

VI Региональная конференция по научно-техническому творчеству
школьников «Лабиринты науки»

секция: Экология

Тема: Изучение процесса адаптации колоний муравьёв *Leptothorax acervorum* к температурному режиму Нижнеанадырской низменности в зимний и летне-осенний сезоны»

**Авторы: Кудрявцев Всеволод
Александрович
Место выполнения работы:
МБОУ «СОШ №1 г. Анадыря»
Руководитель: Ушанова И.Н.,
учитель биологии**

**Консультант: Уяганский К.К.,
ведущий инженер мерзлотовед
СВКНИИ ДВО РАН.**

Оглавление

Введение	с. 3
1. Теоретическая часть	
1.1. География Нижнеанадырской низменности	с. 3
1.2. Распространение муравьев на Чукотке и их эколого-биологическая характеристика.	с. 4
2. Практическая часть	с. 5
2.1. Результаты исследования	с. 5
2.2. Выводы	с. 6
3. Заключение	с. 7
4. Список литературы	с. 8
Приложения	с. 9

Введение

Актуальность. Криобиология – перспективное направление науки по изучению адаптации живых организмов к экстремальным условиям жизни при низких температурах. Информация, полученная в ходе изучения, позволит выработать методы хранения и накопления биологических объектов, лечения с помощью холода (*Криотерапия*), выведение морозоустойчивых сортов растений, изучение зимовки вредителей сельского хозяйства, а также формы деятельности человека в полярных условиях и космической биологии.

Цель исследования: на основе полевых данных проанализировать температурные условия обитания муравьев и особенности адаптации к суровым условиям Крайнего Севера для своего процветания.

Объект исследования: колонии муравьёв *Leptothorax acervorum* (далее *L. Acervorum*) в окрестностях ГО Анадырь (район сопки Михаила).

Задачи исследования:

1. Выяснить особенности географии Нижнеанадырской низменности;
2. Изучить разновидности муравьев, встречающихся в пределах Чукотского полуострова, в частности на территории Нижнеанадырской низменности;
3. Познакомиться с особенностями вида *L. Acervorum*;
4. Проанализировать температурный режим в гнездах муравьёв *L. Acervorum*;
5. Выяснить причины адаптации к суровым условиям Крайнего Севера.

Методы исследования: полевые по сбору данных (маршруты, измерения), лабораторно-аналитические.

Оборудование: датчики температур, щуп, фото - и видеоаппаратура, ноутбук.

Гипотеза: колонии муравьев в ходе эволюции получили ряд адаптаций для зимовки в условиях Нижнеанадырской низменности.

1. Теоретическая часть.

1.1. География Нижнеанадырской низменности.

Нижне-Анадырская низменность (Приложение 1. Рис. 1-3.) располагается в бассейне нижнего течения р. Анадырь и ее притоков - рек Майи, Танюрер, Белая и Канчалан. Кроме Анадыря, низменность дренируется р. Великой и системой небольших безымянных рек, впадающих непосредственно в Анадырский залив. С трех сторон она окружена горными хребтами и открыта к морю.

Территория Нижнеанадырской низменности — это ландшафт Нижнеанадырского района зоны тундры, подзоны типичных тундр и южных кустарниковых тундр, называемых гипоарктическими. Характерными

особенностями ее климата являются холодная продолжительная зима, короткое пасмурное лето, значительные колебания температур в зимний период, сильные ветры. Так, в г. Анадырь среднегодовая температура воздуха составляет $-7,7^{\circ}\text{C}$, средняя температура июля составляет $+10,7^{\circ}\text{C}$, января $-22,8^{\circ}\text{C}$. В особо морозные дни температура опускается до -35°C и ниже, жёсткость погоды усиливают ветра. Лето прохладное, короткое с частыми дождями, туманами, большим количеством пасмурных дней. Среднегодовое количество осадков -312 мм, из них 60% приходится на тёплый период года. Такой тип климата влияет на формирование особенных тундровых ландшафтов, которые достаточно разнообразны.

Рельеф тундровых ландшафтов холмисто-увалистый с отдельными горными кряжами и останцами, большие площади покрывают кочкарно-пушицевые тундры, низины заняты сырыми мохово-осоковыми болотами. Выделяются равнинные участки ледникового, озерно-аллювиального и морского происхождения. В горной местности и возвышенностях распространены каменисто-лишайниковые с зарослями кустарниковой ольхи, пятнисто-лишайниковые, по увалам — лишайниково-кочарные, кочарниково-кустарничковые, в низинах и равнинах — мохово-кустарничково-кочарные тундры, сфагновые болота, бугристо-западинные тундры.

1.2. Распространение муравьев на Чукотке и их эколого-биологическая характеристика.

Муравьи — семейство насекомых из отряда перепончатокрылых. Внешний вид данных организмов позволяет максимально демонстрирует приспособленность к различным условиям обитания, а поведение — общественную форму существования. (Приложение 2.).

Исследования показали, что на Чукотке встречается 3 вида муравьев (*Leptothorax acervorum*, *Formica gagatoides*, *Formica exsecta*) [Берман, Алфимов, Жигульская, Лейрих, 2007]. Непосредственно в Нижне-анадырской низменности встречается первый вид. (Приложение 1. Рис. 4., Приложение 2).

Этот вид распространен в лесной зоне, лесном и субальпийском поясах гор Палеарктики [Рузский, 1905)]; проникает за Полярный круг в подзону кустарниковых тундр [Дмитриенко, Петренко, 1965; Чернов, 1966, 1975]. На Северо-востоке обычен или многочислен в горнолесных районах Охотского макросклона, **бассейнов Анадыря**, Колымы, Индигирки, Яны [Жигульская, Берман, 1975; Берман, Мордкович, 1979].

В бассейне Анадыря учеными встречен повсеместно на всем протяжении проведенных маршрутов: от пос. Ламутское и Еропол до устья р. Крестовая (левый приток), по Майну от устья до впадения правого притока — р. Алган.

Полевые исследования проводились за городом на склонах горы Михаила. Ландшафт в окрестностях типичный для Нижнеанадырской низменности. Рельеф холмисто-увалистый с отдельными горными кряжами и останцами, представленные большей частью кочкарно-пушицевыми тундрами. Данный район изобилует многочисленными речками и ручьями, низины заняты сырыми мохово-осоковыми болотами.

2. Практическая часть.

Анализ температурного режима в гнездах муравьёв *Leptothorax acervorum*.

Материал и методы исследования.

Материалом для исследования служили температурный режим воздуха в окрестностях Анадыря, в гнезде муравейника (на поверхности и на глубине до 5 см). Муравейник, исследованный нами, находится на склоне сопки Михаила под камнем. (Приложение 1, рис.3.)

2.1. Результаты исследования.

Из проведенных нами исследований и измерений температуры почвы, воздуха и муравейника *L. Acervorum*, выяснилось, что температура гнезда отличается от температуры почвы и воздуха. Что позволяет сделать вывод о заметной корреляции между полученными данными измерений.

Температура воздуха в среднем варьирует и в 0-1,1 раза выше, чем в гнезде. Температура воздуха за весь период исследования непрерывно повышается с 10 до 14 часов, понижается с 18 часов и к утру (к 06.00) достигает минимума. Понижение температуры в воздухе происходит быстрее, чем в гнезде. (Приложение 3,4.). Основная причина: накопленная за день тепловая энергия за счет высокой теплоемкости камня позволяет сохранить тепло в гнезде в ночные часы, когда температура воздуха низкая.

В летне-осенний период 2023 года гнезде на глубине 5 см температура варьирует меньше, чем на поверхности, и понижается дальше в глубь. На поверхности гнезда (под камнем) температура варьирует от $+2,236^{\circ}$ до $+31,5^{\circ}$. Среднее значение за период составило $+9,74^{\circ}$. В гнезда (на глубине до 5 см) температура варьирует от $+2,61^{\circ}$ до $+24,6^{\circ}$. Среднее значение составило $+9,1^{\circ}$. Самая высокая температура зафиксирована 18 июля (под камнем в 14.00, в гнезде в 16.00), а самая низкая 30 сентября (под камнем в 00.00, в гнезде 08.00). Средняя температура в гнезде в 0,9 раз меньше, чем в воздухе, тогда как под камнем (на поверхности гнезда) выше, чем в воздухе в 1,04 раза. Данный факт подтверждает, что накопленная за день тепловая энергия за счет высокой теплоемкости и теплопроводности камня позволяет сохранять тепло в гнезде в ночные часы, когда температура воздуха низкая.

Температура в гнезде в **осенне-зимне-весенний** период 2023-2024 гг. на глубине 5 см и под камнем выше, чем в воздухе (снаружи). Внутри гнезда колебания маленькие. В гнезде на глубине 5 см температура варьирует меньше, чем на поверхности, и понижается дальше в глубь. На поверхности гнезда (под камнем) температура варьирует от $-27,4^{\circ}$ до $-0,032^{\circ}$. Среднее значение за период составило -10° . В гнезде (на глубине до 5 см) температура варьирует от $-26,3^{\circ}$ до $-0,227^{\circ}$. Среднее значение за период составило -9° . Самая высокая температура зафиксирована в начале и конце периода $-0,032^{\circ}$ (под камнем в 14.00-18.00, в гнезде в 16.00), а самая низкая 2 января (под камнем в 06.00, в гнезде 06.00). Средняя температура в гнезде и под камнем (на поверхности гнезда) в 1,3 раза выше, чем в воздухе. Максимальная температура под камнем (на поверхности гнезда) выше, чем в воздухе. Ночное понижение температуры поверхности медленно идет вглубь, дневное повышение температуры нарастает быстро. (Приложения 3 и таблица Приложения 4).

2.2. Выводы.

Таким образом, можно сказать, что муравьи адаптировались к длительным низким температурам комплексом приспособлений, обеспечивающих: наиболее полное использование тепла (южная ориентация гнезд), сохранение жизнеспособности за счет снижения активности в зимний период, возможность зимовки за счет физиолого-биохимических механизмов холодозащиты.

Анализ температурного режима воздуха, грунта позволяют сказать, что колебания температур незначительное, что позволяет сказать, что муравьи адаптированы к низким температурам в осенне-зимне-весенний период и колебаниям температуры в летне-осенний период.

Одним из способов адаптации является увеличение содержания веществ-антифризов, предотвращающих промерзание с наступлением холодов и как результат предотвращают повреждение биологических мембран.

Также стоит отметить, что на температуру в муравейнике влияют такие факторы поступления энергии, которые были выделены Бахем и Лампрехтом:

1. Биологическая теплопродукция: а) теплопродукция муравьев; б) теплопродукция микроорганизмов, обитающих в гнезде
2. Прямое или рассеянное солнечное излучение.
3. Конденсация: при условии, что наружный воздух теплее воздуха в гнезде, происходит конденсация воды у поверхности гнезда.
4. Вентиляция: в зависимости от внешних и внутренних условий муравьи используют воздушную тягу для согревания или охлаждения гнезда.

Анализ данных температур показывает, что в целом климат Нижнеанадырской низменности неблагоприятен для муравьев *L. Acervorum* по сравнению с континентальными районами. А именно, длительная зима с частыми оттепелями, короткое лето с большим количеством пасмурных дней, дожди, туманы, заморозки. То есть, муравьям не хватает тепла для созревания потомства. Однако, муравьи *L. Acervorum* нашли выход в растягивании диапаузы (процесс созревания потомства растягивается на несколько сезонов до благоприятного времени). Для преодоления замерзания муравьи вырабатывают антифризы (сахара), препятствующие образованию льда в тканях и клетках. *L. Acervorum* выбирают особенные рельефы обитания, ландшафты, богатые камнями и предметами, которые наиболее прогреваются в летний период и обладают наиболее высокой теплоемкостью. В нашем случае это юго-восточная часть склона сопки Михаила. Еще одним из вариантов адаптации можно назвать внутригнездовую миграцию за теплом (днем под камнями, к вечеру спускаются в гнезда, где скапливается тепло).

Таким образом, мы сделали вывод: что колонии муравьев *L. acervorum* максимально адаптировались к низким температурам и недостатку теплых дней благодаря ряду адаптаций.

3. Заключение.

Практическая значимость. Вещества антифризы, вырабатываемые живыми объектами, могут позволить использовать в:

1. Фармацевтике, как влагоудерживающий компонент кремов, но при этом не вызывающий разрушений поверхностного слоя клеток при использовании в низких температурах (производство мыла, кремов, гелей, шампуней, масок и других косметических продуктов);
2. **Глицерин, участвующий в теплообмене в компьютерах, может использоваться для улучшения охлаждения.** Он может выступать посредником между радиатором процессора и воздухом;
3. **Использование** глицерина как криопротекторного средства при криоконсервации тканей (в трансплантации органов);
4. **Осмопротекторная роль глицерина** заключается в том, что он является цитопротекторным и нейтрализующим соединением, защищающим как макромолекулы, так и мембраны клетки в условиях повышенной минерализации, что можно использовать в биотехнологии как комплекс методов очистки вод, грунтов и атмосферы.

4. Список используемой литературы:

1. <http://antclub.ru/node/1269>
2. https://eor.dgu.ru/lectures_f/%D0%9D%D1%83%D1%80%D0%BC%D0%B0%D0%B3%D0%BE%D0%BC%D0%B5%D0%B4%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%9F.%D0%9C/project/p8aa1.html
3. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%90%D0%BD%D0%B0%D0%B4%D1%8B%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F_%D0%BD%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C
4. file:///C:/Users/%D0%9F%D0%BE%D0%BB%D1%8C%D0%B7%D0%BE%D0%B2%D0%B0%D1%82%D0%B5%D0%BB%D1%8C/Downloads/almanah_mir_bez_granic_n3.pdf
5. «Зимовка и холодоустойчивость муравьев на северо-востоке Азии» Д. И. Берман, А. В. Алфимов, З. А. Жигульская, А. Н. Лейрих;
6. Чукотка - мир без границ, выпуск №3, 2022. Альманах Отделения РГО в Чукотском АО и АНО Чукотский арктический научный центр «Результаты криологических исследований, проведенных школьниками на Чукотке», Уяганский К.К.;
7. Определитель насекомых Дальнего Востока. РАН ДО БПИ. Под ред. А.С. Лелея, 2011;
8. Ю.П. Баранова. К истории развития рельефа Нижнеанадырской низменности и окружающих ее гор в четвертичном периоде. Акад.наук СССР. СО. Геология и геофизика.



Рис. 1. Ландшафтное районирование Чукотки. Ландшафтные районы: АР – Арктический; ЗЧ – Западно-Чукотский; ВЧ – Восточно-Чукотский; АН – Анюйский; ОМ – Омолонский; ПС – Пенжинско-Среднеанадырский; НА – Нижнеанадырский; КО – Корякский

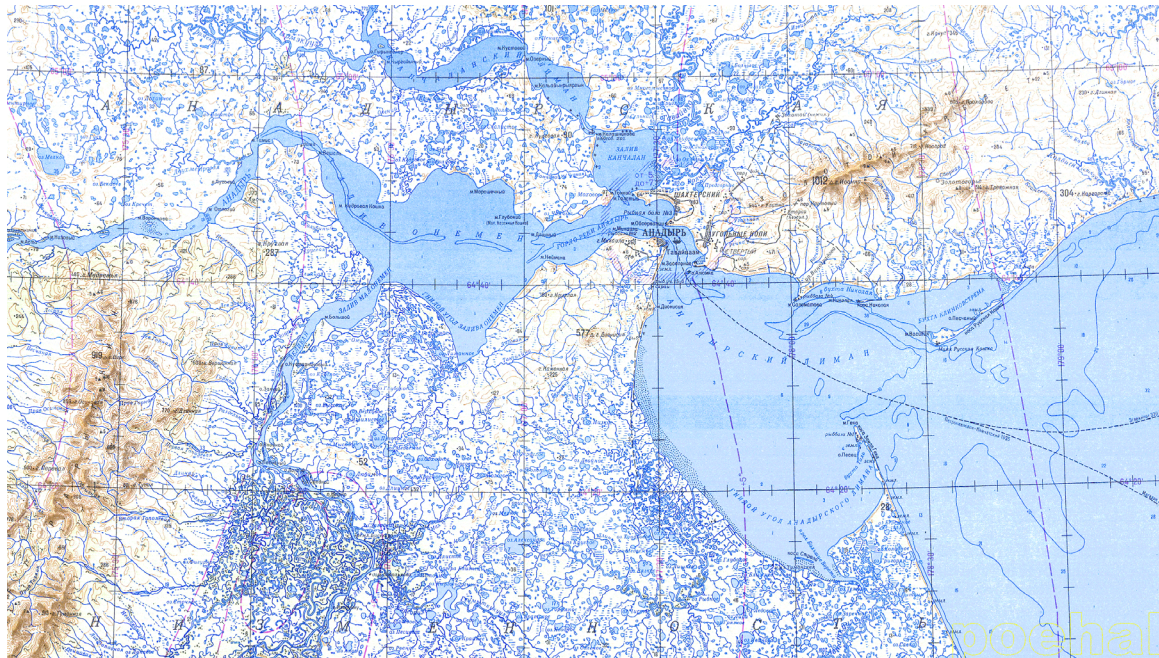


Рис 2. Нижнеанадырская низменность (карта)

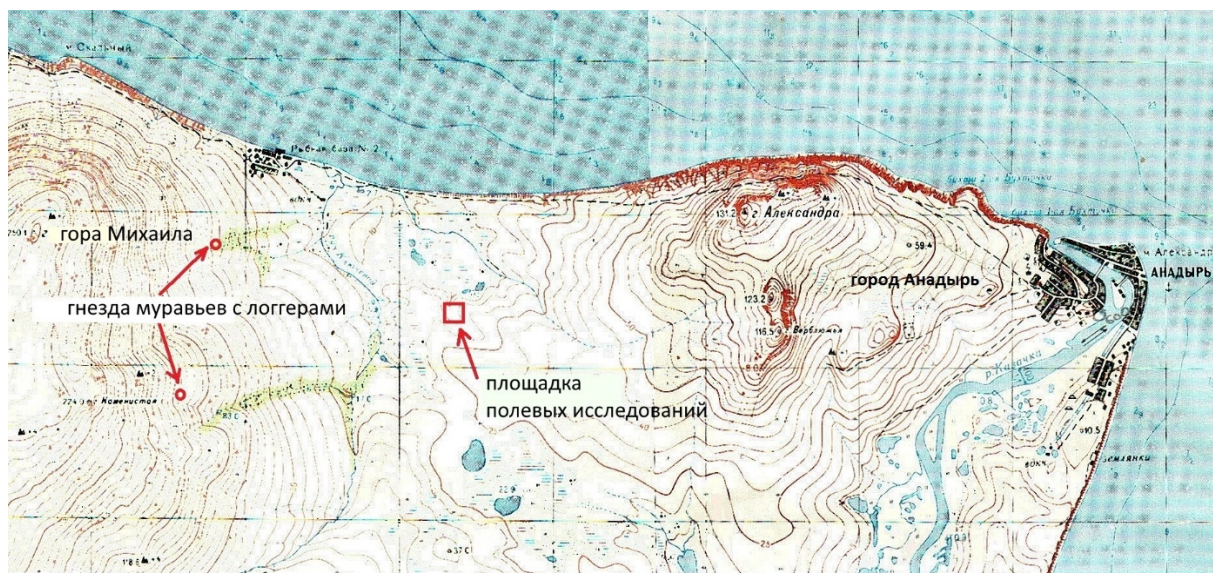


Рис.3 Карта полевых исследований



Рис. 4. *Leptothorax acervorum*

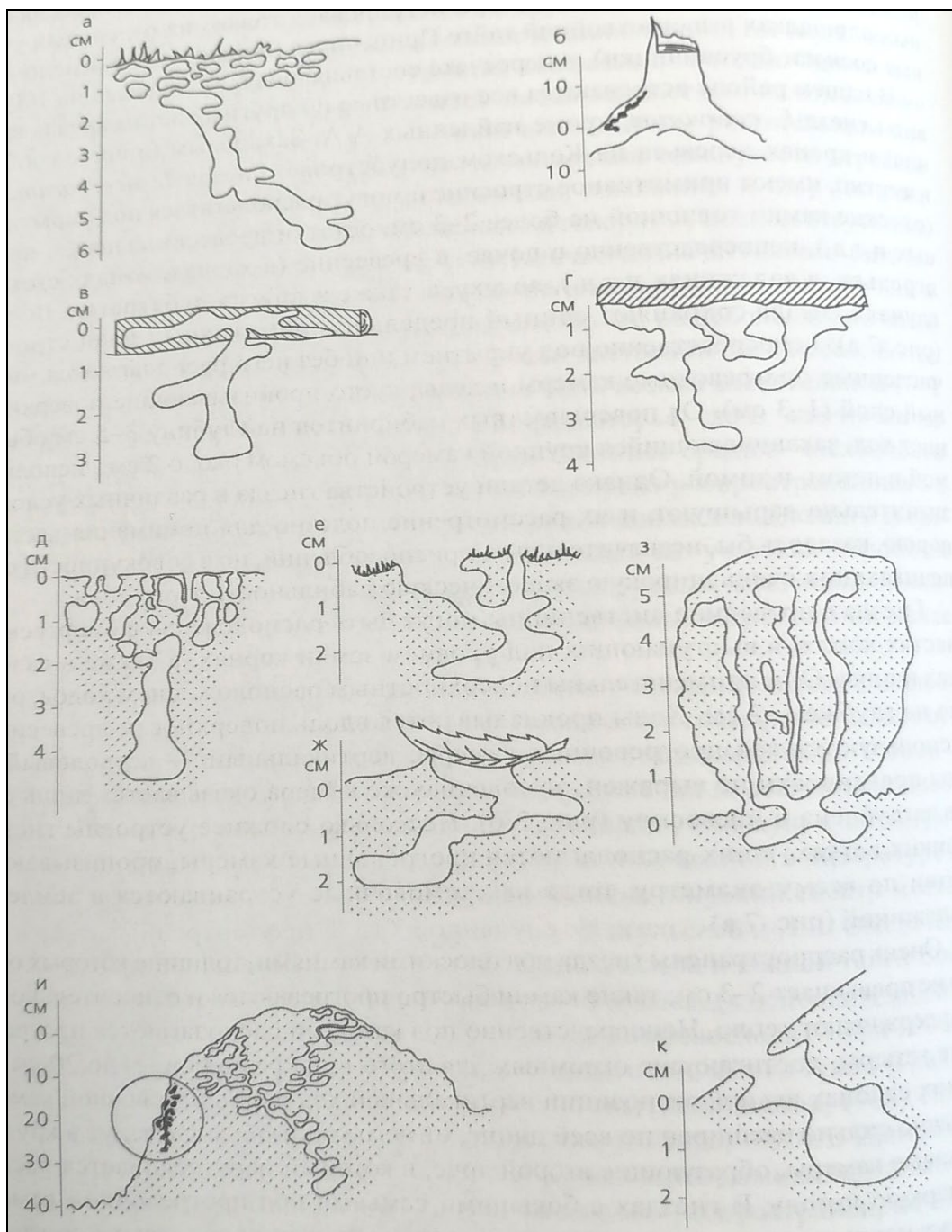


Рис. 5. Разрезы наиболее типичных гнезд *Leptothorax acervorum*.

Описание вида *Leptothorax acervorum*

Leptothorax acervorum (лат.) — вид мелких по размеру муравьёв из подсемейства Myrmicinae, семейства Formicidae. (Приложение 1. Рис. 2.)

Мелкие желтовато-бурые муравьи (2—4 мм). Семьи обитают в гнёздах, расположенных в подстилке, под камнями и в древесных остатках. Семьи малочисленные, состоят из 25 — 60 рабочих особей и одной или нескольких самок. Рабочие фуражируют одиночно, охотятся на мелких насекомых или собирают мёртвых членистоногих. Трофобиотические связи с тлями не отмечены. Неагрессивные муравьи. Крылатые самки и самцы появляются в гнёздах с июня по июль, летают и спариваются в июле.

Этот вид распространен в лесной зоне, лесном и субальпийском поясах гор Палеарктики [Рузский, 1905]; проникает за Полярный круг в подзону кустарниковых тундр [Дмитриенко, Петренко, 1965; Чернов, 1966, 1975]. На Северо-востоке обычен или многочислен в горно-лесных районах Охотского макросклона, бассейнов Анадыря, Колымы, Индигирки, Яны [Жигульская, Берман, 1975; Берман, Мордкович, 1979].

Интерес для понимания экологии этого вида представляют крайние точки находок *L. acervorum* по границе с тундровой зоной. В низовьях Колымы ученые находили его вплоть до урочища «Край леса» (правобережье примерно в 100 км ниже пос. Черский), т. е. еще в пределах предтундровых лиственничных редколесий; возможно, проникает на несколько десятков километров севернее. В. Г. Кривошеевым обнаружен в долине р. Чаун (бассейн Чаунской губы), на участке с крупными кустарниковыми ивами и ольхой, примерно в 10 км от побережья губы. **В бассейне Анадыря** встречен повсеместно от верховий реки Анадырь до Нижне-Анадырской низменности [Берман, Дорогой, 1993].

На горно-лесной территории Северо-востока встречается почти повсеместно. В среднегорье (900–1000 м) избегает лишь крайние варианты сухих, переувлажненных и сильно затененных биотопов. Сухие южные склоны, осыпи, осоковые болота и другие, заведомо не приемлемые для *L. acervorum* местообитания.

L. acervorum строит гнезда у самой поверхности почвы в слое 3–5 см. Из-за иссушения поверхностных горизонтов почвы *L. acervorum* практически отсутствует на степных участках, сухих злаковых лугах, щебнистых осыпях и в других подобных местообитаниях. Характерным примером переувлажненных местообитаний, где нет *L. acervorum*, могут служить осоковые, периодически заливаемые займища. Для поселения *L. acervorum* достаточно незначительного смягчения условий — муравьи обнаруживаются на опушках степных участков или в валежинах на осыпях, на буграх среди осоковых болот, на небольших полянах среди ерников, зарослей кедрового стланика или лиственничных лесов. Более того, численность гнезд в таких местах может быть весьма значительной (1–2 гнезда на 1 м²). В целом доля территорий в среднегорье, где *L. acervorum* не поселяется, очень мала.

На высоте 900–1100 м н. у. м. *L. acervorum* избегает северных склонов и плоских вершин хребтов; на западную и восточную плотность гнезд резко падает относительно таковой в низкогорье. По южным склонам поднимается до 1400 м.

Гнезда *L. acervorum*, как известно, имеют примитивное строение и могут располагаться под укрытиями (плоские камни толщиной не более 2–3 см, остатки древесины, помет животных и т.д. Гнезда имеют единый предельно примитивный план строения (Приложение 1, рис. 3.)

Непосредственно под укрытием располагаются многочисленные прогревочные камеры и ходы, густо пронизывающие поверхностный слой (1–3 см). От поверхностных лабиринтов на глубину 3–5 см обычно идет ход, заканчивающийся крупной камерой объемом около 2 см³, используемой и летом, и зимой.

Такое расположение гнезд обеспечивает быстрое прогревание и относительно долго удерживают тепло. На сухих склонах южной экспозиции вертикальный ход под прогревочной камерой обычно сильно расширен по всей длине; от него короткие ходы ведут в крупные боковые камеры, образующие второй ярус, в который перетаскивается расплод в жаркую погоду. В гнездах с большими семьями под прогревочной камерой могут находиться не один, а несколько вертикальных ходов, также со вторым ярусом прогревочных камер.

Преобладающий тип гнезд в конкретных биотопах зависит от многих факторов. **В местообитаниях с минеральным субстратом на поверхности муравьи предпочитают селиться под плоскими камнями**, а при их отсутствии – в остатках древесины. **С увеличением высоты местности гнезда чаще обнаруживаются под камнями, а в горной тундре – только под камнями.** В целом от долин к высокогорью, наряду с тенденцией к смене стадий [Бей-Биенко, 1966], наблюдается сокращение числа типов гнезд.

Приведенный обзор устройства гнезд показывает, что этот муравей в существенно различных экологических условиях, несмотря на примитивность конструкции гнезда, применяет обширный арсенал «строительных» приемов, в целом направленных на кондиционирование, в первую очередь термических условий, но при обязательном сохранении влажностных.

Краткое описание глицерола и его роль в клетках живых организмов

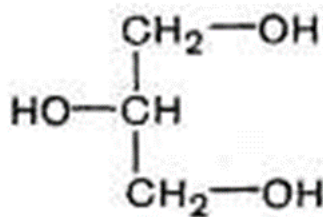
У ряда насекомых это белки-антифризы. Учёные выяснили, что муравьи вырабатывают **глицероль** $C_3H_5(OH)_3$ - вещество, по химическому составу близкое этиленгликолю, который входит во многие морозозащищенные массы и смеси.

Глицерол — это прозрачная, вязкая, гигроскопичная жидкость без цвета и запаха, сладкого вкуса.

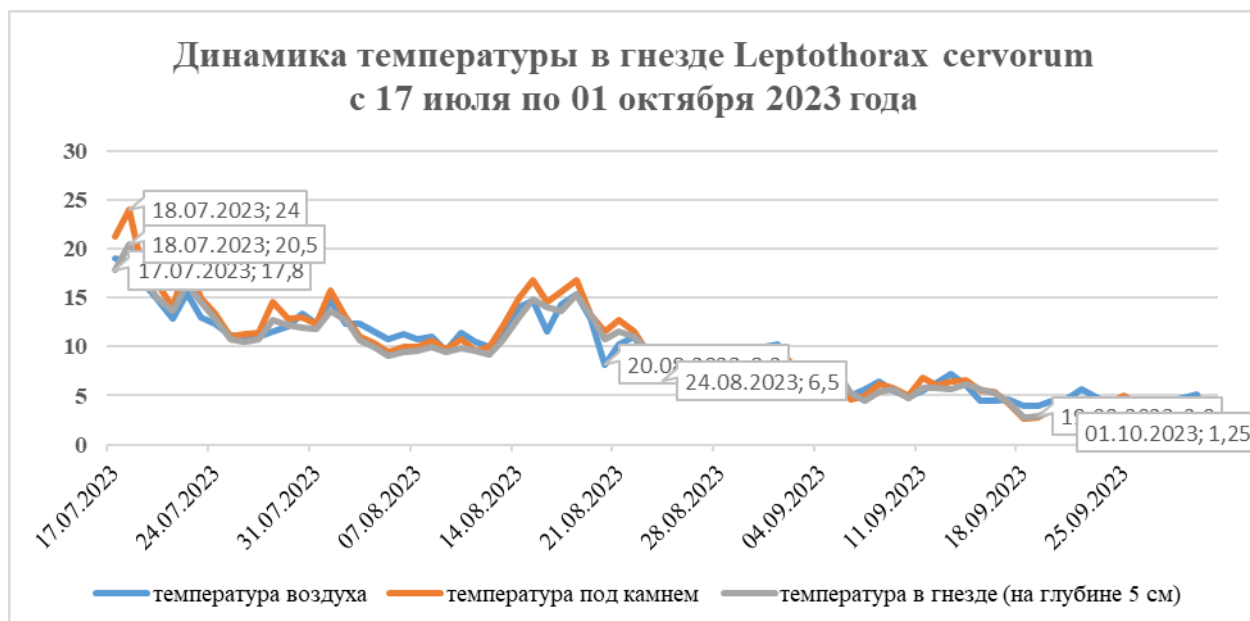
Значение глицерола в клетках заключается в том, что он является промежуточным веществом в метаболизме и структурным компонентом основных классов биологических липидов, триглицеридов и фосфолипидов.

Когда организм использует накопленный жир в качестве источника энергии, глицерин и жирные кислоты попадают в кровоток. Компонент глицерола может быть преобразован в глюкозу печенью и обеспечивает энергию для клеточного метаболизма. При недостатке глюкозы глицерин служит основным предшественником глюкозы в глюконеогенезе.

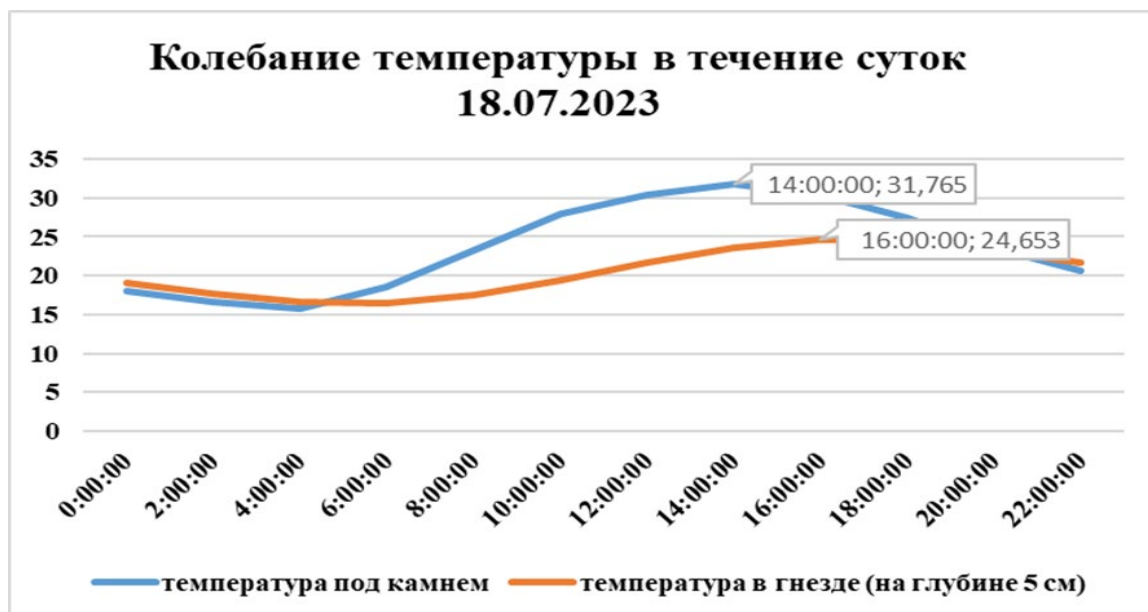
Также глицерин служит одним из субстратов для синтеза глицерол-3-фосфата, который участвует в биосинтезе триглицеридов, фосфолипидов, гликолизе и глюконеогенезе.



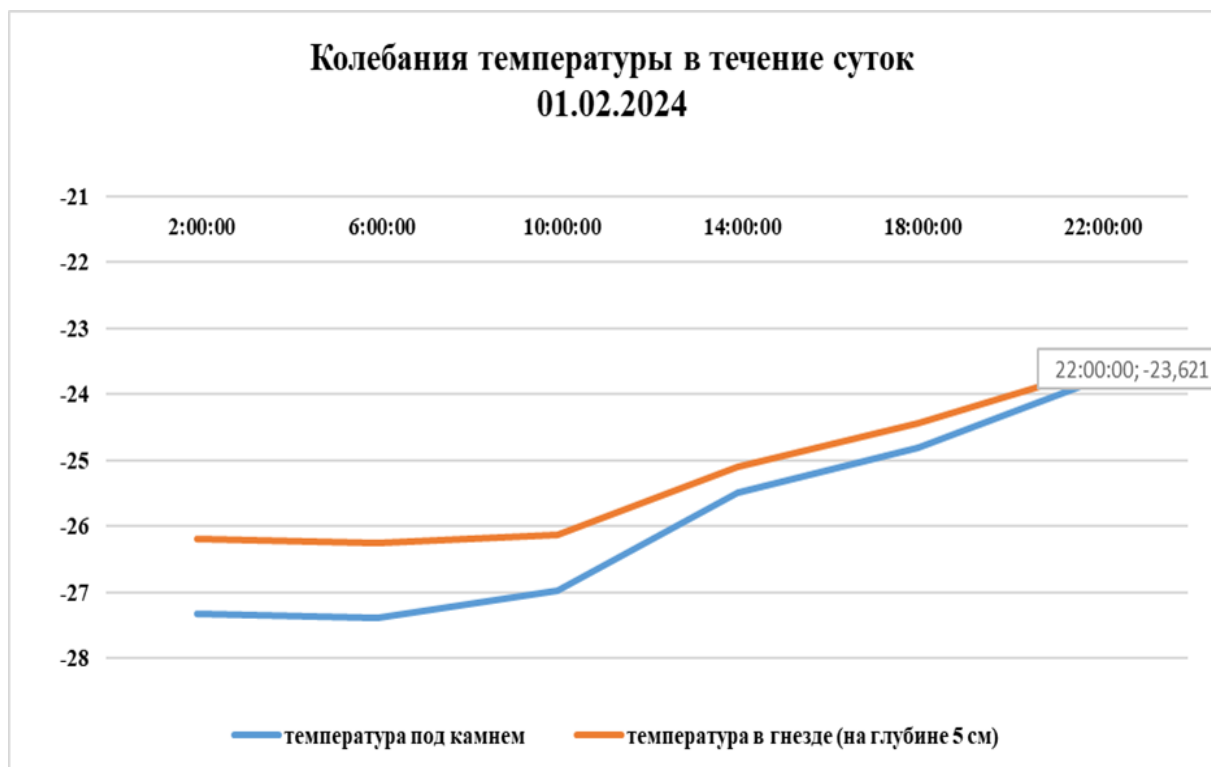
Глицерин (глицерол)



Суточное колебание температур в летний (теплый) период



Суточное колебание температур в зимний (холодный) период



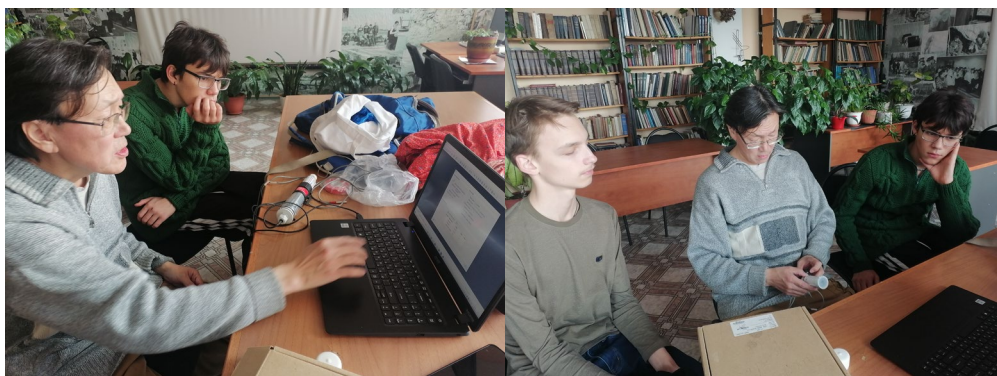


Фото 1-2. Ведущий инженер мерзлотовед СВКНИИ ДВО РАН К.К. Уяганский знакомит с методикой исследования.



Фото 3. Место расположения гнезд *L. acervorum*



Фото 4. Снятие показателей температур за летний период, перепрограммирование на зимний период 2023-2024 гг.



Фото 5. Процесс герметизации датчиков считывания температур.



Фото 6. Вход в гнездо *L. acervorum*