

А. Б. Таширев, А. А. Таширева, А. Е. Березкина

Роль криоценозов в формировании почв на ледниках Западной Антарктики

(Представлено академиком НАН Украины В. С. Подгорским)

Впервые описан процесс формирования почв на ледниках Западной Антарктики (о. Галлиндез). Фотосинтетические микроорганизмы образуют пятна цветения, которые нагреваются на солнце и вызывают интенсивное таяние льда с образованием углублений — “гравитационных ловушек”. В ловушках скапливается некрома фотосинтетических микроорганизмов и далее сбраживается хемоорганотрофными микроорганизмами с образованием “гумифицированного субстрата”. Испарение влаги приводит к формированию ледовой почвы. В ледовых почвах количество психротолерантных и мезофильных микроорганизмов высокое и составляет 10^4 – 10^7 клеток/г (семь экофизиологических групп), а концентрация гумуса находится в пределах 0,39–0,73%. Приведенные данные свидетельствуют о биоразнообразии микробных ценозов ледовых почв и их возможном участии в глобальных циклах углерода на ледниках Западной Антарктики: в образовании и гумификации органических соединений, фиксации элементов (N, P, S), а также балансе парниковых газов (синтез CH_4 и CO_2).

Принято считать, что Антарктика представляет собой безжизненные ледяные просторы. Однако в ней широко распространены различные виды почв. В ряде работ описано биоразнообразие микроорганизмов и беспозвоночных, обитающих в антарктических почвах. Микробиологические исследования антарктических почв включали в себя определение общего количества микромицетов, бактерий и дрожжей антарктического полуострова [1] и прилегающих островов [2–6]. Подробную классификацию и геохимическую характеристику антарктических почв дали российские ученые С. В. Горячкин, Е. В. Абакумов, Д. А. Гиличинский [7, 8]. Однако до сих пор не был описан такой тип почв, как ледовые почвы. В настоящей работе приведена характеристика и описаны закономерности образования ледовых почв в Западной Антарктике.

В Западной Антарктике, на островах внутреннего островного шельфа и побережья Антарктического полуострова широко распространены ледовые сообщества микроорганизмов — криоценозы¹. По нашему определению, криоценозы — это симбиотические ассоциации фотолитоавтотрофных и хемоорганогетеротрофных микроорганизмов, развивающихся на снежно-ледовых поверхностях или под слоем снега на поверхности льда. В этой работе предпринята попытка оценить экологическое и геологическое значение данного феномена в полярном регионе, а также его влияние на образование ледовых почв и формирование векторных потоков углерода на ледниках островов Западной Антарктики.

Очевидно, что криоценозы, представляющие собой альго-бактериальные маты (АБМ), содержат широкий спектр пигментов, необходимых для фотосинтеза, и имеют различный

¹При предварительном обсуждении этого термина большинство биологов-специалистов в области альгологии и микробиологии склонялись к мнению, что более корректными являются термины “криомикроценозы”, “альго-бактериальные сообщества микроорганизмов” и т. д. Однако мы сочли возможным остановиться на кратком термине “криоценозы”, дав в начале работы наше определение этого термина.

цвет — от желто-зеленого до красного и темно-коричневого (рис. 1, а). Поэтому в ясную солнечную безветренную погоду такие окрашенные АБМ нагреваются до температуры выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($+5\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$) и вызывают таяние снега и льда под ними. Далее биомасса АБМ концентрируется на дне ими же сформированных углублений. Концентрация биомассы в углублениях постепенно увеличивается, а это, в свою очередь, приводит к усилению пигментации и резкому снижению альбедо (т.е. отражательной способности) АБМ. Концентрированная, интенсивно пигментированная биомасса вызывает усиленное таяние снега и льда и приводит к образованию гравитационных ловушек² (см. рис. 1, б).

Образование гравитационных ловушек является многоплановым, многофункциональным явлением, так как они влияют на геоморфологические, биогеографические и биогеохимические процессы, происходящие в субполярном оазисе³ на о. Галиндез (Galindez) и соседних островах. Обширные поля криоценозов вызывают крупномасштабные изменения в рельефе ледников и существенно влияют на их структуру и гидродинамику. Кроме того, деструкция некромы криоценозов (т.е. отмершей биомассы) сопровождается синтезом парниковых газов (CO_2 , а возможно, и CH_4). Накопление органического вещества АБМ вносит значительный вклад в векторный поток углерода на ледниках. Наконец, гумификация биомассы АБМ приводит к образованию “ледовой почвы”.

Мы условно выделили два типа криоценозов: наклонные и горизонтальные.

Наклонные криоценозы расположены на склонах ледников или снежников. Морфологические и гидродинамические изменения ледников в этом случае имеют исключительно биогенное происхождение. Обширные поля криоценозов вызывают геологически значимое проседание участков снега, а также интенсивное таяние льда с образованием локальных водосборов, имеющих площадь десятки гектаров. Локальные водосборы, в свою очередь, приводят к формированию хорошо проработанных глубоких русел ручьев в теле ледника. Несмотря на то, что в ряде случаев толщина рыхлого слоя снега над поверхностью льда достигает 0,5–2,0 метра, локальные водоупоры, формирующие биогенные профили водосбора, находятся на глубине не более чем 5,0–10,0 см от поверхности снега. Описанное явление определяется ответной реакцией криоценозов на суточные изменения физико-химических факторов. Проиллюстрируем это на примере криоценоза реликтового ледника (см. рис. 1, в) на биогеографическом полигоне (о. Галиндез, 5 марта 2002 г.). “Жарким” антарктическим летом в марте 2002 г. средняя дневная температура в безветренную погоду при интенсивном солнечном освещении на поверхности скал достигала $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$, а на поверхности АБМ — $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$... $+5\text{ }^{\circ}\text{C}$. В первые же 2–3 часа после восхода солнца замерзший снег под АБМ начинал интенсивно таять и образовавшаяся вода пропитывала слой снега под ней до глубины 2–5 см. Малейшие физико-химические изменения окружающей среды (холодный ветер с Антарктического полуострова, изменения угла освещения склона, кратковременное затемнение солнца облаками) приводили к резкому снижению температуры. Это сопровождалось очень быстрым промерзанием снега и образованием под АБМ прочной ледяной корки толщиной от 2 до 10 см. Все дальнейшие процессы в криоценозах происходили уже на постоянно присутствующей толстой ледовой корке под АБМ.

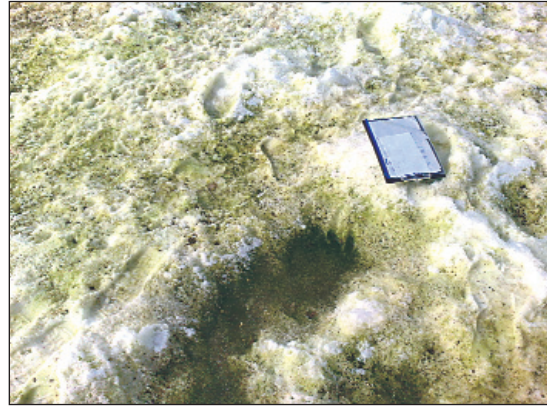
Основные биогеохимические процессы в криоценозах на склонах ледников сводятся к следующему. Поверхность льда под АБМ одновременно выполняет как функцию по-

²Термин предложен нами.

³Субполярный оазис — биогеографический ландшафт, в котором максимально диверсифицированы и интенсивно развиты все характерные для островной Западной Антарктики экосистемы (микробные сообщества, альгоценозы, лишайники, мхи, высшие растения, беспозвоночные и позвоночные животные).



a

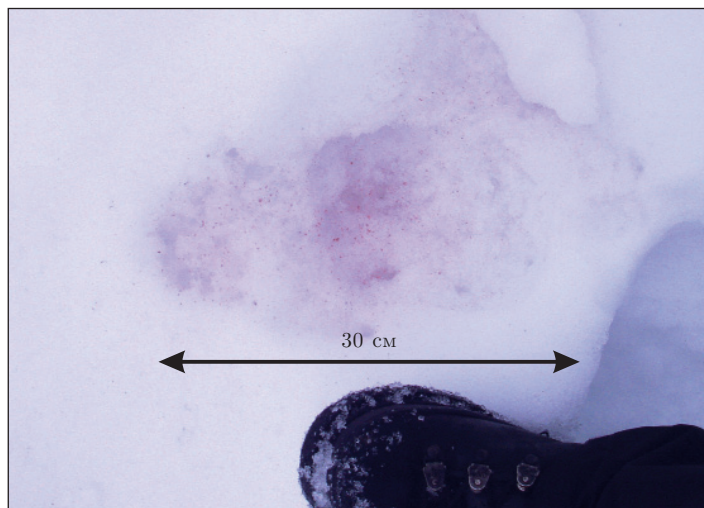


б

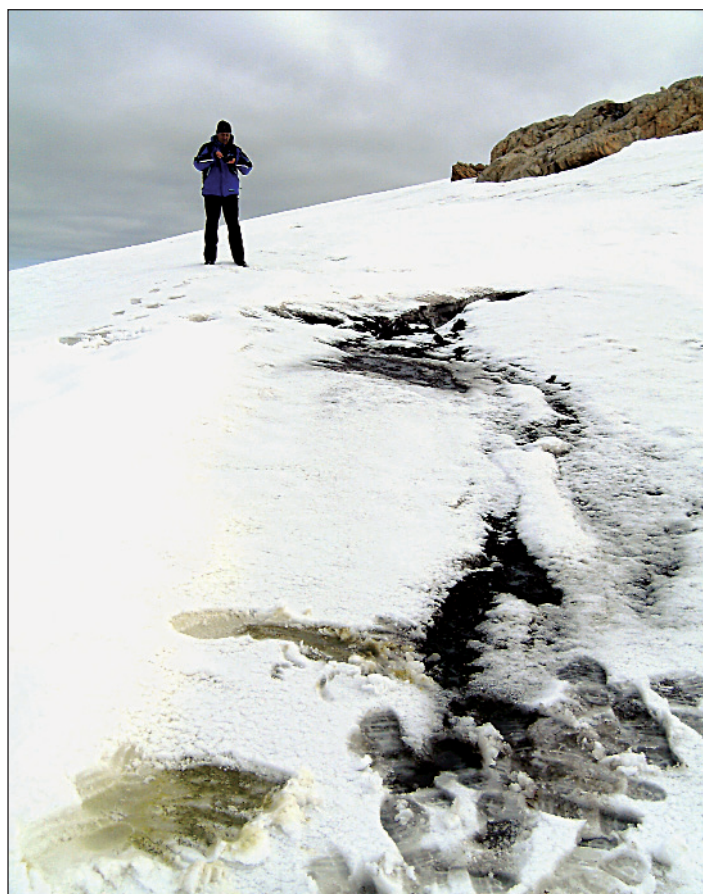


в

Рис. 1. Кривоценозы Западной Антарктики:
a — биоразнообразие кривоценозов на островах Аргентинского архипелага (фото И. Дикого, 2010 г.);
б — гравитационные ловушки кривоценозов, о. Крулз (фото И. Дикого, февраль 2010 г.);
в — “наклонный” кривоценоз на леднике о. Галиндез (05.03.2002), образующий “биогенный” локальный водосбор



a



б

Рис. 2. “Первичная” водорослево-бактериальная пленка на горизонтальном участке снега (ледник на о. Галиндез) (*a*) и образование гумифицированного субстрата, а далее — гумифицированного субстрата из некромассы криоценозов в гравитационных ловушках (*б*)



Рис. 3. Ледовая почва на горизонтальном участке ледника на о. Галиндез

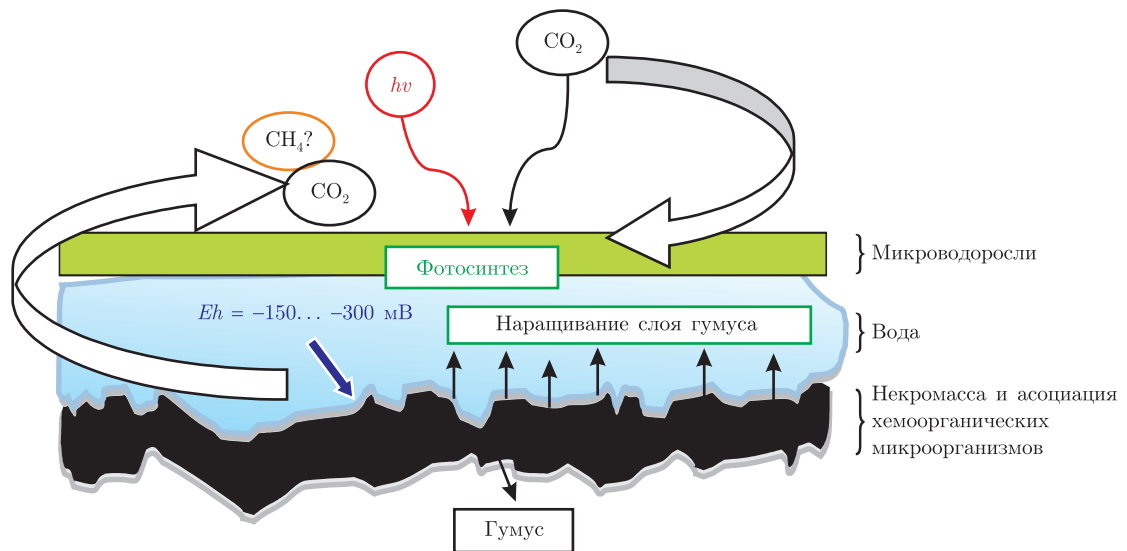


Рис. 4. Нарастание и гумификация некромассы водорослей в гравитационных ловушках — микроозерах

верхности, необходимой для прочной иммобилизации микроорганизмов, так и водоупора, создающего условия непрерывной ферментации за счет потока талой воды. При этом формируются оптимальные условия для быстрого роста и накопления биомассы криоценозов в углублениях и локальных водосборах. Скорость прироста биомассы еще более увеличивается благодаря яркому освещению (усиление фотосинтеза) и относительно высокой температуре (+2...+5 °C). Это приводит к многократному усилению интегральной биогеохимической активности АБМ и сопровождается быстрым накоплением биомассы и формированием биологически опосредованного (биогенного) специфического рельефа ледников и снежников. Такие процессы являются общими как для горизонтальных, так и наклонных криоценозов. В дальнейшем варианты биогеохимических процессов развития АБМ на горизонтальных и наклонных криоценозах могут существенно отличаться.

Горизонтальные криоценозы являются бессточными и расположены на горизонтальных участках ледников или снежных покровов на островах внутреннего архипелага и прибрежной зоне Антарктического полуострова. Развитие этих криоценозов начинается с формирования АБМ и образования гравитационных ловушек в снегу или льду размерами от 0,1 × 0,2 м до 1,0 × 2,0 м (рис. 2, а). Вследствие отсутствия стока в таких гравитационных ловушках накапливается мощный слой биомассы АБМ — до нескольких сантиметров толщиной. Затем отмершая биомасса (некромасса) подвергается неизбежной деструкции микроорганизмами в анаэробных условиях с образованием «гумифицированного субстрата»⁴ (см. рис. 2, б). Общеизвестно, что в плотных структурах биологических обрастаний уже на глубине нескольких миллиметров от поверхности Eh (окислительно-восстановительный потенциал в мВ относительно потенциала стандартного водородного электрода при рН = 7,0) находится в пределах -150... - 300 мВ. Очевидно, что в таких условиях происходит анаэробная деструкция некромассы (отмершей биомассы АБМ). Таким образом, анаэробная деструкция биомассы АБМ приводит к образованию гумифицированного субстрата, который постепенно уплотняется, сохнет и превращается в ледовую почву (рис. 3).

Ледовая почва — это плотная органогенная структура, представляющая собой гумифицированную гетеротрофными микроорганизмами некромассу альго-бактериальных криоценозов, расположенных на горизонтальных участках льда, в том числе ледников. Неполная деструкция биомассы, по-видимому, определяется дефицитом источников азота, фосфора и серы, необходимых микроорганизмам для разложения биомассы АБМ до конечных продуктов — CO₂, CH₄ и H₂O. Масштабы и последовательность этапов образования ледовой почвы существенно зависят от локальных климатических и физико-химических условий. Процесс образования ледовой почвы происходит в несколько стадий.

Первая стадия — это появление «первичной» АБМ на поверхности снега или льда. Как правило, на этой стадии на снегу появляются разрозненные пигментированные пятна (участки) биомассы. Эти пятна рыхлые, слабо окрашены и имеют крупнозернистую структуру, а их размеры находятся в пределах 15 × 30 см² (см. рис. 2, а).

На *второй стадии* пятна АБМ сливаются в сплошные большие участки (поля) вследствие бурного роста микроскопических водорослей и других микроорганизмов и приобретают более интенсивное окрашивание. В зависимости от доминирующего вида водорослей, АБМ могут иметь различный цвет. Необходимо отметить, что на первой стадии процесс заселения снега и льда микроорганизмами АБМ идет медленно в связи с малой концентрацией биомассы и, как следствие, с ее малой теплоемкостью (т. е. поглощением тепла). На второй

⁴Термин предложен нами.

стадии этот процесс ускоряется. Прирост биомассы и усиление интенсивности пигментации пятен АБМ сопровождаются увеличением степени их нагревания на свету и теплоемкости, повышением температуры пятен и, соответственно, скорости таяния снега. При дневной температуре $0 \dots +1$ °С концентрированная биомасса АБМ на второй стадии приводит к быстрому формированию (10–20 суток) гравитационных ловушек. Этот процесс ускоряется и приобретает лавинообразный характер при повышении температуры до $+3 \dots +5$ °С. В конце второй стадии начинается процесс гумификации биомассы АБМ (см. рис. 2, б).

На *третьей стадии* таяние льда в гравитационных ловушках настолько интенсивное, что в них образуются микроозера (рис. 4). Биомасса фотосинтетических микроорганизмов оседает на дно. Одновременно в ловушках в анаэробной зоне на границе раздела фаз “вода — некромаасса водорослей” анаэробные микроорганизмы разлагают биомассу АБМ с образованием гумифицированного субстрата. Сезонные полевые наблюдения показали, что, как правило, его объем составляет не менее 30–40% исходной биомассы АБМ. Это, по-видимому, связано с дефицитом на ледниках биогенных элементов (N, P, S). Таким образом, на третьей стадии в трехкомпонентной гетерофазной системе “воздух–вода–биомасса” одновременно происходят процессы прироста биомассы АБМ, ее отмирания и гумификации. Фактически биомасса АБМ на третьей стадии находится в микроозерах и доверху заполняет их в виде ила. В любой гравитационной ловушке, независимо от ее размеров, всегда присутствуют три структурных компонента: 1 — фотосинтетически активная пленка микроскопических водорослей и цианобактерий; 2 — слой воды; 3 — слой некромассы фотосинтетических микроорганизмов и метаболически активных гетеротрофных микроорганизмов, этот слой является одновременно и илом (сапропелем), и насыщенным водой гумифицированным субстратом.

Четвертая стадия характеризуется максимальным накоплением некромассы АБМ (гумифицированного субстрата) в гравитационных ловушках. Слой свободной воды исчезает, так как он полностью поглощается некромассой и испаряется с поверхности гравитационной ловушки. Фотосинтетическая активность микроскопических водорослей и цианобактерий переходит в стадию стагнации. Пигментация АБМ резко снижается, поверхностная пленка “съеживается” и уменьшается в размерах, образуя складки. Возможно, этот эффект связан с накоплением в гравитационной ловушке токсичных для фотосинтетических микроорганизмов продуктов анаэробной деструкции некромассы. В дальнейшем озерный ил (сапропель), заполнивший всю гравитационную ловушку, подсыхает, уплотняется и образует плотную фракцию — гумифицированный субстрат. Его цветовой диапазон — от темно-коричневого до интенсивно-черного. Гумифицированный субстрат, как правило, не имеет запаха и представляет собой однородную пластичную массу, насыщенную водой (вода отделяется даже при легком надавливании пальцами).

На *пятой стадии* происходит собственно формирование ледовой почвы (см. рис. 3). Ледовая почва, в отличие от гумифицированного субстрата, представляет собой более плотную структуру (вода не отжимается), менее пластична и имеет специфический запах, характерный для почвы. Уплотнение почвы связано с ее интенсивным нагреванием (черный цвет) и сопряженным интенсивным испарением влаги. Очевидно, что антарктические почвы, в том числе и ледовые, существенно отличаются от классических почв по своей структуре. Обязательными структурными компонентами почв в классической интерпретации (черноземы, подзолистые и т. д.) являются лигнинцеллюлоза и минеральная фракция. Это положение было сформулировано еще в начале XX века апологетом почвоведения С. А. Ваксманом [9] и до настоящего времени осталось неизменным [10]. Очевидно, что в ле-

довых почвах, сформированных из некротомассы АБМ на нулевом геохимическом горизонте⁵ (на плоских вершинах ледников), как минеральная фракция, так и лигнинцеллюлоза растительного происхождения отсутствуют. Мы не изучали микроструктуру ледовой почвы. Однако можно предположить, что роль структурных компонентов в ней играют клеточные стенки микроскопических зеленых водорослей, а также ригидные и мощные чехлы цианобактерий, состоящих из целлюлозы и других полимеров [11]. Косвенным доказательством служит высокая концентрация деструкторов целлюлозы (микробиоты, бактерий) в ледовых почвах: $n \cdot 10^3 \dots n \cdot 10^4$ клеток/г почвы (табл. 1).

В доступной нам литературе отсутствуют данные по характеристике структуры и функций криоценозов в Западной Антарктике. Украинские ученые исследовали таксономический состав фотосинтезирующих микроорганизмов и экофизиологические группы хемоорганотрофных микроорганизмов этих криоценозов. Так, по данным проф. И. Ю. Костинова [12], в ассоциациях АБМ (Антарктический полуостров, ледник Штала) обнаружены микроскопические водоросли *Elliptochloris cf. subsphaerica* (Reisigl) Ettl et Gartner var. *Antarctica* Reisigl; *Pseudococcomyxa cf. subsphaerica* (Acton) Kostikov, Hoffmann et Friedl, ad int.; *Chlorella cf. minutissima* Fott et Novakova; *Stichococcus cf. minutus* Grintz. et Peterfi; *Dictyosphaerium cf. pulchellum*. Нами дана количественная характеристика экофизиологических групп хемоорганотрофных микроорганизмов ледовых почв (см. табл. 1). Микробные ценозы ледовых почв диверсифицированы. Общее количество психрофильных и мезофильных микроорганизмов в семи изученных экофизиологических группах высокое и составляет $10^4 \dots 10^7$ клеток/г почвы. Концентрация гумуса в ледовых почвах находится в диапазоне 0,39...0,73 мас. %. Приведенные данные свидетельствуют о биоразнообразии микробных

⁵Нулевой геохимический горизонт — это ландшафтный элемент, в который все соединения поступают только с атмосферными осадками.

Таблица 1. Количественная характеристика экофизиологических групп микроорганизмов в ледовых почвах о. Галиндез

№ образца	Гумус, мас. %	Количество микроорганизмов (в 1 г АСМ* ледовой почвы)					
		Автохтонные**	Аммонифицирующие	Олигокарботрофные	Олигонитрофильные	Деструкторы целлюлозы	
						Микробиоты	Бактерии
Температура культивирования +20 °С							
1	0,69	$6,3 \cdot 10^5$	$9,6 \cdot 10^5$	$3,6 \cdot 10^6$	$1,6 \cdot 10^5$	$9,3 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^3$
2	0,39	$3,2 \cdot 10^5$	$2,5 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^6$	$5,1 \cdot 10^3$	$6,4 \cdot 10^2$
3	0,63	$3,6 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^6$	$1,7 \cdot 10^3$	$2,0 \cdot 10^4$	$2,7 \cdot 10^4$
4	0,69	$2,2 \cdot 10^7$	$2,3 \cdot 10^6$	$2,5 \cdot 10^6$	$4,8 \cdot 10^4$	$3,4 \cdot 10^4$	$4,3 \cdot 10^3$
5	0,73	$4,2 \cdot 10^6$	$1,9 \cdot 10^6$	$1,1 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^5$	$2,9 \cdot 10^4$	$6,9 \cdot 10^3$
6	—	$8,1 \cdot 10^5$	$5,2 \cdot 10^6$	$6,2 \cdot 10^5$	$4,6 \cdot 10^5$	$8,8 \cdot 10^3$	$1,8 \cdot 10^3$
Температура культивирования +4 °С							
1	0,69	$7,2 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^3$	$6,1 \cdot 10^3$	—
2	0,39	$1,7 \cdot 10^6$	$5,6 \cdot 10^6$	$9,6 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$	$8,6 \cdot 10^2$	—
3	0,63	$5,9 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^6$	$5,3 \cdot 10^4$	$2,0 \cdot 10^4$	$5,9 \cdot 10^3$	$7,1 \cdot 10^3$
4	0,69	$3,8 \cdot 10^5$	$1,2 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^4$	$2,2 \cdot 10^2$	$9,5 \cdot 10^3$	—
5	0,73	$5,2 \cdot 10^5$	$1,3 \cdot 10^6$	$9,6 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^3$	$3,1 \cdot 10^3$
6	—	$7,5 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$	$5,3 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^3$	$4,9 \cdot 10^3$

*АСМ — абсолютно сухая масса почвы.

**Автохтонные — т.е. аборигенные микроорганизмы, высеянные на почвенный агар (водная вытяжка из антарктической почвы).

ценозов ледовых почв и их возможном участии в глобальных циклах углерода на ледниках Западной Антарктики — в частности, в образовании и гумификации органических соединений.

В течение 10 лет мы изучали регион площадью 30×60 км (десятки островов и прилегающее к ним побережье Антарктического полуострова). Однако, несмотря на мощные АБМ, иногда целиком покрывающие поверхность снега и льда на этих объектах, ледовая почва обнаружена и распространена только на о. Галиндез. Уникальность или, по меньшей мере, редкая встречаемость ледовой почвы о. Галиндез объясняется его климатическими особенностями. Он представляет собой субполярный оазис с максимальной диверсификацией экосистем и микробных ценозов, типичных для Западной Антарктики [13]. Одновременное сочетание таких условий, как малая высота острова, наличие мощного и обширного ледника с горизонтальной поверхностью, теплый, влажный климат, высокая дневная летняя температура (северо-западной ориентации), предопределяют его термостатированность⁶.

Это приводит к интенсивному бурному развитию фотосинтетических микроорганизмов, формированию и слиянию криоценозов и далее — к образованию ледовых почв. Возможно, что на леднике о. Галиндез в настоящее время происходит геологически значимый процесс первичного образования почвы вследствие биогеохимической активности микроорганизмов горизонтальных криоценозов. Не исключено, что через 100–200 лет произойдет слияние отдельных пятен ледовой почвы в единый целостный покров значительного размера. Очевидно, что криоценозы также реализуют “концентрационные функции первого и второго рода” по В. И. Вернадскому, т. е. фиксируют ряд биогенных элементов (углерод, азот и др.) [14]. Биогеохимическое значение ледовых криоценозов заключается также и в возможном очень существенном влиянии на баланс парниковых газов в Антарктике (синтез CO_2 и CH_4). В целом криоценозы на островах внутреннего шельфа и побережья Антарктического полуострова, по-видимому, играют значительную роль в глобальном цикле углерода и энергии в Западной Антарктике.

Авторы выражают благодарность за помощь в подготовке работы акад. НАН Украины П. Ф. Гожяку, чл.-кор. НАН Украины Г. А. Иутинской, д-ру биол. наук, проф. В. А. Романовской, д-ру биол. наук, проф. И. Ю. Костикову, канд. геол. наук В. П. Усенко и российским ученым: д-ру геогр. наук С. В. Горячкину, канд. биол. наук Е. В. Абакумову и канд. биол. наук Л. Е. Курбатовой.

1. Cameron R. E., Benoit R. E. Microbiological and ecological investigations of recent cinder cones, Deception Island, Antarctica // Ecology. – 1970. – **51**, No 5. – P. 802–809.
2. Bailey A. D., Wynn-Williams D. D. Soil microbiological studies at Signy Island, South Orkney Island // Brit. Antarct. Surv. Bull. – 1982. – No 51. – P. 167–191.
3. Dennis R. W. G. Fungi from South Georgia, Antarctica // Kew. Bull. – 1968. – **22**, No 3. – P. 445–448.
4. Heal O. W., Bailey A. D., Heal O. W., Latter P. M. Bacteria, Fungi and Protozoa in Signy Island soils compared with those from a temperate moorland // Phil. Trans. Roy. Soc. – 1967. – **252**, No 7. – P. 191–197.
5. Cameron R. E., Morelli F. A., Johnson R. M. Bacterial species in soil and air of the Antarctic continent // Antarct. Journal US. – 1972. – **7**, No 5. – P. 187–189.
6. Smith R. I. L., Stephenson C. Preliminary growth studies on *Festuca contracta* and *Deschampsia antarctica* on South Georgia // Brit. Antarct. Surv. Bull. – 1975. – No 41–42. – P. 59–75.
7. Gilichinsky D., Abakumov E., Abramov A. et al. Soils of mid and low antarctic: diversity, geography, temperature regime // 19th World Congress of Soil Science, Soil Solution for a Changing World, 1–6 August 2010. – Brisbane, Australia.
8. Абакумов Е. В. Почвы Западной Антарктики. – Санкт-Петербург: Изд-во Ст.-Петербург. ун-та, 2011. – 112 с.

⁶Мы вкладываем в понятие “термостатированность” одинаковую температуру в данный момент времени по всей высоте острова, от уровня моря и до его высшей точки (59,8 м).

9. Ваксман С. А. Гумус. Происхождение, химический состав и значение его в природе. – Москва: Сельхозгиз, 1937. – 471 с.
10. Андреюк Е. И., Валагурова Е. В. Основы экологии почвенных микроорганизмов. – Киев: Наук. думка, 1992. – 222 с.
11. Lee R. E. Phycology. – New York: Cambridge University Press, 2008. – 546 p.
12. Костіков І. Ю. та ін. Генетичний та біохімічний моніторинг біоти та визначення показників стану довкілля в районі Аргентинських островів: (Заключ. звіт) // Київ. нац. ун-т ім. Тараса Шевченка. – № 05ДФ036-05 від 09.11.2006. – Київ, 2006. – 129 с.
13. Таширев А. Б. Комплексные исследования структуры и функций антарктических наземных микробных ценозов // Укр. Антаркт. журн. – 2010. – № 8. – С. 328–342.
14. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – Москва: Наука, 1987. – 339 с.

Институт микробиологии и вирусологии
им. Д. К. Заболотного НАН Украины, Киев
Национальный антарктический научный центр
Госкоминформнауки Украины, Киев

Поступило в редакцию 25.11.2011

О. Б. Таширев, Г. О. Таширева, А. Є. Березкіна

Роль кріоценозів у формуванні ґрунтів на льодовиках Західної Антарктики

Вперше описано процес формування ґрунтів на льодовиках Західної Антарктики (о. Галіндез). Фотосинтетичні мікроорганізми утворюють плями цвітіння, що нагріваються на сонці та викликають інтенсивне танення льоду з утворенням заглиблень – “гравітаційних пасток”. У пастках накопичується некромаса фотосинтетичних мікроорганізмів і далі зброджується хемоорганотрофними мікроорганізмами з утворенням “гуміфікованого субстрату”. Випаровування вологи приводить до формування льодового ґрунту. У льодових ґрунтах кількість психротолерантних і мезофільних мікроорганізмів висока та становить 10^4 – 10^7 клітин/г (сім екофізіологічних груп), а концентрація гумусу знаходиться в межах 0,39–0,73%. Наведені дані свідчать про біорізноманіття мікробних ценозів льодових ґрунтів та їх можливу участь у глобальних циклах вуглецю на льодовиках Західної Антарктики: в утворенні і гуміфікації органічних сполук, фіксації елементів (N, P, S), а також балансі парникових газів (синтез CH_4 та CO_2).

O. B. Tashyrev, A. O. Tashyreva, A. E. Berezkina

The role of cryocenoses in the process of soil formation on the West Antarctic glaciers

The process of soil formation on the glaciers of the Western Antarctica (Galindez Island) is described. Photosynthetic organisms form flowering patches, which are heated by the Sun and cause the extensive melting of ice, which leads to forming “gravitational traps”. Traps accumulate dead photosynthetic microorganisms, which are further fermented by chemoorganotrophic microorganisms to “humic substrate”. Evaporation leads to the formation a layer of soil on the ice surface. In the ice soil, the number of psychrotolerant and mesophilic microorganisms is high and makes 10^4 – 10^7 cells /g (7 ecological and functional groups); humus concentration is in the range 0.39–0.73%. Presented data show the biodiversity of microbial cenoses of ice soils and their possible involvement in the global carbon cycle on the glaciers of the Western Antarctica: the formation and humification of organic compounds, fixation of elements (N, P, S), as well as the balance of greenhouse gases (synthesis of CH_4 and CO_2).