случаев служат лишь вспомогательным средством, в том числе и для отловов специальными ловчими паутиными сетями.

Паутиные сети изобретены в конце 60-х гг. как средство для массовых отловов птиц, а начиная с 70-х гг. активно применяются и для отлова рукокрылых. Благодаря компактности и высокой эффективности паутиные сети являются одним из самых популярных орудий лова [42].

Однако в технологическом плане вышеупомянутые паутиные сети приобрели определённую специфичность – сверхтонкие, но прочные нити антиакустических ловчих сетей сводят к минимуму сонарно-акустический резонанс, многократно повышая вероятность удачного лова рукокрылых.

Методы установки паутиных сетей для отлова птиц и рукокрылых в основном сходны. Специфика

отловов рукокрылых заключается в том, что работы выполняются в темное время суток. Для своевременного выявления и изъятия животных, которые после запутывания грызут сеть, приводя ее в негодность, требуется постоянное присутствие исследователя. Летучие мыши быстро «привыкают» к сети, установленной на одном и том же месте, и начинают облетать препятствие, что существенно усложняет долгосрочные исследования. Учитывая эти особенности, помимо практических навыков обнаружения и запутывания животных, важно иметь возможность изменять высоту поднятия сети, что в первую очередь зависит от используемого метода установки орудия отлова. Конструктивно паутиные сети рассчитаны на крепление с помощью боковых петель к жестким вертикальным опорам-стойкам (например, жерди, бамбуковые палки и пр.). При такой установке менять высоту сети в процессе отлова невозможно, поэтому высота верхнего края сети, как правило, не превышает 3 м над землей. Однако использование телескопических вертикальных опор ловчих паутиных сетей сводит данную проблему к нулю.

Таким образом, нами рассмотрены наиболее актуальные и часто используемые методы изучения биоты естественных карстовых пещер. Разнообразие методик, используемых в настоящий момент, напрямую связано с большим разнообразием групп организмов и занимаемых ими экологических ниш, многие из которых были образованы за счет уникальных адаптивных механизмов [43].

Литература

1. Andersen T., Baranov V., Hagenlund L. K., Ivković M., Kvifte G. M., Pavlek M. Blind Flight A New Troglobiotic Orthoclad (Diptera, Chironomidae) from the Lukina Jama – Trojama Cave in Croatia // PLoS ONE. 2016. Vol. 11(4). P. 1–15. DOI: 10.1371/journal.pone.0152884.
2. Биологический энциклопедический словарь / гл. ред. М. С. Гиляров; 2-е изд., исправл. М.: Сов. энциклопедия, 1986. 864 с.
3. Турбанов И. С., Палатов Д. М., Головач С. И. Современное состояние биоспелеологии в России и странах бывшего Советского Союза: обзор пещерной (эндогейной) фауны беспозвоночных. 1. Введение – Crustacea // Зоологический журнал. 2016. Т. 95. № 10. С. 1136–1159.
4. Турова Т. П., Кеппен О. И., Ковалева О. Л., Слободова Н. В., Берг И. А., Ивановский Р. Н. Филогенетическое положение пурпурной серной бактерии *Thiocapsa* sp. штамм BBS на основании анализа генов 16S рРНК, *cbbl* и *nifK* и описание его в качестве нового вида *Thiocapsa bogorovii* sp. nov // Микробиология. 2009. Т. 78. № 3. С. 381–392.
5. Гайсина Л. А., Фазлутдинова А. И., Кабиров Р. Р. Современные методы выделения и культивирования водорослей: учебное пособие. Уфа: Изд-во БГПУ, 2008. 152 с.
6. Муравьев А. Г. Руководство по определению показателей качества воды полевыми методами. 3-е изд. СПб.: Кримас+, 2004. 248 с.
7. Вассер С. П., Кондратьева Н. В., Масюк Н. П. и др. Водоросли. Справочник. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
8. Пискунов А. С. Методы агрохимических исследований. М.: КолосС, 2004. 312 с.
9. Литвинов М. А. Методы изучения почвенных микроскопических грибов. Л.: Наука, 1969. 120 с.
10. Anderson I. C., Cairney J. W. G. Diversity and ecology of soil fungal communities: increased understanding through the application of molecular techniques // Environmental Microbiology. 2004. Vol. 6(8). P. 769–779. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2004.00675.x.
11. Жадин В. И. Моллюски пресных и солоноватых вод СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1952. 376 с.
12. Брамсон К. Л. Вредные насекомые и меры борьбы с ними (практическая энтомология). Екатеринбург, 1896. Т. 2. 360 с.
13. Шуровенков Б. Г. Опыт применения клейкой рамки для учета жуков *Sitona* (Curculionidae) и *Bembidion* (Carabidae) на полях // Зоол. журн. 1977. Т. 56. Вып. 8. С. 1232–1238.
14. Фасулати К. К. Полевое изучение наземных беспозвоночных. М.: Высш. шк., 1971. 424 с.

15. Cushman Robert M. An inexpensive, floating, insectemergence trap // Bull. Environ Contam and Toxicol. 1983. Vol. 31. № 5. P. 547–550.
16. Trojan P. The ecological niches of certain species of horse-flies (Diptera, Tabanidae) in the Kampinos Forest near Warsaw // Ecol. Polaca. 1958. Vol. 6. № 2. P. 53–129.
17. Чувахин В. С. Методы борьбы с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур // Пособие по борьбе с вредителями и болезнями сельскохозяйственных культур. М.: Сельхозгиз, 1957. С. 53–93.
18. Иванов С. П., Белановский И., Ефименко М. Руководство к обследованию вредной энтомофауны почвы // Тр. Всесоюз. н.-и. ин-та сахарной промышленности. Киев-Полтава: ВНИС, 1937. 302 с.
19. Тихомирова А. Л. Учет напочвенных беспозвоночных // Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука, 1975. С. 73–85.
20. Цуриков М. Н., Цуриков С. Н. Природосберегающие методы исследования беспозвоночных животных в заповедниках России: Труды Ассоциации особо охраняемых природных территорий Центрального Черноземья России. Тула, 2001. Вып. 4. 130 с.
21. Kuusela K., Pulkkinen H. A simple trap for collecting newly emerged stoneflies (Plecoptera) // Oikos. 1978. Vol. 31. № 3. P. 323–325.
22. Reeves R. M. Use of barriers with pitfall traps // Entomol. News. 1980. Vol. 91. № 1. P. 10–12.
23. Разумовский С. М., Тихомирова А. Л., Богач Я., Карасева Н. А. Динамика биоценозов Костромской станции // Животный мир южной тайги. М.: Наука, 1984. С. 91–122.
24. Townes H. K. A light weight Malaise trap // Ent. News. 1972. Vol. 83. P. 239–267.
25. Masner L., Goulet H. A new model of flight-interception trap for some hymenopterous insects // Entomol. News. 1982. Vol. 92. № 5. P. 199–202.
26. Barber H. Traps for cave-inhabiting insects // J. Elisha Mitchell Sci Soc. 1931. Vol. 46. P. 259–266.
27. Павлович С. А. Составление коллекций по естественному: пособие для учителей. Л.: Учпедгиз., 1947. 268 с.
28. Farrell I. A. K. An emergence trap for (Coleoptera) adult *Costelytrazealandica* (Col. Scarabaeidae) // N. Z. J. Agr. Res. 1972. Vol. 15. № 4. P. 909–910.
29. Ettinger W. S. A collapsible insect emergence trap for use in shallow standing water // Entomol. News. 1979. Vol. 90. № 2. P. 114–117.
30. Рубцов И. А. Методы изучения мошек. М.-Л.: Изд. АН СССР, 1956. 54 с.
31. Дербенева-Ухова В. П. Руководство по медицинской энтомологии. М.: Медицина, 1974. 360 с.
32. Kennard W. C., Spencer J. L. A mechanical insects collector with high manoeuvrability // J. Econ. Entomol. 1955. Vol. 48. № 4. P. 478–479.
33. Wainhouse D. A portable suction trap for sampling small insects // Bull. Entomol. Res. 1980. Vol. 70. № 3. P. 491–494.
34. Summers C. G., Garrett R. E., Zalom F. G. New suction device for sampling arthropod populations // J. Econ. Entomol. 1984. Vol. 77. № 3. P. 817–823.
35. Holtkamp R. H., Thompson J. I. A lightweight, self-contained insect suction sampler // J. Austral. Entomol. Soc. 1985. Vol. 25. № 4. P. 301–302.
36. Шатровский А. Г. Предложения по оптимизации гидробиологической экипировки // Изв. Харьк. энтомолог. об-ва, 1999. Т. 7. Вып. 2. С. 168–169.
37. Бакиев А. Г., Файзулин А. И., Вехник В. П. Низшие наземные позвоночные (земноводные и пресмыкающиеся) Жигулевского заповедника // Бюллетень Самарская Лука. 2003. № 13. С. 238–276.
38. Buckland S. T., Anderson D. R., Burnham K. P., Laake J. L., Borchers D. L., Thomas L. Introduction to distance sampling, estimating abundance of biological populations. London: Oxford University Press, 2001. 448 p.
39. Lancia R. A., Kendall W. L., Pollock K. H., Nichols J. D. Estimating the number of animals in wildlife populations // Braun C. E. (ed.) Techniques for wildlife investigations and management. 2005. P. 106–153.
40. Газарян С. В. Спелеологическая деятельность и охрана рукокрылых: правила поведения в пещерах // Проблемы экологии и охраны пещер: теоретические и прикладные аспекты: материалы научной конференции. Красноярск, 2002. С. 153–156.
41. Влащенко А. С., Гукасова А. С. Разработка метода инвентаризации видового состава и структуры населения рукокрылых // Запов. справа в Україні. 2009. Т. 15. Вип. 1. С. 49–57.
42. Tuttle M. D. An improved trap for bats // Journal of Mammalogy. 1974. Vol. 55. № 1. P. 475–477.
43. Горилый Е. В., Сущёв Д. В. Насекомые карстовых пещер Абаканского хребта (Богградский район, республика Хакасия) // Актуальные вопросы биологии и наук о земле: теоретические и прикладные аспекты: материалы симпозиума XII (XLIV) Международной научно-практической конференции «Образование, наука, инновации: вклад молодых исследователей». Кемерово: КемГУ, 2017. С. 30–33.

CURRENT METHODS FOR STUDYING THE BIOTA OF NATURAL SOLUTIONAL CAVES

Egor V. Gorilyy^{1, @1}, Dmitry V. Sushcheyev^{1, @2}

¹ Kemerovo State University, 6, Krasnaya St., Kemerovo, Russia, 650000

@¹ nankainodaty@mail.ru

@² sushev@mail.ru

Received 04.08.2017. Accepted 28.05.2018.

Keywords: research techniques of organisms, speleoflora, speleofauna, biospeleology, solutional caves.

Abstract: The article features the basic methods for studying the biological diversity of natural solutional caves. It includes the methods that are used to study the main groups of cave organisms of all levels of dislocation differentiation, taking into account the formation of trophic dependence and the corresponding ecological niches. Caves are unique natural ecosystems, whose living population is often formed in long-term isolation and with significantly depleted food resources. Solutional caves result from destruction of rocks under the influence of groundwater and geological processes. Living organisms in cave ecosystems are characterized by specific mechanisms of adaptation and are divided into 3 groups: troglobionts, or permanent inhabitants of caves; trogloliths, which has perfectly adapted to their specific habitat; trogloliths are widely distributed organisms that use caves seasonally. Caves are home to representatives of all major groups of organisms inhabiting the biosphere: bacteria, fungi, lower and higher plants, arthropods, fish, amphibians, reptiles, birds and mammals.

For citation: Gorilyy E. V., Sushcheyev D. V. Aktual'nye metody issledovaniia bioty estestvennykh karstovykh peshcher [Current Methods for Studying the Biota of Natural Solutional Caves]. *Bulletin of Kemerovo State University. Series: Biological, Engineering and Earth Sciences*, no. 1 (2018): 10–19.

References

1. Andersen T., Baranov V., Hagenlund L. K., Ivković M., Kvifte G. M., Pavlek M. Blind Flight A New Troglolithic Orthoclad (Diptera, Chironomidae) from the Lukina Jama – Trojama Cave in Croatia. *PLoS ONE*, vol. 11(4) (2016): 1–15. DOI: 10.1371/journal.pone.0152884.
2. *Biologicheskii entsiklopedicheskii slovar'* [Biological Encyclopedic Dictionary]. Ed. Giliarov M. S. 2nd ed. Moscow: Sov. entsiklopediia, 1986, 864.
3. Turbanov I. S., Palatov D. M., Golovach S. I. Sovremennoe sostoianie biospeleologii v Rossii i stranakh byvshego Sovetskogo Soiuza: obzor peshchernoï (endogeinoi) fauny bespozvonochnykh. 1. Vvedenie – Crustacea [The current status of biospeleology in Russia and the countries of the former Soviet Union: an overview of the cave (endogenous) fauna of invertebrates. 1. Introduction – Crustacea]. *Zoologicheskii zhurnal = Biology Bulletin Entomological Review*, 95, no. 10 (2016): 1136–1159.
4. Tourova T. P., Keppen O. I., Kovaleva O. L., Berg I. A., Ivanovsky R. N., Slobodova N. V. Filogeneticheskoe polozenie purpurnoi sernoi bakterii Thiocapsa sp. shtamm BBS na osnovanii analiza genov 16S rRNK, cbbL i nifK i opisaniye ego v kachestve novogo vida Thiocapsa bogorovii sp. nov [Phylogenetic characterization of the purple sulfur bacterium Thiocapsa sp. BBS by analysis of the 16S rRNA, cbbL, and nifH genes and its description as Thiocapsa bogorovii sp. nov., a new species]. *Mikrobiologiya = Microbiology*, 78, no. 3 (2009): 339–349.
5. Gaisina L. A., Fazlutdinova A. I., Kabirov R. R. *Sovremennyye metody vydeleniia i kul'tivirovaniia vodoroslei* [Modern methods of isolation and cultivation of algae]. Ufa: Izd-vo BGPU, 2008, 152.
6. Murav'ev A. G. *Rukovodstvo po opredeleniiu pokazatelei kachestva vody polevymi metodami* [Guidelines for the determination of water quality indicators by field methods]. 3th ed. Saint-Petersburg: Krismas+, 2004, 248.
7. Vasser S. P., Kondrat'eva N. V., Masiuk N. P. et al. *Vodorosli. Spravochnik* [Seaweed. Directory]. Kiev: Nauk. dumka, 1989, 608.
8. Piskunov A. S. *Metody agrokhimicheskikh issledovaniï* [Methods of agrochemical research]. Moscow: KolosS, 2004, 312.
9. Litvinov M. A. *Metody izucheniia pochvennykh mikroskopicheskikh gribov* [Methods for studying soil microscopic fungi]. Leningrad: Nauka, 1969, 120.
10. Anderson I. C., Cairney J. W. G. Diversity and ecology of soil fungal communities: increased understanding through the application of molecular techniques. *Environmental Microbiology*, vol. 6(8) (2004): 769–779. DOI: 10.1111/j.1462-2920.2004.00675.x.
11. Zhadin V. I. *Molluski presnykh i solonovatykh vod SSSR* [Mollusks of fresh and brackish waters of the USSR]. Moscow-Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1952, 376.

12. Bramson K. L. *Vrednye nasekomye i mery bor'by s nimi (prakticheskaiia entomologiia)* [Harmful insects and measures to combat them (practical entomology)]. Ekaterinoslav, vol. 2 (1896): 360.
13. Shurovenkov B. G. Opyt primeneniia kleikoi ramki dlia ucheta zhukov Sitona (Curculionidae) i Bembidion (Carabidae) na poliakh [The experience of applying an adhesive framework for the counting of beetles Sitona (Curculionidae) and Bembidion (Carabidae) in the fields]. *Zool. zhurn. = Zoological journal*, 56, iss. 8 (1977): 1232–1238.
14. Fasulati K. K. *Polevoe izuchenie nazemnykh bespozvonochnykh* [Field study of terrestrial invertebrates]. Moscow: Vyssh. shk., 1971, 424.
15. Cushman Robert M. An inexpensive, floating, insectemergence trap. *Bull. Environ Contam and Toxicol*, 31, no. 5 (1983): 547–550.
16. Trojan P. The ecological niches of certain species of horse-flies (Diptera, Tabanidae) in the Kampinos Forest near Warsaw. *Ecol. Polska*, 6, no. 2 (1958): 53–129.
17. Chuvakhin V. S. *Metody bor'by s vrediteliami i bolezniami sel'skokhoziaistvennykh kul'tur* [Methods of controlling pests and diseases of agricultural crops]. *Posobie po bor'be s vrediteliami i bolezniami sel'skokhoziaistvennykh kul'tur* [A Handbook on Pest and Disease Control of Agricultural Crops]. Moscow: Sel'khozgiz, 1957, 53–93.
18. Ivanov S. P., Belanovskii I., Efimenko M. Rukovodstvo k obsledovaniuu vrednoi entomofauny pochvy [A Guide to the Survey of Harmful Entomofauna of Soil]. *Tr. Vsesoiuz. n.-i. in-ta sakharnoi promyshlen.* [Proc. of the All-Union Sc. Research Institute of the Sugar Industry]. Kiev-Poltava: VNIS, 1937, 302.
19. Tikhomirova A. L. Uchet napochvennykh bespozvonochnykh [Taking into account the soil invertebrates]. *Metody pochvenno-zoologicheskikh issledovaniy* [Methods of soil-zoological research]. Moscow: Nauka, 1975, 73–85.
20. Tsurikov M. N., Tsurikov S. N. *Prirodosbergaiushchie metody issledovaniia bespozvonochnykh zhitvnykh v zapovednikakh Rossii: Trudy Assotsiatsii osobo okhraniaemykh prirodnykh territorii Tsentral'nogo Chernozem'ia Rossii* [Environmental conservation methods of invertebrate animals' research in Russian reserves: Proceedings of the Association of Specially Protected Natural Areas of the Central Chernozem Region of Russia]. Tula, Iss. 4 (2001): 130.
21. Kuusela K., Pulkkinen H. A simple trap for collecting newly emerged stoneflies (Plecoptera). *Oikos*, 31, no. 3 (1978): 323–325.
22. Reeves R. M. Use of barriers with pitfall traps. *Entomol. News*, 91, no. 1 (1980): 10–12.
23. Razumovskii S. M., Tikhomirova A. L., Bogach Ia., Karaseva N. A. Dinamika biotsenozov Kostromskoi stantsii [Dynamics of biocenoses of the Kostroma station]. *Zhivotnyi mir iuzhnoi taiga* [Animal world of the southern taiga]. Moscow: Nauka, 1984, 91–122.
24. Townes H. K. A light weight Malaise trap. *Ent. News*, vol. 83 (1972): 239–267.
25. Masner L., Goulet H. A new model of flight-interception trap for some hymenopterous insects. *Entomol. News*, 92, no. 5 (1982): 199–202.
26. Barber H. Traps for cave-inhabiting insects. *J. Elisha Mitchell Sci Soc.*, vol. 46 (1931): 259–266.
27. Pavlovich S. A. *Sostavlenie kolleksii po estestvoznaniuu* [Compilation of collections on natural science]. Leningrad: Uchpedgiz., 1947, 268.
28. Farrell I. A. K. An emergence trap for (Coleoptera) adult *Costelytrazealandica* (Col. Scarabaeidae). *N. Z. I. Agr. Res.*, 15, no. 4 (1972): 909–910.
29. Ettinger W. S. A collapsible insect emergence trap for use in shallow standing water. *Entomol. News*, 90, no. 2 (1979): 114–117.
30. Rubtsov I. A. *Metody izucheniia moshek* [Methods of studying Simuliidae]. Moscow-Leningrad: Izd. AN SSSR, 1956, 54.
31. Derbeneva-Ukhova V. P. *Rukovodstvo po meditsinskoi entomologii* [Guide to Medical Entomology]. Moscow: Meditsina, 1974, 360.
32. Kennard W. C., Spencer J. L. A mechanical insect collector with high maneuverability. *J. Econ. Entomol.*, 48, no. 4 (1955): 478–479.
33. Wainhouse D. A portable suction trap for sampling small insects. *Bull. Entomol. Res.*, 70, no. 3 (1980): 491–494.
34. Summers C. G., Garrett R. E., Zalom F. G. New suction device for sampling arthropod populations. *J. Econ. Entomol.*, 77, no. 3 (1984): 817–823.
35. Holtkamp R. H., Thompson J. I. A lightweight, self-contained insect suction sampler. *J. Austral. Entomol. Soc.*, 25, no. 4 (1985): 301–302.
36. Shatrovskii A. G. Predlozheniia po optimizatsii gidrobiologicheskoi ekipirovki [Proposals on optimization of hydrobiological equipment]. *Izv. Khar'k. entomol. ob-va = Proceedings of the Kharkov Entomological Society*, 7, Iss. 2 (1999): 168–169.
37. Bakiev A. G., Famzulina A. I., Vekhnik V. P. Nizshie nazemnye pozvonochnye (zemnovodnye i presmykaiushchiesia) Zpigulevskogo zapovednika [The lowest terrestrial vertebrates (amphibians and reptiles) of the Zhigulevsky Reserve]. *Biulleten' Samarskaia Luka = Bulletin of the Samara Luke*, no. 13 (2003): 238–276.
38. Buckland S. T., Anderson D. R., Burnham K. P., Laake J. L., Borchers D. L., Thomas L. *Introduction to distance sampling, estimating abundance of biological populations*. London: Oxford University Press, 2001, 448.

39. Lancia R. A., Kendall W. L., Pollock K. H., Nichols J. D. *Estimating the number of animals in wildlife populations*. Braun C. E. (ed.) *Techniques for wildlife investigations and management*. 2005, 106–153.
40. Gazarian S. V. Speleologicheskaya deiatel'nost' i okhrana rukokrylykh: pravila povedeniia v peshcherakh [Speleological activity and protection of bats: rules of behavior in caves]. *Problemy ekologii i okhrany peshcher: teoreticheskie i prikladnye aspekty: materialy nauchnoi konferentsii* [Problems of ecology and cave protection: theoretical and applied aspects: Proc. of the Sc. Conf.]. Krasnoyarsk, 2002, 153–156.
41. Vlashchenko A. S., Gukasova A. S. Razrabotka metoda inventarizatsii vidovogo sostava i struktury naseleniia rukokrylykh [Development of a method for inventorying the species composition and structure of the population of bats]. *Zapov. sprava v Ukraïni = Zapov. right in Ukraine*, 15, Iss. 1 (2009): 49–57.
42. Tuttle M. D. An improved trap for bats. *Journal of Mammalogy*, 55, no. 1 (1974): 475–477.
43. Gorilyi E. V., Sushchev D. V. Nasekomye karstovykh peshcher Abakanskogo khrebta (Bogradskii raion, respublika Khakasiia) [Insects of solutional caves of the Abakan range (Bogradsky district, the Republic of Khakassia)]. *Aktual'nye voprosy biologii i nauk o zemle: teoreticheskie i prikladnye aspekty: materialy simpoziuma XII (XLIV) Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Obrazovanie, nauka, innovatsii: vklad molodykh issledovatelei»* [Actual questions of biology and earth sciences: theoretical and applied aspects: Proceedings of the symposium XII (XLIV) of the International scientific and practical conference «Education, science, innovations: the contribution of young researchers»]. Kemerovo: KemGU, 2017, 30–33.