



УДК 591.5/595.745(282.256.341)

Особенности распределения, количественные характеристики и химический элементный состав кладок эндемичных байкальских ручейников (Trichoptera, Apataniidae)

Н. А. Рожкова, Н. Н. Куликова, А. В. Непокрытых, Е. В. Сайбаталова,
О. А. Тимошкин, А. Н. Сутурин

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

E-mail: rozhkova@lin.irk.ru

Аннотация. Изучены распределение, численность и химический элементный состав кладок эндемичных ручейников в береговой зоне оз. Байкал. Форма, размеры и плотность яиц в кладках исследовались методами световой микроскопии. Из всех четырех стадий ручейников кладки выделяются самыми низкими концентрациями Mn, Br, Mo, Ba. По сравнению с самками в кладках в несколько раз больше Ti, V, Ni, Y, Ag, Cd, наблюдается превышение в 1,2–1,5 раза Zn, U и некоторых тяжёлых редкоземельных элементов (Lu, Ho), меньше в 2,5–4 раза Na, Al, Mn, Co, As, Mo, Cs, Gd, Ta, W, Au, Pb, в 1,5–2 раза меньше Bi, Ba, Ga, Ge, Si. Химический элементный состав кладок в целом повторяет элементный состав самок, являющихся главным источником макро- и микроэлементов для яиц ручейников. На урезе воды разных участков каменистого побережья озера средняя плотность кладок колеблется от 469 до 4 794 кладок/м², в отдельных агрегациях превышает 35 тыс. кладок/м². С понижением дна количество кладок уменьшается и на глубине 3 метра составляет от 9 до 100 кладок/м².

Ключевые слова: Байкал, ручейники, кладки, химический элементный состав, распределение и количественные характеристики, береговая зона.

Введение

Береговая зона Байкала играет определяющую роль в формировании биогеоценозов литорали. Здесь не только происходит обмен обломочным материалом между сушей и глубоководными районами озера, но продолжается (или начинается) развитие жизненных циклов некоторых беспозвоночных. Именно здесь ежегодно происходит массовый лёт эндемичных ручейников, красочно описанный многими авторами [1; 2; 4]. В узкой полосе каменистого побережья Байкала концентрируется огромное число насекомых, которые спариваются, откладывают яйца и погибают, внося ощутимый вклад в биологический круговорот химических элементов в мелководной зоне оз. Байкал. Количество кладок и яиц в них определяет число отродившихся особей, а это, в свою очередь, является важным элементом в определении жизненных циклов, популяционной плотности и популяционной динамики разных видов [18]. Поэтому очень важно знать, где, когда и как много особей будет произведено каждой генерацией. Следовательно, изучение особенностей размножения ручейников, численности кладок, яиц и их химического состава весьма актуально.

Первые сведения, касающиеся кладок ручейников, были опубликованы ещё в XIX в. [16; 17; 19; 22]. В течение прошлого века и, особенно, в последнее десятилетие проводились многочисленные наблюдения за поведением самок во время откладки яиц (выбор мест и способы откладки яиц в разных биотопах), описывались форма кладок и число яиц в них [5; 15; 18; 19; 20; 21]. В то же время практически нет сведений о плотности кладок ручейников. На реках Шотландии исследователи оценивали [18] среднюю плотность кладок как число кладок на один камень в протяженности потока (плёс, перекат), но не как число кладок на площадь потока. В настоящей работе дано обсуждение химического элементного состава, а также приведены первые сведения по численности и распределению кладок байкальских эндемичных ручейников в береговой зоне. Оригинальный табличный материал по химическому элементному составу кладок байкальских ручейников опубликован ранее [11].

Материалы и методы

Объектом исследования являются яйцекладки байкальских эндемичных ручейников, которые заселяют каменистую литораль озера. В настоящее время мы не можем чётко разделять кладки разных видов, тем более невозможно это сделать при их подсчёте в природных условиях. Принимая во внимание то, что в каменистой литорали открытого Байкала обитают только эндемичные виды ручейников [9], мы учитывали тотально все кладки. Сборы и наблюдения проведены в 2006–2011 гг. на каменистых участках побережья Южного и Среднего Байкала (зал. Лиственничный, мыс Берёзовый, бух. Бол. Коты, пади Чёрная и Сенная, о. Бол. Ушканий, между мысами Зама и Зундук, г. Слюдянка). В лабораторных условиях изучали особенности откладки яиц, их размеры и численность. Дополнительно были использованы данные ежемесячных наблюдений на постоянной точке междисциплинарного полигона у м. Берёзовый (2000–2002 гг.), а также фондовые материалы.

Подсчёт яиц в кладках осуществляли под бинокулярным микроскопом МБС-10. Учёт кладок проводили прямыми объективными методами: учётом по квадратам (в случайно распределённых площадках), прямыми наблюдениями и фотографированием. Для учёта по квадратам в зоне заплеска использовали рамки площадью 0,25 и 0,09 м². Фотографии каменного субстрата с отложенными на них кладками ручейников сделаны при помощи цифровых фотокамер Sony DSC-W220 и Olympus C-3040. Для этого в период массовой откладки (в июне каждого года исследований) проводилась макрофотосъёмка приурезовой зоны. В каждом районе исследований выполнялись несколько десятков фотоснимков каменистого дна на фоне стандартной шкалы, что позволило позднее произвести пересчёт количества кладок на единицу площади дна. Исследованиями охвачены разные биотопы: как «голые» камни, так и имеющие обрастания разного типа (например, зелёная нитчатая водоросль улотрикс, рис. 1, А). Количественные характеристики, полученные методом макрофотографий, по видимому, превышают средние и сдвинуты в сторону максимальных значений: участки дна, полностью свободные от кладок, не фотографировались. Всего в природных условиях просчитаны 26 площадок, по фотоматериалам – 106 площадок.

Для изучения химического элементного состава кладки ручейников, собранные в прибрежной зоне, промывали дистиллированной водой, дополнительно очищали в сосуде с дистиллированной водой на магнитной мешалке, под бинокляром удаляли остатки посторонних примесей и прополаскивали бидистиллированной водой. Часть проб вращали на магнитной мешалке до разрушения матрикса и собирали только яйца ручейников. Очищенные таким способом пробы высушивали до воздушно-сухого состояния при температуре 30 °С, ещё раз просматривали под бинокляром, растирали в агатовой ступке и доводили до постоянного веса высушиванием при температуре 105 °С в течение 5 часов.

Подготовку проб к анализу проводили методом кислотного разложения 70%-ной HNO₃ и 30%-ной H₂O₂ в полипропиленовых пробирках с последующей обработкой в микроволновой печи марки DAEWOO KOC-1B4KA (мощность СВЧ 1000 Вт). Образцы воды из придонного слоя в прибрежной зоне отбирали в пластиковые шприцы, сразу после отбора фильтровали через мембранные фильтры с диаметром пор 0,2 мкм в пластиковые стаканы, консервировали до 2 % HNO₃ и герметично закрывали. До проведения анализа пробы хранили в холодильнике. Образцы горных пород весом 200–300 г, отобранные в прибрежной зоне, очищали от поверхностных выветренностей и в полевых условиях проводили их морфологическое описание и классификацию по типам горных пород. Усреднённые образцы дробили на щековой дробилке, и отбирали методом квартования пробы по 5 г. После истирания проб в агатовой ступке с добавлением ректифицированного этанола отбирали пробы для анализа. Подготовку проб к анализу проводили методом щелочного сплавления горных пород с Li₂BO₃ и выщелачивания 5 % HNO₃. Химический элементный состав проб определяли методом ИСП-МС. Анализ выполняли на масс-спектрометре Agilent 7500ce (Agilent Technologies) с квадрупольным масс-анализатором в центре коллективного пользования «Ультрамикрoанализ» (ЛИН СО РАН). Степень биологического накопления элементов в кладках яиц ручейников оценивали относительно воды и донных отложений с помощью коэффициента биологического накопления $KБН = C_1/C_2$, где КБН – коэффициент биологического накопления, рассчитываемый относительно микроэлементного состава воды (КБН_в) или каменистого субстрата (КБН_{г.п.}); C_1 – концентрация элемента в сы-

рой или в сухой биомассе кладок, мкг/г; C_2 – то же в байкальской воде или в каменистом субстрате [7; 3; 8].

Результаты и обсуждение

Сроки вылета имаго разных видов ручейников и интенсивность их лёта в разные годы различаются⁸. В марте начинается подлёдный прогрев воды в Байкале. Постепенно из-за проникновения под ледяной покров солнечной радиации воды накапливают значительное количество тепла. Перед вскрытием озера температура воды в верхнем слое составляет 0,4–2,0 °С [14]. В апреле из трещин льда появляются имаго *Pseudoradema setosum* (Mart.), *Radema infernale* Hag., *Thamastes dipterus* Hag. и летают до конца мая. Проследить за откладкой яиц этими рано летающими видами не удалось. Первые кладки ручейников зарегистрированы в последних числах мая 2001 г., в литорали озера у м. Берёзовый и против стационара ЛИН СО РАН в пос. Бол. Коты на глубине 2,5–3 м. Их встречаемость в пробах у м. Берёзовый составляла 50 %, а средняя плотность 20 кладок/м².

Постепенно с конца мая доминирующими видами среди летающих имаго становятся *Baicalina bellicosa* Mart., *Baicalinella foliata* Mart., *Baicalodes ovalis* Mart., *Baicalina thamastoides* Mart. Другие виды в разное время составляют от 0,1 до 14 % общей численности. Можно предположить, что в принадлежности кладок к определенным видам ручейников сохраняется то же соотношение.

Яйца байкальских эндемичных ручейников имеют округлую, слегка продолговатую форму. Размеры яиц разных видов варьируют от 0,210×0,237 мм до 0,275×0,325 мм. Как и у других амфибиотических насекомых и водяных клещей [10; 13], выходящие из яйцеклада самки ручейника яйца заключены в прозрачный желеобразный матрикс, который выделяют придаточные (коллатеральные) железы половых протоков. На воздухе в течение 30–60 мин свойства желатиноподобной субстанции меняются, она утрачивает клейкость, становится более твердой, образуя плотный комочек диаметром 2–3 мм. Попадая в воду, матрикс начинает быстро набухать и значительно увеличивается в размерах. Снятая с брюшка самки *T. dipterus* кладка диаметром 2 мм (содержащая 155 яиц) в течение часа в контейнере с водой увеличилась в 2,5 раза.

⁸ Конкретные цифры, характеризующие интенсивность лёта разных видов ручейников в межгодовом аспекте, в публикациях отсутствуют.

Кладки ручейников состоят, главным образом, из органических соединений, включающих С, О, Н, N, и воды, содержание которой достигает в среднем 89,3±1,3 %. Большинство других химических элементов присутствуют в яйцах ручейников в очень малых концентрациях. Часть из них (К, Р, Са, Mg, Na, Fe, Cu, Zn, Со, Ni, Ti, V, I и др.) жизненно необходимы для роста и развития организмов. Прочие элементы, входящие в их состав, вероятно, также важны для жизненных процессов, но их биохимическая роль пока не выяснена или недостаточно изучена. Химический состав живого вещества формировался и приспособлялся к химическому составу окружающей среды в течение длительных периодов геологического времени. Чтобы успешно развиваться в условиях имеющей сложный геохимический состав среды, организмы выработали механизмы активного извлечения элементов, участвующих в жизненно важных процессах, и удаления токсичных избытков химических элементов [6].

Матрикс кладок ручейников состоит в основном из органического вещества, поскольку макро- и микроэлементный состав яиц без матрикса практически не отличается от их состава с матриксом. Можно лишь отметить незначительное увеличение содержания химических элементов из-за концентрирования массы яиц при удалении защитной оболочки, поэтому минеральный состав кладок с матриксом практически отражает состав яиц ручейников.

Из всех стадий жизненного цикла ручейников стадия яйца выделяется самыми низкими концентрациями Mn, Br, Mo, Ba. По сравнению с содержанием в организме самок, в кладках обнаружено в несколько раз больше Ti, V, Ni, Y, Ag, Cd, наблюдается превышение в 1,2–1,5 раза содержания Zn, U и некоторых тяжёлых редкоземельных элементов (Lu, Ho), в 2,5–4 раза меньше Na, Al, Mn, Co, As, Mo, Cs, Gd, Ta, W, Au, Pb, в 1,5–2 раза меньше Bi, Ba, Ga, Ge, Si. Такие элементы, как Be, Mg, P, S, Cl, K, Ca, Sc, Fe, Cu, Se, Rb, Sr, Nb, Sn, I, PЗЭ (La, Ce, Pr, Nd, Tb, Dy, Er, Tm, Yb), Hf, Tl, Th содержатся в кладках и телах самок примерно в одинаковых количествах.

Результаты анализа указывают на относительно высокое содержание в кладках Р (табл. 1), количество которого в 3,7 раза больше, чем S, тогда как в каменистом субстрате и прибрежном слое воды содержание Р ниже, чем S в 1,3 и 30 раз соответственно (табл. 2). Из всех определяемых элементов самым высоким содержанием в кладках выделяется К, концентрация которого превосходит концентрацию Na в 9,2

раза, при этом содержание Na в воде в 30 раз выше, чем K. Среди всех возрастных стадий ручейников кладки, как и зрелые самки, отличаются самым высоким содержанием Ca, которого в яйцах в 2 раза больше, чем Mg, тогда как в воде и каменистом субстрате содержание Ca в 6–7 раз выше, чем Mg. При явном преобладании концентрации Ca по сравнению с P в воде (в 240 раз) и горной породе (в 20 раз) в кладках P больше, чем Ca примерно в 2 раза (см. табл. 2). Как и в прибрежном слое воды, в кладках, в отличие от каменистого субстрата, содержится больше Fe, чем Al. Во всех исследуемых средах содержание Sr ниже, чем Ca; Co ниже, чем Ni; Vt ниже, чем Cl; K выше, чем Rb, особенно

в водной среде, где калий-рубидиевое отношение превышает 1500. В отличие от донных грубообломочных отложений, где содержание Sr ниже, чем Ba, и водной среды с явным преобладанием содержания Sr над Ba, в кладках наблюдаются примерно одинаковые количества этих элементов (см. табл. 2). Замечательной особенностью кладок ручейников является относительно высокое содержание V (в 8 раз выше, чем в организме самок) и Ti (в 4,5 раза выше). Самые низкие содержания в составе кладок характерны, как правило, для малоподвижных в условиях литорали химических элементов (PЗЭ, Th, Au, Tl, Bi) (см. табл. 1).

Таблица 1

Среднее содержание химических элементов в кладках байкальских ручейников, мкг/г сухой массы (n = 11)

Элемент	Среднее содержание	Элемент	Среднее содержание
Li	0,06±0,01	Ag	0,007±0,001
Be	0,001±0,0001	Cd	0,05±0,02
B	1,40±0,42	Sn	0,06±0,02
Na	490±56	Sb	0,016±0,003
Mg	820±82	I	1,21±0,62
Al	37,1±25,4	Cs	0,004±0,001
Si	112±71	Ba	13,1±2,1
P	3600±370	La	0,13±0,04
S	960±180	Ce	0,19±0,04
Cl	320±55	Pr	0,022±0,004
K	4500±410	Nd	0,10±0,03
Ca	1900±300	Sm	0,014±0,005
Sc	0,07±0,02	Eu	0,006±0,001
Ti	4,33±1,70	Gd	0,015±0,005
V	0,76±0,09	Tb	0,0019±0,0004
Mn	53,5±11,6	Dy	0,009±0,004
Fe	190±72	Ho	0,0024±0,0004
Co	0,17±0,04	Er	0,004±0,001
Ni	1,61±0,37	Tm	0,0007±0,0002
Cu	6,18±0,92	Yb	0,0019±0,0005
Zn	86,8±15,2	Lu	0,0007±0,0001
Ga	0,06±0,02	Hf	0,0005±0,0002
Ge	0,011±0,003	Ta	0,0003±0,0001
As	0,22±0,05	W	0,026±0,004
Se	0,99±0,17	Au	0,0004±0,0001
Br	4,12±0,93	Tl	0,0030±0,0003
Rb	1,64±0,28	Pb	1,75±0,75
Sr	14,5±3,2	Bi	0,003±0,001
Y	0,038±0,005	Th	0,0021±0,0002
Nb	0,004±0,001	U	0,72±0,12
Mo	1,01±0,23	–	–

Примечание: n – число проанализированных проб

Таблица 2

Геохимические отношения химических элементов в кладках байкальских ручейников, в прибрежном слое воды и каменистом субстрате береговой линии

Отношения элементов	Прибрежный слой воды	Каменистый субстрат	Кладки
K/Na	0,29	1,07	9,18
K/Rb	1590	310	300
Al/Fe	0,20	2,79	0,19
P/S	0,03	0,78	3,75
Ca/Mg	5,93	6,85	2,35
Ca/P	241	21	0,54
Sr/Ca	0,01	0,02	0,01
Sr/Ba	10,13	0,13	1,11
Zn/Cu	7,38	4,91	14,0
Co/Ni	0,10	0,18	0,10
Br/I	9,27	8,20	3,41
Br/Cl	0,01	0,02	0,01

Таблица 3

Коэффициенты биологического накопления в кладках байкальских ручейников относительно прибрежного слоя воды (КБН_в) и донных отложений мелководной зоны (КБН_{г.п.})

Элемент	КБН _в	КБН _{г.п.}	Элемент	КБН _в	КБН _{г.п.}
Li	4	0,001	Ag	93	0,009
Be	38	0,001	Cd	120	0,089
B	16	0,09	Sn	110	0,035
Na	17	0,02	Sb	58	0,022
Mg	34	0,630	I	150	2,42
Al	210	0,001	Cs	63	0,004
Si	28	0,001	Ba	155	0,012
P	6100	8,4	La	710	0,0042
S	54	1,7	Ce	700	0,0033
Cl	47	1,6	Pr	500	0,0032
K	530	0,17	Nd	520	0,0038
Ca	13	0,22	Sm	525	0,0027
Sc	81	0,002	Eu	240	0,0043
Ti	580	0,002	Gd	690	0,0028
V	250	0,043	Tb	530	0,0027
Mn	5400	0,27	Dy	410	0,0022
Fe	210	0,01	Ho	530	0,0031
Co	230	0,04	Er	470	0,0020
Ni	210	0,07	Tm	370	0,0023
Cu	860	0,66	Yb	210	0,0010
Zn	1600	1,9	Lu	390	0,0025
Ga	320	0,003	Hf	140	0,0001
Ge	160	0,012	Ta	82	0,0007
As	52	0,39	W	57	0,011
Se	440	0,39	Au	180	0,063
Br	55	1,0	Tl	154	0,038
Rb	310	0,02	Pb	280	0,14
Sr	17	0,10	Bi	53	0,0005
Y	300	0,008	Th	24	0,00009
Nb	490	0,001	U	160	0,67
Mo	93	1,38	–	–	–

Сравнение концентраций элементов в сырой биомассе кладок с составом прибрежного слоя воды (табл. 3) показывает, что содержание всех определяемых элементов в яйцах выше, чем в воде. В них в несколько тысяч раз больше $P > Mn > Zn$, в сотни раз больше $Cu, La, Ce, Gd, K, Ti, Nd, Sm, Tb, Ho, Al, V$ и т. д. Самая низкая степень аккумуляции в кладках по сравнению с водой характерна для Li, Ca, Sr . Следует также отметить и то, что при большем содержании в воде Bg , коэффициент биологического накопления I в кладках выше коэффициента накопления Bg в 2,7 раза.

При сравнении с донными отложениями прибрежной зоны, представленными в основном обломками горных пород гранитоидного состава, в сухой биомассе кладок больше $P > I > Zn > S > Cl > Mo$ и примерно одинаковое или чуть более высокое содержание Bg . Самая слабая аккумуляция ($КБН < 0,01$) в кладках отмечается для малоподвижных в условиях прибрежной зоны элементов: $Th, Bi, Ta, Hf, PЗЭ, Nb, Y, Ga$ и т. д. (см. табл. 3).

Откладка яиц обычно происходит днём, при солнечной безветренной погоде. Как и другим амфибиотическим насекомым, ручейникам присущи три основных способа откладки яиц: 1) яйца откладываются на урезе воды или на смачиваемый субстрат (торчащие из воды камни, скалы, бревна и др. предметы); 2) яйца откладываются под водой на камни и другие предметы, которые никогда не выступают из воды; 3) яйца сбрасываются в воду с воздуха и опускаются на дно.

Как в лабораторных опытах, так и в природных условиях самки откладывают яйца либо одной кладкой, либо в несколько приёмов. В отдельных кладках одной особи может содержаться от 1–2 десятков до 300 и более яиц (см. рис. 1, А). Содержавшаяся в садке самка *B. bellicosa* отложила кладку из 247 яиц, затем из 19 яиц в другом месте, а на следующий день – еще одну кладку из 38 яиц. В 8 кладках, собранных 19 июня 2010 г. на урезе воды у г. Слюдянка, количество яиц колебалось от 101 до 230 (в среднем 160).

Процесс откладки яиц, как и сам вылет взрослых насекомых, зависит от погодных условий. Так, 9–10 июня 2008 г. в солнечные, но ветреные дни, на берегу против стационара ЛИН СО РАН мы наблюдали, как множество ручейников, в том числе и спаривающиеся особи, скопились под камнями, в защищённых от ветра участках. В это время кладок в приурезовой зоне мы не обнаружили. Начиная с

11 июня, когда ветер утих, прибрежные камни от уреза воды до глубин 10–20 см оказались покрыты большим количеством кладок.

Наиболее интенсивный лёг имаго на Южном Байкале обычно происходит в первой декаде июня (г. Слюдянка) и в середине июня (пос. Листвянка, м. Берёзовый, бух. Бол. Коты). В это время на побережье появляется множество кладок.

На юго-западном побережье Байкала на ровных участках, где камни погружены в песок, самки прикрепляют свои кладки у самой кромки воды к камням, смачиваемым накатившимися волнами, и очень редко на песок. Хорошо заметно, что внешне одинаковые камни «оцениваются» самками ручейников по-разному. На одних сконцентрировано большое количество кладок, на других же прикреплены 1–2 кладки, либо камни вовсе пустуют (рис. 1, Б). Такая избирательность отмечена и у некоторых речных видов ручейников [18].

Чуть ниже уреза (10–20 см) самки выбирают для откладки яиц углубления между камнями, в которых образуются агрегации, содержащие несколько тысяч прикрепленных близко друг к другу кладок, в то время как соседние камни остаются пустыми. Следует отметить, что в составе агрегаций находятся кладки разных видов.

На участках побережья со множеством выступающих из воды камней самки предпочитают откладывать яйца в местах, наименее подверженных влиянию прибоя и прямых солнечных лучей. Наибольшее скопление кладок отмечено на северо-западной, северо-восточной и меньше на юго-западной сторонах крупных валунов и скал. Их практически не бывает на юго-восточной стороне. Кладки обычно прикрепляются с нижней стороны выступов скалы над водой, на отрицательных поверхностях камней в зоне уреза воды, часто в большом количестве, их можно обнаружить в заполненных водой углублениях и выщербинах прибрежных скал (рис. 1, В).

Обычно кладки сосредоточены плотной массой на мокрой поверхности над урезом воды. В местах массовой откладки яиц ручейниками, субстрат покрыт ими плотно, как икрой (рис. 1, Г). Поскольку в июне–июле уровень воды в озере растёт, кладки постепенно оказываются в воде.

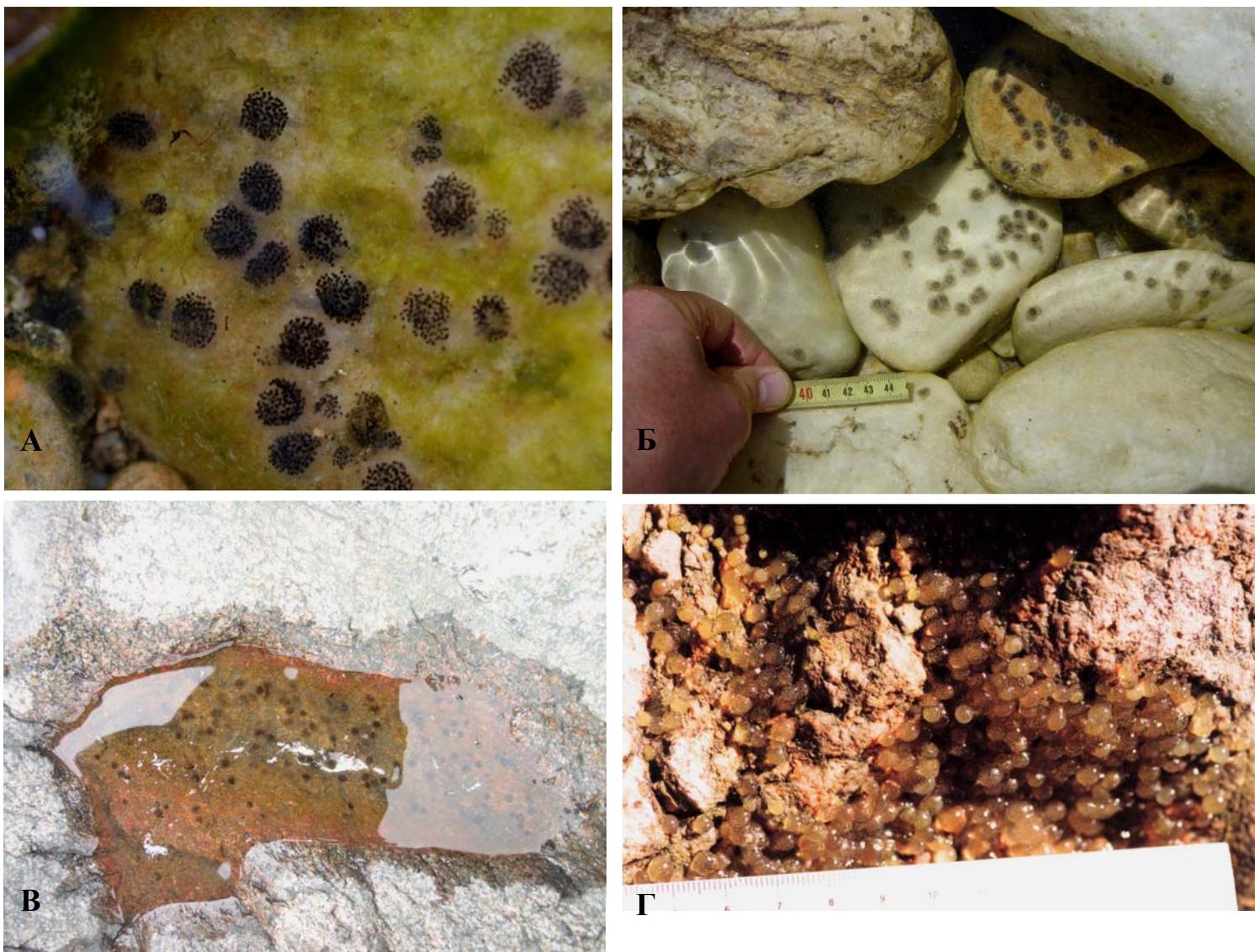


Рис. 1. Кладки эндемичных байкальских ручейников. А – среди обрастаний улотрикса, бух. Бол. Коты, 27 июня 2010 г. (фото Н. Н. Куликовой); Б – в приурезовой зоне о. Бол. Ушканий, 20 июня 2011 г. (фото О. А. Тимошкина), В – в лужице в углублении скалы, пос. Бол. Коты, 27 июня 2007 г. (фото О. А. Тимошкина); Г – на скале, нависающей над водой, м. Берёзовый, 2 июля 2001 г. (фото О. А. Тимошкина)

Кладки, отложенные на открытых участках литорали, подвергаются сильному воздействию прибойной волны. Постепенно, а после шторма – в большей степени, они смываются с камней. Отдельные кладки мы встречали на глубине 20 м. Часто у берега в углублениях между камней скапливается масса смывшихся с камней кладок (рис. 2), которые постепенно разносятся

прибоем по мелководью. Таким образом, восполняется часть органического и минерального вещества, вынесенного из озера вылетевшими насекомыми. Редко встречаются одиночные кладки, отложенные довольно далеко от воды. Если при подъёме уровня вода не покрывает такую кладку, она высыхает и яйца гибнут.



Рис. 2. Скопления оторванных от субстрата после несильного шторма кладок ручейников в углублениях между камней, бух. Бол. Коты, 24 июня 2007 г. (фото О. А. Тимошкина)

Количество кладок зависит от интенсивности лёта. В Слюдянке 19 июня 2010 г. на отрезке побережья 10 м вдоль уреза воды (5 площадок) плотность кладок колебалась от 44 до 2 452 кладок/м², в среднем 828 кладок/м². Ещё большую плотность наблюдали на крупном валуне, где на участке вдоль кромки воды протяжённостью 1,2 м и высотой 6 см (0,07 м²) располагались 2 260 кладок. В 2007 г. плотность кладок на камнях в побережье против стационара ЛИН СО РАН (20–80 см от уреза воды, глубина 10 см) 25–26 июня колебалась от 356 до 1 964 кладок/м², а 4–5 июля того же года – от 164 до 16 кладок/м².

В таблице 4 представлены оценки плотности кладок на побережье в разных районах оз. Байкал в июне 2011 г. Хорошо заметно, что, как в разных районах, так и на разных участках побережья одного и того же района озера, в один день плотность кладок может различаться

в несколько раз. На южном побережье о. Бол. Ушканий 20 июня 2011 г. на плоских светлых окатанных камнях мраморизованного известняка (станция 1) численность кладок на квадратный метр колебалась от 367 до 3 868 кладок/м². На участке с выходом коренных пород и крупной галькой (станция 2) кладки распределялись более равномерно, их плотность на квадратный метр находилась в пределах 237–668 кладок. В это же время на западном побережье между мысами Зама и Зундук (прол. Малое Море) численность кладок на разных площадках составляла 62, 222, 371, 316 и 1 395 кладок/м².

27 июня 2011 г. в пади Сенная плотность кладок в побережье колебалась от 1 870 до 6 984 кладок/м², а на пляже, расположенном несколько севернее, при равномерном распределении кладок плотность, за исключением одной площадки, не превышала сотни экземпляров.

Таблица 4
Плотность кладок ручейников (на 1 м²)
на побережье в различных районах оз. Байкал
в июле 2011 г.

Место учета	Дата	Кол-во площадок	Средняя плотность
о. Бол. Ушканий, южное побережье, станция 1	20.06.11	28	2101±826
о. Бол. Ушканий, южное побережье, станция 2	20.06.11	8	469±123
побережье между мысами Зама и Зундук	21.06.11	5	473±369
падь Чёрная	25.06.11	12	631±195
падь Сенная	27.06.11	3	3801±2122
севернее пади Сенная	27.06.11	6	522±336
пос. Листвянка, напротив Байкальского музея	29.06.11	14	58±48

Врагов на стадии яйца у эндемичных ручейников, по-видимому, нет. Известно, что личинки хирономид из рода *Parachironomus* (ранее *Cryptochironomus*) паразитируют внутри кладок ручейников, поедая яйца [12]. При подготовке к химическому анализу под бинокуляром просмотрены несколько тысяч кладок ручейников, но ни в одной не были обнаружены посторонние организмы. В то же время на кладках, находившихся в холодильных камерах при более высокой температуре (8–9 °С) и недостаточной аэрации, появлялись обрастания водорослей и большое количество инфузорий. В природе таких обрастаний мы не наблюдали, хотя кладки в урзе воды часто покрываются прилипшими песчинками, пылью растений, фрагментами мёртвых имаго ручейников. В желудках рыб кладки не встречаются, по-видимому, желатиноподобный матрикс не позволяет им захватить кладку. Другой причиной может являться и то, что большая часть кладок расположена в недоступной для рыб приурезовой зоне.

Заключение

Откладывание яиц является завершением жизни имаго ручейников и даёт начало развитию новых личинок ручейников, часть химических элементов при этом возвращаются в литораль Байкала. В минеральном составе кладок

ручейников преобладают $K > P > Ca > S > Na > Cl$, из микроэлементов больше всего содержится $Zn > Mn > Sr > Ba > Cu > Br$, минимальные концентрации характерны для $Be, Nb, Bi, P3Э$. Элементный состав кладок по содержанию многих элементов близок к составу организмов самок.

Химические элементы в кладках находятся нередко в иных соотношениях, чем те же элементы в составе водной среды и каменистого субстрата. В кладках ручейников в сравнении с составом прибрежного слоя воды в наибольшей степени концентрируются $P, Mn, Zn, Cu, La, Ce, Gd, K, Ti, Nd, Sm, Tb, Ho, Al, V$. Относительно каменного субстрата в яйцах аккумулируются P, I, Zn, S, Cl, Mo, Br .

Период откладки яиц может быть продолжительным, либо коротким, что определяет возрастную структуру популяции каждого вида. Продолжительность лёта имаго ручейников, а, следовательно, и продолжительность откладки яиц, зависит в первую очередь от погодных условий.

Экспериментально нами показано, что самки могут откладывать яйца либо одной кладкой, либо в несколько приёмов. Число яиц в отдельных кладках может варьировать от 1–2 десятков до 300–310. Избирательность самок в отношении субстрата приводит к образованию агрегаций, содержащих несколько тысяч кладок. На урзе воды разных участков каменистого побережья озера их средняя плотность колеблется от 469 до 4 794 кладок/м², в отдельных агрегациях превышает 35 тыс. кладок/м². С понижением дна количество кладок уменьшается и на глубине 3 м составляет от 9 до 100 кладок/м².

Хорошо выражена гетерогенность в распределении кладок на побережье оз. Байкал. Как в разных районах озера, так и на разных участках побережья одного и того же района наблюдаемая в один и тот же день плотность кладок может различаться в несколько раз. Это в первую очередь определяется внутриландшафтной неоднородностью среды побережья озера.

Работа проведена в рамках проекта № VII-62-1-4 «Междисциплинарные исследования заплесковой зоны как важной составляющей литорали озера Байкал» (2010–2012 гг.). Авторы выражают благодарность О. В. Поповой и М. М. Пензиной за помощь в сборе материалов, Е. М. Тимошкиной за англоязычный перевод аннотации.

Литература

1. Бебутова И. М. Биология и систематика личинок байкальских ручейников / И. М. Бебутова // Изв. АН СССР, отд-ние биол. наук. – 1941. – № 1. – С. 82–104.
2. Верещагин Г. Ю. Байкал / Г. Ю. Верещагин. – Иркутск : ОГИЗ, 1947. – 170 с.
3. Ветров В. А. Микроэлементы в природных средах региона озера Байкал / В. А. Ветров, А. И. Кузнецова. – Новосибирск : Изд. РАН, НИЦ ОИГМ, 1997. – 234 с.
4. Гусев О. К. Ручейники Северо-Восточного Байкала / О. К. Гусев // Природа. – 1956. – № 12. – С. 105–106.
5. Заречная С. Н. Кладки яиц некоторых видов ручейников Верхневолжских водохранилищ / С. Н. Заречная // Тр. Ин-та биол. водохр. – 1960. – Т. 3, № 6. – С. 150–157.
6. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир. 1989. – С. 16.
7. Никаноров А. М. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А. М. Никаноров, А. В. Жулидов. – Л. : Гидрометеоздат, 1991. – 309 с.
8. Перельман А. И. Геохимия ландшафтов / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – М. : Астрей-2000, 1999. – 768 с.
9. Рожкова Н. А. Ручейники (Trichoptera) / Н. А. Рожкова // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна – 2004. – Т. 1 : Озеро Байкал, кн. 2. – С. 864–877.
10. Соколов И. И. Об образовании и происхождении защитных оболочек яиц водяных клещей / И. И. Соколов // Цитология. – 1973. – Т. 15. № 7. – С. 803–809.
11. Химический элементный состав эндемичных ручейников озера Байкал / С. М. Бойко, Е. В. Сайбаталова, Н. А. Рожкова, Н. Н. Куликова, А. Н. Сутурин, О. А. Тимошкин // Аннотированный список фауны озера Байкал и его водосборного бассейна – 2010–2011 гг. – Т. 2, кн. 2. – С. 1372–1384.
12. Черновский А. А. Определитель личинок комаров семейства Tendipedidae / А. А. Черновский. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1949. – 186 с.
13. Шванвич Б. Н. Курс общей энтомологии / Б. Н. Шванвич. – М. ; Л. : Сов. наука, 1949. – 900 с.
14. Шимараев М. Н. Элементы теплового режима озера Байкал / М. Н. Шимараев. – Новосибирск : Наука, 1977. – 150 с.
15. Badcock R. M. Observation of oviposition under water of the aerial insect *Hydropsyche angustipennis* (Curtis) (Trichoptera) / R. M. Badcock // Hydrobiologia. – 1953. – Vol. 5. – P. 222–225.
16. Kolenati F. A. Genera et species Trichopterorum, I. Heteropalpoidea // A. F. Kolenati. – Pragae, 1848. – 1–VIII. – 108 s.
17. Kolenati F. A. Genera et species Trichopterorum, II» Aequipal-pidae / A.F. Kolenati. – Moscow, 1859. – P. 143–296,
18. Lancaster J. Oviposition site selectivity of some stream-dwelling caddisflies / J. Lancaster, B. J. Downes, A. Arnold // Hydrobiologia. – 2010. – Vol. 652. – P. 165–178.
19. McLachlan R. On the sub-aquatic habits of the imago of *Stenopsyche*, a genus of Trichoptera / R. McLachlan // Ent. Mon. Mag. – 1885. – Vol. 21. – P. 234–235.
20. Reich P. The distribution of aquatic invertebrate egg masses in relation to physical characteristics of oviposition sites at two Victorian upland streams / P. Reich, B. J. Downes // Freshwater Biology. – 2003. – Vol. 48. – P. 1497–1513.
21. Towns D. R. Terrestrial oviposition by two species of caddisfly in South Australia (Trichoptera: Lep-toceridae) / D. R. Towns // J. Aust. Ent. Soc. – 1983. – Vol. 22. – P. 113–118.
22. Sharp D. Insects / D. Sharp. // Cambridge Natural History. – 1895. – Vol. 5. – 476 p.

Distribution peculiarities, quantitative characteristics and elemental chemical composition of egg masses of endemic Baikal caddisflies (Trichoptera, Apataniidae)

N. A. Rozhkova, N. N. Kulikova, A. V. Nepokrytykh, Ye. V. Saybatalova, O. A. Timoshkin, A. N. Suturen

Limnological Institute SB RAS, Irkutsk

Abstract. Morphology, elemental chemical composition, number and distribution of egg masses of endemic caddisflies were studied in the near-shore area of Lake Baikal. Egg shape, size and density in clutches were examined by light microscopy. The elemental chemical composition of egg masses differs from that of larvae, pupae and imagines. The concentration of Mn, Br, Mo, Ba is lowest; the concentration of Ti, V, Ni, Y, Ag, Cd is several times higher compared to females, Zn, U and some rare earth elements (Lu, Ho), – 1,2–1,5 times higher, Na, Al, Mn, Co, As, Mo, Cs, Gd, Ta, W, Au, Pb – 2,5–4 times lower, Bi, Ba, Ga, Ge, Si – 1,5–2 times lower. Elemental chemical composition of the egg masses as a whole is similar to that of the females supplying most of the macro and microelements for the caddisfly eggs. Average density of the egg masses varies from 469 to 4794 specimens/m² at the

water edge, exceeding 35 thousand specimens per m² in some aggregations. The number of egg masses decreases with depth and ranges from 9 to 100 specimens/m² at the depth of 3 m.

Key words: Baikal, caddisflies, morphology, elemental chemical composition, number and distribution of egg masses, near-shore zone

Рожкова Наталья Анатольевна
Лимнологический институт СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
кандидат биологических наук
старший научный сотрудник
тел. (3952) 42–82–18, факс: 42–54–05
E-mail: rozhkova@lin.irk.ru

Rozhkova Natalya Anatolyevna
Limnological Institute SB RAS,
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033
Ph.D. in Biology, senior research scientist
phone: (3952) 42–82–18, fax: 42–54–05
E-mail: rozhkova@lin.irk.ru

Куликова Наталья Николаевна
Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3
кандидат биологических наук
старший научный сотрудник
тел. (3952)42–64–09, факс: 42–54–05
E-mail: kulikova@lin.irk.ru

Kulikova Natalia Nikolaevna
Limnological Institute SB RAS
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033
Ph.D. in Biology
senior research scientist
phone: (3952)42–64–09, fax: 42–54–05
E-mail: kulikova@lin.irk.ru

Непокрытых Анна Владимировна
Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская, 3
кандидат биологических наук
научный сотрудник
тел.: (3952)42–82–18, факс: 42–54–05
E-mail: nepocr1978@mail.ru

Nepokrytykh Anna Vladimirovna
Limnological Institute SB RAS
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033
Ph. D. in Biology
research scientist
phone: (3952)42–82–18, fax: 42–54–05
E-mail: nepocr1978@mail.ru

Сайбаталова Елена Витальевна
Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, Улан-Баторская,
ведущий инженер
тел. (3952)42–64–09, факс: 42–54–05
E-mail: sayb@lin.irk.ru

Saybatalova Yelena Vitalievna
Limnological Institute SB RAS
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033
leading engineer
phone: (3952)42–64–09, fax: 42–54–05
E-mail: sayb@lin.irk.ru

Тимошкин Олег Анатольевич
Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
доктор биологических наук
заведующий лабораторией
тел. (3952)42–82–18, факс 42–54–05
E-mail: tim@lin.irk.ru

Timoshkin Oleg Anatolyevitch
Limnological Institute RAS
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033
D. Sc. in Biology, Head of laboratory
phone: (3952)42–82–18, fax: 42–54–05
E-mail: tim@lin.irk.ru

Сутурин Александр Николаевич
Лимнологический институт СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
кандидат геолого-минералогических наук
заведующий лабораторией
тел.: (3952)42–64–09, факс 42–54–05
E-mail: san@lin.irk.ru

Suturin Aleksandr Nikolaevich
Limnological Institute SB RAS
3 Ulan-Batorskaya St., Irkutsk, 664033
Ph. D. in Geology, Head of laboratory
phone: (3952)42–64–09, fax: 42–54–05
E-mail: san@lin.irk.ru