

**НАСЕКОМЫЕ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ ПРИРОДНЫХ
УСЛОВИЯХ КАЛЬДЕРЫ УЗОНА И ДОЛИНЫ ГЕЙЗЕРОВ
(КРОНОЦКИЙ ЗАПОВЕДНИК, ВОСТОЧНАЯ КАМЧАТКА)**

Л. Е. Лобкова

*Кроноцкий государственный природный
биосферный заповедник, Елизово*

**INSECT IN EXTREME NATURAL CONDITIONS
OF CALDERA OF UZON VOLCANO AND THE VALLEY
OF GEYSERS (KRONOTSKY RESERVE,
EASTERN KAMCHATKA)**

L. E. Lobkova

Kronotsky State Nature Biosphere Reserve, Elisovo

Видовой состав, численность и биотопическое распределение насекомых во многом определяются толерантностью видов к температурно-влажностному и химическому режиму среды обитания. Специфическими характеристиками этого режима отличаются районы с поствулканической деятельностью. Фауне, биотопическому распределению и элементам экологии наземных насекомых в таких районах на Камчатке посвящен ряд работ автора (Лобкова, 2002, 2003, 2004; Лобкова, Лобков, 2003). Кроме того, особое внимание мы уделили насекомым, обитающим в экстремальных условиях гидротерм (Лобкова, 2010, 2013; Potarov et al., 2005; Лобкова, Кривошеина, 2006; Лобкова и др., 2007, 2012; Лобкова, Чебанова, 2010).

На сегодня нами зарегистрировано 157 видов насекомых – гидробионтов, обитающих при повышенной температуре и в химически более агрессивной среде по сравнению с их зональными характеристиками. В гидротермальных водоемах кальдеры Узона и Долины гейзеров обнаружены: цикады – 1 вид, клопы – 7, жуки – не менее 21 вида, ручейники – 20, стрекозы – 5, поденки – 7, веснянки – 9 видов, двукрылых не менее 85 видов, кроме того, несколько видов ногохвосток, в т. ч. описанный из наших сборов в Долине гейзеров *Pachytoma termoquatrica* Potarov, 2005. Определение видов проводили ведущие систематики страны в своих группах, камеральную обработку сборов макрозообентоса (свыше 200 проб) провела В. В. Чебанова (ВНИРО).

Из всего многообразия гидроамфибиотических насекомых, найденных нами, мы выбрали виды, наиболее приспособленные к жизни в экстремальных условиях в районах с поствулканической деятельностью.

Enochrus quadripunctatus (Herbst, 1797) – тинолюб четырехточечный. (Hydrophilidae – водолюбы). Жуки этого вида наиболее толерантны к разнообразным условиям температуры, минерализации и кислотности воды. Они живут в термальных стоячих водоемах с альгобактериальными взвешьями при температуре ($T^{\circ}\text{C}$) до 40°C , встречались на Узоне, в Долине гейзеров, Семячикских ключах, в Налычево, Малках, достигая численности до 90 экз./дм^3 . Жуки зимуют, в термальных водоемах активны круглый год. По свидетельству А. Прокина (ИБВВ, Борок), определявшего серию из более чем 100 экз., наблюдается морфологическая изменчивость, связанная со спецификой биотопов на Камчатке.

Cercyon marinus C. G.Thomson, 1853 – грязевик (Hydrophilidae – водолюбы) – встречается до $38\text{--}40^{\circ}\text{C}$ на Узоне и в Долине гейзеров внутри и на поверхности альгобактериальных матов, формирующихся вдоль стока вод термальных источников.

Ceratopsyche nevae Kol. (Trichoptera) в р. Гейзерной доминирует в июне и августе, развивается в двух поколениях, достигая численности $11\,800 \text{ экз./м}^2$ с биомассой 60.47 г/м^2 . В ручье из гейзера Жемчужного при 38°C их численность была 450 экз./м^2 , во время извержения гейзера температура в этом ручье достигала 70°C . Здесь же встречены хирономида *Eukiefferiella claripennis* (Lundb.) (Diptera, Chironomidae), доминирующая во всех водотоках Долины гейзеров, и активный хищник мошка *Prosimulium ventosum* Rubz. (Simuliidae) численностью 667 экз./м^2 .

Широкий диапазон значений температуры на фоне высокой минерализации воды выдерживают личинки мух береговушек *Parydra aquila* Fallen, *P. fossarum* Haliday, *P. coarctata* (Fallen), *Ochthera japonica* Clausen, *Cnestrum lepidopes* Becker, *Scatella crassicosta* Becker, *S. stagnalis* Fallen (Diptera, Ephydriidae), встреченные нами на Узоне и в Долине гейзеров. Особенно толерантны к высоким температурам оба вида *Scatella*, которые развиваются массово на пленке термофильных водорослей с марта по декабрь. На Семячикских ключах, на оз. Банном (Узон), а также на крутом склоне ручья Горячий в Долине гейзеров, где постоянный сток воды $38\text{--}48^{\circ}\text{C}$ и периодический сток кипятка из термальных источников и гейзеров, эти виды активны круглогодично.

Адаптивны к разнообразным условиям жизни личинки хирономид: *Diamesa* gr. *insignipes*, *Chironomus* aff. *nigricans* Goetgh., *Diplocladius cultriger* Kieff, *Orthocladius* (M.) *frigidus* Zett., *Eukiefferiella claripennis* (Lundb.), *Chironomus* sp. (Diptera, Chironomidae), определение В. В. Чебановой (ВНИРО).

Diplocladius cultriger Kieff заселил практически все водотоки Восточного термального поля Узона, встречается в теплых водах р. Гейзерной. Его личинки многочисленны и вытесняют всех конкурентов в ручьях

с серными отложениями, где присутствуют микроорганизмы серного цикла. Так, в ручье Веселом в русле перед Восточным термальным полем в составе макрозообентоса их доля – 13.6 % при численности 4 380 экз./м² и биомассе 0.132 мг/м², в русле после термального поля в слиянии с ручьем Сапожек их 93 %, при численности 138 547 экз./м² и биомассе 35.42 мг/м², в слиянии рукава ручья Веселого с ручьем из озера Серное их доля 95 %. Термальные воды меняют фенологию развития: в одну и ту же дату при 7 °С его популяция была представлена ранней молодью, а при температуре 20–25 °С – старшими личинками и предкуколками. В кальдере Узона только хирономиды *D. cultriger* и в несколько меньшей степени *O. frigidus* способны адаптироваться к агрессивной среде.

Chironomus sp. – найден нами в кальдере Узона в литорали очень закисленных непроточных водоемов и ручьев (при pH=2) при высокой минерализации и температурах до 28° (озера Фумарольное, Хлоридное, Восьмерка, ручьи Кислый, Комариный (у скважины)). Численность его личинок в озере Восьмерка достигает 500 000 личинок на 1 дм² поверхности грунта. Развиваются они в двух поколениях, зимуют личинки всех стадий развития. Готовится публикация по этому виду с описанием имаго, а также личинок по политенным хромосомам.

Кроме *Chironomus* sp. в оз. Фумарольном встречены личинки хирономид *Diamasa* gr. *insignipes*, личинки мокрецов *Palpomyia* (*P.*) *lineata* Mg. (Ceratopogonidae) – до 26–32° и pH=2.8, комаров болотниц *Symplecta* (*S.*) *hybrida* (Mg.) и *Dicranota bimaculata* (Schum.), (Diptera, Limoniidae) – до 34–38 °С и pH=2,6.

Наибольшие температуры и высокую минерализацию воды выдерживают личинки комаров болотниц *Symplecta hybrida*. На Восточном термальном поле кальдеры Узона 17.06.2005 г. в 1 дм² альгобактериального мата по периметру кипящего пульсирующего источника диаметром 90 см оказалось 26 личинок. И это был единственный вид насекомых на этом источнике. В Долине гейзеров они встречаются по периметру горячих пульсирующих источников, по руслам вытекающих из них ручьев, по стоку воды из гейзеров при температуре обычно 32–48 °С, периодически (при извержениях) и выше. У этого вида два поколения в год, имаго мы регистрировали в мае–июне и в августе–сентябре. Личинки и комары часто встречаются совместно с береговушками *Scatella crassicosta*, *S. stagnalis*.

Личинки львинок *Odontomyia microleon* (L) (Diptera, Stratiomyidae) найдены нами только в Долине гейзеров. Здесь они встречаются на гейзеритах на тонком покрове термофильных водорослей, в термальных источниках на поверхности и внутри альгобактериальных матов, а также в различных небольших теплых слабопроточных водоемах

с альгобактериальной взвесью. У пульсирующих источников и по стоку гейзеров личинки благополучно переползают тонкие сливы кипятка, но при этом много их погибает в ручейках из кипящих пульсирующих источников с $T=80-90$ °С. Развиваются в двух поколениях, мухи летают в мае и с августа, зимуют личинки. В водоеме 0.4×1.6 м при $20-65$ °С, $pH=7.6$ и минерализации водоема 0.6 г/л их численность была 30 экз./ 1 dm^3 альгобактериальной взвеси. В препарате из экскрементов этих личинок, определены остатки синезеленых водорослей *Cyanoprocariota*: доминировали *Synochococuss elongates* Nag., живущая в водоемах при $pH=5.0-9$ и $T=16-71$ °С, и *Phormidium tenae* (Menegh.), обитающая при $T=20-65$ °С и $pH=5.5-9$, отмечены также колониальные формы сем. Mucrocystidacea. В содержимом кишечника личинок из ручья Горячего доминировали коккоидные формы клеток, сгруппированные подобно *Microcystis*; экскременты содержали многочисленные изолированные коккоидные клетки. Определение микроорганизмов провела на микроскопе Биолам-400 Е. Г. Лупикина (Ин-т вулканологии и сейсмологии ДВО РАН).

Мы изучали адаптации насекомых, живущих в экстремальных условиях среды на примере мух-журчалок *Eristalinus sepulchralis* L. (Diptera, Siphidae). На Камчатке они обнаружены в больших количествах в кальдере Узона, изредка встречаются и в Долине гейзеров. Личинки живут в газогидротермальных сероводородных источниках с высоким содержанием сульфатов и сульфидов различных химических элементов с минерализацией водоема до 0.6 г/л при $pH=2.5-1.5$ и температурах до 42 °С. Установлено, что питательным субстратом личинок являются микроорганизмы, обитающие в источниках: хемосинтетики, фотосинтетики, гетеротрофы. Показаны высокие скорости хемо- и фотосинтеза микробной компоненты в водоеме, это обеспечивает существование личинок: плотность личинок в теплое время года достигает 80 особей на 1 dm^3 .

Что позволяет личинке жить в столь экстремальных условиях?

Во-первых, это особенности ее строения:

- Тонкий прозрачный покров личинки снабжен плотно расположенными короткими щетинками, на них плотным слоем оседает мелкодисперсная взесь из водоема, позволяя личинке изолироваться от экстремальных условий среды. За счет повышенной термальной устойчивости личинки способны выдерживать даже резкие перепады температуры при выбросе горячей воды из источника;

- Дыхательная система состоит из телескопической дыхательной трубки с концевой розеткой волосков, трубка способна удлиняться от 7 до 80 мм или укладываться петлями внутри тела; два канала дыхательной трубки подведены к двум воздушным мешкам внутри тела, каналы и воздушные мешки армированы тонкой нитью. Это позволяет накапливать

воздух, надолго погружаясь в водоем для питания (более 50 минут в опыте) и, если необходимо, делая свое тело плоским или длинным до нужного размера.

Во-вторых, особенности физиологии организма:

- Личинки накапливают в своем теле микроэлементы, в несколько раз превышающие их концентрации в источниках. Содержание их в теле/источнике (в единицах ppm): Zn =247/26.6, Sr=439/64, Cd=4.37/0.25, Br=28.7/1.26 (анализ методом ионизированной плазмы провела С. Б. Бортникова, Ин-т геологии СО РАН). Неоднократные линьки позволяют сбрасывать вместе с оболочкой ядовитые и ненужные вещества;

- Личинки усваивают полностью органическую составляющую. Рентгено-фазовый анализ экскрементов личинок из кальдеры Узона показал, что они состоят на 98.8 % из хорошо раскристаллизованной серы (анализ М. Е. Зеленского, Ин-т вулканологии и сейсмологии ДВО РАН);

- Пищеварение: с помощью электронной микроскопии на крипах переднего отдела кишечника личинки обнаружены одноклеточные микроорганизмы – симбионты. Вероятно, именно их ферментативный комплекс разрушает оболочку микробной составляющей пищи до простых остатков. Средний отдел представлен гладкой тканью со слабо выраженными складками, на которых происходит всасывание пищи. В заднем отделе осуществляется обезвоживание остатков пищевого субстрата и неорганических компонентов, в т. ч. серы;

- Дыхательная система личинки. При анализе ультратонких срезов обнаружены экзосимбионты, выстилающие внутреннюю поверхность воздухопроводных каналов. Роль их в общем понятна. Организм-хозяин не способен выделять слизь, а слизь симбионтов защищает хозяина от физико-химических и биологических повреждений ткани, при этом микробы имеют относительно стабильную среду для роста и развития. В ткани дыхалец обнаружены и эндосимбионты, их роль менее очевидна;

- Фенология. Из-за неравномерности оттаивания весной водоемов и грунта вокруг них первый и очень немногочисленный вылет мух наблюдается в начале июня. Они разлетаются по многочисленным мелким гидротермальным водоемам с запахом сероводорода, после спаривания через 2–3 дня появляются группы из нескольких яиц по берегу источника. Второе поколение летает в августе, зимуют личинки всех возрастов.

Таким образом, *Eristalinus sepulchralis* своей анатомией, физиологией, фенологией, симбиозом с микроорганизмами демонстрирует пример адаптации к широкому спектру условий местообитания. Показана существенная роль личинок в фильтрации и накоплении в организме химических элементов, а также в круговороте и осаждении серы в геотермальном водоеме.

Насекомые, обитая в гидротермах с высокой минерализацией и температурой, питаясь микроорганизмами, в т. ч. хемосинтетиками, участвуют в естественной фильтрации водоемов. Кроме того, в виде имаго они выносят на дневную поверхность минеральные и органические вещества, накопленные первичными автотрофами и хемотрофами, делая их доступными для последующих, уже наземных, консументов.

В целом обитатели гидротермальных водоемов в районах с активной поствулканической деятельностью дают разнообразный материал для изучения путей адаптации живых организмов к экстремальным условиям, расширяют наши представления о широте этих адаптаций, позволяют понять возможные пути эволюции биологических организмов и связей между ними на начальных этапах становления экосистем на нашей планете. Отдельные виды могут служить индикаторами загрязнения водоемов. Особенности их адаптаций могут быть использованы в биотехнологиях, бионике, генетике.

Роль Кроноцкого заповедника в сохранении в естественном виде таких экстремальных местообитаний биоты как кальдера Узона и Долина гейзеров неопценима.

ЛИТЕРАТУРА

Лобкова Л. Е. 2002. Насекомые // Растительный и животный мир Долины гейзеров. Петропавловск-Камчатский : Кн. изд-во «Камч. печатный двор». С. 72–136.

Лобкова Л. Е. 2003. Влияние вулканизма на формирование энтомофауны Камчатки // Разнообразие беспозвоночных животных на Севере : тез. докл. II Межд. конф. (Сыктывкар, Республика Коми, Россия, 17–22 марта 2003 г.). Сыктывкар. С. 45.

Лобкова Л. Е. 2004. Основные векторы адаптаций насекомых к условиям обитания на геотермальных полях Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : докл. IV науч. конф. Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс. С. 96–100.

Лобкова Л. Е. 2010. Жизнь на пределе существования: насекомые в экстремальных природных условиях кальдеры Узона и Долины гейзеров (Камчатка. Кроноцкий заповедник) // Состояние особо охраняемых природных территорий Дальнего Востока : матер. науч.-практич. конф., посвящ. 75-летию Лазовского заповедника. Владивосток : Изд-во «Русский Остров». С. 159–166.

Лобкова Л. Е. 2013. Поденки, веснянки и ручейники крупнейших гидротермальных систем Камчатки // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : тез. докл. XIV межд. науч. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения известного дальневосточного ученого, д.б.н., профессора В. Я. Леванидова. Петропавловск-Камчатский : Камчатпресс. С. 191–194.

Лобкова Л. Е., Баринаева Е. С., Дулов Л. Е., Гальченко В. Ф. 2007. Взаимоотношения личинок мух *Eristalinus sepulchralis* с микроорганизмами в гидротермах кальдеры Узон (Камчатка) // Микробиология. Т. 76. С. 405–415.

Лобкова Л. Е. Кривошеина М. Г. 2006. Двукрылые в геотермальных водоемах

южной Камчатки // Геология. География. Биологическое разнообразие Северо-Востока России : матер. Дальневост. регион. конф., посвящ. памяти А. П. Васильковского и в честь его 95-летия (Магадан, 28–30 ноября 2006 г.). Магадан : СВНЦ ДВО РАН. С. 375–378.

Лобкова Л. Е., Лобков Е. Г. 2003. Экологические связи насекомых в биогеоценозах термальных полей Узона и Долины Гейзеров // Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей : матер. III науч. конф. Петропавловск-Камчатский : Изд-во КамчатНИРО. С. 87–99.

Лобкова Л. Е., Перова С. Н., Чебанова В. В. 2012. Бентофауна в условиях влияния термальных вод в Долине гейзеров (Камчатка) // Журн. успехи наук о жизни. № 4. С. 41–50.

Лобкова Л. Е., Чебанова В. В. 2010. Бентофауна водоемов в кальдере вулкана Узон и Долине гейзеров (Камчатка) // Экология водных беспозвоночных : сб. материалов межд. конф., посвящ. 100-летию Ф. Д. Мордухай-Болтовского. Институт биологии внутренних вод им. И. Д. Папанина РАН (Борок, 30 октября – 2 ноября 2010 г.). Ярославль : Принтхаус. С. 185–188.

Potapov M. B., Lobkova L. E., Shrubovich Yu. E. 2005. New and little known palaeartic Pachyotominae (Collembola: Isotomidae) // Russian Entomological J. Vol. 14 (1). С. 75–82.