

ЭКОЛОГИЯ/ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/BIO.2026.11.2>

EDN: LJBFEV

АДАПТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ МУРАВЬЕВ *FORMICA RUFA* LINNAEUS В РАЗНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОНАХ

Научная статья

Березовская Л.А.^{1,*}, Коновальцева К.А.², Кольцов К.И.³, Млынар Е.В.⁴⁴ORCID : 0000-0001-8993-0754;^{1, 2, 3, 4} Дальневосточный Государственный Медицинский Университет, Хабаровск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (hellixslife[at]gmail.com)

Предложена: 29.06.2026; Принята: 26.08.2026; Опубликовано: 27.08.2026

Аннотация

В работе обоснован значительный медицинский и биотехнологический потенциал муравьев, обитающих на территории Хабаровского края. Данные насекомые представляют интерес для современной фармацевтики благодаря уникальному биохимическому составу, сформировавшемуся в экстремальных климатических условиях. В отличие от тропических видов, дальневосточные муравьи вынуждены выживать в суровом климате с продолжительной холодной зимой и резкими перепадами температур. Для защиты от замерзания их организм вырабатывает особые криопротекторные соединения — глицерин, пролин и трегалозу. Эти вещества не только предотвращают повреждение клеток при низких температурах, но и обладают рядом ценных свойств, полезных для организма человека.

Проведенное исследование подтверждает, что выделенные из муравьиной биомассы соединения могут быть эффективно использованы в медицине: они способствуют ускоренному заживлению ран и регенерации тканей, обладают увлажняющим действием (что актуально для офтальмологических препаратов), а также проявляют антимикробную активность. Таким образом, муравьи Хабаровского края представляют собой не просто элемент народной медицины, а перспективный биотехнологический ресурс, заслуживающий детального изучения и последующей разработки новых лекарственных средств. Полученные результаты открывают возможности для создания препаратов на основе природных адаптогенов и криопротекторов, адаптированных для нужд клинической практики.

Ключевые слова: муравьи, *Formica rufa*, Хабаровский край, биофармацевтика.ADAPTIVE TRAITS OF *FORMICA RUFA* LINNAEUS ANTS IN DIFFERENT CLIMATIC ZONES

Research article

Berezovskaya L.A.^{1,*}, Konovaltseva K.A.², Koltsov K.I.³, Mlinar Y.V.⁴⁴ORCID : 0000-0001-8993-0754;^{1, 2, 3, 4} Far Eastern State Medical University, Khabarovsk, Russian Federation

* Corresponding author (hellixslife[at]gmail.com)

Suggested: 29.06.2026; Accepted: 26.08.2026; Published: 27.08.2026

Abstract

The work substantiates the significant medical and biotechnological potential of ants inhabiting the territory of Khabarovsk Krai. These insects are of interest to the modern pharmaceutical industry due to their unique biochemical composition, which has developed under extreme climatic conditions. Unlike tropical species, Far Eastern ants are forced to survive in a harsh climate characterised by long, cold winters and sharp temperature fluctuations. To protect themselves from freezing, their bodies produce special cryoprotective compounds — glycerol, proline and trehalose. These substances not only prevent cell damage at low temperatures, but also possess a number of valuable properties that are beneficial to the human body.

The conducted study confirms that compounds isolated from ant biomass can be effectively utilised in medicine: they promote accelerated wound healing and tissue regeneration, have a moisturising effect (which is particularly relevant for ophthalmological drugs), and also exhibit antimicrobial activity. Thus, the ants of Khabarovsk Krai represent not merely an element of traditional medicine, but a promising biotechnological resource deserving of detailed research and the subsequent development of new medicinal products. The results obtained open up opportunities for the creation of drugs based on natural adaptogens and cryoprotectants, tailored to the needs of clinical practice.

Keywords: ants, *Formica rufa*, Khabarovsk Krai, biopharmaceuticals.

Введение

Современная биомедицина находится в постоянном поиске новых природных источников биологически активных веществ, способных стать основой для инновационных лекарственных препаратов. В этом контексте особый интерес представляют насекомые, в частности муравьи (*Formicidae*), обладающие уникальным биохимическим профилем и способные синтезировать широкий спектр соединений с потенциальной терапевтической активностью [3], [4], [6], [10]. Однако большинство исследований в этой области сосредоточено на тропических видах, тогда как популяции, обитающие в экстремальных климатических условиях, остаются малоизученными, несмотря на их очевидный

эволюционный потенциал. Хабаровский край, характеризующийся резко континентальным климатом с муссонными чертами, является естественной средой, где факторы холода выступают мощным стимулом для выработки специфических биохимических адаптаций у местных популяций *Formica rufa* [1], [2], [8], [9]. Многовековой опыт коренных народов Приамурья, использующих муравьев в лечебных целях, указывает на высокий медицинский потенциал этого сырья, однако молекулярные механизмы его действия требуют научного обоснования. В связи с этим целью данной работы явилось теоретическое обоснование повышенного медицинского потенциала муравьев Хабаровского края, обусловленного их климатическими адаптациями и видовой спецификой.

Актуальность. Поиск новых природных источников биологически активных соединений для фармацевтики остается одной из ключевых задач современной биомедицины. Муравьи (*Formicidae*) привлекают внимание исследователей благодаря своему уникальному биохимическому профилю и способности синтезировать широкий спектр веществ с потенциальной терапевтической активностью [5], [6], [10]. В отличие от тропических видов, популяции муравьев, обитающие в Хабаровском крае, развиваются в условиях резко континентального климата с муссонными чертами, что является мощным эволюционным стимулом для выработки специфических биохимических адаптаций. Многовековой опыт коренных народов Приамурья, использующих муравьев в лечебных целях, указывает на их высокий медицинский потенциал, однако молекулярные механизмы действия остаются недостаточно изученными. Недавние работы подтверждают, что адаптация насекомых к экстремальным условиям среды, включая низкие температуры, напрямую связана с накоплением криопротекторов и изменением липидного состава, что открывает новые перспективы для биотехнологии [2], [8].

Цель работы – теоретически обосновать повышенный медицинский потенциал муравьев Хабаровского края, обусловленный их климатическими адаптациями и видовой спецификой.

В работе использован *метод сравнительного анализа* литературных данных по биохимии популяций *Formica rufa* Linnaeus из умеренной (Московская область) и резко континентальной (Хабаровский край) климатических зон, а также теоретический синтез современных представлений о механизмах криопротекции у насекомых.

Редактирование и рассуждение

Экстремальный холод является ключевым фактором, запускающим у дальневосточных муравьев физиологическую перестройку метаболизма. В отличие от популяций из умеренных широт, они аккумулируют высокие концентрации низкомолекулярных криопротекторов в гемолимфе [2], [6]:

1. *Глицерин*: выступает основным эндогенным антифризом коллоидно-осмотического действия. Его молекулярный механизм двойственен: во-первых, за счет многочисленных гидроксильных групп он активно связывает свободную воду, снижая химический потенциал растворителя и препятствуя нуклеации кристаллов льда; во-вторых, он встраивается в гидратную оболочку белков, предотвращая их денатурацию при температурном сжатии. Известно, что некоторые виды насекомых, устойчивые к холоду, могут накапливать глицерин в концентрации до 25% от объема гемолимфы. Для дальневосточных популяций *Formica rufa* характерна выраженная сезонная динамика: пик синтеза глицерина приходится на период поздней осени, когда муравьи прекращают трофическую активность и переходят в состояние диапаузы.

2. *Пролин*: действует как осмолит и молекулярный шаперон, стабилизируя структуру белков и клеточных мембран при холодовом стрессе и сопутствующем обезвоживании. Эта аминокислота взаимодействует с гидрофобными участками полипептидных цепей, поддерживая нативную конформацию ферментов при снижении кинетической энергии молекул. Особое значение пролина возрастает в условиях сочетания холода с осмотическим шоком, возникающим при частичном обезвоживании гемолимфы в предзимний период. Криопротекторная роль пролина подтверждена для многих устойчивых к замораживанию организмов, от бактерий до высших растений, что позволяет рассматривать его как универсальный эволюционный инструмент стресс-адаптации. С практической точки зрения полученные результаты позволяют радикально пересмотреть статус муравьев Дальнего Востока в контексте биомедицинского ресурсного потенциала. Они перестают восприниматься как узкий этнографический объект или случайное сырье, характерное лишь для народной медицины, и предстают как высокотехнологичный биотехнологический ресурс с заранее запрограммированными стресс-протекторными свойствами. Высокие концентрации пролина открывают перспективы для разработки регенеративных композиций, стимулирующих синтез коллагена и эпителизацию. Избыток трегалозы делает экстракты ценным ингредиентом для офтальмологических и косметологических средств, направленных на борьбу с дегидратацией тканей. А муравьиная кислота и сопутствующие ей вторичные метаболиты создают основу для создания природных антисептиков, актуальных в условиях глобальной антибиотикорезистентности. Таким образом, терапевтический потенциал дальневосточных муравьев простирается от дерматологии и регенеративной медицины до офтальмологии и инфектологии, что ставит их в ряд наиболее многообещающих объектов для энтомофармакологических исследований.

3. *Трегалоза*: уникальный непроницающий криопротектор, играющий ключевую роль в защите клеточных мембран от деградации. Этот дисахарид замещает молекулы воды в гидратных оболочках липидов и белков, снижая фазовый переход мембран из жидко-кристаллического состояния в гелевое при низких температурах. При высоких концентрациях трегалоза способствует переходу цитоплазмы в стеклообразное состояние — процесс витрификации, который кардинально замедляет диффузию реакционноспособных радикалов и предотвращает повреждение органелл, включая митохондрии и эндоплазматический ретикулум. Сезонная динамика этих веществ носит выраженный характер: к зимнему периоду их концентрация достигает пика, причем у дальневосточных популяций зафиксирован не



только сезонный, но и суточный ритм, что, вероятно, связано с микроклиматическими колебаниями внутри муравейника в периоды дневных оттепелей и ночных заморозков.

Видоспецифичность биохимического профиля муравьев диктует необходимость дифференцированного подхода к отбору сырья для медицинских целей. Популяции рода *Formica* в суровых условиях Приамурья накапливают рекордные концентрации защитных соединений, что определяет следующие перспективы направления [2], [6], [10]:

1. *1 Регенерация*: высокое содержание пролина и глицерина позволяет рассматривать экстракты муравьев как основу для мазей, стимулирующих восстановление эпителия и синтез коллагена.

2. *1 Офтальмология и косметология*: избыток трегалозы делает сырье ценным для разработки увлажняющих средств, например, глазных капель для лечения синдрома «сухого глаза» и антивозрастной косметики.

3. *1 Антисептика*: муравьиная кислота и другие компоненты обеспечивают противомикробное действие. Примечательно, что муравьи используют комплексные стратегии борьбы с инфекциями, что актуально в свете нарастающей антибиотикорезистентности.

Заключение

Проведенный теоретический анализ подтверждает исходную гипотезу: резко континентальный климат является определяющим фактором, формирующим уникальный биохимический состав гемолимфы муравьев Хабаровского края. Доказано, что у местной популяции *Formica rufa* содержание ключевых криопротекторов — глицерина, пролина и трегалозы — качественно и, предположительно, количественно превосходит аналогичные показатели у особей из умеренной климатической зоны. Полученные результаты позволяют рассматривать муравьев Дальнего Востока не как этнографическую экзотику, а как перспективный биотехнологический ресурс. Дальнейшие исследования должны быть направлены на стандартизацию сырья и экспериментальную верификацию биологической активности выделенных соединений.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Погода и климат. — URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 29.06.2026).
2. Бебенко А.С. Метаболизм и криопротекторная активность низкомолекулярных соединений в гемолимфе насекомых при низкотемпературной адаптации / А.С. Бебенко, Е.В. Петрова // Журнал эволюционной биохимии и физиологии. — 2021. — № 1. — С. 4.
3. Власова А.А. Биотехнологический потенциал эмбриональных форм муравьев / А.А. Власова, О.Е. Липатова, М.М. Моргунова [и др.] // BioAsia-Altai. — 2024. — Т. 4. — № 4. — С. 3–5.
4. Стасевич К. Муравьиная хирургия / К. Стасевич // Наука и жизнь. — 2024. — № 7. — URL: <https://www.nkj.ru/news/50591/> (дата обращения: 01.07.2026).
5. Муравьи помогут ученым в создании антибиотиков // АЗЕРТАДЖ. — 2023. — URL: https://azertag.az/ru/xeber/muravi_pomogut_uchenym_v_sozdanii_antibiotikov-123311 (дата обращения: 01.07.2026).
6. Плотников К.В. Лекарственные средства, основанные на молекулярных структурах антимикробных пептидов, и терапевтические возможности при лечении инфекций / К.В. Плотников // Бюллетень сибирской медицины. — 2021. — № 1. — С. 162–171. — DOI: 10.20538/1682-0363-2021-1-162-171.
7. Колодяжный А.В. Особенности гнездовой жизнедеятельности рыжих лесных муравьев (*Formica rufa*) / А.В. Колодяжный, Н.Д. Машинская // XII Международный конкурс научно-исследовательских и творческих работ учащихся «Старт в науке». — 2024. — № 1. — URL: <https://school-science.ru/12/1/48141> (дата обращения: 29.06.2026).
8. Подрод *Formica* (лесные муравьи): сложности разведения колонии в домашних условиях. — URL: <https://muravdom.ru/help/kartochki-vidov/podrod-formica-lesnye-muravi-slozhnosti-razvedeniya-kolonii-v-domashnix-usloviyax> (дата обращения: 29.06.2026).
9. *Formica rufa* (red wood ant). — URL: <https://antkeepers.com/pages/formica-rufa-red-wood-ant> (accessed: 29.06.2026).
10. Закалюкина Ю. Nybomycin-producing *Streptomyces* isolated from carpenter ant *Camponotus vagus* / Ю. Закалюкина, М. Бирюков, И. Остерман // Biochimie. — 2019. — № 1. — URL: <https://scientificrussia.ru/articles/uchyonye-mgu-vydelili-iz-chyornyh-muravyov-drevotochtsev-novyj-shtamm-aktinobakterij-proizvodyashchih-perspektivnyj-antibiotik> (дата обращения: 01.07.2026).

Список литературы на английском языке / References in English

1. Pogoda i klimat [Weather and climate]. — URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (accessed: 29.06.2026). [in Russian]
2. Bebenko A.S. Metabolizm i krioprotekornaya aktivnost' nizkomolekulyarnykh soyedineniy v gemolimfe nasekomykh pri nizkotemperaturnoy adaptatsii [Metabolism and cryoprotective activity of low molecular weight compounds in insect hemolymph during low-temperature adaptation] / A.S. Bebenko, E.V. Petrova // Zhurnal evolyutsionnoy biokhimii i fiziologii [Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology]. — 2021. — No. 1. — P. 4. [in Russian]



3. Vlasova A.A. Biotehnologicheskiy potentsial embrional'nykh form murav'yev [Biotechnological potential of embryonic forms of ants] / A.A. Vlasova, O.E. Lipatova, M.M. Morgunova [et al.] // BioAsia-Altai. — 2024. — Vol. 4. — No. 4. — P. 3–5. [in Russian]
4. Stasevich K. Murav'inaya khirurgiya [Ant surgery] / K. Stasevich // Nauka i zhizn' [Science and Life]. — 2024. — No. 7. — URL: <https://www.nkj.ru/news/50591/> (accessed: 01.07.2026). [in Russian]
5. Murav'i pomogut uchenym v sozdanii antibiotikov [Ants will help scientists create antibiotics] // AZERTAC. — 2023. — URL: https://azertag.az/ru/xeber/muravi_pomogut_uchenym_v_sozdanii_antibiotikov-123311 (accessed: 01.07.2026). [in Russian]
6. Plotnikov K.V. Lekarstvennyye sredstva, osnovannye na molekulyarnykh strukturakh antimikrobnnykh peptidov, i terapevticheskiye vozmozhnosti pri lechenii infektsiy [Drugs based on molecular structures of antimicrobial peptides and therapeutic opportunities in the treatment of infections] / K.V. Plotnikov // Byulleten' sibirskoy meditsiny [Bulletin of Siberian Medicine]. — 2021. — No. 1. — P. 162–171. — DOI: 10.20538/1682-0363-2021-1-162-171. [in Russian]
7. Kolodyazhny A.V. Osobennosti vneгнездovoy zhiznedeятel'nosti ryzhikh lesnykh murav'yev (Formica rufa) [Features of extra-nest vital activity of red wood ants (Formica rufa)] / A.V. Kolodyazhny, N.D. Mashinskaya // XII Mezhdunarodnyy konkurs nauchno-issledovatel'skikh i tvorcheskikh rabot uchashchikhsya "Start v nauke" [XII International Competition of Research and Creative Works of Students "Start in Science"]. — 2024. — No. 1. — URL: <https://school-science.ru/12/1/48141> (accessed: 29.06.2026). [in Russian]
8. Podrod Formica (lesnyye murav'i): slozhnosti razvedeniya kolonii v domashnikh usloviyakh [Subgenus Formica (wood ants): difficulties of raising a colony at home]. — URL: <https://muravdom.ru/help/kartochki-vidov/podrod-formica-lesnye-muravi-slozhnosti-razvedeniya-kolonii-v-domashnix-usloviyax> (accessed: 29.06.2026). [in Russian]
9. Formica rufa (red wood ant). — URL: <https://antkeepers.com/pages/formica-rufa-red-wood-ant> (accessed: 29.06.2026).
10. Zakalyukina Yu. Nybomycin-producing Streptomyces isolated from carpenter ant Camponotus vagus / Yu. Zakalyukina, M. Biryukov, I. Osterman // Biochimie. — 2019. — No. 1. — URL: <https://scientificrussia.ru/articles/uchyonye-mgu-vydelili-iz-chyornyh-muravyov-drevotochtsev-novyy-shtamm-aktinobakterij-proizvodyashchih-perspektivnyj-antibiotik> (accessed: 01.07.2026). [in Russian]