

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 551.343

ПРОЯВЛЕНИЯ ПОЗДНЕПЛЕЙСТОЦЕНОВОЙ ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЫ
В ПАЙН-БАРРЕНСЕ НА ЮГЕ ШТАТА НЬЮ-ДЖЕРСИ В США

Х.М. Френч¹, М. Демитрофф², Д.А. Стрелецкий³, С.Л. Форман⁴, Я. Годзик⁵,
В.Н. Конищев⁶, В.В. Рогов⁶, М.П. Лебедева-Верба⁷

¹ Университет Оттавы, Департамент Географии и наук о Земле,
BC V8L 5S5, Оттава, Марти Лайн, 10945, Норд Сааниш, Канада, hmfrench@shaw.ca

² Служба национального парка Бакхорн,
NJ 08360-9346, Нью-Джерси, Мэйн Авеню, 822, Винланд, США, mdemitroff@udel.edu

³ Университет Делавэра, географический ф-т,
DE 19716, Ньюарк, ул. Академии, 125, кв. 216, США, strelets@udel.edu

⁴ Университет Иллинойса, ф-т естественных наук,
60607-7059, Чикаго, ул. Вест Тейлор, 845, (М/С 186), Иллинойс, США, slf@uic.edu

⁵ Университет г. Лодзь, ф-т геоморфологии, 90-568, Лодзь, ул. Липовая, 81, Польша, gozdzik@geo.uni.lodz.pl

⁶ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический ф-т,
119992, Москва, Ленинские горы, Россия, rogovvic@mail.ru

⁷ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 109017, Москва, Пыжевский пер., 7, Россия, m_verba@mail.ru

Комплексные исследования, проведенные на юге штата Нью-Джерси (США) и в прилегающих к нему штатах Делавэр и Мэриленд в 2000–2008 гг., показывают, что в данном регионе на протяжении позднего плейстоцена неоднократно формировались мерзлые отложения мощностью более 10–15 м. Промерзанию отложений способствовали их грубодисперсный состав и редкий растительный покров. В этих условиях активно развивалось морозобойное растрескивание и формировались грунтовые и ледяные жилы. Потепление климата в конце позднего плейстоцена – начале голоцена сопровождалось существенным изменением ландшафтов, протаиванием мерзлых отложений, активным термокарстом и глубоким сезонным промерзанием.

Вечная мерзлота, перигляциальные условия, плейстоцен, песчаные жилы, криогенез

EVIDENCE FOR LATE-PLEISTOCENE PERMAFROST
IN THE NEW JERSEY PINE BARRENS, EASTERN USA

H.M. French¹, M. Demitroff², D.A. Streletskiy³, S.L. Forman⁴, J. Gozdzik⁵,
V.N. Konishchev⁶, V.V. Rogov⁶, M.P. Lebedeva-Verba⁷

¹ University of Ottawa, Departments of Geography and Earth Sciences,
Ottawa, 10945 Marti Lane, North Saanich, BC V8L 5S5, Canada, hmfrench@shaw.ca

² Buckhorn Garden Servis Inc., Vinland, New Jersey,
822 Main Avenue, Vineland, NJ 08360-9346, USA, mdemitroff@udel.edu

³ University of Delaware, Departments of Geography, 125 Academy str., Rm. 216, Newark, DE 19716, USA, strelets@udel.edu

⁴ University of Illinois at Chicago, Department of Earth and Environmental Sciences,
845 West Taylor Street (M/C 186), Chicago, Illinois 60607-7059, USA, slf@uic.edu

⁵ University of Łódź, Department of Geomorphology, Lipowa 81, 90-568 Łódź, Poland, gozdzik@geo.uni.lodz.pl

⁶ Lomonosov Moscow State University, Department of Geography,
119992, Moscow, Leninskie Gory, Russia, rogovvic@mail.ru

⁷ Doruchaev Soil Institute, 109017, Moscow, Pigevski per., 7, Russia, m_verba@mail.ru

Recent investigations undertaken between 2000 and 2008 in the lowlands of New Jersey, Delaware and Maryland have indicated that permafrost, possibly as much as 10–15 thick, had formed on several occasions during the Late Pleistocene. Frost penetration was aided by the coarse nature of the substrate and sparse tundra vegetation. Thaw degradation of permafrost led to enhanced mass wasting and landscape modification. The Late Pleistocene–Early Holocene transition was characterized by conditions of either discontinuous permafrost or deep seasonal frost.

Permafrost, periglacial conditions, Pleistocene, sand wedges, cryogenesis

ВВЕДЕНИЕ

Изучение формирования и развития вечной мерзлоты в плейстоцене – одно из важных направлений мерзлотоведения. Интерес к нему возник достаточно давно в связи с исследованием различных феноменов, которые имели место на обширной территории Северного полушария, примыкавшей в среднем и позднем плейстоцене к существующим в то время ледниковым щитам и получившей название перигляциальной зоны [Lozinski, 1909, 1912]. В этой зоне, близ ледникового щита, в свободной ото льда тундре происходили интенсивное промерзание–протаивание грунтов, активная эоловая деятельность и формирование вечной мерзлоты. Эти особенности природной обстановки приводили к развитию многочисленных феноменов, получивших название перигляциальных явлений. Такие явления, чаще всего представленные псевдоморфозами по жильному льду, грунтовыми жилами, различными текстурными и структурными особенностями в толще рыхлых отложений, широко распространены в перигляциальной зоне последнего оледенения. В Европе они хорошо изучены и отражены как в российской, так и в европейской литературе [Величко, 1982; Vandenberghe, Pissart, 1993]. Для Североамериканского континента, характеризовавшегося большими масштабами ледникового щита, но меньшими площадями перигляциальной зоны, указанные явления исследованы менее подробно. В настоящее время появляется все больше работ, связанных с этой темой. В частности, группой канадских и американских исследователей детально изучается район Пайн-Барренс (Сосновая Пустошь) в южной части штата Нью-Джерси у Атлантического побережья США [Newell, Wyckoff, 1992; French, Demitroff, 2001; French et al., 2003, 2005, 2007; Newell, 2005]. В этом районе широко распространены явления, связанные с формированием и исчезновением вечной мерзлоты на рубеже позднего плейстоцена–голоцена, такие как грунтовые песчаные жилы, дефляционные котловины, криотурбации и др. Интерес к этому району объясняется также его достаточно южным положением (39° с.ш.), поскольку для таких широт в Европе перигляциальные явления весьма редки. Для их исследования здесь применялись как широко известные геологические, геоморфологические и палеогеографические методы, так и малоизвестные, например, анализ морфологии песчаных частиц. В последние годы по инициативе североамериканских мерзлотоведов Х. Френча и М. Демитроффа для таких исследований стал привлекаться криолитологический метод, разработанный в России [Конищев, Рогов, 1994].

В данной статье приводятся результаты как полевых исследований, проведенных в США, так

и лабораторных анализов образцов рыхлых отложений, выполненных в России и других странах.

Географическое положение и геологическое строение района. Местечко Пайн-Барренс расположено в южной части штата Нью-Джерси близ Атлантического побережья США (рис. 1). В настоящее время указанный район представляет собой обширную (более 500 000 га), поросшую сосной низменность, находящуюся в центре прибрежной равнины Оутер на высотах 25–30 м над уровнем моря и слабо расчлененную. Геологический разрез низменности представлен в нижней части песками и гравием мелового и миоценового возраста, в верхней 10–15-метровой части – комплексом флювиальных грубодисперсных отложений (местное

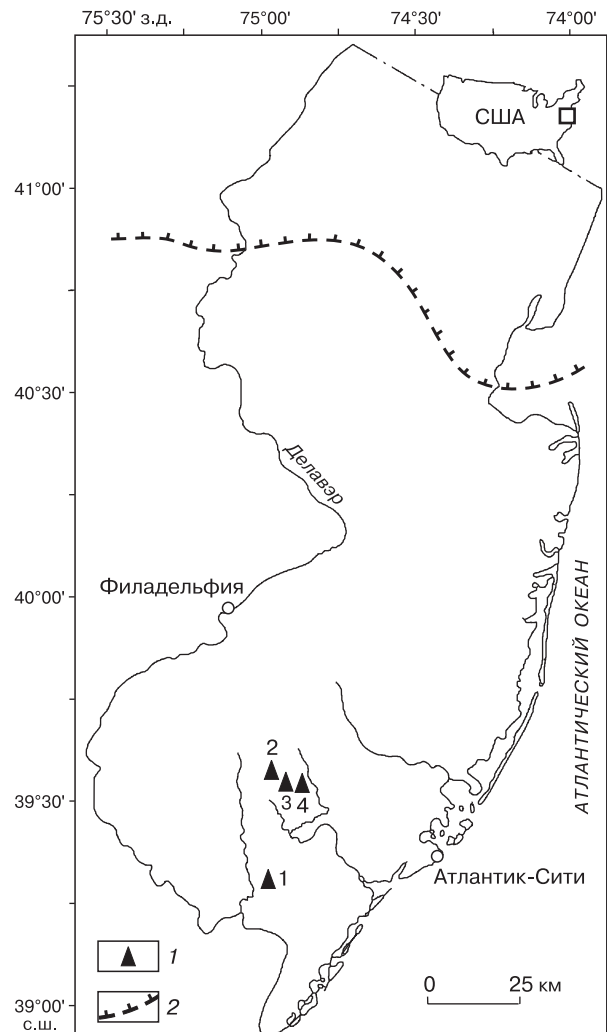


Рис. 1. Схематическая карта южной части штата Нью-Джерси (северо-восток США).

1 – разрезы (1 – разрез Дорчестер Пит, 2 – разрез Ньютовилл, 3 – западина Дебби Понд, 4 – западина Ли Понд); 2 – южная граница поздневисконсинского ледникового покрова.

название формации – Бриджтоун и Коханси, возраст от позднего миоцена до раннего плейстоцена). Эта формация состоит из желтовато-красной смеси сильно выветрелых валунов, гравия, песка с заполнителем в виде пылеватых и глинистых частиц. Предполагается, что эта толща после своего формирования испытала достаточно долгий период субэарального выщелачивания и окисления. Отложения формации Бриджтоун и Коханси перекрываются маломощной толщей голоценовых склоновых и коллювиальных отложений.

Известно, что весь юг штата Нью-Джерси располагается примерно на 100–150 км южнее границы распространения позднелейстоценового (висконсинского) оледенения, следов более ранних оледенений здесь не прослеживаются [Pewe, 1983]. Таким образом, можно полагать, что на территории Пайн-Барренс в висконсинское время существовали холодные перигляциальные условия. Это, в свою очередь, позволяет предположить формирование на данной территории вечной мерзлоты или, по крайней мере, глубокого сезонного промерзания. Впервые такое мнение было высказано П. Вольфом [Wolfe, 1953, 1956] в связи с его описанием замкнутых депрессий и мелких озер, интерпретируемых как термокарстовые формы. Однако, вероятно в связи со столь южным положением района, в русском издании известной монографии А.Л. Уошборна это сообщение об обнаружении перигляциальных форм, связанных с существованием вечной мерзлоты, было оценено как сомнительное [Уошборн, 1988, с. 308]. Несмотря на то что выводы П. Вольфа были поставлены под сомнение, проведенное впоследствии геологическое картирование подтвердило возможное существование здесь мерзлоты в позднем плейстоцене [Newell, Wyckoff, 1992; Newell et al., 2000].

Наиболее детальные исследования перигляциальных образований в этом районе были проведены Х. Френчем и М. Демитроффом [French, Demitroff, 2001; French et al., 2003, 2005, 2007]. В результате обследования разрезов, расположенных в карьерах для добычи песка и гравия, в береговых обрывах рек в округах Атлантик и Кимберленд штата Нью-Джерси, а также частично штатов Делавэр и Мэриленд ими установлено, что в этих районах с ранневисконсинского времени существовала вечная мерзлота с предполагаемой мощностью более 10–15 м и среднегодовыми температурами –3...–4 °С. Такому глубокому промерзанию, по их мнению, способствовала скудная тундровая растительность и довольно грубый состав отложений. Во многих случаях отложения были достаточно льдистыми и включали как полигонально-жильные, так и маломощные пластовые льды. По окончании висконсинской эпохи вечная мерзлота деградировала и в начале голоцена окончательно протаяла, оставив многочисленные следы своего существования.

ПЕРИГЛЯЦИАЛЬНЫЕ ЯВЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ ПАЙН-БАРРЕНС

Реликтовые песчаные жилы. Наиболее интересными перигляциальными феноменами в исследованных разрезах оказались разнообразные клиновидные структуры. Проблема образования клиновидных структур изучается достаточно давно исследователями разных стран, однако говорить, что она окончательно ясна, пока рано. Прежде всего, следует отметить большие сложности в определении различий между изначально грунтовыми образованиями и псевдоморфозами по полигонально-жильному льду. В районе Пайн-Барренс Х. Френч и М. Демитрофф [French, Demitroff, 2001] большинство изученных клиновидных структур причисляют к изначально грунтовым жилам (по Н.С. Даниловой [1956], Н.Н. Романовскому [1977]), а не к псевдоморфозам.

Реликтовые грунтовые (песчаные) жилы были обнаружены в различных местах Пайн-Барренс в разрезах поверхностей от 15 до 40 м над уровнем моря. Обычно они начинаются на глубине 0,5–1,0 м от дневной поверхности и достигают мощности 1,0–2,5 м и ширины 0,2–0,4 м. Во многих случаях они залегали в гравелистых песках формации Бриджтоун и Коханси, что способствовало их прекрасной сохранности. Жилы резко отличаются от вмещающих отложений своей несортированностью. Одна часть жил заполнена дисперсным материалом от тонкого до среднего песка, который часто показывает вертикальную или ступенчатую слоистость, другая часть содержит плохо сортированный песчаный гравий. Жилы формируют полигоны размерами от 10 до 40 м, которые легко диагностировать. Полигоны образуют сеть, очень похожую на имеющуюся в арктических регионах, что уже первых исследователей привело к выводу об их морозобойном происхождении. Особенно хорошо сеть полигонов прослеживается на аэроснимках 1930-х гг., сделанных после проведения обширных вырубок на данной территории.

Принадлежность изученных образований к изначально грунтовым образованиям, а не псевдоморфозам, доказывается авторами с разных позиций. Во-первых, жилы заполнены главным образом тонко- или среднезернистым песком с присутствием мелких галек, количество которых обычно увеличивается к верхней части жилы. Характер этого материала резко контрастирует с таковым в отложениях формации Бриджтоун и Коханси. Во-вторых, в этих отложениях не наблюдается прогибания или переверачивания материала, что обычно связывают с протаиванием ледяных жил. В-третьих, некоторые жилы показывают вертикальную слоистость в заполнителе с медленным огрублением материала с глубины к поверхности.

Кроме того, в исследованном районе обнаружено одно клиновидное образование, более похожее на псевдоморфозу, поскольку здесь наблюдались признаки сбросов или изгибов, предполагающих заполнение полости при протаивании жил. Возможно, такие случаи не единичны, и можно предположить, что в висконсинское время на данной территории мог формироваться мало мощный полигонально-жильный лед, как предполагал для соседней территории (центрального Нью-Джерси) другой американский исследователь – Дж.С. Вальтер [Walter, 1978].

Изученные песчаные жилы представляют собой эпигенетические образования, поскольку все жилы начинаются от дневной поверхности, а по разрезу жильные образования отсутствуют. Геологические изыскания говорят также о том, что район Пайн-Барренс в позднем плейстоцене активно эродировался, тем не менее в аллювии местных рек клиновидных структур не встречено.

Помимо вышеописанных структур на территории Пайн-Барренс были обнаружены жилы другой морфологии. Они меньших размеров, верхняя часть их расширена, а нижняя имеет форму узкого



Рис. 2. Песчаная жила в разрезе Дорчестер Пит около г. Порт-Элизабет, штат Нью-Джерси, округ Кимберленд (39°19' с.ш.). Фото М. Демитроффа.

клина; мощность составляет 1,0–1,5 м; они часто деформированы и в плане образуют более частую решетку. В российской литературе [Попов, 1967; Романовский, 1977] происхождение таких образований связывают с возникновением трещин в слое сезонного промерзания–протаивания и заполнением их почвой и минеральным субстратом.

В данной статье вопрос о происхождении и палеогеографических условиях образования жильных структур в районе Пайн-Барренс рассматривается на примере разреза Дорчестер Пит, расположенного в южной части штата Нью-Джерси (см. рис. 1). Разрез Дорчестер Пит располагается в стенке карьера, бровка которого находится на высоте 15–18 м над уровнем моря. Он вскрывает ряд жильных структур, из которых наибольшая представлена мощностью 2,7 м и шириной от 0,2 м в верхней части, содержащей хорошо отсортированный песок (рис. 2). Вмещающими жилу отложениями являются желтовато-красные гравелистые пески с отдельными валунами формации Бриджтоун и Коханси. Верхняя часть формации представляет собой выветрелый и консолидированный материал того же состава, но сильно затронутый процессами выщелачивания и окисления. Горизонт разбит трещинами предположительно криогенного характера. Перекрывается этот слой маломощным слоем голоценовых коллювиальных отложений. Разрез завершает маломощный почвенный слой, который по Ж. Тедрофу [Tedrow, 1986] имеет слоевую микроморфологию, характерную для современных тундровых почв.

Для выяснения возраста песчаных жил отложения, заполняющие жилу, были подвергнуты термолюминисцентному анализу, а перекрывающие – радиоуглеродному. Данные датирования показали, что самые древние датировки связаны с ранним висконсином (65–55 тыс. лет назад, изотопная стадия 4), а более поздние с поздним висконсином (18–15 тыс. лет назад, изотопная стадия 2) [French et al., 2003]. Исходя из этого, авторы полагают, что изученные объекты отражают два позднеплейстоценовых периода с холодными перигляциальными условиями, когда присутствовала мерзлота и существовали благоприятные для морозобойного растрескивания условия.

Для сопоставления литологических особенностей вмещающих отложений и песчаного заполнителя жил было проведено морфоскопическое исследование частиц песчаной фракции. Метод изучения морфологии частиц песчаной фракции с целью определения их генезиса известен давно – с работ французского ученого А. Кайе [1969] с использованием оптического микроскопа, а также работ Д. Кринсли [Krinley, Dornkamp, 1973] с применением электронной микроскопии. Такие исследования для перигляциальных отложений Пайн-Барренс были проведены независимо разными

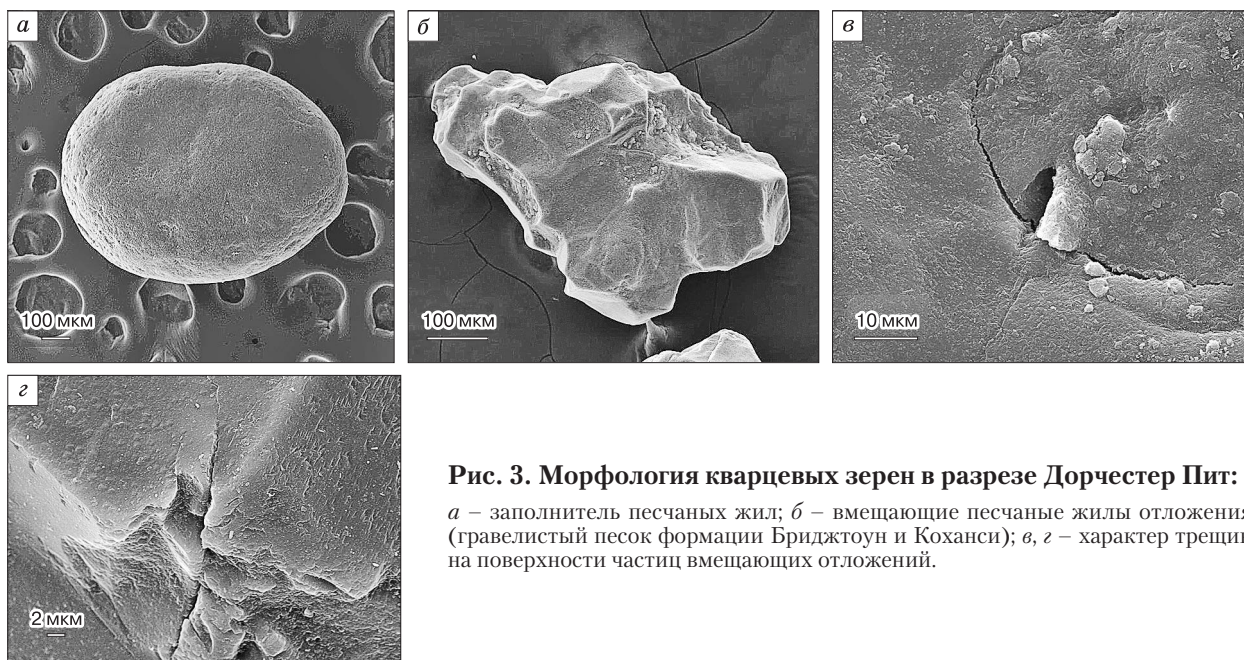


Рис. 3. Морфология кварцевых зерен в разрезе Дорчестер Пит:

a – заполнитель песчаных жил; *б* – вмещающие песчаные жилы отложения (гравелистый песок формации Бриджтоун и Коханси); *в, г* – характер трещин на поверхности частиц вмещающих отложений.

аналитиками в США, Польше и России. Электронно-микроскопические фотографии частиц песчаной фракции, сделанные в Карлтонском университете на факультете наук о Земле [French et al., 2003] и на географическом факультете МГУ (рис. 3), показывают различие облика частиц заполнителя песчаной жилы и вмещающих отложений.

Частицы вмещающих песчаные жилы отложений формации Бриджтоун и Коханси демонстрируют следы многочисленных сколов, формирующих в целом угловатую форму с выступами и выемками; для частиц кварца сколы имеют раковистые уступы и острые края. Такая же форма характерна не только для песчаных, но и для более крупных частиц. На поверхности сколов отмечено

наличие трещин, связанных с полостями газожидких включений, что указывает на их криогенное происхождение [Рогов, 1987, 2000]. Песчаные частицы заполнителя жилы округлы, имеют мелкоямчатую поверхность с многочисленными чашевидными углублениями, что считается признаком эолового переноса.

Для песчаных частиц из серии образцов были проведены разные по характеру микроморфоскопические измерения. Х. Френч с соавт. [French et al., 2003] приводит данные морфологического анализа по методике А. Кайе [1969], проведенных Я. Годзиком (Польша) для образцов разреза Коач Роуд, расположенного рядом с Дорчестер Пит (табл. 1). Эти данные показывают резкое преобладание в заполнителе песчаных жил зерен кварца

Таблица 1. **Морфологические характеристики песчаных зерен заполнителя жил и вмещающих отложений [French et al., 2003]**

Отложения*	Степень абразии**	Степень округлости***								
		0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Заполнитель песчаной жилы разреза Коач Роуд	RM							57	33	3
	EL				1	2				
	T			3	26	22	9	1		
	NU			2						
Песок формации Бриджтоун разреза Коач Роуд	RM					1		14	5	
	EL				1	1				
	T		4	16	39	14	4			
	NU	3								

* Изучались частицы более 0,7 мм в поперечнике по методике А. Кайе [1969], с добавлениями Я. Годзика.

** Степень абразии определялась визуально: RM – округло-матовые, EL – тупоугольно-глянцевые, NU – неокатанные, T – среднее между EL и NU.

*** Доля частиц разной округлости (округлость увеличивается со степенью сферичности, круг – 1).

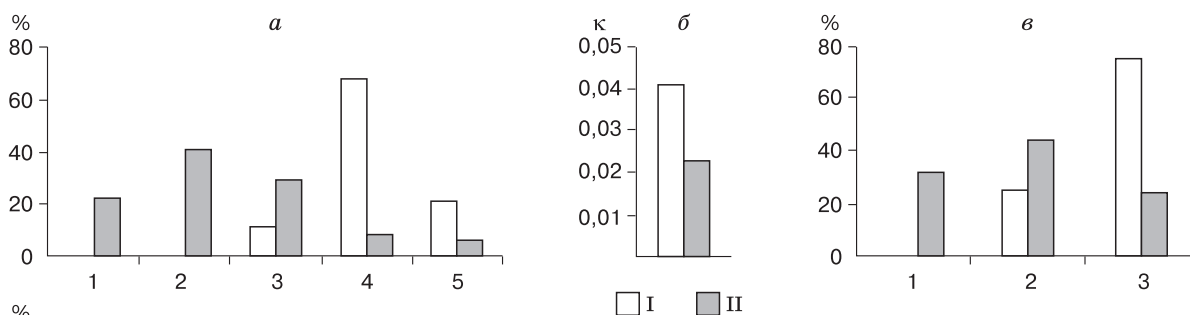


Рис. 4. Морфологические характеристики песчаных зерен заполнителя жил и вмещающих отложений, по методике [Конищев и др., 2005].

a – распределение по характеру окатанности зерен (1–5 – классы окатанности, по Петтиджону); *б* – коэффициент округлости *к* (для сравнения: квадрат – 0,01, круг – 0,05); *в* – распределение по степени удлиненности частиц (1 – сильно вытянутая, 2 – слабо вытянутая, 3 – изометричная); *г* – распределение по типу сколов (1 – наличие сколов более радиуса частицы, 2 – менее радиуса, 3 – отсутствие сколов); I – заполнитель жилы, II – вмещающие отложения.

высокой степени округлости с матовой поверхностью, а в песке формации Бриджтоун и Коханси преобладают слабоокатанные зерна с глянцевой поверхностью. Исследователями Московского университета проведены морфоскопические измерения песчаных частиц разреза Дорчестер Пит по иной методике [Конищев и др., 2005], которые указывают на те же закономерности – боль-

шую окатанность песчаных частиц в заполнителе жил и ее отсутствие при наличии многочисленных сколов частиц в формации Бриджтоун (рис. 4). Таким образом, анализы морфоскопии песчаных зерен подтверждают разную природу вмещающих отложений и материала заполнителя жил.

С целью проверки криогенного генезиса изученных песчаных жил и уточнения параметров

Таблица 2. Минералогический состав отложений и коэффициент криогенной контрастности (ККК) для разреза Дорчестер Пит

№ п/п	Образец	Глубина, см	Фракции, мм	Кварц, %	Полевые шпаты, %	Тяжелые минералы, %	ККК	Примечания	
1	Вмещающие пески	20	0,10–0,05	77,8	9,5	12,7	0,61		
			0,05–0,01	64,1	12,9	23,0			
2		40	0,10–0,05	71,2	21,0	7,8	1,12		
			0,05–0,01	75,8	22,0	4,2			
3		60	0,10–0,05	59,2	28,2	12,6	0,94		Среди аксессуарных в основном биотит
			0,05–0,01	50,3	25,4	24,3			
4		80	0,10–0,05	57,3	32,4	10,3	0,76		То же
			0,05–0,01	42,3	31,3	26,4			
5		100	0,10–0,05	43,1	31,6	25,3	1,10		Среди аксессуарных в основном биотит и рудные минералы
	0,05–0,01		41,7	27,6	30,7				
6	120	0,10–0,05	40,6	51,1	8,3	2,63			
		0,05–0,01	58,6	28,0	13,4				
7	160	0,10–0,05	63,4	29,2	7,4	1,37			
		0,05–0,01	72,2	24,2	3,6				
8	180	0,10–0,05	54,4	38,3	7,3	0,96			
		0,05–0,01	37,8	27,5	34,7				
9	200	0,10–0,05	77,3	10,3	12,4	0,70			
		0,05–0,01	66,1	12,5	21,4				
10	Песчаная жила	100	0,10–0,05	79,3	8,2	12,5	0,53	Среди аксессуарных в основном биотит	
			0,05–0,01	65,0	12,7	22,3			
11	«	160	0,10–0,05	85,0	4,4	10,6	0,27	Биотит в виде желтого порошка	
			0,05–0,01	34,7	6,5	58,8			

палеоклиматических условий их формирования был применен криолитологический метод [Конищев, Рогов, 1994; Конищев, 1997, 1998]. Для этого были отобраны образцы по глубине из вмещающих отложений и из самой жилы.

Криолитологический метод анализа рыхлых отложений и примеры его использования в настоящее время уже описаны как в российской, так и в зарубежной литературе, поэтому в данной статье он подробно не рассматривается. Отметим только, что принцип его основан на различной устойчивости главных породообразующих минералов – кварца и полевого шпата при выветривании в области положительных температур и в условиях неоднократного перехода температуры через 0 °С. Эта устойчивость выражается в разной степени накопления указанных минералов в тонкопесчаной и крупнопылеватой фракциях. Отсюда рассчитывается коэффициент криогенной контрастности (ККК), величина которого отражает степень суровости условий криогенеза рыхлых отложений. Если ККК больше единицы, то процесс криогенного выветривания происходит в условиях существования вечной мерзлоты.

Из табл. 2 следует, что ККК вмещающих отложений резко отличается от такового для песчаного заполнителя жил и отражает условия значительного воздействия криогенеза на минеральную составляющую песчано-гравийной толщи формации бриджтоун и коханси. Распределение ККК по разрезу имеет два пика, что, возможно, связано с двумя периодами усиления суровости перигляциальных условий (в раннем и позднем висконсине) и существованием вечной мерзлоты на территории Пайн-Барренс, о чем писали Х. Френч и М. Демитрофф [French, Demitroff, 2001]. Опираясь на сделанное ранее одним из авторов [Конищев, 1997, 1998] сопоставление значений ККК, температур грунта и характера криогенных ландшафтов для некоторых районов России (рис. 5), можно предположить, что в раннем висконсине климатические условия близки к условиям для тундр Северной Якутии, а в позднем – для южных районов Большеземельской тундры. Данные криолитологического анализа позволяют предположить существование более низких среднегодовых температур грунта (–6...–8 °С), чем было указано в работе [French, Demitroff, 2001]. Такое предположение хорошо согласуется с представлениями Н.Н. Романовского [1977] о том, что морозобойное растрескивание в грубодисперсных отложениях должно происходить при достаточно низких среднегодовых температурах грунта.

Интересно сравнить полученные значения коэффициента криогенной контрастности для разрезов Пайн-Барренс с ранее полученными данными по районам валдайского перигляциала Русской

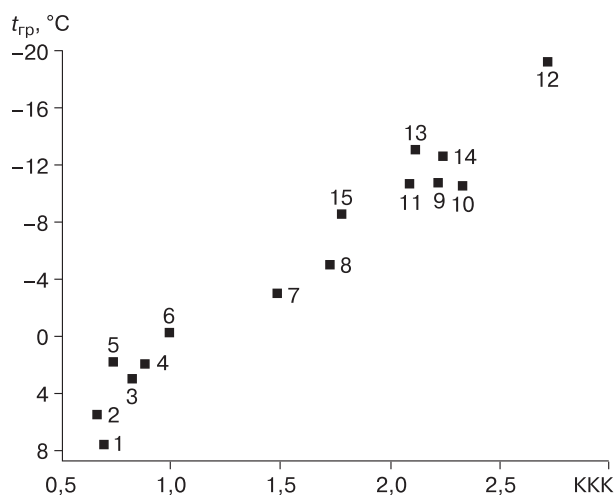


Рис. 5. Связь коэффициента криогенной контрастности (ККК) и среднегодовой температуры поверхности грунтов ($t_{гр}$) в различных районах [Конищев, 1998].

1 – подзолистая почва на озерно-ледниковых отложениях (Белоруссия, район Минска); 2 – подзолистая почва на моренных суглинках (Белоруссия, Поозерье); 3 – дерново-подзолистая и подзолистая почва на покровных суглинках (Клинско-Дмитровская гряда, южная тайга); 4 – подзолистая почва на покровных суглинках (средняя тайга, район Сыктывкара); 5 – подзолистая почва на покровных суглинках (Западная Сибирь, пос. Ларьяк); 6 – глеево-подзолистая почва на покровном суглинке (северная тайга, г. Троицко-Печорск); 7 – торфяно-глеевая почва на покровном суглинке (южная тундра, пос. Воргашор); 8 – торфяно-глеевые почвы на покровном суглинке (Большеземельская тундра, район Воркуты); 9 – суглинистый элювий песчаников и сланцев (Яно-Омолуйское междуречье, хр. Кулар); 10 – тундровая глеевая почва на отложениях ледового комплекса (р. Индигирка, обн. Воронцовский Яр); 11 – тундровая глеевая почва на отложениях ледового комплекса (побережье Восточно-Сибирского моря, мыс Чукочий); 12 – элювиально-солифлюкционные отложения (Памир, абс. высота 6200 м, край фирнового плато); 13 – элювий песчано-глинистых сланцев (Восточно-Сибирское море, п-ов Святой Мыс); 14 – элювий песчано-глинистых сланцев (Восточно-Сибирское море, п-ов Широкостан); 15 – элювий песчано-глинистых сланцев (нижнее течение р. Колымы).

равнины [Конищев и др., 2005]. Так, в Рязанской области, близ впадения р. Прони в Оку, в отложениях хотылевского лесса была обнаружена песчаная жила шириной в верхней части 0,45–0,60 м и мощностью до 2,3 м. При этом для вмещающих отложений ККК = 1,08–1,31, а для материала, заполняющего жилу, ККК = 0,58. Это указывает на сходство климатических условий образования клиновидных структур в позднем висконсине (валдае) для перигляциала Атлантического побережья США и центра Русской равнины.

Озерные западины Пайн-Барренс. Прошло более 50 лет с того времени, когда П. Вольф [Wolfe, 1953, 1956] впервые обратил внимание на существ-

вание на территории Пайн-Барренс замкнутых понижений и мелководных водоемов. Он считал, что эти формы рельефа имеют позднеплейстоценовый возраст и образованы в результате промерзания-протаивания льдистых отложений. Площадь понижений составляет от 0,5 до 5,0 га, глубина до 3 м, они часто заполнены водой, образуя мелководные озера, и носят местное название “spongs” (“западины”). До прихода сюда первых колонистов эти понижения активно использовались индейцами как места поселения и охотничьи угодья. В настоящее время они представляют собой неустойчивые, легко ранимые с экологической точки зрения заболоченные территории с преимущественным развитием песчаных почв. Многие из них находятся в участках невысоких междуречий, которые разделяют бассейны стока.

После П. Вольфа [Wolfe, 1956] исследователями, побывавшими здесь, был высказан еще ряд гипотез об их происхождении. Кроме гипотез неперигляциального характера, существуют мнения о

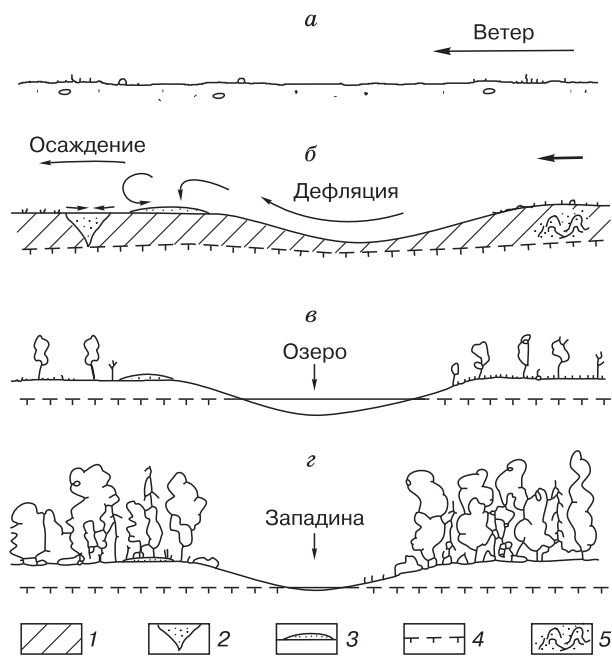


Рис. 6. Предполагаемые стадии развития замкнутых котловин и заболоченных территорий юга Нью-Джерси [French, Demitroff, 2001].

а – изначальная поверхность Пайн-Барренс начала позднего плейстоцена; б – поверхность в период активной эоловой деятельности во время максимального распространения поздневисконсинского оледенения (22–18 тыс. лет назад), когда существовали тундровые ландшафты с вечной или глубокой сезонной мерзлотой; в – поверхность после окончания активной дефляции (16–14 тыс. лет назад), когда начали формироваться ландшафты лесотундры с древесно-кустарниковой растительностью; г – современный рельеф поверхности; 1 – мерзлый грунт, 2 – песчаные жилы, 3 – пылеватый песок, 4 – уровень грунтовых вод, 5 – крютурбации.

том, что происхождение указанных западин связано с термокарстовым разрушением бугров пучения или льдистых пород, а также возможным наличием здесь в позднем плейстоцене водоснежных потоков [Bonfiglio, Cresson, 1982]. Одна из последних и достаточно полно обоснованных гипотез заключается в том, что западины появились в результате действия перигляциальных ветров. Эта гипотеза развивается, в частности, североамериканскими авторами данной статьи [French et al., 2003]. Она основывается на предположении, что в период максимального распространения поздневисконсинского оледенения (22–18 тыс. лет назад) на открытых тундровых пространствах с вечной или глубокой сезонной мерзлотой активной эоловая деятельность на открытых слабо освоенных растительностью возвышенностях привела к образованию дефляционных западин. Авторы приводят косвенные доказательства того, что именно ветровая эрозия лежала в начале образования этих понижений. Во-первых, доказательством может служить наличие клинообразных структур, заполненных в основном тонким материалом, принесенным ветром, как было описано ранее, что показывает важную роль деятельности ветра на территориях, занятых сезонной или многолетней мерзлотой. Во-вторых, В. Ньюолл с соавт. [Newell et al., 2000] закартировали выходящие на дневную поверхность лессы и наносные эоловые песчаные отложения в юго-западных областях юга Нью-Джерси. Эти отложения также свидетельствуют о важной роли ветра в рассматриваемом районе. Эоловые отложения по данным В. Ньюолла имеют предположительно средне- и поздневисконсинский возраст, а источником их служат отложения террас в долине р. Делавэр. В-третьих, эоловый генезис западин подтверждается также их морфологией. Так, многие котловины имеют вытянутую форму и обрамлены валами из песчаного материала, которые наиболее четко выражены на южных границах котловин. Это предполагает, что активная эоловая деятельность была обусловлена ветрами северного направления, возможно, ветрами с близрасположенного висконсинского ледника. Хорошо известно, что для перигляциальных областей, граничащих с большими ледниковыми покровами (типа тех, что существуют в настоящее время в Антарктиде и Гренландии), характерны сильные стоковые ветры и активная эоловая деятельность [French, Guglielmin, 1999]. Даже если территории, занятые тундровыми ландшафтами, расположены далеко от края ледника, сочетание мощных местных ветров, песчаных отложений и разреженного растительного покрова могут дать начало образованию дефляционных понижений. Исходя из этого, Х. Френч с соавт. [French et al., 2003, 2005] полагают, что именно деятельность ветра в холодных климатических условиях была

Таблица 3. Минералогический состав отложений и коэффициент криогенной контрастности для разрезов Ли Понд и Дебби Понд

№ п/п	Образец	Глубина, см	Фракции, мм	Кварц, %	Полевые шпаты, %	Тяжелые минералы, %	Слюда, %	Халцедоновые агрегаты, %	ККК	Примечание
<i>Ли Понд</i>										
1	1а	30	0,10–0,05 0,05–0,01	40,5 48,9	13,1 16,0	5,1 2,7	– 0,9	41,3 31,5	0,98	Присутствуют фитолиды
2	1б	50	0,10–0,05 0,05–0,01	18,0 16,0	3,6 3,7	2,3 2,1	2,7 1,1	73,4 77,1	0,86	Полевые шпаты серицитизированные
3	1в	75	0,10–0,05 0,05–0,01	24,9 21,8	16,0 23,2	2,7 3,3	– –	56,4 51,7	0,6	
4	2а	30	0,10–0,05 0,05–0,01	56,1 73,5	10,7 10,5	5,7 3,7	5,2 3,5	22,3 7,8	1,33	Присутствуют фитолиды
5	2б	50	0,10–0,05 0,05–0,01	87,4 74,3	5,0 11,2	7,1 7,5	0,5 7,0	– –	0,37	Присутствуют фитолиды
6	2в	75	0,10–0,05 0,05–0,01	34,6 30,5	4,2 9,7	4,2 1,7	0,7 0,6	56,3 57,5	0,38	Наличие диатомовых
<i>Дебби Понд</i>										
7	3а	30	0,10–0,05 0,05–0,01	42,6 40,6	5,1 2,0	4,3 1,7	0,7 1,7	47,3 54,0	2,41	
8	3б	50	0,10–0,05 0,05–0,01	59,5 57,7	2,7 6,1	2,5 1,2	– –	35,3 35,0	0,42	
9	3в	75	0,10–0,05 0,05–0,01	65,4 61,5	13,1 14,0	4,3 4,8	2,6 –	14,6 19,7	0,87	

причиной образования этих западин, и сформировались они в результате дефляции в пределах флювиальных песчаных прослоев формации Бриджтоун и Коханси в то время, когда растительный покров был разрежен. Это может объяснить их беспорядочное расположение и проявление главным образом на междуречье и возвышенных областях Пайн-Барренс. Активная эоловая деятельность, вероятно, прекратилась около 16–14 тыс. лет назад, когда начал распадаться висконсинский ледяной покров. В это время происходило активное протаивание мерзлых толщ, формирование ландшафтов с древесно-кустарниковой растительностью, а послеледниковое поднятие уровня грунтовых вод превратило эти понижения в мелкие водоёмы. В настоящее время в связи с осушением территории многие озера и болота исчезают. На рис. 6 схематично показана последовательность предполагаемых событий [French, Demitroff, 2001; French et al., 2003].

Исходя из вышесказанного, можно полагать, что в этих условиях должно было активно развиваться криогенное выветривание и его проявления могли бы служить еще одним доказательством существования в Пайн-Барренс суровых перигляциальных условий в позднеплейстоценовое время. С целью проверки этого предположения для отложений вблизи описываемых западин был применен криолитологический метод. Для исследования были выбраны две типичные западины, каждая площадью приблизительно 0,25 га, где было пробурено 12 скважин. В одной из западин – Ли Понд (Lee Pond) – скважины были заложены

поперек нее: первый профиль отсекал приблизительно третью часть западины, второй проходил через ее середину. Во второй западине – Дебби Понд (Debbi Pond) – профиль скважин проходил через ее южную часть. При этом следует отметить, что западина Дебби Понд располагалась на водоразделе, а Ли Понд – в долине. Образцы в обоих случаях были отобраны на глубинах 0,3, 0,5 и 0,75 м. Характеристика минералогического состава образцов и рассчитанные значения коэффициента криогенной контрастности приведены в табл. 3. Как видно из таблицы, высокие значения ККК характерны для самых верхних слоев отложений западин, что, возможно, обусловлено глубиной слоя сезонного промерзания–протаивания, который, исходя из полученных данных, составлял несколько десятков сантиметров. Анализ значений ККК позволяет предположить существование тундровых ландшафтов, характерных для арктических регионов. Такая суровость климатической обстановки определялась сильными стоковыми ветрами, дувшими в южном направлении от максимального края поздневисконсинского ледника, который располагался в 150 км к северу. Если значение ККК больше единицы, можно считать, что в период формирования западин присутствовала вечная мерзлота.

Проявления позднеплейстоценового термокарста. Как известно, явления, связанные с протаиванием мерзлых пород, весьма многообразны. Часть из них в былых перигляциальных областях представлена криотурбациями и инволюциями. Об условиях их формирования также нет единого

мнения. Рядом исследователей эти образования не связываются с протаиванием отложений, их содержащих. Однако большинство исследователей так или иначе считают их происхождение связанным с нарушением температурных условий существовавших ранее сезонно- и вечномерзлых отложений, последующим их протаиванием и образованием особых форм осадочного материала.

Формы, образованные смещенными и нарушенными почвенными горизонтами, называемые криотурбациями, хорошо известны как для центральной, так и для южной частей Нью-Джерси. Они были описаны сначала П. Вольфом [Wolfe, 1953], а позднее и другими исследователями [Tedorow, 1986]. На рис. 7 показаны некоторые из таких форм, которые наблюдались в разрезе Ньютонвилл в округе Атлантик. Криотурбации часто распространены на хорошо дренируемых поверхностях с абсолютной высотой до 40 м. Обычно они захватывают слои до нескольких десятков метров по горизонтали и 3–4 м по вертикали. Отложения, вовлеченные в криотурбации, представляют собой ненарушенные слои пылеватого среднего песка, вложенные в песчанистые гравийники формации Бриджтоун и Коханси. Они перекрываются песками мощностью около 0,5 м и слоем почвы. Согласно представлениям Х. Френча с соавт. [French et al., 2005], они образованы в результате перемещения и перемешивания материала при протаивании отложений указанной формации в ходе деградации вечной мерзлоты в этом районе. Криотурбации рассматриваемого района хаотические, не отличаются какой-либо регулярностью и представляют собой сложные складки-интрузии. При этом отметим, что большинство случаев подобных криотурбаций в Европе характерны для более тонкодисперсных отложений, тогда как в данном случае они развиты в крупнодисперсных, гравелистых отложениях, для которых обычно не ха-



Рис. 7. Криотурбации в разрезе Ньютонвилл, штат Нью-Джерси, округ Атлантик. Фото М. Демитроффа.

рактерно сильное льдовыделение, а следовательно, и значительное водонасыщение грунтов, способствующих перемешиванию материала. Однако американские авторы [French et al., 2005] полагают, что этому могло способствовать образование маломощного пластового льда на границе отложений формации бриджтоун и вышележащих пылеватых песков.

Деградация вечной мерзлоты и протаивание отложений на территории Пайн-Барренс привели к еще одному интересному перигляциальному феномену. Так, уже в раннем висконсине отложения, содержащие песчаные жилы, начали протаивать, в результате чего жилы стали деформироваться, приобретая изогнутые формы. В большинстве случаев жилы расширены в верхней части и представляют собой чашеобразные “карманы” размерами 2–4 м как по вертикали, так и по горизонтали. “Карманы” заполнены оливково-коричневой смесью песчанистого гравия с валунами и заканчиваются изогнутыми песчаными жилами желтоватого цвета. Исследователи таких разрезов в Пайн-Барренс [French et al., 2005] полагают, что эти образования формируются посредством сложного механизма в местах пересечения двух или более песчаных жил при сочетании термоэрозии с перемешиванием и переотложением материала. Похожие образования известны в Европе и в России, при этом А.И. Попов [1967] считал, что их конфигурация обусловлена тем, что верхняя широкая часть жилы закладывается в слое сезонного промерзания–протаивания, а нижняя узкая часть – в вечной мерзлоте.

В разрезе близ Ньютонвилла (рис. 8) была описана жила мощностью по вертикали до 4 м, верхняя часть которой была расширена, а нижняя



Рис. 8. Деформированная песчаная жила в разрезе Ньютонвилл. Фото М. Демитроффа.

Таблица 4.

**Минералогический состав отложений
и коэффициент криогенной контрастности для разреза Ньютонвилл**

Образцы	Фракции, мм	Кварц, %	Полевые шпаты, %	Тяжелые минералы, %	Слюда, %	Халцедоновые агрегаты, %	ККК	Примечание
Заполнитель жилы	0,10–0,05	82,7	0,8	14,0	1,2	1,3	0,22	Все минералы в железистых пленках
	0,05–0,01	79,3	3,5	13,5	1,8	1,9		
Граница жилы	0,10–0,05	78,0	2,4	8,1	4,8	6,7	0,89	
	0,05–0,01	84,0	2,9	12,7	0,4	–		
Вмещающие отложения	0,10–0,05	66,5	13,4	1,6	14,6	3,9	1,44	Многие зерна кварца покрыты халцедоновыми пленками
	0,05–0,01	65,9	9,2	6,5	18,4	–		

изогнута. Жила четко выделяется в массиве более светлым цветом заполняющего ее песка. В целом описываемая структура показывает сложную деформацию слоев гравия, песка и пыли с участием эрозии, оплывания и перемещения масс. Для подтверждения перигляциальной природы данной структуры и факта образования ее в связи с деградацией мерзлоты и протаивания отложений был использован криолитологический метод. Для пофракционного минералогического анализа и расчета ККК на глубине 2,7 м было отобрано три образца: первый из вмещающих отложений, второй на контакте с жилой, третий из самой песчаной жилы. Распределение главных породообразующих минералов и значения ККК приведены в табл. 4. Данные таблицы показывают, что вмещающие отложения испытывали значительные криогенные преобразования в ходе промерзания–протаивания, причем палеогеографические условия, в которых проходил криогенез, соответствовали современной южной тундре. Вероятно, эти условия обеспечивали существование вечной мерзлоты. Заполнителем жилы, как и в случае разреза Дорчестер Пит, является привнесенный сюда эоловый материал. Последующее протаивание мерзлых отложений привело к деформации песчаной жилы, в результате чего она приобрела столь сложную форму.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные реликты перигляциального прошлого территории Пайн-Барренс – песчаные жилы и дефляционные котловины – имеют ряд особенностей, в значительной мере обусловленных процессами криогенеза. И хотя еще многое остается неясным, можно с большой уверенностью говорить о суровых перигляциальных условиях этого района, расположенного вблизи края поздневисконсинского ледникового покрова. Данные полевых исследований, проведенных американскими авторами, а также результаты применения методов абсолютного датирования показывают, что на данной территории в позднем плейстоцене было по крайней мере два периода похолодания: в

раннем висконсине (изотопно-кислородная стадия OIS-4) и позднем висконсине (OIS-2), в которых происходило морозобойное растрескивание. Столь суровые условия определяли на данной территории активное развитие криогенного преобразования отложений, стоковые ветры с близлежащего ледника определяли активный эоловый разнос материала. С этими условиями связано и формирование западин в Пайн-Барренс. Несмотря на то что их происхождение до сих пор остается дискуссионным, авторы полагают, что наиболее вероятное объяснение состоит в том, что они изначально формировались в позднем плейстоцене как дефляционные котловины в условиях континентального, аридного и холодного климата. Постепенное потепление на рубеже позднего плейстоцена–голоцена привело к отступанию и последующему разрушению висконсинского ледникового покрова и быстрому протаиванию вечной мерзлоты в перигляциальной зоне. Начавшиеся процессы термокарста привели к формированию инволюций и криотурбаций, деформированию и разрушению песчаных жил и иных клиновидных структур.

Данные, полученные криолитологическим методом, позволяют более уверенно говорить о существовании в позднеплейстоценовое время вечной мерзлоты на столь низкой (39° с.ш.) широте. При этом на основе этих данных можно предположить существование достаточно низких температур мерзлых пород (до –6...–8 °С), более низких, чем ранее предполагали Х. Френч с соавторами. Это хорошо согласуется с представлениями о формировании песчаных жил в грубодисперсных отложениях, имеющих место на исследуемой территории.

Таким образом, исследования района Пайн-Барренс на юге штата Нью-Джерси близ Атлантического побережья США показывают, что эта территория является уникальным памятником перигляциальных ландшафтов последнего плейстоценового оледенения. В связи с этим следует приветствовать инициативу одного из авторов статьи М. Демитроффа придать этой территории статус национального парка, что позволило бы сохранить

и показать желающим уникальные феномены перигляциального прошлого нашей планеты.

Авторы выражают благодарность за помощь в определении абсолютного возраста пород сотрудникам лаборатории люминесцентного датирования факультета наук о Земле Университета Иллинойса в Чикаго, В.Н. Соколову (геологический факультет МГУ) за помощь и консультации в электронно-микроскопических исследованиях, В.А. Алексеевой (географический факультет МГУ) за переводы статей с английского языка.

Полевые исследования в Пайн-Барренс были частично профинансированы ассоциацией Грейт Эгг Харбор Вотершид через Национальную парковую службу США, Геологической службой США, а также исследовательским грантом Университета Оттавы. Лабораторные исследования в России были профинансированы программой поддержки ведущих научных школ (проект НШ-500.2008.5).

Литература

- Величко А.А.** Палеогеография Европы в последние сто тысяч лет. М., Наука, 1982, 156 с.
- Данилова Н.С.** Грунтовые жилы и их происхождение // *Материалы к основам учения о мерзлых зонах земной коры.* М., 1956, вып. III, с. 56–64.
- Кайе А.** Морфоскопическое изучение некоторых песков и рыхлых песчаников на территории Советского Союза // *Новейшая тектоника, новейшие отложения и человек / Под ред. К.К. Маркова.* М., Изд-во Моск. ун-та, 1969, сб. 1, с. 20–29.
- Конищев В.Н.** Криолитологический метод оценки палеотемпературных условий формирования ледового комплекса и субаэральных перигляциальных отложений // *Криосфера Земли, 1997, т. 1, № 2, с. 23–28.*
- Конищев В.Н.** Взаимосвязь состава и температуры криогенных почв и грунтов // *Вестн. МГУ. Сер. 5. География, 1998, № 3, с. 9–14.*
- Конищев В.Н., Лебедева-Верба М.П., Рогов В.В., Сталина Е.Е.** Криогенез современных и позднеледниковых отложений Алтая и перигляциальных областей Европы. М., ГЕОС, 2005, 132 с.
- Конищев В.Н., Рогов В.В.** Методы криолитологических исследований. М., Изд-во Моск. ун-та, 1994, 135 с.
- Попов А.И.** Мерзлотные явления в земной коре (криолитология). М., Изд-во Моск. ун-та, 1967, 189 с.
- Рогов В.В.** О роли газовой-жидких включений в механизме криогенного разрушения кварца // *Вестн. МГУ. Сер. 5. География, 1987, № 3, с. 81–85.*
- Рогов В.В.** Особенности морфологии частиц криогенного элювия // *Криосфера Земли, 2000, т. IV, № 3, с. 67–73.*
- Романовский Н.Н.** Формирование полигонально-жилных структур. Новосибирск, Наука, 1977, 215 с.
- Уошборн А.Л.** Мир холода. Геокриологические исследования. М., Прогресс, 1988, 384 с.
- Bonfiglio A., Cresson J.A.** Geomorphology and pinelands prehistory: a model into early aboriginal land used // *History, culture and Archaeology of New Jersey Pine Barrens.* Pomona, New Jersey, Stockton State College, 1982, p. 18–67.
- French H.M., Demitroff M.** Cold climate origin of the enclosed depression and wetlands (“spung”) of the Pine Barrens, southern New Jersey, USA // *Permafrost and Periglacial Processes, 2001, No. 12, p. 337–350.*
- French H.M., Demitroff M., Forman S.L.** Evidence for Late-Pleistocene Permafrost in the southern New Jersey Pine Barrens (latitude 39° N), eastern USA // *Permafrost and Periglacial Processes, 2003, No. 14, p. 259–274.*
- French H.M., Demitroff M., Forman S.L.** Evidence for Late-Pleistocene thermokarst in the New Jersey Pine Barrens (latitude 39° N), Eastern USA // *Permafrost and Periglacial Processes, 2005, No. 16, p. 173–186.*
- French H.M., Demitroff M., Forman S.L., Newell W.L.** A chronology of Late-Pleistocene permafrost events in southern New Jersey, Eastern USA // *Permafrost and Periglacial Processes, 2007, No. 18, p. 49–59.*
- French H.M., Guglielmin M.** Observation on the ice marginal, periglacial geomorphology of Terra Nova Bay, Northern Victoria Land, Antarctica // *Permafrost and Periglacial Processes, 1999, No. 10, p. 331–347.*
- Krinsley D.N., Doornkamp J.C.** Atlas of quartz sand surface textures. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1973, 91 p.
- Lozinski W.** Über die mechanische Verwitterung der Sandsteine im gemäßigten Klima // *Bull. Intern. de l’Academie des Sci. de Cracovie, Class des Sci. Math. et Naturelles, 1909, vol. 1, p. 1–25.*
- Lozinski W.** Die periglaziale Fazies der mechanischen Verwitterung. Comptes-rendus // *XI Congres Internationale Geologie.* Stockholm, 1912, p. 1039–1053.
- Newell W.L.** Evidence of cold-climate slope processes from the New Jersey Coastal Plain: debris flow stratigraphy at Haines Corner, Camden County, New Jersey // *U. S. Geol. Surv. (Open File Rep.), 2005, No. 1296, 10 p.*
- Newell W.L., Wyckoff J.** Paleohydrology of four watersheds in the New Jersey Coastal Plain: Proc. of the U.S. Geol. Surv. Workshop on the Geology and Geohydrology of the Atlantic Coastal Plain, 1988 // *U.S. Geol. Surv., Circul. 1059, p. 23–28.*
- Newell W.L., Powars D.S., Owens J.P. et al.** Sufficial geologic map of central and southern New Jersey // *U.S. Geol. Surv., Miscell. Investig. Ser., 2000, Map 1-2540-D.*
- Pewe T.L.** The periglacial environment in North America during Wisconsin time // *Late Quaternary Environments of the United States. Vol. The Late Pleistocene.* Minneapolis, Univ. Minnesota Press, 1983, p. 157–189.
- Tedrow J.C.** Soil of New Jersey. Malabar, Kreiger Publ., 1986, 479 p.
- Vandenbergh J., Pissart A.** Permafrost changes in Europe during the last glacial // *Permafrost and Periglacial Processes, 1993, No. 4, p. 121–135.*
- Walter J.S.** Polygonal patterning in central New Jersey // *Quatern. Res., 1978, No. 10, p. 42–54.*
- Wolfe P.E.** Periglacial frost-thaw basin in New Jersey // *J. Geol., 1953, No. 61, p. 133–141.*
- Wolfe P.E.** Pleistocene periglacial frost-thaw phenomena on the New Jersey Coastal Plain // *Trans. New York Acad. Sci., 1956, No. 18, p. 507–515.*

Поступила в редакцию
18 декабря 2008 г.