

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«**СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
институт
Кафедра водных и наземных экосистем
кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

подпись инициалы, фамилия

« ____ » _____ 20 ____ Г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

06.03.01.10 Биоэкология

код и наименование специальности

Влияние вылета хирономид (Diptera, Chironomidae) на разнообразие и
структуру сообществ хортобионтных насекомых на берегах солёных степных
озер

тема

Руководитель	_____	<u>доцент, к.б.н.</u>	<u>Борисова Е.В.</u>
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Данекина О.А.</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	5
1.1 Характеристика степей Хакасии.....	5
1.2 Хортобионты степных местообитаний	8
1.3 Амфибионты и их влияние на наземные экосистемы	12
ГЛАВА 2. РАЙОН И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	17
2.1 Район исследования	17
2.2 Материалы и методы исследования.....	22
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ.....	27
3.1 Характеристика хортобионтных сообществ на побережьях солёных степных озёр	27
3.2 Разнообразие и структура сообществ хортобионтов в градиенте берег- степь.....	29
3.3 Влияние величины биомассы хирономид в травостое на разнообразие сообщества хортобионтов.	32
3.4 Зависимость разнообразия хортобионтных сообществ от факторов среды	36
ВЫВОДЫ.....	46
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	47
ПРИЛОЖЕНИЕ А	54

ВВЕДЕНИЕ

Насекомые способны переносить энергию и органические вещества из наиболее благоприятных участков, где развиваются личинки, в другие местообитания, где обитают имаго [1]. Вылетающие амфибионтные насекомые нередко составляют значительную долю рациона наземных консументов, кормящихся в прибрежной полосе и обеспечивают перенос необходимых элементов и незаменимых биохимических веществ для наземных хищников, таких как членистоногие, ящерицы, летучие мыши, насекомоядные птицы [2, 3]. Перенос общего органического вещества и биогенных элементов возникает в результате вылета представителей отрядов Diptera, Ephemeroptera, Trichoptera, Plecoptera, Odonata [2, 4]. Вылет имаго амфибионтных насекомых из водоемов является одним из ключевых процессов взаимодействия между водными и наземными экосистемами в самых разных ландшафтах. Он представляет собой основную часть от общего потока органического вещества, производимого в водных экосистемах и попадающего в наземные трофические сети [5]. Являясь источником биогенов, хирономиды могут повышать разнообразие и усложнять структуру хортобионтных сообществ беспозвоночных по мере увеличения их доступности на прибрежной территории.

Цель исследования: выявить влияние вылета хирономид на разнообразие и структуру сообществ обитателей травостоя побережий степных соленых озер на примере озер Хакасии.

Задачи исследования:

1. Охарактеризовать сообщества насекомых-хортобионтов на изучаемой территории.
2. Оценить разнообразие и структуру сообществ хортобионтов в градиенте берег-степь.
3. Оценить суммарную биомассу хирономид на разноудалённых от берега участках модельных озёр.

4. Охарактеризовать разнообразие сообществ хортобионтов в связи с динамикой субсидий хирономид.
5. Выявить зависимость разнообразия и структуры сообществ хортобионтов от динамики субсидий хирономид и растительности.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1 Характеристика степей Хакасии

Засушливые, полузасушливые и сухо-субгумидные экосистемы составляют одни из крупнейших наземных биомов, в совокупности покрывающих 41% поверхности суши и поддерживает более 38% мирового населения. На засушливых землях обитает множество эндемичных видов растений и животных и включают около 20% основных центров глобального разнообразия растений и более 30% обозначенных эндемичных орнитологических территорий [6]. Большая часть юга России (в том числе и юг Сибири) представляет собой степь, которая занимает около 1,2 млн. км² [7].

Район исследования расположен на южной границе Красноярского края и территории республики Хакасия - на юге Восточной Сибири, где занимает части Минусинской и Чулымо-Енисейской котловин. По характеру поверхности район характеризуется холмисто-куэстовым и холмисто-равнинным рельефом. По характеру же растительного покрова и всему комплексу природных условий принадлежит к Алтае-Саянской геоботанической области [8, 9].

Для района исследования характерны нижний высотный пояс, в котором ведущим выступает степной пояс растительности, и развитие в котловинах степных сообществ широкого диапазона: опустыненных, настоящих и луговых степей [10].

Интересующий нас степной пояс занимает площадь 15,9 тыс. км². Его средние высотные отметки от 400 до 500 м. Климат здесь характеризуется резкой континентальностью и засушливостью. Годовое количество осадков 250-350 мм, средняя температура июля составляет 18,6°, а января -20°, сумма температур выше 10° составляет 1800-2000°. Продолжительность вегетационного периода 160 дней [10].

Рельеф степного пояса имеет значительные равнинные пространства, которые связаны с древними речными долинами и озерными депрессиями, и чередуются с группами сопок, невысокими холмистыми кряжами, часто имеющими куэстообразную форму, и небольшими изолированными горными массивами с отдельными вершинами. Гидрографическая сеть представлена немногочисленными транзитными реками. Характерно наличие большого количества озер, большинство из которых являются соленых [10].

Почвенный покров представлен обыкновенными и южными черноземами. Значительные площади занимают каштановые почвы. Так же распространены солонцеватые черноземы, солонцы, черноземовидные луговые, лугово-солончаковые, болотно-солончаковые, иловато-болотные, пойменные слоистые почвы и солончаки [10].

Первая классификация степей, в основе которой лежал анализ жизненных форм и климатические условия, появилась в 1940 г. [9] Они были разделены на четыре группы:

1. Луговые, климат полузасушливый.
2. Настоящие:
 - А) разнотравно-дерновинно-злаковые, климат засушливый;
 - Б) дерновинно-злаковые, климат сухой.
3. Опустыненные дерновинно-злаковые, полукустарничководерновинно-злаковые, климат очень сухой
4. Пустынные полукустарничково-дерновинно-злаковые, климат сверх сухой.

В современном растительном покрове степного пояса Хакасии степная растительность занимает 7,5 тыс. га или, 47,5% от всей площади пояса [11]. Степная растительность здесь представлена опустыненными (каменистыми и солонцеватыми) степями, настоящими, луговыми. Опустыненные степи располагаются на каменисто-щебнистых сухих и бедных каштановых почвах. Здесь произрастают панцерия, тимьян, терескен и др. Для настоящих степей

наиболее характерны тонконог, вейник, ковыль, карагана, осока, тростник и др. Каменистые степи имеют разнотравно-типчаковый покров отдельными куртинками; из разнотравья представлена карагана карликовая, вероника седая, тимьян ползучий и др. Солонцеватые степи располагаются на богатых солями красноцветных породах. Здесь растут тростник, ирисы, полынь солончаковая и др. [12]

В зависимости от расположения на рельефе и от минерализации водоема формируется характерная прибрежная растительность.

В Хакасской степи к растениям, образующим хорошо выраженные пояса на переувлажненных, самых близких к ложу солончатого озера территориях, отнесены сообщества с доминированием терофитов: (*Salicornia perennans*, *Suaeda prostrata*, *Suaeda acuminata*, *Salicornia perennans* + *Suaeda acuminata*, *Suaeda acuminata* + *Ofaiston monandrum*, *Suaeda sp.* + *Puccinellia distans*).

К небольшим понижениям с близким залеганием грунтовых вод приурочены сообщества с доминированием гемикриптофитов и хамефитов: (*Artemisia santonica*, *Puccinellia distans*, *Puccinellia distans* + *Artemisia santonica*, *Artemisia santonica* + *Limonium gmelinii* и др.).

Комплексы сообществ на низкой озерной надпойменной террасе формируются в условиях неглубокого залегания минерализованных грунтовых вод. Здесь встречаются ассоциации: *Artemisia santonica*, *Artemisia santonica* + *Limonium gmelinii*, *Puccinellia tenuissima* + *Artemisia santonica*, *Artemisia lerchiana* + *Artemisia pauciflora*.

Для степной растительности на приозёрных террасах характерно обилие осок, тростник. Характерен разнотравно-типчаковый покров отдельными куртинками; из разнотравья представлена карагана карликовая, вероника седая, тимьян ползучий [11].

1.2 Хортобионты степных местообитаний

Ключевую роль в степных экосистемах играют беспозвоночные животные, многочисленные и разнообразные по размерам и образу жизни. Они утилизируют органические выбросы водоемов и ускоряют превращение анаэробной почвенной среды в аэробную [13].

Комплекс беспозвоночных-обитателей травостоя формирует отдельный ярус животного населения, который тесно связан с сообществами животных, населяющих почвенные биотопы, кроны деревьев и кустарников, а также близ лежащих водоёмов [14].

Животное население в степи выделяется крайним непостоянством видового разнообразия, численности и биомассы. Энтомофауна степей демонстрирует смешанный характер. Здесь встречаются виды - обитатели настоящих степей, лугово-степные, лугово-лесные, мезоксерофилы и эврибионтные виды насекомых, однако в целом энтомофауна несёт на себе зональное влияние. Ксерофитизация состава степи связана как с особенностями песчаных почв, так и приуроченностью степных площадей к хорошо прогреваемым склонам южной экспозиции [15].

Хортобионты являются важной частью цепей питания степных и луговых сообществ. [16]. Функциональные пищевые цепи необходимы для успешного сохранения экологических сообществ, а в наземных системах пищевые цепи построены на основе коэволюционирующих взаимодействий между растениями и их потребителями [17].

Особенностью хортобионтов является их быстрая реакция на изменения условий среды, поскольку в этом случае отсутствует буферное действие почвы, воды или какого-нибудь субстрата, также осуществляется непосредственное воздействие на животных внешних факторов. Некоторое сглаживающее действие оказывает травянистая растительность, поскольку внутри куртин складывается особый микроклимат [18]. Поэтому обитатели открытых

остепненных участков менее чувствительны к резким скачкообразным изменениям температуры воздуха, действию сильного ветра и осадкам. Защищая себя от жаркого солнечного света, порывистого ветра и обильных дождевых потоков, обитатели травостоя спускаются ярусы фитоценоза, а иногда даже почти к самым корням.

По режиму питания среди хортобионтов встречаются фитофаги, зоофитофаги и хищники.

Так, например, на границе лесостепи и степи европейского региона фитофаги являются наиболее многочисленной трофической группой отряда Полужесткокрылых. К ним относятся представители 11 семейств, 199 видов. Далее следуют хищники, к которым относятся представители 4 семейств, 18 видов. Наиболее малочисленны зоофитофаги, к которым относятся представители 2 семейств, 16 видов [19].

В хортобионтных сообществах степей Хакасии по данным 2019 года выявлены представители 170 семейств из 12 отрядов: Diptera, Coleoptera, Lepidoptera, Hemiptera, Hymenoptera, Homoptera, Orthoptera, Neuroptera, Odonata, Collembola, Thysanoptera, Psocoptera. Отряд Coleoptera представлен 93 видами, отряд Hemiptera – 45 [11]. Среди Hymenoptera известно 36 представителей рода *Bombus* [20]. В зависимости от растительности на участках формируются различные сообщества насекомых с разными видами-доминантами. Например, среди саранчовых на луговидных участках многочисленны *Chorippus bicolor*, *Ch. parallelus*, на берегах солёных озёр можно встретить *Tridactylus variegatus*, *Grillotalpa unispina*, для солончаков характерны *Aiolopus thalassinus*, *Epracromius coerulipes* [21].

Фауна и население степи в прибрежных местообитаниях изменяется по мере приближения к водоёму. Для степных местообитаний характерно разнообразие грунтов и растений, недостаток увлажнения, закономерный суточных и сезонный ход микроклиматических характеристик. В следствии

таких условий степи имеют богатое и своеобразное население. В пойменных участках происходит повышение влажности, степная растительность сменяется на типично луговую, увеличивается биомасса растений. Это приводит к изменению трофической и экологической структуры сообществ. Берега водоёмов – это изменчивые местообитания, для которых характерны избыточная влажность, своеобразные условия микроклимата, бедная универсальная растительность. На береговые местообитания выносятся биогены и субстраты водного происхождения. Здесь фауна приобретает специфичность. Из-за непостоянных условий около водоёмов происходят колебания в составе и численности сообществ.

Для педобионтов в степных местообитаниях характерно доминирование фитофагов и сапрофагов. По мере приближения к воде, где почва более увлажнённая или переувлажнённая и условия роста корней растений ухудшаются, возрастает доминирование группы хищников таких как пауки, жуки и стафилиниды [22].

От более аридных местообитаний к более увлажнённым герпетобионты изменяют состав сообществ. Для степных местообитаний характерно доминирование хищников: жуков и чернотелок. Также для степей характерна большая численность многоножек. В пойменных участках происходит изменение трофической структуры сообщества: комплекс доминантов составляют фитофаги (долгоносики), сапрофаги (кожееды) и хищники, происходит увеличение разнообразия сапрофагов и полифагов. По мере приближения к водоёмам численность многоножек начинает снижаться. На более увлажнённых территориях доминируют хищники, копро- и детритофаги (пластинчатоусые жуки, щелкуны). На берегах водоёмов многоножки вообще отсутствуют [23, 24].

Доминантный комплекс пауков настоящих степей Центрального Казахстана образуют герпетобионты, составляющие 78% от населения пауков,

и хортобионты, составляющие 20%. По мере приближения к более увлажнённым территориям для них характерно увеличение разнообразия, снижение доминирования и выравненности сообществ [25].

Для мезофитных лугов южно-таёжной зоны Сибири по мере приближения к более увлажнённым участкам в сообществах хортобионтов также происходят изменения. На берегах водоёмов наблюдается снижение разнообразия хищников, фитофагов и представителей отряда Жесткокрылые. Для жужелиц и листоедов характерно увеличение выравненности экологических групп, тогда как этот показатель для слоников снижается. Это является следствием нестабильных условий вблизи водоёмов, где происходит увеличение колебаний в составе и численности сообществ [26].

1.3 Амфибионты и их влияние на наземные экосистемы

Водные экосистемы представляют собой источники воды и субсидий для организмов в прибрежных местообитаниях обитания. Значение воды для наземных растений и диких животных очевидно [27]. Субсидии — это пищевые или энергетические ресурсы, которые транспортируются через границы среды обитания. Субсидии через водные и наземные границы были выявлены в различных пищевых сетях, включая океанические острова, озера, реки, ручьи и водно-болотные угодья. Субсидии могут изменить распределение потребителей и увеличить темпы роста потребителей и биомассу [28]. Вылетающие из континентальных водоемов амфибионтные насекомые поставляют на сушу субсидии органического вещества водного происхождения, имеющие особенное значение в малопродуктивных аридных экосистемах [29].

Прибрежные сообщества часто полагаются на субсидии, связанные с водными ресурсами, особенно в условиях бедных ресурсами. Одной из причин этого являются различия в фенологии насекомых водных и наземных экосистем. Водные насекомые обычно появляются в течение года раньше, чем наземные насекомые, поэтому они представляют собой важную пищевую добавку для прибрежных хищников, когда количество наземных источников пищи весной еще невелико. Субсидирование редких ресурсов может повлиять на приспособленность животных в сообществе-реципиенте, особенно если они необходимы для биохимических реакций и активны в критических аспектах физиологии [28]. Кроме того, считается, что водные субсидии обладают более высоким качеством питания и энергетической плотностью, чем наземные субсидии [30].

Большое количество наземных насекомоядных животных (летучие мыши, птицы, взрослые стрекозы и пауки), которые поедают водных насекомых, питаются и размножаются вблизи водоёмов и их прибрежной зоны. Наземные беспозвоночные могут реагировать на появляющихся водных насекомых

напрямую (например, как хищники, объединяющиеся для добычи) или косвенно в результате изменений в поведении кормления или плотности общего хищника [31]. Хищники, такие как взрослые стрекозы и пауки, способствуют передаче энергии от водных экосистем к наземным, поедая мелких водных насекомых, одновременно являясь добычей крупных насекомоядных наземных позвоночных [32].

Значение амфибиотических насекомых как ресурса определяется их обилием и широким распространением благодаря различным адаптациям на преимагинальных фазах развития - в проточных водоемах они составляют >50% населения, иногда достигая 99% по биомассе и плотности [33].

С водной средой в фауне регионов с умеренным климатом связаны представители 12 отрядов насекомых. Преимагинальные фазы всех видов в отрядах стрекоз (Odonata), поденок (Ephemeroptera), веснянок (Plecoptera), вислоккрылок (Megatoptera) и ручейников (Trichoptera) являются гидробионтами. В водной среде протекает развитие всех видов Hemiptera из семейств Pelogonidae, Mononychidae, Naucoridae, Belostomatidae, Nepidae, Notonectidae, Pleidae, Corixidae. Все жуки семейства Dytiscidae, большинство жуков семейства Hydrophilidae, все двукрылые семейств Tendipedidae, Culicidae, Melusinidae, Vlepharoceridae также развиваются в водоёмах [34].

Поступление биомассы из водоёмов в наземные экосистемы происходит неравномерно в течении периода вылета и обусловлено, как правило, экологическими особенностями конкретных видов и групп амфибионтных насекомых [2].

Взрослые амфибиотические насекомые после отрождения характеризуются способностью к значительному рассеянию вещества и энергии на большой площади суши, которая может составлять от нескольких сотен метров для поденок и ручейников до десятков и сотен километров от естественных водоемов для стрекоз [35, 36]. Большая часть биомассы

экспортируется в основном на расстоянии в 10 метров от воды и уменьшается экспоненциально до 100-500 метров [11]. Более того, количественные параметры вышедших имаго некоторых амфибиотических насекомых могут оказывать не долгосрочное, но очень существенное влияние на структурные параметры растительного покрова в наземных экосистемах [37].

Кроме того, загрязняющие вещества, вынесенные из водоёмов амфибиотическими насекомыми, попадают в наземные пищевые цепи [37].

Очевидно, что величина экспорта органического вещества на сушу зависит от свойств водоема, в котором оно было произведено.

Все природные воды подразделяются на пресные (соленость до 1,0%), солоноватые, соленые и пересоленные. Имеются различия в таксономической структуре и числе видов водных беспозвоночных для каждого типа водных экосистем с различной соленостью, и имеют определенные пределы видового разнообразия. Так, при возрастании минерализации вод количество видов в сообществах зоопланктонных и донных животных сначала возрастает, а затем уменьшается. Известно, что двукрылые заселяют водоемы с наиболее широким спектром минерализации, в том числе и кислые воды. Озёра Шира, Учум и Шунет - слабосоленые, поэтому ожидается, что в них будет большее видовое разнообразие насекомых [2, 37, 38]. В соленых водоемах наиболее продуктивными таксонами зообентоса являются личинки хирономид [37].

Основные отряды амфибионтных насекомых слабосоленых озёр – Coleoptera, Heteroptera, Odonata и Diptera. Представители двукрылых, а конкретно личинки семейства Chironomidae, составляют большую часть населения зообентоса [38].

Хирономиды (Chironomidae), или комары-звонцы, - многочисленное семейство подотряда Длинноусых (Nematocera). Это амфибионтные насекомые с полным метаморфозом [39]. Известно, что комары-звонцы преобладают в

составе зообентоса крупного степного соленого озера Ши́ра. В настоящее время доминирующими видами хирономид здесь являются *Glyptotendipes salinus*, *Chironomus nigrifrons* и *Chironomus halophilus* [2, 38].

Хирономиды при вылете распределяются на наземной территории неравномерно, зачастую концентрируясь в прибрежной полосе водного объекта. В этой связи можно полагать, что наземные консументы, населяющие побережье и отдаленные от водных объектов участки, имеют разный доступ к пище водного происхождения, богатой незаменимыми физиологически активными веществами, что может отражаться в биохимической и физиологической разнокачественности особей, а также влиять на пространственное распределение их популяции.

Две доминирующих в бентосе таксономических группы хирономид при вылете по-разному распределяются на наземной территории: представители рода *Glyptotendipes* концентрируются преимущественно в 50-метровой прибрежной полосе, тогда как имаго рода *Chironomus* роятся на степных возвышенных участках, удаленных от берега озера на 100 и более метров. Очевидно, что консументы прибрежной полосы вследствие её существенно меньшей площади получают больший доступ к пище водного происхождения, обеспечиваемой вылетом имаго хирономид, по сравнению с обитателями удаленных степных участков. Одной из групп наземных консументов, активно потребляющих имаго хирономид, являются пауки-кругопряды (сем. *Araneidae*, отр. *Araneae*) [29]. Так, например, ЭПК (эйкозапентаеновая кислота водного происхождения) у прибрежных пауков вдоль рек Неккер и Глатт в лесной зоне составляет в среднем 15 % от общего количества жирных кислот [30]. ЭПК и ее метаболиты-эйкозаноиды у членистоногих опосредуют несколько аспектов иммунитета, включая инкапсуляцию паразитов [28].

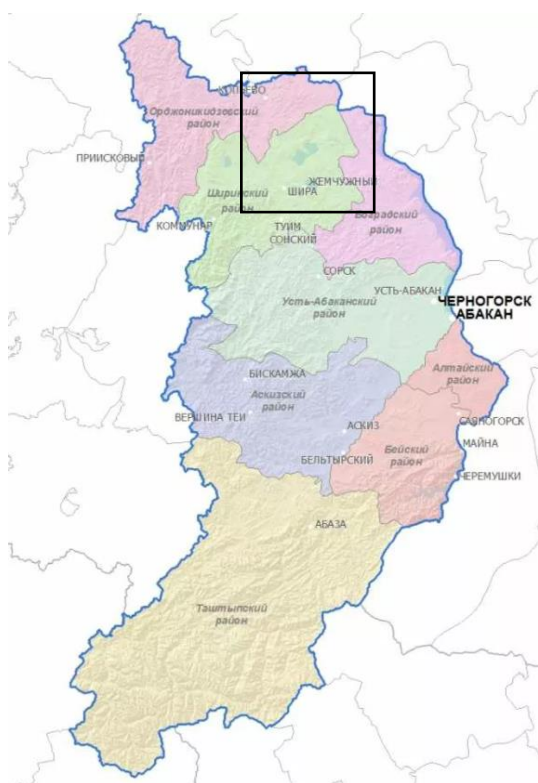
Таким образом вылет имаго амфибионтных насекомых из водоемов считается одним из ключевых векторов переноса «субсидий» водной

продукции в наземные экосистемы [39]. Перенос питательных веществ в телах имаго и распределение веществ по водосбору могут оказывать существенное влияние на наземную растительность и растительноядные организмы и субсидировать прибрежные пищевые цепи [37]. Взрослые особи хирономид, вылетающие из воды, повсюду включаются в состав трофических цепей прилегающих наземных экосистем. Они определяют периоды миграции и размножения наземных животных, а также пространственную структуру их популяций. В период вылета амфибионтных насекомых из воды многие беспозвоночные и позвоночные животные начинают питаться ими, потребляя до 90 % вылетевших имаго [39]. Вместе с этим в организмы всеядных и хищных обитателей наземных экосистем попадают необходимые им ЭПК и ДГК, которые выносят из воды амфибионтные насекомые [2]. Наряду с положением на профиле ландшафта и растительностью, фактор доступности водных субсидий может оказывать влияние на разнообразие и устойчивость наземных сообществ беспозвоночных животных окружающей водоем территории.

ГЛАВА 2. РАЙОН И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Район исследования

Исследования проводились в северо-восточной части республики Хакасия, располагающейся в природной зоне лесостепи. Для северной части региона характерны холмистые поднятия, мелкосопочник и моноклиналильные возвышенности. В понижениях располагаются бессточные озерные котловины, занятые солеными и пресными озерами [40]. В качестве модельных было выбрано 3 меромиктических солёных озера: Учум, Шира и Шунет, находящиеся в степном высотном поясе. Климат здесь характеризуется резкой континентальностью и засушливостью. Осадков выпадает мало, около 250- 350 мм в год [21]. Растительность в окрестностях модельных озёр представляет настоящие (типичные) степи с разнотравно-ковыльной растительностью.



А



Б

Рисунок 1 – А – административная карта республики Хакасия, где в квадрате выделен район исследования. Б – расположение озёр, где проводились исследования

Озеро Шира расположено в северной части Минусинской котловины, в глубокой впадине, окружённой безлесными холмами, являющимися отрогами трёх горных систем: Абаканских гор, Кузнецкого Алатау, Восточных Саян [39]

Данное озеро представляет собой рекреационный водоём, который обладает бальнеологическими свойствами [38]. Озеро является солоноватым меромиктическим водоёмом, площадь водного зеркала составляет 35,9 км², глубина – от 11,2 м до 21,6 м, ширина 5 км, протяжённость 9,4 км. Песчаное дно озера составляет 360 м над уровнем моря [41]. Минерализация колеблется в пределах 14-18 г/л, состав воды сульфатно-хлоридно-натриевомагниевого. В безледный период (май-ноябрь) характерна ярко выраженная температурная стратификация водной толщи. В осенний и весенний периоды озеро перемешивается лишь частично до глубины 9-12 м, в отдельные годы – до 15-16 м. [38].

Шунет — меромиктическое горько-солёное озеро на территории Ширинского района Хакасии. Относится к Белё-Ширинской бессточной области. Расположено в 7 км южнее озера Ширы. Площадь 46 га, длина береговой линии 2,9 км. Абсолютная отметка уреза воды 417 м. Максимальная глубина около 6 м. Минерализация достигает 66 г/л. [42].

Учум — горько-солёное, бессточное озеро. Оно расположено в Ужурском районе на юге Качинской степи, в 30 км южнее города Ужур, среди восточных отрогов Кузнецкого Алатау. Площадь его водной поверхности превышает 4 кв. км. Берега озера в основном песчано-щебенистые, а дно пологое. Максимальная глубина озера в центральной его части составляет около 6,5 м. [43].

Одним из ведущих факторов распределения насекомых-амфибионтов на суше является удаленность от места выплода - берега водоема [39]. В свою очередь, обитатели травостоя дифференцируются характеристиками

растительности, которая определяется особенностями почв и гидрологического режима, что тоже зависит от удаленности от берега [11, 8].

Расположение модельной территории берега выбирали по данным, полученным ранее [2]. Было заложено 4 пробных площадки на каждом озере: Берег – 0-1 м, пойма – 5-25 м, прибрежная степь – 50 м и контрольная степь – 100-200 м. Геоботаническое описание растительности на участках проводилось по площади проективного покрытия. Для идентификации растений использовался определитель М. И. Беглянова (1979). Данные о растительных ассоциациях и группах ассоциаций пробных площадок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – характеристика пробных площадей в 21 и 22 г.

2021				
Озеро	Участки	Удаленность от берега, м	Растительная ассоциация / группа ассоциаций	
			Июнь	Июль
Учум	Берег (Б1)	0-1	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Пепельнично-злаковые / Разнотравно-злаковые
	Пойма (Б2)	5-25	Тимофеевно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Прибрежная степь (С1)	50	Тимофеевно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Землянично-злаковые / Разнотравно-злаковые
	Контрольная степь (С2)	100-200	Тимофеевно-разнотравные / Злаково-	Землянично-злаковые / Разнотравно-

			разнотравные	злаковые
Шира	Берег (Б1)	0-1	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Пойма (Б2)	5-25	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Прибрежная степь (С1)	50	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Контрольная степь (С2)	100-200	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные
Шунет	Берег (Б1)	0-1	Вейниково-разнотравные / Злаково-разнотравные	Вейниково-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Пойма (Б2)	5-25	Овсянично-разнотравные / Злаково-разнотравные	Овсянично-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Прибрежная степь (С1)	50	Овсянично-разнотравные / Злаково-разнотравные	Полынно-злаковые / Разнотравно-злаковые

	Контрольная степь (С2)	100-200	Овсянично-разнотравные / Злаково-разнотравные	Полынно-злаковые / Разнотравно-злаковые
2022				
Озеро	Участки	Удаленность от берега, м	Растительная ассоциация / группа ассоциаций	
			Июнь	Июль
Учум	Берег (Б1)	0-1	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Пойма (Б2)	5-25	Тимофеевно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Прибрежная степь (С1)	50	Тимофеевно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Землянично-злаковые / Разнотравно-злаковые
	Контрольная степь (С2)	100-200	Тимофеевно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Землянично-злаковые / Разнотравно-злаковые
Шира	Берег (Б1)	0-1	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Пойма (Б2)	5-25	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные

	Прибрежная степь (С1)	50	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Контрольная степь (С2)	100-200	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные	Чийно-разнотравные / Злаково-разнотравные
Шунет	Берег (Б1)	0-1	Ирисово-злаковые / Разнотравно-злаковые	Вейниково-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Пойма (Б2)	5-25	Ирисово-злаковые / Разнотравно-злаковые	Ирисово-злаковые / Разнотравно-злаковые
	Прибрежная степь (С1)	50	Овсянично-разнотравные / Злаково-разнотравные	Овсянично-разнотравные / Злаково-разнотравные
	Контрольная степь (С2)	100-200	Овсянично-разнотравные / Злаково-разнотравные	Овсянично-разнотравные / Злаково-разнотравные

2.2 Материалы и методы исследования

Для изучения влияния субсидии веществ из водоемов на наземные сообщества хортобионтов необходимы данные о населении травостоя и объемах потока амфибионтов на соответствующих прибрежных территориях. При этом, следует учесть, что вылет амфибионтов проходит в сроки, соответствующие экологическим требованиям видов, составляющих сообщество конкретного водоема. Известно, что массовый вылет хирономид

наблюдается в период с середины июня до конца июля [2]. Поэтому сбор насекомых осуществлялся в 2 этапа: 10-30.06.21 и 20-31.07.21, а также 01-30.06.22 и 16-26.22. Это позволит охарактеризовать и поток амфибионтов, и сообщество хортобионтных членистоногих, поскольку охватывает период активности большей части растительоядных видов степного комплекса.

Для сбора насекомых, обитающих в травостое, использовался метод укусов энтомологическим сачком [44]. В качестве сетки воздушного сачка применялась капроновая материя. Обруч сачка крепился к жесткой рукоятке, длина которой равна 1 м. Кошение осуществлялось при движении по направлению к солнцу. Было произведено 30 взмахов сачком в трёхкратной повторности. Попавшие в сачок насекомые составляли одну пробу населения травостоя площадью 24,649 м².

В теплую солнечную погоду значительная часть хирономид находится в воздухе в активном состоянии: направляется к местам концентрации и участвует в роении, проявляя видовую специфичность поведения. Таким образом метод укусов позволяет также получить данные о количестве и видовом составе хирономид, находящихся в это время в травостое на соответствующем удалении от берега.

Попавших в сачок насекомых помещали в полиэтиленовый пакет и доставляли в лабораторию. После умерщвления в морозильной камере животных отбирали от растительного мусора и фиксировали в 70% спирте до камеральной обработки.

Объём материалов составил 156 спиртовых пробы насекомых, собранных в трёхкратной повторности в 4 разноудалённых от берега местообитаниях 3 модельных водоемов за 4 периода вегетационного сезона.

Камеральная обработка проб проводилась в лабораторных условиях. Она включала в себя идентификацию и учёт насекомых.

Для идентификации животных использовались определители по личинкам: Б. М. Мамаева (1972), М.С. Гилярова (1964), по имаго: Б. М. Мамаева (1976), Н. Н. Плавильщикова (1994), М.П. Корнелио (1986), В.М. Яновского (2002), Н.Н. Винокурова и Е.В. Канюковой (1995), Э.П. Нарчук (2003). Определение и учёт насекомых проводился до уровня семейств.

Идентификация и учет хирономид проведен до родов с выделением размерных групп (проводился Е.В. Борисовой). Представители этих групп (не фиксированные) взвешивались на электронных весах с точностью 0,0001 г. В результате в течение сезона были получены данные о средних значениях сырой массы особей выделенных групп, что позволило рассчитать суммарный объем биомассы хирономид в укусах.

Для характеристики структуры сообществ хортобионтов исследуемых участков были использованы данные о таксономическом составе и численности насекомых в сборной пробе за сезон, усредненные на один укос, пересчитанные на площадь укоса.

Для оценки разнообразия сообществ хортобионтных насекомых были использованы индексы видового богатства Маргалефа, выравненности Шеннона и доминирования Симпсона.

Индекс видового богатства Маргалефа:

$$D_{Mg} = \frac{S-1}{\ln N};$$

где S – это число выявленных видов, а N – это общее число особей всех S видов. Данный индекс учитывает видовую плотность, которая является наиболее распространённым показателем видового богатства. Чем больше величина индекса, тем больше разнообразие сообщества.

Индекс разнообразия Шеннона:

$$H' = -\sum p_i \ln p_i$$

где величина p_i – доля особей i -го вида ($p_i = n_i/N$). Данный индекс учитывает количество видов и их выравненность по обилию. Значение индекса варьируется от 1,5 до 3,5, но может крайне редко превышать 4,5 [45].

Для оценки влияния потока хирономид на разнообразие наземных сообществ различных местообитаний был использован однофакторный дисперсионный анализ ANOVA [46]. В качестве фактора использовали биомассу хирономид и удалённость от берега. В качестве данных использовались показатели разнообразия сообществ хортобионтов отдельных площадок, которые были рассчитаны для каждой повторности. Данные сгруппировали по величине биомассы хирономид в 3 группы: с низкой биомассой субсидий (0-0,061 г/м²); средней (0,61-1); высокой (1-2,5).

Для выявления зависимости разнообразия сообществ хортобионтов на побережьях исследуемых озёр применялся метод ограниченной ординации. Методы ординации позволяют выделить группы с общими свойствами в анализируемых выборках, выявить градиенты и тренды в многомерных данных, продемонстрировать зависимости между переменными и определить, какие из них являются наиболее влиятельными, а также исследовать переменные на взаимные корреляции. В качестве метода ограниченной ординации использовался анализ избыточности (RDA, redundancy analysis).

Анализ избыточности (RDA) представляет собой сочетание неограниченной ординации метода главных компонент (PCA) и множественного регрессионного анализа, в котором главные оси (компоненты) ограничены линейными комбинациями переменных среды, как и в анализе главных компонент.

Анализ RDA-диаграммы – длина вектора переменной на графике отражает его вклад в ординацию. Таким образом, переменные, описываемые

более длинными векторами, считаются наиболее важными (информативными) по сравнению с теми, которые характеризуются короткими стрелками. Угол между двумя стрелками (или между стрелкой и осью координат) указывает на величину корреляции между двумя переменными (или между переменной и осью координат). Острый угол характеризует высокую положительную корреляцию (если угол 0° – корреляция равна 1). Прямой угол свидетельствует об отсутствии корреляции, тогда как тупой угол – об отрицательной (при 180° корреляция равна -1) [47,48].

Статистический анализ данных проводился в PAST 4.03.

Расчёты и построение графиков проведено в Microsoft Excel 2016.

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«**СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**»

Институт фундаментальной биологии и биотехнологии

институт

Кафедра водных и наземных экосистем

кафедра

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

подпись инициалы, фамилия

« _____ » _____ 20 ____ г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

06.03.01.10 Биоэкология

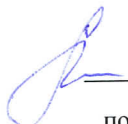
код и наименование специальности

Влияние вылета хирономид (Diptera, Chironomidae) на разнообразие и
структуру сообществ хортобионтных насекомых на берегах солёных степных

озер

тема

Руководитель

 6.06.23

подпись, дата

доцент, к.б.н.

Борисова Е.В.

инициалы, фамилия

Выпускник

 6.06.23

подпись, дата

Данекина О.А.

инициалы, фамилия

Красноярск 2023