Криосфера Земли, 2014, т. XVIII, № 2, с. 91–96 **http://www.izdatgeo.ru**

УДК 591.54; 551.34; 550.37

МУРАВЕЙНИКИ КАК ВОЗМОЖНЫЕ БИОИНДИКАТОРЫ ТАЛИКОВЫХ ЗОН

В.В. Оленченко

Институт нефтегазовой геологии и геофизики имени А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, пр. Акад. Коптюга, 3, Россия; OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

Представлены результаты изучения закономерностей размещения муравейников в областях развития многолетнемерзлых пород, полученные на основе геофизических исследований. Показано, что гнезда определенных видов муравьев располагаются на участках с пониженными значениями удельного электрического сопротивления и поляризуемости, характерными для таликовых зон. В условиях горной местности муравейники локализуются в зонах тектонических нарушений с прерывистой и островной мерзлотой. Выявленные закономерности могут быть использованы для выделения таликовых зон при геокриологическом картировании.

Муравейники, многолетнемерзлые породы, талик, удельное электрическое сопротивление, поляризуемость

ANTHILLS AS POSSIBLE BIOINDICATORS OF TALIK ZONES

V.V. Olenchenko

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS,
630090, Novosibirsk, pr. Akad. Koptyuga, 3, Russia; OlenchenkoVV@ipgg.sbras.ru

The results of studying the regularities of anthills in the permafrost, obtained from geophysical survey data are presented and discussed. It is demonstrated that the anthills of certain species of ants are located in areas with low resistivity and chargeability, typical of the talik zones. In the mountain permafrost areas the anthills are located within the zones of tectonic fault with discontinuous and sporadic permafrost. It is suggested that the areal distribution of anthills can be used in the permafrost mapping.

Anthills, permafrost, talik, resistivity, chargeability

ВВЕДЕНИЕ

Летом 2007 г. автор проводил учебную геофизическую практику со студентами Читинского государственного университета на полигоне, расположенном в области развития многолетнемерзлых пород (ММП). В задачу практической работы входили отработка методики измерений и определение электрофизических свойств мерзлых пород методом быстрых процессов вызванной поляризации [*Карасев, 2005*]. На одном из учебных профилей было зафиксировано понижение уровня удельного электрического сопротивления и поляризуемости геологической среды. При этом на местности не отмечалось каких-либо резких изменений в геоморфологии, указывающих на возможные изменения строения разреза, не было и явной смены фитоценоза. Единственной особенностью этого участка профиля являлось обилие крупных муравейников. Отмеченная аномалия геофизических параметров на локальном участке профиля говорила об изменении в строении геомерзлотного разреза, а совпадение в пространстве аномалии с колонией муравьев наводило на мысль об их возможной взаимосвязи.

Для выявления закономерностей в размещении муравейников в криолитозоне были проведены площадные электроразведочные геофизические исследования, результаты которых приведены ниже.

ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА РАБОТ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований находится в Забайкальском крае, в пределах Ивано-Арахлейской системы озер. В прибрежных лесах оз. Арахлей располагается охраняемый памятник природы “Муравейники Арахлея” [*Корсун, 2007*]. Он представляет собой колонии крупных (до нескольких десятков) муравейников высотой до 1,5 м и диаметром 3–5 м. Согласно определениям [*Радченко, 1993*], здесь муравейники строят муравьи вида *Formica aquilonia* (северный лесной муравей), распространенные в данном регионе. Район работ относится к зоне прерывистого типа распространения ММП с температурами –1...–3 °С [*Kotlyakov, 2002*].

Участок располагался на расстоянии 200–300 м от юго-восточного берега озера, на надпойменной террасе правобережья р. Грязнуха, впадающей в оз. Арахлей. Растительность представлена лиственнично-березовым лесом с редким подлес-

© В.В. Оленченко, 2014

ком из рододендрона даурского и шиповника. Верхняя часть разреза, вскрытая шурфами на глубину до 2 м, сложена озерно-аллювиальными песками мелко- и среднезернистыми. Кровля ММП залегает на глубинах 2,5–3,5 м. Глубина сезонного промерзания составляет 2,5–3,5 м, т. е. многолетнемерзлая толща относится к сливающемуся типу. В пределах участка геофизической съемки располагалось более десятка муравейников высотой 0,25–0,50 м, диаметром 1,0–1,5 м.

На участке была разбита сеть профилей длиной по 100 м (рис. 1). Расстояние между основными профилями № 1–3 составляло 25 м. Кроме того, разбиты два детализационных профиля 2+10 и 2–10 м. Топографическая привязка профилей наблюдения и муравейников осуществлялась с помощью GPS.

Для изучения особенностей площадного распространения ММП применяли симметричное электропрофилирование (СЭП) и метод быстрых процессов вызванной поляризации (БВП). Работы методом СЭП проводили установкой A12.5M5N12.5B с применением аппаратуры ЭРА-МАКС. Измерения параметров БВП осуществлялись аппаратурой С-013 [*Карасев, 2005*] установкой N5M5A50B. Разносы установок были выбраны таким образом, чтобы глубинность исследований составляла 5–7 м, т. е. превышала глубину сезонного промерзания. Измерения методом СЭП выполнены на всей площади исследований, а методом БВП проведены детализационные работы на профилях 2–10, 2, 2+10 м. Шаг измерений по профилям составлял 2,5 м.

По результатам измерений рассчитаны кажущееся удельное электрическое сопротивление ($\rho_к$), кажущаяся поляризуемость ($\eta_к$) на временной задержке 0,1 мс и построены карты распределения этих параметров по площади.

В основе геологической интерпретации электроразведочных данных лежит различие в удельном электрическом сопротивлении (УЭС) мерзлых и талых горных пород. Хотя мерзлые породы обычно выделяются повышенным УЭС по отношению к талым, возрастание УЭС горных пород может быть вызвано и другими причинами, например, увеличением крупности дисперсных грунтов или понижением влажности. Для большей однозначности интерпретации данных СЭП использовалась поляризуемость. Как известно, мерзлые осадочные породы нередко обладают повышенной поляризуемостью [*Кожевников и др., 1995; Шестернев, 2003*]. Поэтому совпадающие в пространстве аномалии повышенного УЭС и поляризуемости интерпретируются именно как мерзлые породы.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На рис. 1, *а* приведен план изолиний кажущегося УЭС. В центральной части измеренной площади выделяется изометричная аномалия повы-

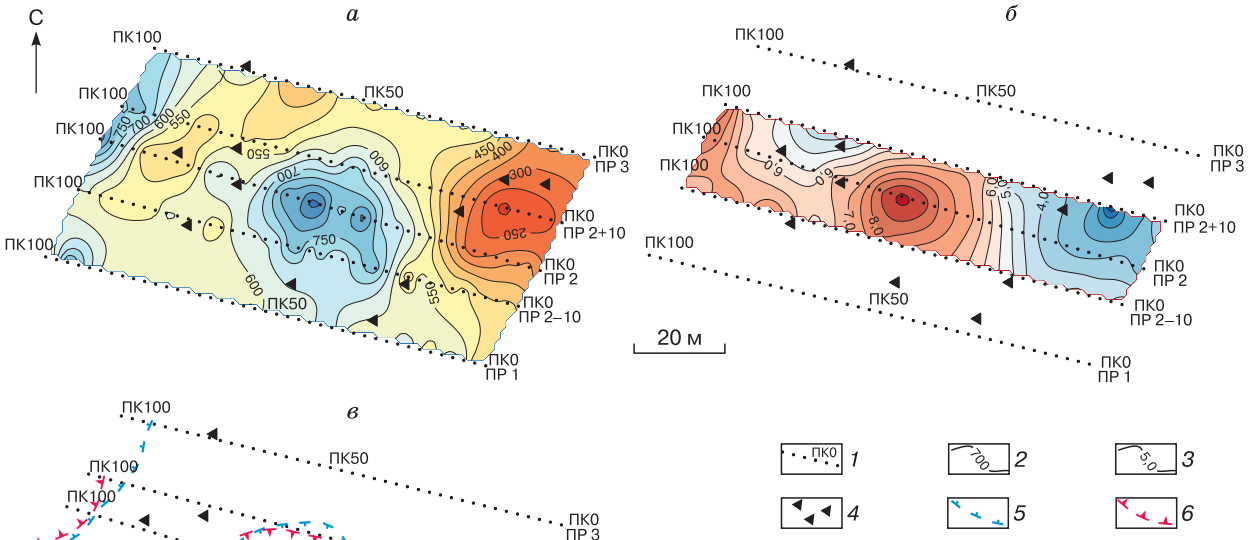

Рис. 1. Результаты площадных геофизических исследований:

а – план изолиний кажущегося УЭС по данным СЭП; *б* – план изолиний кажущейся поляризуемости по данным БВП; *в* – контуры геофизических аномалий и схема расположения муравейников; *1* – геофизические профили и пикеты; *2* – изолинии кажущегося УЭС, Ом·м; *3* – изолинии поляризуемости (t = 0,1 мс), %; *4* – муравейники; *5* – контуры аномалии повышенного УЭС; *6* – контуры аномалии повышенной поляризуемости.

шенных значений $\rho_к$ – до 900 Ом·м на фоне 300–500 Ом·м. В северо-восточной части участка также отмечается возрастание $\rho_к$. Предполагается, что аномалии кажущегося УЭС вызваны многолетнемерзлыми породами, имеющими меньшую глубину залегания, чем на остальной площади.

Анализ плана изолиний поляризуемости (см. рис. 1, *б*) показывает, что аномалии повышенного УЭС, описанные ранее, пространственно совпадают с аномалиями повышенной поляризуемости пород. В центральной и северо-восточной частях площадки поляризуемость пород достигает 7–9 % на фоне 3–5 %. Таким образом, имеются основания предполагать, что комплексные аномалии $\rho_к$ и $\eta_к$ вызваны влиянием ММП.

При сопоставлении плана расположения муравейников с контурами геофизических аномалий (см. рис. 1, *в*) можно заметить, что муравейники находятся на участках с пониженными значениями $\rho_к$ и $\eta_к$. По-видимому, на этих участках кровля ММП залегает несколько глубже, что может быть связано с существованием надмерзлотных таликов [*Мерзлотоведение..., 1981*].

В качестве еще одного примера взаимосвязи морфологии мерзлой толщи с расположением гнезд муравьев приведем результаты наблюдений, выполненных автором в 2012 г. при изучении горной мерзлоты Алтая геофизическими методами. На рис. 2 представлен фрагмент геоэлектрического разреза, построенного по данным электротомографии вдоль профиля, расположенного на склоне Курайского хребта. В этом месте профиль пересекает одно из тектонических нарушений Курайской зоны разломов, активных в настоящее время [*Дельво и др., 1995*]. Хотя присутствие мерзлоты здесь обусловлено высотной поясностью, местные локальные факторы (экспозиция и крутизна склона, тектоника) влияют на строение ММП. Косвенные признаки влияния тектонических событий на строение мерзлой толщи в Горном Алтае приведены в работе [*Оленченко и др., 2011*]. По данным электрических зондирований, мощность мерзлоты на склоне хребта составляет 15–25 м. На интервале профиля 200–1000 м разрез характеризуется высоким УЭС (более 3000 Ом·м), и лишь в приповерхностной части выделяется тонкий сезонноталый слой с сопротивлением 300–500 Ом·м. Далее по профилю и ниже по гипсометрическому уровню характер геоэлектрического разреза меняется. На пикете 1260 м на разрезе проявляется субвертикальная аномалия пониженного сопротивления, интерпретируемая как тектоническое нарушение, в пределах которого, вероятно, отсутствуют мерзлые породы. В интервале 1200–2200 м общий уровень УЭС понижается до 800–2000 Ом·м, в разрезе выделяются локальные аномалии повышенного УЭС и области низких сопротивлений, интерпретируемые как прерывистая или островная многолетнемерзлая толща.

В интервале профиля 1505–1560 м на высоте 2250 м обнаружена колония муравьев, строящих крупные (диаметром 0,3–1,0 м) гнезда купольного типа из песчинок и обломков стеблей растений. Согласно определениям, выполненным в Институте систематики и экологии животных СО РАН Т.А. Новгородовой, эти муравьи относятся к виду *Formica exsecta*. Отличительной особенностью участка профиля с муравейниками является повышенная мощность приповерхностного слоя низкого сопротивления. Непосредственно под колонией муравьев в разрезе выделяется аномалия пониженного УЭС, что говорит о талом состоянии грунтов в основании колонии муравьев. Еще одна колония встречена на интервале профиля 1900–1990 м, где также отмечается повышенная мощность приповерхностного слоя низкого УЭС.

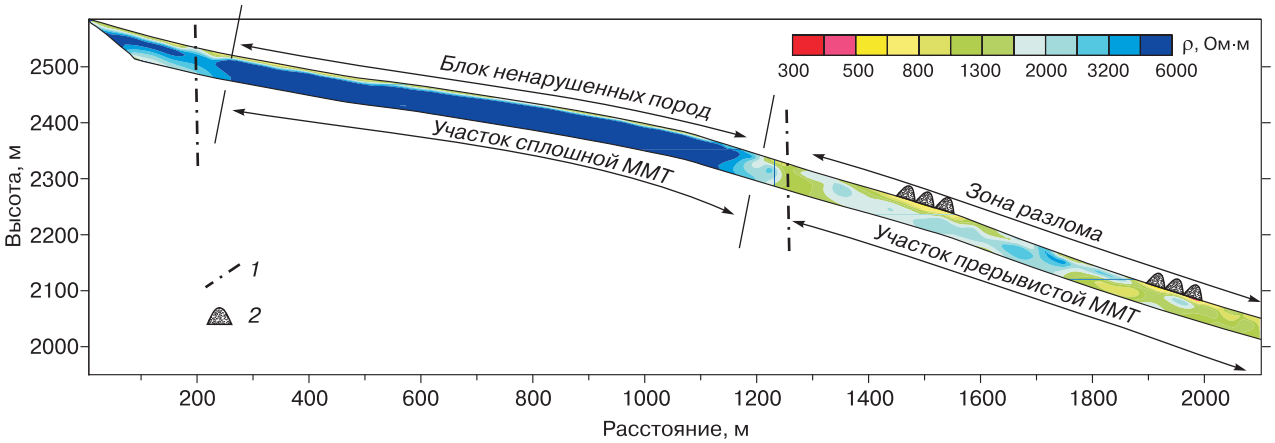

Рис. 2. Фрагмент геоэлектрического разреза по склону Курайского хребта по данным электротомографии.

1 – границы геоблоков по тектоническим нарушениям; *2* – гнезда муравьев купольного типа.

Таким образом, установлено, что в условиях горной мерзлоты муравейники локализуются в пределах зоны тектонического нарушения, к которой приурочена многолетнемерзлая толща предположительно прерывистого или островного распространения. Особенностью геоэлектрического разреза в области колонии муравьев является повышение мощности слоя низкого УЭС в приповерхностной части разреза. Это связано с возрастанием мощности элювия в зоне дробления. По-видимому, хорошо дренирующие элювиальные грунты являются благоприятным местом для устройства гнезд муравьев. В области сплошного распространения ММП альпийского типа на высоте 2355–2575 м тонкий приповерхностный слой низкого УЭС представлен переувлажненными грунтами маломощного сезонноталого слоя, т. е. неблагоприятной средой для гнездования муравьев данного вида.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Результаты геофизических исследований и натурных наблюдений свидетельствуют о возможной связи между пространственным расположением муравейников и морфологией многолетнемерзлой толщи. По крайней мере мы увидели это с помощью геофизических методов на примере гнезд *Formica aquilonia* в Забайкалье и гнезд муравьев *Formica exsecta* в Горном Алтае. Сопоставим карту развития многолетнемерзлых пород [*Мерзлотоведение..., 1981*] и карту географического распространения муравьев вида *Formica aquilonia* [*Длусский, 1967; Купянская, 1990; Радченко, 1993; Берман, 2007; Сейма, 2008*] для территории России (рис. 3). Нетрудно заметить, что точки нахождения вида *F. aquilonia* тяготеют к южной границе распространения ММП и чаще встречаются в зонах их островного распространения. В европейской части России вид *F. aquilonia* найден в Ленинградской области, к югу от Москвы и в Курском заповеднике, на этой территории в плейстоцене были развиты мерзлые толщи островного типа, протаявшие в голоцене полностью [*Мерзлотоведение..., 1981*]. Единственная находка *F. aquilonia* в области сплошного распространения ММП сделана в окрестностях Якутска, однако известно, что на этой территории развиты многочисленные таликовые зоны. Отмечается, что *F. aquilonia* более холодолюбивый вид, чем его сородичи *Formica polyctena* (малый лесной муравей) и *Formica rufa* (рыжий лесной муравей) [*Длусский, 1967*].

Из вышеизложенного вытекает вывод, что расположение гнезд некоторых разновидностей муравьев (в данном случае *F. aquilonia*) тяготеет к областям развития ММП островного типа с таликами различного генезиса.

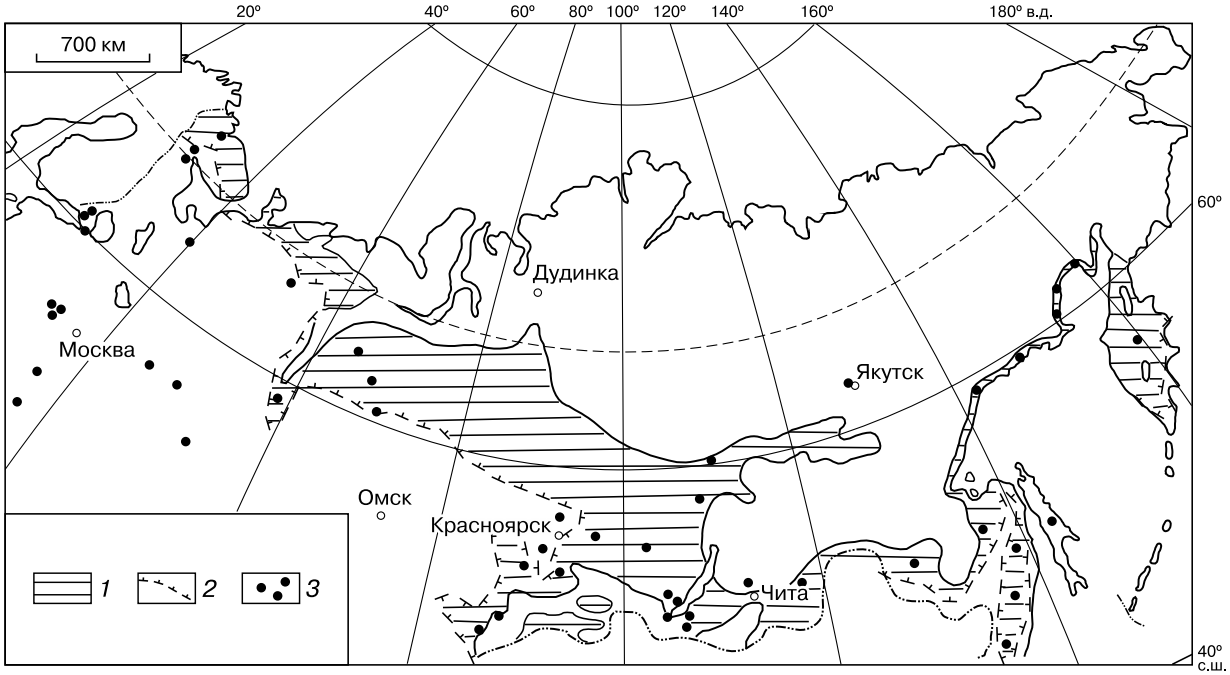

Рис. 3. Географическое распространение муравьев *Formica aquilonia* **[*Длусский, 1967; Купянская, 1990; Радченко, 1993; Берман, 2007; Сейма, 2008*] и карта многолетнемерзлой толщи [*Мерзлотоведение..., 1981*]:**

1 – зона редкоостровного, островного и массивно-островного распространения ММП; *2* – южная граница криолитозоны; *3* – районы нахождения вида *Formica aquilonia*.

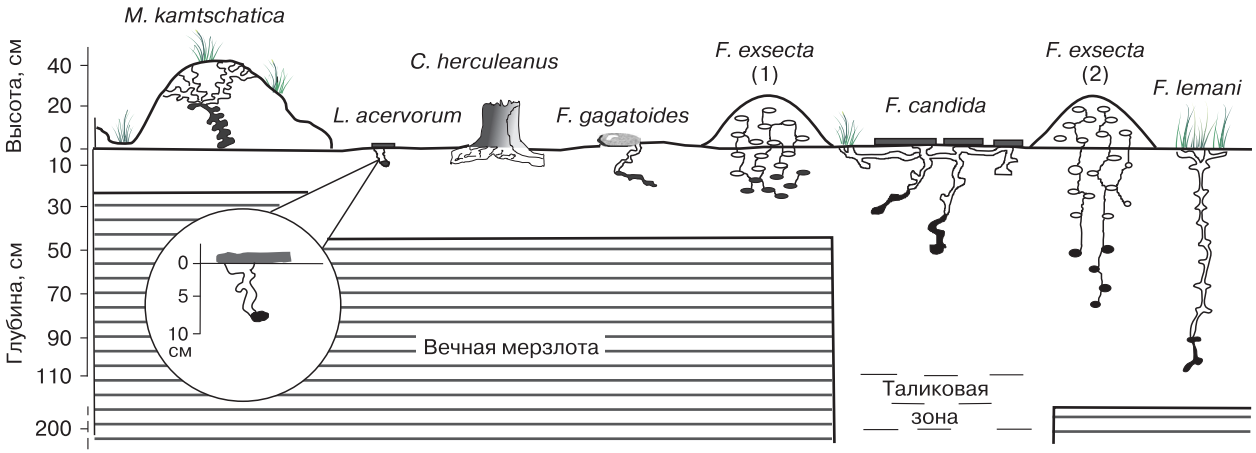

Рис. 4. Схема устройства гнезд некоторых видов муравьев в криолитозоне [*Берман, 2007*].

Д.И. Берман с коллегами установили, что “на севере представители рода *Formica* (кроме полярного муравья) ютятся в занимающих незначительную часть разного рода глубоко протаивающих биотопах, в которых можно в буквальном смысле поглубже закопаться и таким путем уйти от низких зимних температур” [*Берман, 2007, с. 20*]. Наряду с глубоко протаивающими биотопами (склоны южной экспозиции, прогреваемые положительные формы рельефа) муравьи быстро осваивают и вновь возникающие радиационно-тепловые талики на участках с антропогенно нарушенными условиями теплообмена. Замечено появление гнезд *Formica lemani* в верховьях р. Колыма на участках разворота гусеничного транспорта, на вырубках и горных полигонах, а также вдоль кюветов заброшенных проселочных дорог [*Жигульская, 2013*].

На рис. 4 представлена схема устройства гнезд некоторых видов муравьев в криолитозоне. Определенные виды муравьев строят гнезда только в местах глубокого протаивания или над сквозными таликами. Очевидно, муравейники таких видов муравьев можно использовать в качестве биомаркеров для картирования таликовых зон в областях распространения ММП. В работе [*Берман, 2007*] отмечено, что *F. lemani* никогда не встречается на территориях с близко залегающей “водоупорной мерзлотой”, которая и служит главным фактором, ограничивающим распространение этого вида муравьев. В то же время на побережье Охотского моря, в области прерывистого типа ММП, данный вид встречается очень широко. Наличие мерзлоты в разрезе никак не сказывается на биотопическом распределении лишь тех видов, которые располагают гнезда вблизи поверхности. К таким видам относятся полярный муравей, а также *Camponotus herculeanus* и *Leptothorax acervorum*. Следовательно, особенности расположения гнезд этих видов муравьев не несут информации о строении мерзлой толщи, в то время как гнезда некоторых видов муравьев рода *Formica* (например, *F. aquilonia*, *F. exsecta*) могут служить биомаркерами таликов.

ВЫВОДЫ

В результате полевых геофизических исследований и натурных наблюдений установлено, что некоторые виды муравьев (в частности, *F. aquilonia* и *F. exsecta*) строят гнезда на участках с пониженным удельным электрическим сопротивлением и поляризуемостью, характерными для таликовых зон.

В условиях горной мерзлоты таликовые зоны зачастую приурочены к зонам тектонических нарушений, выделяющимся на геоэлектрических разрезах участками с пониженным УЭС и прерывистым или островным характером распространения слоя высокого сопротивления (ММП). В пределах таких зон отмечаются многочисленные крупные (диаметром 0,3–1,0 м) муравьиные гнезда купольного типа.

Скопление крупных гнезд муравьев на участках, характеризующихся пониженными УЭС в плане и разрезе, является закономерностью, выявленной в условиях многолетнемерзлых пород континентального (Забайкалье) и альпийского (Горный Алтай) типов.

Анализ литературных источников подтвердил, что некоторые муравьи рода *Formica* предпочитают строить гнезда на участках с глубоко протаивающей мерзлой толщей либо над надмерзлотными или сквозными таликами. Хотя этот факт был известен, до настоящего времени практического применения он не находил. Несомненно, закономерности размещения муравейников в областях развития ММП можно использовать в комплексе с другими признаками для картирования таликовых зон при геокриологических исследова-

ниях. Для этого необходимо установить наиболее характерные и легко определяемые отличительные признаки тех или иных видов муравьев, живущих в разных биотопах областей развития многолетнемерзлой толщи.

Литература

Берман Д.И. Экология животных северо-восточной Азии и реконструкция плейстоценовых ландшафтов Берингии: Дис. ... д-ра биол. наук. М., 2007, 56 с.

Дельво Д., Тениссен К., Ван-дер-Мейер Р., Берзин Н.А. Динамика формирования и палеостресс при образовании Чуйско-Курайской депрессии Горного Алтая: тектонический и климатический контроль // Геология и геофизика, 1995, т. 36, № 10, с. 31–35.

Длусский Г.М. Муравьи рода Формика (Hymenoptera, Formicidae, G. Formica) // Биология, практическое значение и использование, таблицы для определения видов, распространенных в СССР. М., Наука, 1967, 236 с.

Жигульская З.А. Расширение спектра биотопов, населяемых муравьями *Formica lemani* в верховьях Колымы, при изменившихся условиях зимовки // Муравьи и защита леса: Материалы XIV Всерос. мирмекологического симпозиума (Москва, 19–23 авг. 2013 г.). М., Т-во науч. изд. КМК, 2013, с. 68–71.

Карасев А.П. Быстрые переходные процессы вызванной поляризации / А.П. Карасев, А.Б. Птицын, Е.Ю. Юдицких. Новосибирск, Наука, 2005, 291 с.

Кожевников Н.О., Никифоров С.П., Снопков С.В. Исследование быстропротекающих процессов вызванной поляризации в мерзлых породах // Геоэкология, 1995, № 2, с. 118–126.

Корсун О.В. О локализации регионального памятника природы “Муравейники Арахлея” (Читинская область) // Материалы Междунар. конф. “Природоохранное сотрудничество Читинской области (Российская Федерация) и автономного района Внутренняя Монголия (КНР) в трансграничных экологических регионах (Чита, 29–31 окт. 2007 г.). Чита, Изд-во ЗабГГПУ, 2007, с. 190–193.

Купянская А.Н. Муравьи Дальнего Востока СССР / А.Н. Купянская. Владивосток, ДВО АН СССР, 1990, 260 с.

Мерзлотоведение (краткий курс) / Под ред. В.А. Кудрявцева. М., Изд-во Моск. ун-та, 1981, 240 с.

Оленченко В.В., Кожевников Н.О., Антонов Е.Ю. и др. Распространение толщи мерзлых пород в Чуйской впадине (Горный Алтай) по данным электромагнитных зондирований // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 1, с. 15–22.

Радченко А.Г. Муравьи (Hymenoptera, Formicidae) Даурского государственного заповедника и сопредельных территорий // Насекомые Даурии и сопредельных территорий. М., 1993, вып. 1, с. 77–82.

Сейма Ф.А. Структура населения муравьев / Ф.А. Сейма. Пермь, Перм. ун-т, 2008, 166 с.

Шестернев Д.М. Исследование криолитозоны методом РСВП / Д.М. Шестернев, А.П. Карасев, В.В. Оленченко. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2003, 238 с.

Kotlyakov V., Khromova T. Land Resources of Russia – Maps of Permafrost and Ground Ice. Boulder, Colorado USA: National Snow and Ice Data Center. 2002. [Электронный ресурс]. URL: http://nsidc.org (дата обращения: 08.10.2012).

Поступила в редакцию
6 февраля 2013 г.