

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ**

**Государственное научно-производственное объединение  
«НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ ЦЕНТР НАН БЕЛАРУСИ ПО БИОРЕСУРСАМ»**

# **ПРИРОДНАЯ СРЕДА АНТАРКТИКИ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕННОСТИ**

**Материалы  
II Международной научно-практической конференции**

*(пос. Нарочь, Республика Беларусь, 18–21 мая 2016 г.)*

Минск  
«Конфидо»  
2016

УДК [502.175+910.4](292.3)(082)  
ББК 20.18(00)я43  
П77

**Организационный комитет конференции:**

*В.Е. Мямин* (председатель), *О.И. Бородин* (сопредседатель),  
*В.Г. Левашкевич* (сопредседатель), *Ю.Г. Гигиняк* (сопредседатель),  
*А.А. Гайдашов* (сопредседатель), *В.П. Курченко*, *Т.В. Жукова*, *Л.Н. Валентович*,  
*А.В. Сидоренко*, *Е.М. Сетракова*, *М.И. Чернявская*

П77 **Природная среда Антарктики: современное состояние изученности : матер.**  
II Междунар. науч.-прак. конф. (пос. Нарочь, Республика Беларусь, 18–21 мая  
2016 г.) / ред. совет. : В.Е. Мямин [и др.] – Минск : Конфидо, 2016. – 387 с.  
ISBN 978-985-6777-83-0.

В сборнике представлены результаты многолетних исследований природной среды Антарктики отечественными и зарубежными исследователями. Приведен краткий исторический обзор, современные аспекты деятельности, основные достижения национальных антарктических экспедиций и перспективы дальнейшей работы. Научные статьи касаются климата Антарктиды, геологии, геофизики, биологии, гляциологии, медицины и других дисциплин.

Сборник рассчитан на научных работников, специалистов в области наук о Земле и читателей, интересующихся исследованиями Антарктики.

УДК [502.175+910.4](292.3)(082)  
ББК 20.18(00)я43

**ISBN 978-985-6777-83-0**

© ГНПО «Научно-практический центр  
НАН Беларуси по биоресурсам», 2016

## ПОЧВОПОДОБНЫЕ ЭНДОЛИТНЫЕ И ГИПОЛИТНЫЕ СИСТЕМЫ В ОАЗИСАХ ВОСТОЧНОЙ АНТАРКТИКИ

**Н.С. Мергелов, И.Г. Шоркунов, А.В. Долгих, Э.П. Зазовская, В.А. Шишков,  
С.В. Горячкин**

*Институт географии РАН, Москва, mergelov@igras.ru*

Эндолитные и гиполитные биокосные системы часто не осознаются в качестве почвоподобных образований. Вместе с тем они являются предшественниками более развитых почвенных тел или единственными равновесными с внешними факторами почвоподобными системами в некоторых районах планеты с экстремальными условиями, например в холодных криптогамных пустошах Восточной Антарктики. При различных внешних стрессах развитие биоты на дневной поверхности пород в Антарктике угнетается. Организмы находят свою экологическую нишу внутри скал (эндолиты) или под каменными мостовыми (гиполиты) [1, 2, 4]. Доминирующей автотрофной компонентой таких биотических комплексов являются цианобактерии и зеленые водоросли, существующие преимущественно в виде биопленок. Они способны к первичной продукции органического вещества при ограниченных уровнях освещенности, например, в приповерхностных слоях гранитов, гнейсов и песчаников, где присутствуют полупрозрачные кварц и полевые шпаты.

Доклад объединяет материалы авторов по эндолитным и гиполитным системам в оазисах холмы Ларсеманн, холмы Тала и Ширмахера в Восточной Антарктике. Следующие факторы определяют формирование и пространственное распределение гипо/эндолитных почвоподобных тел в данных оазисах (приведены по степени убывания значимости по каждой категории).

*Микроклимат:* влажность субстрата более 1 %, выпадение росы, изморози; скорость ветра ниже порога перемещения прикрепленного к породе органогенного материала; инсоляционный разогрев поверхности.

*Порода:* наличие полупрозрачных зерен кварца и полевых шпатов и системы трещин размером более 1 микрона; надежность защиты от ультрафиолета А и В при доступности фотосинтетически активного излучения хотя бы на уровне 1 % от достигающего дневной поверхности.

*Рельеф:* на рыхлых отложениях – аккумулятивные позиции, накапливающие влагу и защищающие от ветра – днища долин и наскальные ванны; на скальных обнажениях – освещенные экспозиции и экспозиции, способствующие снегозадержанию.

*Биота и время:* организмы с выраженными пойкилогидрическими свойствами; жизненный цикл – один день и более для микробных фотоавтотрофов и две недели и более для криптогамных организмов

в гиполитных и эндолитных нишах; освобождение поверхности от снега и льда как минимум на 1–14 дней в сезон.

Климатическая экстремальность в первую очередь определяет особые экологические ниши для биотических комплексов, что приводит к формированию новых пространственных структур биокосных систем и новых типов вертикальной анизотропности почвенных/почвоподобных тел в оазисах. Экстремумы климатических параметров (недостаток влаги, ультрафиолет А и В, ветер) блокируют первичную продукцию органического вещества и образование органогенных горизонтов на поверхности рыхлых и скальных субстратов. Снижение климатической экстремальности происходит благодаря литогенному фактору (укрытие от ветра и иссушения, кварцполевошпатовый УФ-фильтр, дополнительный инсоляционный нагрев): либо внутри скал под десквамационными плитками, либо в рыхлых отложениях под каменными мостовыми, где и формируются органогенные горизонты. В экстремальных условиях Антарктики почвы и почвоподобные тела становятся чрезвычайно зависимы от биологического фактора; их облик определяется той экологической нишей, которую занимают первичные продуценты органического вещества, а структуры почвенного покрова на первом уровне определяются гидрологической составляющей микроклимата, а на втором – пойкилогидрическими свойствами организмов и продолжительностью их жизненного цикла. Основным лимитирующим фактором для развития биоты и почвообразования в антарктических оазисах является недостаточность увлажнения, а не низкая температура. В связи с отсутствием жидких осадков определяющим параметром выступает наличие надежного источника влаги, часто в виде снежника, или эфемерный снежный покров на скалах. На рыхлых субстратах гиполитные сообщества доминируют над эпиэдафическими. На скальных породах эндолитные формы преобладают над эпилитными. Гиполитные сообщества зеленых водорослей и цианобактерий обнаружены нами в субстратах, где влажность поверхностного горизонта составляла всего 1–2 %, а уровни освещенности снижались до 1 % от падающего на поверхность света.

На основе сканирующей электронной микроскопии и энерго-дисперсионного элементного анализа вторичных электронов, включая картирование концентраций элементов в шлифах, выделены типы профилей эндолитных и гиполитных почвоподобных тел и основные продукты органо-минеральных взаимодействий в таких объектах.

В эндолитных системах обнаружен феномен формирования элювиально-иллювиально-дифференцированных почвоподобных микропрофилей в теле массивно-кристаллических пород. Необычно, что это явление обнаружено не в гумидных, а в аридных условиях, а также при отсутствии высших растений. Такие микропрофили являются аналогами развитых макропрофилей подзолов в рыхлых субстратах, почвоподобны им структурно, процессно, но не хронологически (пространственно), так как занимают необычные позиции

в ландшафте (скальные обнажения). В связи с особенностью субстрата (массивно-кристаллическая порода), позиции в ландшафте (скальные обнажения) и биоклиматической экстремальностью мощности профилей и горизонтов оказываются на два-три порядка меньше по сравнению с типичными подзолами. В условиях минимального количества свободно передвигающейся влаги предполагается «негравитационный» механизм элювиально-иллювиальной дифференциации, основанный на градиентах, связанных с циклами замораживания-оттаивания и иссушения-увлажнения, а также биогенной перекачки вещества. Формирование светлых элювиальных микрогоризонтов является основной причиной десквамации, обуславливающей отсутствие возможности полнопрофильного педогенеза.

Методом рентгеновской компьютерной микротомографии изучены образцы эндолитных систем и десквамационных плиток на гранитоидах в оазисах Ларсеманн и Молодежный; в сочетании с методом сканирующей электронной микроскопии выявлены очаги выветривания и скопления биопленок внутри и под десквамационными плитками, невидимые с поверхности. Обнаружены тонкие субвертикальные трещины в десквамационной плитке, восходящие к ее дневной поверхности. Между собой они соединены такими же тонкими субгоризонтальными. Сеть тонких трещин соединяет обезжелезненные зоны нижней части десквамационных плиток с локусами ожелезнения на дневной поверхности плиток. Такая сеть выступает в качестве транспортной системы при восходящей миграции железа в растворенной форме к поверхности плитки, к окислительному геохимическому барьеру. Мобилизация/осаждение соединений Fe может происходить при редких событиях увлажнения и последующего длительного иссушения поверхности гранитоидов в Антарктиде.

С использованием ускорительной масс-спектрометрии получены радиоуглеродные данные для эндолитных и гиполитных почвоподобных тел [3]. Среднее время пребывания органического вещества в эндолитных горизонтах составляет от 50 до 500 лет. То есть в эндолитных системах может формироваться устойчивый во времени пул органического вещества. Это важный факт, поскольку источником органического вещества в таких системах являются не сосудистые растения, а лишь некоторые криптогамные организмы (протолишайники) и микробные фотоавтотрофы. В изученных гиполитных системах, наоборот, отмечается повышенное содержание современного углерода, которое колеблется от 103 до 113 %. Гиполитные почвоподобные тела, сформированные при участии зеленых водорослей и цианобактериальных сообществ, существуют в контрастных условиях иссушения-увлажнения и могут быстро формироваться при благоприятных условиях, однако устойчивой аккумуляции органического вещества в большинстве случаев не происходит (за исключением fossilized биопленок).

Показатель  $\delta^{13}\text{C}$  в эндо/гиполитных органо-минеральных горизонтах варьируется в пределах от  $-19$  до  $-24$  ‰, что отражает существенный вклад цианобактериальной компоненты. Данный биомаркер достаточно хорошо отли-

чает органо-минеральные компоненты эндо/гиполитных биокосных систем от продуктов почвообразования под моховыми сообществами (как правило, от  $-25$  до  $-30$  ‰ в антарктических оазисах). Особенности фракционирования при концентрировании  $\text{CO}_2$  в цианобактериях приводят к относительно меньшему обеднению по  $^{13}\text{C}$  в конечной биомассе и органическом веществе эндо/гиполитных почвоподобных тел. В свою очередь, гиполитные почвоподобные тела менее обеднены  $^{13}\text{C}$ , чем эндолитные, и ближе по своему изотопному составу к полнопрофильным почвам оазисов в прирусловых и приозерных зонах под альгобактериальными матами. Биомаркеры молодых эндолитных и гиполитных систем существенно различаются по степени устойчивости и времени сохранения в системе. В запечатанной эндолитной системе степень фоссилизации биопленок существенно выше, чем в гиполитной, что обеспечивает более эффективную стабилизацию органического вещества за счет взаимодействия с минеральной составляющей. В целом пул органического вещества почв в днище ледниковых долин оазисов сложен, его изотопный состав отражает вклад как эндолитных систем (за счет десквамации), так и современный вклад молодых гиполитных сообществ, возникающих при вспышках цианобактериальной активности в периоды снеготаяния. Исследования изотопного состава азота в эндо/гиполитных системах показали, что они сильнее обеднены  $^{15}\text{N}$  ( $\delta^{15}\text{N}$  варьируется в интервале от  $-12$  до  $-17$  ‰), чем обычные почвы под мхами ( $\delta^{15}\text{N}$  от  $-5$  до  $-10$  ‰).

В эндолитном органо-минеральном горизонте на основе изучения микроморфологии выделения отдельных частиц и их микроагрегатов под сканирующим электронным микроскопом зафиксировано увеличение доли мелкозернистой фракции и доли глинистого материала, а также изменение его состава по сравнению с исходной породой [5]. Найдены каолининовые глинистые частицы, которые отличаются четким гексагональным габитусом, встречаются на границе с многочисленными био- и органо-минеральными пленками и очень тесно интегрированы с ними. Для незатронутых эндолитными процессами более глубоких участков пород описаны редкие образования смектита в порах [5].

В изученных эндолитных и гиполитных системах нами обнаружены многочисленные признаки биоминерализации цианобактериальных пленок, образование Al-, Si-, Fe-, K-, Ca- и S-содержащих микрофоссилий, отложение минералов на клеточной стенке цианобактерий. Зафиксированы признаки образования карбонатов *in situ* при взаимодействии цианобактериальных пленок с содержащими Ca и Mg минералами породы, а также образования оксалатов под воздействием эксудатов эндолитных и гиполитных протолишайников.

**Заключение.** Компоненты органического вещества эндолитных и гиполитных биокосных систем участвуют в биохимическом выветривании силикатов, новообразовании минералов, а также в оструктурировании выветрелой минеральной массы. Такие функции эндолитного и гиполитного органо-

минеральных горизонтов сходны с функциями «классических» поверхностных органогенных горизонтов почв.

Понимание современных процессов, происходящих в эндолитных и гиполитных системах, имеет фундаментальное значение для расшифровки палеопочвенной записи, поскольку такие системы являются ближайшими современными аналогами протопочвенных тел, существовавших на планете до появления высших сосудистых растений с корневыми системами.

Благодарности: работы по изучению эндолитных систем частично выполнены при поддержке гранта РНФ № 14-27-00133, свойства почвоподобных тел с гиполитными горизонтами изучались в рамках проекта РФФИ № 16-04-01776, полевые исследования проводились при поддержке Российской антарктической экспедиции.

### Литература

1. Chan Y., Lacap D.C., Lau M.C., Ha K.Y., Warren-Rhodes K.A., Cockell C.S., Cowan D.A., McKay C.P., Pointing S.B. Hypolithic microbial communities: between a rock and a hard place // *Environmental microbiology*. 2012. Vol. 14 (9). P. 2272–2282.
2. Pointing S.B., Belnap J. Microbial colonization and controls in dryland systems // *Nature Reviews Microbiology*. 2012. Vol. 10 (8). P. 551–562.
3. Zazovskaya E., Mergelov N., Shishkov V., Dolgikh A., Miamin V., Cherkinskiy A., Goryachkin S. Radiocarbon age of soils in oases of East Antarctica. *Radiocarbon* // Cambridge University Press. 2016 (submitted for publication).
4. Мергелов Н.С., Горячкин С.В., Шоркунов И.Г., Зазовская Э.П., Черкинский А.Е. Эндолитное почвообразование и скальный «загар» на массивно-кристаллических породах в восточной Антарктике // *Почвоведение*. 2012. № 10. С. 1027–1044.
5. Мергелов Н.С., Шоркунов И.Г., Долгих А.В., Крупская В.В. Органо-минеральные взаимодействия в почвоподобных эндолитных и гиполитных системах Восточной Антарктики // Третье Российское совещание по глинам и глинистым минералам. 2–4 декабря 2015 г., Москва.