

РЕГИОНАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ КРИОЛОГИИ ЗЕМЛИ

УДК 91(09)(99)

НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ
АНТАРКТИЧЕСКИХ ОАЗИСОВ

И.Н. Сократова

Арктический и антарктический НИИ, 199397, С.-Петербург, ул. Беринга, 38, Россия, sokratova@aari.nw.ru

Первые попытки научно объяснить причины резкого отличия природных условий антарктических оазисов от окружающей полярной пустыни относятся к началу XX в. – периоду после обнаружения свободных от оледенения участков в Антарктиде. Однако более 100 лет изучения при накоплении значительного количества данных не привели к появлению общепринятой теории, описывающей их происхождение и условия сохранения. Имеющиеся в настоящее время представления о возрасте поверхности этих территорий, в частности о том, покрывались ли они ледниковым щитом во время последнего оледенения, также крайне противоречивы. Теория происхождения и существования оазисов необходима при создании “реперных точек”, используемых для привязки уже имеющихся рядов данных к конкретным наборам климатических, геологических и прочих условий, обеспечивающих формирование и сохранение антарктических оазисов. Это же требуется для того, чтобы ввести рассмотрение особенностей оазисов в климатические модели и модели, описывающие динамику и эволюцию Антарктического ледникового щита. В современных моделях, даже концептуальных, антарктические оазисы как краевые условия оледенения не учитываются. Нерешенность вопроса образования и существования антарктических оазисов в настоящее время связана не столько с отсутствием данных и подходов к его решению, сколько с отсутствием постановки этой проблемы в существующих научных программах.

Антарктические оазисы, история исследования, гипотезы происхождения, условия оледенения

THE UNANSWERED QUESTIONS OF THE ORIGIN AND EVOLUTION OF THE ANTARCTIC OASES

I.N. Sokratova

Arctic and Antarctic Research Institute, 199397, St. Petersburg, Bering str., 38, Russia, sokratova@aari.nw.ru

Attempts to provide a scientific explanation to the sharp differences in the environmental conditions of the Antarctic oases from the surrounding polar deserts appeared immediately after their discoveries at the beginning of 20th century. However, more than 100 years of their study and collecting of considerable amount of data did not provide a commonly accepted theory describing the origin and preservation of oases. The ideas on the age of these territories and especially the answers to the question whether the territories were covered by the ice sheet during the last glaciations are also contradictory. A theory of the origin and of the existence of the Antarctic oases is required for developing reference marks to bind the current data rows of climate, geological and other conditions, to the conditions responsible for the formation and preservation of the Antarctic oases. This is also required for incorporation of the Antarctic oases' conditions into climate models and models on the ice sheet dynamics. The Antarctic oases, as the boundary conditions of glaciations, are not included into the present models, even conceptual ones. Absence of a solution to the problem of origin and preservation of the Antarctic oases is related to the lack of statement of such problem in most of the presently-running scientific programs rather than to the absence of required data or methods for finding such solution.

Antarctic oases, history of investigation, hypothesis of origin, conditions of glaciation

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О НАЛИЧИИ СВОБОДНЫХ ОТО ЛЬДА
ПРОСТРАНСТВ В ПОЛЯРНЫХ РЕГИОНАХ

Существование в полярных областях Земли безледных пространств предполагалось еще в XIX в. Более того, возможность существования таких участков считалась научно обоснованной. Президент Американской ассоциации развития науки Дж.У. Доусон, со ссылкой на “факты, представленные”, в том числе, А.И. Воейковым, го-

ворит об отсутствии свидетельств в пользу возможности развития крупных ледниковых щитов [Dawson, 1883]. Он упоминает также планируемую экспедицию Н.А.Э. Норденшёльда для обнаружения свободных от оледенения пространств в центральной части Гренландии, основанную на том, что для формирования материкового оледенения

необходимы два условия: высокое содержание влаги в атмосфере и холодный температурный режим. Никаких данных, позволяющих предположить достаточное количество осадков для формирования километровых толщ льда в центральных частях Гренландии, Антарктиды и, в древности, Северной Америки на то время не имелось. Наоборот, метеорологами и физиками подтверждалось лишь обратное, так как большинство осадков выпадало из поступающих воздушных масс в крайних частях ледниковых покровов, и течение льда было также направлено от центра к краям ледниковых щитов [Dawson, 1883, p. 454].

А.И. Воейков, объясняя отсутствие покровного оледенения в Сибири, писал: “Я заключил из целого ряда фактов и сущности явления, что в самых холодных климатах (например, Северо-Восточной Сибири) даже при благоприятных топографических условиях, т. е. присутствии гор, не бывает ледников, если количество выпадающего снега недостаточно...” [1882, с. 15]. Однако существование ледникового щита в Гренландии и, в случае наличия материка, в Антарктиде им не оспаривалось и объяснялось притоком влаги с окружающих эти территории морей. Более того, “при обширности южнополярного материка, при громадных ледяных горах, которые отделяются от него, можно без преувеличения предположить, что под 80° ю.ш. верхняя поверхность льда не ниже 3500 метров” [Воейков, 1881, с. 36].

Один из наиболее авторитетных географов того времени Ф. Ратцель, уже уверенный после публикаций результатов экспедиции Ф. Нансена 1888 г. в наличии покровного оледенения в Гренландии, тем не менее, не видел ничего необычного в наличии свободных ото льда территорий в высоких полярных областях, считая, что объяснения требует, скорее, формирование покровного оледенения: “морского уровня достигает орографическая граница фирна. Климатическая граница фирна, напротив, в большей части этих стран вовсе не развивается, так как вследствие необычайно обширного оледенения со всех сторон выдвигаются гигантские глетчеры и массы материкового льда далеко за его границу. Незначительные осадки и сильное полуденное солнце в тех местах, где дело не доходит до образования фирна, отодвигают климатическую границу фирна далеко вверх...” [Ратцель, 1903]. Согласно Ф. Ратцелю: «где материковый лед, спускаясь, спаивается с фирновыми пятнами, возникает “пузыреобразное” оледенение целых стран при охлаждении климата вследствие того, что сверху распространяются разрастающиеся фирны и глетчеры, а в то же самое время снизу навстречу им растут фирновые пятна» [1903, т. 2, с. 345–346].

По сути, эти представления предваряют идеи С.В. Калесника [1939] о хионосфере и о возможности резкого отклонения истинной снеговой линии от теоретической и представляют собой второе, в некотором смысле противоположное, граничное условие образования оледенения, в дополнение к “касанию” хионосферой условной “площадки” на земной поверхности, проанализированному М.В. Троновым [1956, с. 15–16].

ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ ИЗ СВОБОДНЫХ ОТО ЛЬДА РАЙОНОВ АНТАРКТИДЫ

Н.О.Г. Норденшёльд высказывал следующую мысль: “Все страны вокруг полюса, по свидетельству посещавших их экспедиций, пережили некогда эпоху еще большего оледенения, чем теперь. Очень большим различие, правда, не могло быть, и едва ли вероятно, чтобы здесь когда-нибудь совершенно отсутствовали участки, свободные от снега” [1912, с. 85]. Описывая антарктические острова Сеймур и Сноу-Хилл, на котором находилась его зимняя стоянка во время экспедиции 1901–1904 гг., Н.О.Г. Норденшёльд обращает внимание на ту особенность, что “вся южная часть этих островов покрыта льдом, заходящим далеко в море, но далее к северу лед прекращается резкой линией, и северная часть островов совершенно свободна от вечного льда. В целом эта местность образует самую крупную область из всех известных в южно-полярных странах, свободную от снега” [1912, с. 69]. Задумавшись о причинах, помешавших скоплению снега в северной части, он признавал, что “на этот вопрос нелегко ответить. Несомненно лишь то, что если в этих местах вообще встречаются свободные ото льда участки, то они обязаны своим существованием бурям, так как сомнительно, чтобы одно летнее тепло было в состоянии ежегодно растоплять снег, выпадающий в течение всего года” [Норденшёльд, 1912, с. 69]. Н.О.Г. Норденшёльд также предположил, что сказывается “влияние известной инерции ... на тех местах, где так или иначе образовались однажды большие прогалины, солнечное тепло концентрируется настолько, что и остаток снега стаивает, тогда как на больших ледяных полях и летом продолжает господствовать низкая температура” [1912, с. 70]. Так он объяснил существование резкой границы между двумя ландшафтами. Но первопричина образования свободных ото льда участков оставалась для него неясной.

По мнению английского гляциолога Г. Тейлора, побывавшего в Сухих Долинах Земли Виктории – первом открытом в 1904 г. горном оазисе¹ – освобождение ото льда этой поверхности было связано “со стадиями отступления ледникового покрова” [Taylor, 1927, p. 334]. Такой же теории по

¹ Согласно классификации антарктических оазисов, представленной в работе И.Н. Сократовой [2007].

отношению к Сухим Долинам придерживался Х. Феррар [Ferrar, 1925].

В 1925 г. С.Г. Григорьев, анализируя известные ему факты, писал: "...на Антарктиде и прилегающих островах участков земли, свободных от снега или льда, чрезвычайно мало: это или обрывы, или такие крутые склоны гор, на которых снег не может держаться, или, наконец, небольшие участки, расположенные так, что ветер сдувает с них значительную часть снега, не давая ему залеживаться и смерзаться в лед. Такие участки сплошь завалены обломками камней, то более крупными, то более мелкими, как щебень; они встречаются и на Земле Виктории, но самый обширный из них лежит на небольшом острове Сноу-Гилль, где зимовала шведская экспедиция под начальством Норденшильда.

А между тем, по-видимому, совсем недавно, – во всяком случае в современную эпоху жизни Земли, – свободного от снега и льда места было еще гораздо меньше.

С одной стороны несомненно, что все свободные ото льда долины и склоны (кроме самых крутых) были покрыты ледниками, концы которых теперь сильно обтаяли: дно и стены таких долин сильно обтесаны и обглажены льдом, в конце этих долин² и у подножия открытых склонов лежат нередко огромные окатанные камни, которые могли быть принесены только ледниками, заполнявшими долины или покрывавшими склоны.

С другой стороны, многие обнаженные теперь участки берега совсем недавно занимало море, на крутых берегах и склонах открытых к морю долин, на высоте 50 метров, видны следы морского прибоя, – ясно, что все, что ниже этой черты, было затоплено и только в последнее время благодаря поднятию берегов вышло на дневную поверхность.

Только эти немногие обнаженные ото льда участки, крутые склоны и обрывы дают нам возможность узнать строение южно-полярного материка, происхождение его гор, состав его горных пород, его прошлое и, наконец, его минеральные богатства.

А узнать прошлое Антарктиды чрезвычайно интересно..." [Григорьев, 1925, с. 30–34].

"И там и здесь береговая линия относительно новых районов, сложенных темными вулканическими породами, сохраняется свободной ото льда совместным действием инсоляции и метелевых ветров" [Priestley, Tilley, 1928, p. 316]. А. Стеффенсон предполагал, что пыль, сдуваемая с близлежащих холмов и гор, понижала альбедо поверхности и вызывала таяние снега в свободных от покрова оледенения районах [Stephenson, 1938]. Г. Альман, соглашаясь с гипотезой понижения лед-

никовой поверхности, видел причинами этого уменьшение количества атмосферных осадков и усиление ветрового сноса [Ahlmann, 1944].

К 1930-м гг. было известно уже немало свободных ото льда участков побережья Антарктиды на Берегу Ингрид Кристенсен – оазисы Вестфолль, Ларсеманн-Хиллс, Лютцов-Хольм [Christensen, 1939]. Однако сомнений, имевших место в XIX в., в существовании мощного ледяного покрова во внутренних районах материка больше не звучало. Поэтому в публикациях результатов германской экспедиции 1938/39 г. под руководством А. Ритшера наибольшее внимание было уделено свободному ото льда участку суши, обнаруженному на удалении около 70 км от берега, названному ими озерным плато (Seenplatte). Озера длиной по 100–150 м и глубиной в несколько метров с кристально чистой водой были свободны ото льда, несмотря на то что воздух на высоте 50 м над ними имел температуру -5°C [Ritscher, 1942, S. 94]. Один из участников экспедиции, Э. Херманн, рассматривая особенности рельефа вновь открытых территорий, указывал на возможность значительных проявлений здесь тектонической деятельности, в связи с большим перепадом высот на коротком расстоянии [Herrmann, 1942, S. 292]. Однако в более поздней публикации А. Ритшера отмечалось, что в открытом его экспедицией оазисе Ширмахера следов вулканической активности найдено не было, а обнаруженный ручей из верхнего озера (3 км^2) в нижнее (10 км^2), объяснялся весенним таянием, тогда как, по мнению А. Ритшера, зимой эти озера должны были замерзать, причем толщина льда должна была достигать 5–8 м [Ritscher, 1946, S. 71]. В отношении природы существования обнаруженных свободных от ледяного покрова территорий в Антарктике участник этой экспедиции Р. Клебельсберг [Klebelberg, 1949, S. 555–569] практически слово в слово повторил заключение А.И. Воейкова о Северо-Восточной Сибири [Воейков, 1882, с. 15].

В связи со сложившейся политической ситуацией открытия германской экспедиции не получили широкой общественной огласки, но, несомненно, стали одной из причин значительного интереса к Антарктическим исследованиям по окончании Второй мировой войны. В изложении работ американской военно-морской экспедиции Highjump, представляя только что открытый оазис Бангера с незамерзшими озерами, Р. Бёрд указывает: "На момент открытия оазиса появилось заслуживающее внимания предположение, не мог ли он означать постепенное отступление льда, которое в конце концов освободит большую часть континента. На сегодня не существует определенного истолкования. Некие подземные источники тепла могут

² Самая большая такая долина имеет в длину 46 километров (на Земле Виктории) – ссылка С.Г. Григорьева [1925].

присутствовать, хотя свидетельств вулканической активности или горячих источников отмечено не было. С другой стороны, феномен может быть вызван преобладающими ветрами, сохраняющими район свободным от снега и таким образом препятствующими образованию льда. Оголенная порода адсорбирует много тепла в течение летнего полярного дня, и излучение этого тепла может вносить вклад в присутствие относительно теплой воды» [Byrd, 1947, p. 452(VIII)]. «Простейшим объяснением оазиса является то, что этот район обнажился из-под отступающего ледника, когда-то достигавшего шельфового ледника Шеклтона. Красно-коричневые скалы, освободившись ото льда, накапливают достаточное количество солнечной радиации в течение полярного дня антарктического лета. Это тепло затем излучается, образуя для оазиса собственную природную версию новой “нагреваемой излучением” обители» [Byrd, 1947, p. 499]. Наличие озер и отсутствие следов вулканизма были также отмечены во “множестве” небольших “оазисов”, обнаруженных в горных долинах Земли Виктории. Предложенное объяснение их природы было схожим: “Низкие холмы из черных пород, их окружающие, адсорбируют значительное количество тепла в три летних месяца полярного дня. Это тепло излучается медленно. Такая гипотеза может умоглядно объяснить зависящие [замерзшие] водопады. Величина таяния предположительно такова, что они никогда не могут достичь днища долин” [Byrd, 1947, p. 477]. “Большинство озер малы ... Но одно было около трех миль в длину. Они обычно находятся в широких долинах вдоль относительно низких холмов, через расщелины между которыми продувают сильные ветры. Они сохраняют днище долины чистым от снега. Не остается возможности уплотнения фирна год за годом, процесса, в любом другом месте приводящего к формированию великого ледникового щита, покрывающего континент. ... Черные и красные породы ... адсорбируют и излучают тепловые волны ... Предположительно, небольшие ручейки струятся на днища долин, где они формируют озера...” [Byrd, 1947, p. 479]. В описании второго обнаруженного “крупного” оазиса Вестфолль отмечаются “свидетельства того, что этот район освободился ото льда при отступании ледника с участием некоего подземного источника тепла. Прямые черные полосы шириной в двухполосное шоссе были видны на свободных ото льда породах. Экипаж самолета интерпретировал их как остатки древних потоков лавы, однако они могли быть и полосами гляциальных отложений” [Byrd, 1947, p. 500].

Фактически, гипотезы о формировании и существовании оазисов, высказанные участниками экспедиции Р. Бёрда (микроклимат, определяемый накоплением и излучением тепла, и снос

снега ветрами), повторяли ранее предложенные гипотезы, с той разницей, что основывались они не только на произведенных крупномасштабных исследованиях. Их обобщение было дано участником германской экспедиции 1938/39 г. Р. Клебельсбергом в объяснении существования свободных ото льда пространств “в районе моря Росса”. Р. Клебельсберг отдельно рассматривал “сдувание снега ветром” и “повышение испарения с поверхности снежного покрова в результате ветров”. Он же сформулировал мысль о том, что поглощение большого количества солнечной радиации свободными от снега “темными” каменными породами – долеритами и базальтами, образующими эти районы, “приводит к сильному таянию даже при отрицательных температурах” [Klebensberg, 1949, S. 555–569].

Поскольку основной целью экспедиции Р. Бёрда были оценки возможностей освоения Антарктиды, а не научные теории, обнаружение пространств с “умеренными” относительно ледяных пустынь вокруг климатическими условиями и незамерзшей водой стало “...наиболее значительным, а в отношении общественных интересов – единственным географическим открытием экспедиции” [Byrd, 1947, p. 498]. Не удивительно, что появлявшиеся в прессе сообщения носили сенсационный характер и зачастую высказывали чрезвычайно смелые (хотя и не имевшие научных обоснований) предположения.

«Открыт антарктический “оазис” зеленых озер и земляных холмов» [NYT, 1947a]. “Второй свободный ото льда оазис найден в Антарктике” [NYT, 1947b]. «Доложенное адмиралом Бердом открытие второго антарктического “оазиса” авиацией с дальним радиусом действия выглядит подтверждением того, что эта полярная область не является огромным замерзшим пустынным пространством, как мир его себе представляет. Открытие протяженных пространств обнаженной земли, усыпанной пресноводными озерами, предоставляет возможность создания там постоянных поселений, и минеральные ресурсы этих труднопроходимых территорий могут быть использованы для нужд человечества» [NYT, 1947c]. «Частью недавних новостей было объявление, что второй свободный ото льда “оазис” был найден в Антарктике. Возможно, это еще одно проявление ядерной энергии, обычно ошибочно называемой атомной энергией. Это может быть также связано с проявлением вулканической активности в Исландии, извержением вулканов Парикутина в Мексике и Этна на Сицилии и даже с наличием угля на Шпицбергене» [NYT, 1947d].

Такое представление результатов экспедиции Р. Бёрда вызвало большой общественный интерес к изучению Антарктиды в целом и к ее оазисам в частности, хотя научное сообщество выражало оп-

ределенный скептицизм в отношении ожидаемых результатов. Вторично посетив в 1948 г. район оазиса Бангера во время проведения операции Windmill, американские исследователи отметили, что “мистический” оазис Бангера был отгорожен “возможно наиболее мощным и труднопроходимым ледовым покровом”. “Воздушные полеты позволили найти свободную ото льда местность, но открытой воды в этом году не было совсем. Это показывает, насколько ледовые условия меняются из года в год в полярных районах” [Nutt, 1948]. При оценке экономических ресурсов Антарктики в 1947 г. было сказано следующее: “Подводя итог, ничего стоящего добычи на таком значительном расстоянии от какого-либо рынка сбыта до сих пор обнаружено не было. Едва ли стоит добавлять, что ни в какой части Антарктики не было обнаружено радиоактивных минералов или нефти. С другой стороны, Антарктика представляет собой континент в приблизительно шесть миллионов квадратных миль. Хотя большая часть этой территории покрыта ледяным щитом, имеются бесчисленные обнажения открытых пород, и будет действительно удивительно, если адекватный для того поиск не выявит минеральных ресурсов” [Roberts, 1947, p. 388].

Тем не менее открытие посреди обширных ледяных просторов нескольких непокрытых льдом мелкосопочных пространств с озерными котловинами стало очередным толчком к активизации различных стран в организации антарктических исследований. В своем докладе Географическому обществу Союза ССР президент общества, академик Л.С. Берг, объясняя необходимость и право участия СССР в освоении Антарктики, ссылаясь на вышеупомянутую статью [Roberts, 1947] и на ряд газетных публикаций, говорит, что “...этот материк, возможно, окажется шкатулкой сокровищ”, “есть вероятность нахождения урановых руд” [Берг, 1949]. Такой взгляд был поддержан, в особенности в связи с подготовкой к проведению Международного геофизического года [Щербаков, 1955, 1956а,б; Таубер, 1956]. В книге “Современная Антарктика и задачи ее изучения” академик-секретарь АН СССР Д.И. Щербаков использует такие фразы: “...Громадная долина, свободная от ледяного покрова ... черные угольные пласты...” [Щербаков, 1956б, с. 10]³, “...грандиозные месторождения каменного угля ... запасы не меньше чем в Соединенных Штатах Америки” [Там же, с. 15]; “...по аналогии с Южной Африкой и Австралией ... можно будет, вероятно, обнаружить месторождения ... возможно, и урана” [Там же, с. 16]. Упоминается, что «участки с озерами получили название “оазисов”» [Там же, с. 11]. В отечественных исследова-

ниях им планировалось уделить особое внимание. Так, во вступительной статье к переводу книги о Новозеландских исследованиях в Антарктике (в это время появилась целая серия переводов зарубежных отчетов по работам в Антарктике) Д.И. Щербаков особо выделяет, что «недостатком книги ... следует также считать полное отсутствие освещения проблемы так называемых “оазисов”, которые представляют собой интереснейшие образования на побережье Антарктиды» [Современная..., 1957, с. 7]. Г.М. Таубер [1956] подчеркивал, что оазисы в бескрайней ледяной пустыне представляют особый интерес, поскольку нарушают картину характерного для Антарктиды ледникового ландшафта. Неоднократное переиздание с 1951 по 1957 г. романа В.А. Обручева “Земля Санникова” [Обручев, 1926], общим тиражом свыше 600 000 экземпляров, по всей видимости, также было связано с поддержанием общественного интереса к исследованиям Антарктики и с особым акцентом на наличие там районов с более мягкими условиями (оазисы).

ГИПОТЕЗЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ АНТАРКТИЧЕСКИХ ОАЗИСОВ

По-видимому, именно этот интерес, при отсутствии значительного числа достоверных данных, привел к появлению в то время “геотермальной гипотезы”. Возникновение свободных от оледенения участков посреди ледяной пустыни ее приверженцы связывали с радиоактивным распадом и выделяющимся из недр Земли теплом от угольных пожаров, приводя в доказательство, во-первых, находки углей на материке, а во-вторых, коричнево-бурую окраску поверхностей оазисов [Щербаков, 1955, с. 17]. В пользу “вулканической гипотезы” происхождения оазисов Антарктиды приводились факты проявления современного вулканизма в районе моря Росса – вулканы Эребус и Террор, а также “наличие незамерзающих озер и большую облачность прибрежных районов, ограничивающих приток прямой радиации” [Таубер, 1956, с. 12].

Однако уже первые наземные исследования Советской антарктической экспедиции показали, а, по сути, подтвердили предыдущие результаты того, что непосредственно на территориях изученных антарктических оазисов нет признаков современного вулканизма, а также нет угля. В период проведения первых экспедиций работы по мерзлотоведению осуществлялись сотрудниками гляцио-географического отряда в оазисах Бангера и Вестфолль. Они включали полевые описания криогенного рельефа и мерзлых пород. Кроме того, измерялась глубина сезонного протаивания, де-

³ Угольные пласты толщиной до 10 футов упоминаются в публикациях о результатах экспедиции Р. Бёрда 1933–1935 гг. [Blackburn, 1937].

лались небольшие разрезы, в которых велось полевое описание текстуры мерзлого грунта и подземного льда, отбирались пробы мерзлого и сезонного грунта на влажность, гранулометрический и минералогический анализ. Было обнаружено широкое распространение вечной мерзлоты [Рихтер, 1958; Втюрин, 1959; Григорьев, 1959а,б, 1960а,б]. Это свидетельствовало не в пользу геотермальной гипотезы. В результате первых советских исследований оазисов наибольшую поддержку получила «орографическая гипотеза» [Марков и др., 1968], в дальнейшем также называемая «теорией обтекания» [Гляциологический..., 1984], предложенная одним из первых представителей научного сообщества, посетивших оазис Бангера в 1948 г., американским геологом Э.Т. Апфелом [Apfel, 1948]. Э.Т. Апфел показал, что этот участок сложен в основном гнейсами и гранитами, покрытыми местами моренными отложениями. В тезисах доклада на конференции Геологической ассоциации в Нью-Йорке 11–13 ноября 1948 г. он изложил следующее: «Территория, свободная ото льда, размером примерно 12 на 30 миль, была посещена во время военно-морской операции США Highjump, в январе 1948 года ... Эту ранее покрытую льдом землю сохраняют свободной ото льда отклонение стока льда от территории, низкая влажность воздуха и малое количество твердых осадков, а также низкие теплототери в летнее время» [Apfel, 1948, p. 1308].

Исследователи Первой Советской комплексной антарктической экспедиции 1956–1958 гг., проведя обследование оазиса Бангера, подтвердили и развили ранее высказанное суждение Э.Т. Апфела: «Существование “оазиса” обусловлено двумя причинами: во-первых, обтеканием его территорий льдами внутренних частей материка благодаря условиям рельефа этого района; и, во-вторых, обнажением ветром многочисленных участков земной поверхности от снежного покрова, которое в существующих условиях настолько меняет тепловой режим поверхности, что приводит к преобладанию абляции над накоплением твердых атмосферных осадков на всей территории “оазиса” за исключением участков надувания большого количества снега» [Авсюк и др., 1956, с. 346]. В заключительной главе работы сказано, что «существование “оазисов” в ледниковом покрове обусловлено влиянием азональных факторов – рельефом, который отводит в сторону приток льда из внутренних частей материка, и внешним солнечным теплом, аккумулируемым поверхностью “оазисов” ... материковый лед покрывает окраину Антарктиды только благодаря его притоку из более благоприятной для его накопления внутренней части материка и создаваемому им режиму поверхности» [Там же, с. 348]. Авторы высказали также предположение о том,

что климатические условия, существующие сейчас в оазисах Антарктиды, могли существовать в периферической зоне древних ледниковых покровов Евразии и Северной Америки [Там же, с. 349]. Эта гипотеза, базировавшаяся на данных полевых исследований, была поддержана большинством исследователей Антарктиды [Панов, 1958б; Рихтер, 1958; Солопов, 1967; Короткевич, 1969].

Н.Н. Пальгов, ознакомившись со статьей Г.А. Авсюка с соавт. [1956], высказал свою точку зрения на причины появления оазисов в Антарктиде. Подчеркнув, что авторы убедительно показали несостоятельность представлений о наличии подземного тепла и ошибочность некоторых других высказываний и выразили вполне мотивированные и бесспорно правильные заключения о происхождении оазиса, он внес некоторые дополнения. По его мнению, все разнородные условия образования оазисов можно свести к одному фактору, который выражает собой их суммарное значение и является наиболее действенной причиной образования “оазисов”: отрицательный баланс ледникового вещества. Он заключается в том, что приносимые сверху массы льда не в состоянии компенсировать убыли от таяния, и в итоге годового цикла жизнедеятельности ледника преобладает его расходная часть. Но отрицательный баланс ледникового вещества может быть почти на всей площади абляции, тогда как оазис образуется только на некоторой части этой площади. Значит, необходимо еще, чтобы отрицательный баланс выделялся своим показателем от отрицательного баланса окружающего участка, т. е. был бы наибольшим по абсолютной величине. По сторонам оазиса движение льда происходило быстрее, чем над оазисом, так как там мощность ледника была гораздо больше. Это, в свою очередь, обусловило и более значительный принос вещества сверху. Таким образом, участок ледяного покрова над будущим оазисом имел в своем приходно-расходном балансе более низкие отрицательные показатели, чем окружающее его ледяное пространство. К этому основному фактору могли присоединиться и лучшие условия таяния.

После того как обнажились первые площади “оазиса”, в дело его расширения вступило тепло, исходившее от сильно нагреваемой поверхности коренных пород. Чем больше становилась освобожденная ото льда площадь, тем значительнее было влияние отдаваемого ею тепла. Е.С. Короткевич [1969, с. 578] позже объяснял этим тенденцию к расширению оазисов “в настоящее время”.

Указав, что оазисы могут образоваться только на участках положительного рельефа, имеющих достаточно большую площадь, позволяющую создаваться на ней отрицательному балансу вещества, Н.Н. Пальгов предположил, что на огромном ледяном щите Антарктиды в зоне абляции могут

оказаться еще и не вскрытые “оазисы”, но постепенно приближающиеся к вытаиванию из-под облекающего их ледяного покрова. Он сделал вывод, что при исследовании Антарктиды, производимом Советской экспедицией, было бы полезно детально изучить районы ледникового покрова, прилегающие к оазисам; в возможно большем числе точек определить мощность ледника, уклоны его ложа, скорости движения, величины абляции с учетом выпадающих осадков, микроклиматические условия и в конечном счете балансы вещества. В результате такого всестороннего исследования “правильно раскрытая советскими географами” загадка происхождения “оазисов” Антарктиды получила бы конкретные и точные формулировки о закономерностях, связанных с этим явлением природы [Пальгов, 1956].

По результатам гляциогейоморфологических исследований, проведенных в оазисах Восточной Антарктиды, Г.Д. Рихтер [1958] и А.В. Живаго [1960], разделяя орографическую гипотезу, внесли некоторые дополнения, касающиеся в основном не столько происхождения, сколько эволюции этих природных образований. Было высказано предположение, что формирование оазисов происходило неодинаково и не одновременно. Г.Д. Рихтером [1958] выделены три стадии эволюции оазисов: стадия скалистых обнажений и нуна-таков, стадия каменистых пустынь и стадия засоленных каменистых пустынь. Он также указал, что в настоящее время на побережье Восточной Антарктиды имеются генетически однородные свободные от оледенения участки суши, находящиеся в разных стадиях развития. В крупных оазисах центральные части находятся в более поздних стадиях развития, чем периферические [Рихтер, 1958]. А.В. Живаго [1960] выделял первый этап освобождения нуна-таков, второй этап долинного оледенения и остаточных ледников склонов и третий этап – каровое оледенение.

В эти же годы Н.Ф. Григорьев [1962] высказал “климатическую гипотезу” происхождения оазисов в Антарктиде, на первое место среди причин, способствовавших возникновению оазисов, поставив климатические условия. Он предположил, что постепенное освобождение ото льда отдельных наиболее приподнятых участков подледникового рельефа началось в конце четвертичного периода, когда в результате потепления климата в Антарктиде произошло уменьшение мощности ледникового покрова и его отступление. Он отметил, что в освобождении прибрежных участков суши ото льда, помимо климатических особенностей побережья, значение имели наличие выступов подледникового рельефа, которые обтекаются льдом, тепловое воздействие местного микроклимата, интенсивность которого увеличивается по

мере освобождения суши ото льда, особенности ветрового режима, обуславливающие очищение суши от снега в летний период, и развитие здесь процессов корразии и дефляции. Содержание моренного материала во льду ведет к более интенсивному таянию края ледника и его отступанию. Им была повторена идея Н.О.Г. Норденшёльда [1912], озвученная также Н.Н. Пальговым [1956] и названная К.К. Марковым с соавт. [1968] “оазисным эффектом”: после освобождения отдельных участков суши от ледникового покрова начинают действовать такие процессы, как нивация, физическое, химическое и биохимическое выветривание. При наличии многолетнемерзлых пород, сезонного протаивания и промерзания, резких суточных и сезонных колебаний температур и повышенной сухости воздуха, взаимосвязанная и взаимообусловленная деятельность этих агентов протекает весьма активно; таким образом, оазис, обладая местным климатом, благоприятствующим абляции, расширяется до известных пределов [Григорьев, 1962]. Идея о саморазвитии оазисов согласовывалась с данными наблюдений, которые отражали тенденцию к расширению площади оазисов, характерную для того периода времени.

Достаточно продолжительное время (в 1960-е гг.) между сторонниками орографической и климатической гипотез велись научные дискуссии о причинах происхождения оазисов Антарктиды. Так, Е.С. Короткевич при рассмотрении вопроса о происхождении антарктических оазисов писал: “Изменение климата – широко распространенное явление, поэтому только потепление климата не могло вызвать появления ограниченного участка обнаженной каменной поверхности, окруженной льдом” [Бардин и др., 1969, с. 26]. По его мнению, возникновение оазисов более удовлетворительно объясняет орографическая гипотеза, поскольку в ее пользу говорят те факты, что “вокруг оазиса Бангера орографические депрессии создают отток льда в стороны (выводные ледники Скотта и Эдисто). Оазисы Земли Виктории, по-видимому, никогда полностью не покрывались льдом. В то же время, безусловно, играют роль и климатические условия” [Бардин и др., 1969, с. 26].

Ю.М. Модель [1973] полагал, что основное достоинство орографической гипотезы состоит в правильной оценке роли подледного рельефа и местного климата оазисов, но при этом указывал на следующие недостатки. Во-первых, лед ледникового щита рассматривается как пассивный фактор, который отклоняется, подчиняясь строению коренного рельефа. Во-вторых, предполагаются “особые формы рельефа”, направляющие лед из внутренних частей материка в обход оазиса. Однако, судя по имевшимся к тому времени геофизическим данным, южнее большинства оазисов нет

столь значительных подледных поднятий, которые могли бы существенно препятствовать движению льда. И, в-третьих, поддерживая замечание К.К. Маркова с соавт. [1968], Ю.М. Модель [1973] отмечает, что наличие форм подледного рельефа, направляющих ледниковые потоки, объясняют поддержание, но не образование оазисов. В совместном докладе Ю.М. Моделя с М.Г. Гросвальдом высказывается идея, «что образование оазисов представляет собой одно из звеньев процесса направленного развития системы “ледниковый покров–ложе” (а не результат одностороннего влияния ложа на ледник). Механизм этого процесса включает образование на периферии покрова кольцевой зоны смятия, прорывы этой зоны во многих пунктах, резкую дифференциацию скоростей движения льда и его геологической деятельности в краевой зоне, усиление этой дифференциации по мере экзарационного углубления ложбин выводных ледников. Таким образом, образование оазисов – результат длительного взаимодействия ледникового покрова, обладающего собственной развивающейся структурой, и ледникового ложа, изменяемого ледником и оказывающего обратное влияние на него» [Гросвальд, Модель, 1965].

К.К. Марков с соавт. [1968] пришли к заключению, что дополнительно к орографическим причинам возникновению оазисов способствовало изменение климата, отрицательно отразившееся на бюджете льда (например, более сухой климат, чем современный). Таким образом, делались попытки и объединения “антагонистических” орографической и климатической гипотез.

В схематичной форме, используя терминологию Н.Н. Пальгова [1956], орографическая гипотеза основывается на определенной степени стабильности тока и баланса массы окружающего оазис ледникового покрова, тогда как климатическая гипотеза подразумевает изменение баланса массы как отдельного от динамики окружающего ледникового щита параметра. Судя по всему, механическое их объединение не позволяет удовлетворительно описать появление оазисов, а для привлечения в описание процессов на значительно больших территориях, включающих оазисы, на то время не было необходимых методик и достаточного количества данных.

Активное обсуждение орографической и климатической гипотез не означало, что геотермальная гипотеза была полностью отвергнута. Анализируя данные о геологическом строении Антарктики, полученные до начала Советских исследований, Д.Г. Панов [1958a] указывал, что в пределах древней глыбы Антарктики чередуются участки относительного поднятия и относитель-

ного погружения, ярко выраженные в морфологии прибрежного рельефа материка и прилегающего мелководья. Эти морфологические особенности связаны с линиями расколов меридионального направления, по которым произошло неравномерное перемещение отдельных глыб древнего кристаллического фундамента. С движениями по линиям расколов связано развитие вулканизма в третичное и четвертичное время. Согласно Д.Г. Панову, наличие оазисов именно в районах разломов, возможно, связано с проявлением недавних вулканических процессов в этой части Антарктики [Панов, 1958a]⁴.

Проанализировав различные взгляды на происхождение антарктических оазисов, А.В. Солопов [1967] высказал мысль, что нельзя исключать влияние внутреннего тепла Земли на появление оазисов, в качестве примера приведя наличие горячих источников на Антарктическом полуострове. Геотермальная гипотеза обрела дополнительную поддержку, когда были получены данные, указывающие на повышенные значения геотермического потока в оазисах Земли Виктории и в оазисе Бангера. Его величина в оазисе Бангера примерно в шесть раз превышала величину, определенную по градиенту температур в скважине в районе станции Мирный, и оказалась на порядок выше среднего значения для земной поверхности [Зотиков, 1961a]. Дополнительные расчеты показали, что наблюдаемое превышение средних величин геотермального потока недостаточно для растопления льда существующих мощностей [Зотиков, 1961b]. Особенно большой геотермальный поток был обнаружен в “вулканически активном” районе Восточной Антарктиды – в долине Райт (Сухие Долины) [Зотиков, 1966]. Комбинация повышенного геотермального потока на дне оз. Ван-Да (по некоторым оценкам, в 500 раз выше среднего геотермального потока на дне океана, при отсутствии свидетельств о наличии теплых источников [Ragotzkie, Likens, 1964]) и проникающей через поверхностный ледяной покров солнечной радиации была принята [Wilson et al., 1974] и до сих пор рассматривается как причина высокой (25 °С) температуры воды в придонном слое озера. Тем не менее в научных кругах эти данные к рассмотрению приняты не были [Марков и др., 1968, с. 319], за исключением ссылки на них в также не получившей дальнейшего развития гипотезе М.Г. Гросвальда и Ю.М. Моделя [1965].

В конце 1960-х–начале 1970-х гг. возник вопрос о том, одинаковы ли причины появления низменных и горных оазисов. Поскольку отечественные ученые занимались большей частью изучением низменных оазисов, в их работах рассматривались

⁴ Интересно отметить, что при этом редакторами Е.Н. Павловским и С.В. Калесником сделана сноска: “В настоящее время исследования показали, что образование оазисов не связано с вулканической деятельностью”.

вопросы происхождения и эволюции именно этих участков. И.М. Симонов [1971], проанализировав все имеющиеся к тому времени публикации, затрагивающие тему возникновения оазисов в Антарктиде, пришел к заключению, что образование низменных оазисов объясняется совокупностью природных особенностей окраинной части Антарктического материка. Наиболее важное значение среди этих особенностей он придавал “сокращению ледникового покрова Антарктиды в голоцене, вызванному потеплением климата планеты, одновременным с поднятием побережья (в том числе гляциоизостатическим), сложным рельефом коренного ложа, ведущим к дифференцированному стоку льда из глубинных районов материка и обтеканию ледниками наиболее возвышенных участков побережья, а также наличию у подножия ледникового склона зоны абляции” [Симонов, 1971, с. 146]. Он пишет, что при современных климатических условиях абляция в этой зоне равна или превышает аккумуляцию не только местных твердых осадков, но и масс льда, поступающих в районы оазисов из внутренних частей материка [Там же, с. 48].

Ю.М. Модель [1973] предложил свою схематическую картину формирования низменных антарктических оазисов. По его мнению, на протяжении гляциологической истории, предшествующей возникновению антарктических оазисов, в горных породах под воздействием тектонических сил происходило оформление структурных особенностей, которые впоследствии играли роль пассивных эндогенных факторов в ходе ландшафтообразования. Дизъюнктивные дислокации играли ведущую роль в формировании рельефа краевой зоны материка. Разломы определили пути движения выводных ледников. Выработка их подледных долин началась задолго до формирования оазисов, положив начало дифференциации ледникового края.

Изучением проблем происхождения и существования горных оазисов занимались в основном зарубежные исследователи [Wheeler, 1960; Bull, 1966; и др.]. Они рассматривали процесс их образования следующим образом. Горные долины, пересекающие хребты, являются путями стока ледниковых масс из глубины материка. Если сток льда в эти долины затруднен каким-либо порогом, а абляция превышает аккумуляцию, то общий баланс льда становится отрицательным, и ледники в долине, постепенно сокращаясь в размерах, могут исчезнуть полностью или почти полностью. По мере сокращения ледника начинает действовать оазисный эффект, ускоряющий процесс уничтожения льда. Таким образом, предполагалось, что происхождение горных оазисов, в общем, вызывается теми же причинами, что и низменных, но действие их несколько изменено.

ПРОБЛЕМА ВОЗРАСТА АНТАРКТИЧЕСКИХ ОАЗИСОВ

Решение проблемы происхождения оазисов естественным образом связано с определением их возраста и путей эволюции ландшафтных и климатических условий за время их существования.

Представления о постепенной дегляциации территорий [Ferrar, 1925; Taylor, 1927] связывались с потеплением климата, причем свидетельства отступления ледников обнаруживались и на вершинах хребтов [Wade, 1937; Klebelsberg, 1949, S. 555–569].

Г.А. Авсюк с соавт. [1956] сделали первые численные оценки, по которым оазис Бангера существует уже не менее нескольких тысяч лет, причем его внешние границы давно уже сохраняют более или менее неизменное положение [Авсюк и др., 1956; Shumskiy, 1957]. Продолжительность отсутствия на данной территории покровного оледенения оценивалась в более 10 тыс. лет при рассчитанном времени, необходимом для освобождения от оледенения такого пространства, как оазис Бангера, как минимум 45 тыс. лет [Shumskiy, 1957, p. 60].

А.В. Живаго [1960] предположил, что оазисы Антарктиды – молодые образования, возраст которых может составлять всего несколько сот лет. Польский исследователь С.З. Ружицкий [1960], изучавший рельеф антарктических морских террас, пришел к выводу, что оазис Бангера уже не впервые освободился ото льда и что современная “оазисная стадия” наступила в начале так называемого послеледникового климатического оптимума, несколько тысяч лет назад. А.В. Солопов на основании известных в то время гипотез и имеющихся данных наблюдений высказал мнение, что “оазисы – исторически относительно новые образования, что они не существовали всегда и в таком виде” [1967, с. 10].

По мнению Ю.М. Моделя и М.Г. Гросвальда, активное формирование низменных антарктических оазисов началось в период климатического оптимума голоцена, 5–6 тыс. лет назад [Гросвальд, Модель, 1965; Модель, 1973], когда изменение климатических условий вызвало отступление края ледникового покрова до современного положения, т. е. на 100–200 км к югу. Оно сопровождалось снижением поверхности краевой зоны покровного ледника. Над современными оазисами, где толщина льда достигала 2000–2500 м, она постепенно уменьшилась настолько, что над поднятиями подледного рельефа (районами будущих оазисов) и в охватывающих их с флангов желобах тектонико-экзарационного происхождения толщина льда стала различаться по крайней мере на порядок.

Представления о времени освобождения территорий от ледникового покрова и о временной

шкале истории развития природной среды и рельефа восточно-антарктических оазисов по результатам обработки колонок донных отложений в оазисе Бангера описываются следующим образом. Во время последнего ледникового максимума, имевшего место в конце позднего неоплейстоцена, все низменные оазисы Восточной Антарктиды перекрывались антарктическим ледниковым щитом [Веркулич и др., 2003; Ingólfsson et al., 1998]. Дегляциация большинства оазисов началась на рубеже позднего плейстоцена и голоцена (10–12 тыс. лет назад), о чем свидетельствуют данные по строению донных озерных и морских отложений оазисов [Большаинов, 1990; Веркулич и др., 2003]. Однако одни исследователи рассматривают это как освобождение от ледникового щита [Ingólfsson et al., 1998], в то время как другие считают, что оазисы не были заняты ледниковым щитом, а освободились лишь от собственного локального оледенения. Так, Д.Ю. Большаинов [2006], основываясь на новых геологических и геоморфологических данных, утверждает, что антарктические оазисы никогда полностью не накрывались антарктическим ледниковым покровом, а занимались местными, пассивными ледниками и быстро освобождались ото льда в стадии потепления. Это может означать, что оледенение Антарктиды стабильно уже в течение нескольких последних климатических ритмов (последние 450 тысяч лет), и его границы не продвигались далеко в океан. При этом оазисы все так же обтекались выводными ледниками, которые были в разное время более или менее активны (например, в настоящее время ледник Апфела, обтекавший оазис с юга еще 50–200 лет назад, практически прекратил движение). Возраст части дневной поверхности территории Сухих Долин был определен как древнейший ландшафт на территории Земли, начавший формироваться не позже позднего миоцена [Schäfer et al., 1999].

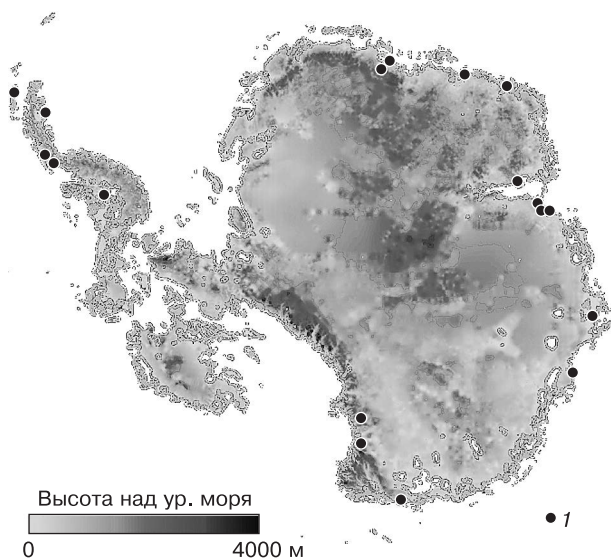
Результаты анализа озерных колонок из оазиса Холмы Ларсеманн интерпретировались как свидетельство того, что территория была свободна ото льда как минимум 40 тыс. лет [Hodgson et al., 2005]. По другим данным, этот период расширяется до 120–130 тыс. лет [Cromer et al., 2006; Gibson, Bayly, 2007]. Однако последнее освобождение ото льда озера Радок в оазисе Эймери датируется в 11 тыс. лет назад при реконструкции эволюции ландшафта оазиса на протяжении 10 млн лет [Hambrey et al., 2007]. Возможность существования отдельных участков территории Антарктиды в свободном ото льда состоянии на протяжении миллионов лет подтверждается также результатами изучения биоразнообразия Антарктической флоры и фауны [Peat et al., 2006; Convey, Stevens, 2007].

НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ОБЪЯСНЕНИЯ ПРОИСХОЖДЕНИЯ АНТАРКТИЧЕСКИХ ОАЗИСОВ

Наличие научных разногласий в понимании происхождения и эволюции антарктических оазисов не должно вызывать удивления. Примером может служить отсутствие общепризнанной теории происхождения рельефа изучаемой в этом направлении более 250 лет Западной Сибири [Кузин, 2005]. В отличие от дискуссий “гляциалистов” и “антигляциалистов”, посвященных Западной Сибири, вопрос о происхождении антарктических оазисов в современных работах фактически не ставится, в лучшем случае заменяется ссылкой на публикацию П.А. Шумского [Shumskiy, 1957] как на “заключительное слово о климатических причинах” их существования [Pickard, 1986, p. 8].

Получившие в настоящее время широкую известность исследования подледниковых озер Антарктиды [Siebert, 2000; Zotikov, 2006] также не включают в круг рассматриваемых вопросов проблемы происхождения и существования антарктических оазисов, несмотря на очевидные возможности аналогий между доледниковыми условиями в долинах с озерами, в настоящее время перекрытых ледниковым щитом [Duxbury et al., 2001; Siebert, 2004], с современными антарктическими оазисами. Более того, считающиеся доказанными сейчас периодические прорывы вод из озера в озеро под ледниковым покровом Антарктиды [Clarke, 2006; Kohler, 2007] и возможное формирование рельефа части территории Сухих Долин выплесками подледниковой воды в прошлом [Lewis et al., 2006] позволяют задуматься о связи между подледниковой дренажной системой [Зотиков, 1982] и свободными ото льда прибрежными территориями, тем более что выходы предсказываемых основных подледниковых дренажных трасс за пределы ледникового щита [Siebert et al., 2007] действительно в большинстве совпадают с положением современных антарктических оазисов.

Для рассмотрения антарктических оазисов не как “исключений” в мире ледяной пустыни, а как выходящих на дневную поверхность участков коренного ложа Антарктиды (рисунок), на котором неравномерно лежит и развивается ледниковый щит, видится резонным привлечение более обширного материала. Это могут быть исследования перигляциального рельефа, сформированного, в том числе, с участием прорывных ледниковых потоков (jökulhlaup) в Исландии и Гренландии [Maizels, 1997], изучение под- и внутриледникового стока в холодных ледниках Шпицбергена [Hodgkins, 1997], анализ структуры движения льда древних оледенений, выраженной в формах современного рельефа и свидетельствующей о наличии неподвижных “примерзших” участков ледяного щита,



Расположение наиболее изученных антарктических оазисов (1) на территории “освобожденной ото льда” Антарктиды.

Топография основана на результатах данных проекта BEDMAP [Lythe et al., 2001] по рельефу подледникового ложа Антарктиды, с учетом изостатического давления и изменения уровня океана при отсутствии Антарктического ледникового щита [Rohde, 2007].

“сдерживающих и изолирующих краевые выводные ледниковые системы” [Kleman, Glasser, 2007, p. 585]. Согласно этой работе, закономерности и масштабы распределения таких участков в современной Антарктиде, определяемые по данным Radar Satellite Antarctic Mapping Project, очень похожи на распределение примерзших/непримерзших участков древнего Кордильерского ледникового щита, определяемых по геоморфологическим показателям [Kleman, Glasser, 2007, p. 589–590]. А механизм влияния таких участков на движение льда соответствует ранее высказанным предположениям М.Г. Гросвальда и Ю.М. Моделя [1965]. Интересно, что древние аналоги “оазисов”, или “безморенные участки”, пережившие последний ледниковый период на территории Северной Америки (driftless areas), некоторые исследователи объясняют влиянием потерь в балансе массы ледникового щита за счет айсбергов, откалывающихся на контакте щита с Великими Озерами, и соответствующим математически моделируемым изменением структуры всего ледникового стока [Cutler et al., 2001]. Таким образом, современные представления о факторах, влияющих на динамику ледникового щита, позволяют значительно расширить ранние представления об обтекании определенных форм рельефа как об одном из условий формирования свободного ото льда пространства [Apfel, 1948]. Все вышеперечисленное (даже в краткой форме) также позволяет в значительной

мере расширить в понятийном плане климатические и орографические причины возникновения и существования антарктических оазисов.

Геотермальное тепло и вулканизм приобретают новое значение в современных работах по динамике ледниковых покровов. В дополнение к взаимосвязи между оледенением и вулканизмом [MacLennan et al., 2002], геотермальный поток при пониженной точке таяния за счет массы ледникового покрова и теплоизоляции ледниковым щитом рассматривается как основная причина существования подледниковых озер и дренажных систем [CPESSESE, 2007]. Последние, по результатам исследований в Исландии, тесно связаны с вулканическими проявлениями [Björnsson, Gudmundsson, 1993]. Извержения подледниковых вулканов способны образовывать крупные проталины в ледниковых щитах и выбрасывать огромное количество пыли на ледниковую поверхность [Vogfjörd et al., 2005]. Но наиболее катастрофическим их эффектом, причем простирающимся на значительные расстояния от очага извержения и за пределы ледникового покрова, являются вызываемые извержением подледные паводки и лахары, недавно наблюдавшиеся в Исландии [Gudmundsson et al., 1997]. К настоящему времени получены доказательства подледного извержения в Западной Антарктиде в историческое время [Corr, Vaughan, 2008], и нет причин сомневаться в их более широком распространении в пространстве и времени [Vogel, 2008].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нерешенность вопроса образования и существования антарктических оазисов в настоящее время связана не столько с отсутствием данных и подходов к решению, сколько с отсутствием постановки этой проблемы в существующих научных программах. Теория происхождения и существования оазисов необходима для создания “реперных точек”, используемых для привязки уже имеющихся рядов данных к конкретным наборам климатических, геологических и прочих условий, обеспечивающих формирование и сохранение антарктических оазисов. Это же требуется для того, чтобы ввести рассмотрение особенностей оазисов в климатические модели и модели, описывающие динамику и эволюцию Антарктического ледникового щита. В современных моделях, даже концептуальных, такого понятия нет [Ruddiman, 2006; Bamber et al., 2007], хотя данные математического моделирования свидетельствуют, что именно для динамики Антарктического ледникового покрова, в отличие от Гренландского ледникового щита, “краевые эффекты”, связываемые с взаимодействием с шельфовыми ледниками, важнее, чем поверхностное таяние [Huybrechts, de Wolde, 1999, p. 2178].

Фактически, в настоящее время не решен вопрос, является ли ледниковый щит вторичным по отношению к оазисам, как это рассматривал Ф. Ратцель [1903], или оазисы есть свидетельства отступления ледникового щита по различным причинам, как предполагается в современных гипотезах. Решение этого вопроса, несомненно, тесно связано с пониманием подледниковых условий, включая подледниковую дренажную систему и озера, и с палеоклиматом континента, и с историей древних оледенений в масштабах планеты.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (грант № 08-05-00767-а).

Литература

- Авсюк Г.А., Марков К.К., Шумский П.А.** Географические наблюдения в Антарктическом оазисе // Изв. Всесоюз. геогр. о-ва, 1956, т. 88, вып. 4, с. 316–350.
- Бардин В.И., Короткевич Е.С., Лебедев В.Л. и др.** Географическое описание // Атлас Антарктики. Л., Гидрометеоздат, 1969, т. 2, с. 17–32.
- Берг Л.С.** Русские открытия в Антарктиде и современный интерес к ней. М., Географгиз, 1949, 32 с.
- Большаинов Д.Ю.** Основные черты геоморфологического строения оазиса Бангера (Восточная Антарктида) // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед., 1990, № 113, с. 79–90.
- Большаинов Д.Ю.** Пассивное оледенение Арктики и Антарктиды. С.-Петербург, ААНИИ, 2006, 297 с.
- Веркулич С.Р., Кузьмина И.Н., Пушина З.В., Меллес М.** Изменения климатических условий на побережье Антарктиды в голоцене // Пробл. Арктики и Антарктики, 2003, вып. 74, с. 29–39.
- Воейков А.И.** Климатическія условия ледниковых явлений, настоящих и прошедших // Зап. Императорского С.-Петербург. минерал. о-ва, вторая сер., 1881, ч. 16, с. 21–90.
- Воейков А.И.** Новѣйшія изслѣдованія ледниковъ и причинъ ихъ измененій // Зап. Императорскаго Рус. геогр. о-ва по общей географіи / Под ред. Р. Ленцъ. Санктпетербургъ, Тип. Императорской Академіи Наукъ, 1882, т. XII(2), 19 с.
- Втюрин Б.И.** Геокриологические наблюдения в Восточной Антарктиде в 1956–1957 гг. // Результаты исследований по программе МГГ. Гляциология. М., Изд-во АН СССР, 1959, № 1, с. 7–20.
- Гляциологический словарь** / Отв. ред. В.М. Котляков. Л., Гидрометеоздат, 1984, 528 с.
- Григорьев Н.Ф.** Некоторые результаты мерзлотных исследований в Восточной Антарктиде // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед., 1959а, № 7, с. 10–12.
- Григорьев Н.Ф.** Условия промерзания под дном озерных водоемов в Восточной Антарктиде // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед., 1959б, № 6, с. 16–18.
- Григорьев Н.Ф.** Геокриологические исследования в Восточной Антарктиде // Тр. Сов. антаркт. экспед., 1960а, т. 10, с. 313–317.
- Григорьев Н.Ф.** О криогенных явлениях в Восточной Антарктиде // Сов. антаркт. экспедиция. Вып. 10: Вторая континент. экспедиция 1956–1958 гг. Гляциол. исслед. Л., Гидрометеоздат, 1960б, с. 321–323.
- Григорьев Н.Ф.** Формирование рельефа и мерзлых горных пород побережья Восточной Антарктиды. М., Изд-во АН СССР, 1962, 147 с.
- Григорьев С.Г.** Шестая часть света (Антарктика) (Библиотека “Наша Земля”). М.; Л., Земля и Фабрика, 1925, 173 с.
- Гросвальд М.Г., Модель Ю.М.** Антарктические оазисы, их природа и происхождение (Автореферат доклада, прочитанного 29/XII 1964 г.) // Бюл. МОИП. Отд. геол. Н.С., 1965, т. LXX, XL(3), с. 151.
- Живаго А.В.** Геоморфологические исследования // Тр. Сов. антаркт. экспед., 1960, т. 7, с. 44–72.
- Зотиков И.А.** Тепловой режим ледника Центральной Антарктиды // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед., 1961а, № 28, с. 16–21.
- Зотиков И.А.** Измерение геотермического потока тепла в Антарктиде // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед., 1961б, № 29, с. 30–32.
- Зотиков И.А.** Отчет о работе на американской антарктической станции Мак-Мёрдо. Л., 1966, 53 с. (Фонды ААНИИ; № О-1335).
- Зотиков И.А.** Подледниковые воды в Антарктиде // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1982, № 3, с. 5–11.
- Калесник С.В.** Общая гляциология: Учеб. пособие для студентов университетов и педагогических институтов. Л., Учпедгиз, 1939, 328 с.
- Короткевич Е.С.** Оазисы // Атлас Антарктики. Л., Гидрометеоздат, 1969, т. 2, с. 563–578.
- Кузин И.Л.** Геоморфология Западно-Сибирской равнины. С.-Петербург, Изд-во Гос. полярной академии, 2005, 176 с.
- Марков К.К., Бардин В.И., Лебедев В.Л. и др.** География Антарктиды. М., Мысль, 1968, 439 с.
- Модель Ю.М.** Природа антарктических оазисов и проблема их происхождения // Материалы гляциол. исслед., 1973, № 21, с. 108–115.
- Норденшюльд О.** Полярный миръ и сосѣднія ему страны (Приложение къ “Землевѣденіе”, 1912, т. XIX, вып. I–VIII). М., Геогр. отд-ние Императорскаго о-ва любителей естествознанія, антропологіи и этнографіи, 1912, 184 с.
- Обручев В.А.** Земля Санникова или последние онклионы. М., Пучина, 1926, 325 с.
- Пальгов Н.Н.** К вопросу о происхождении “оазисов” в Антарктиде // Вестн. АН КазССР, 1956, № 12(141), с. 52–54.
- Панов Д.Г.** Геологическое строение Антарктики // Ред. Е.Н. Павловский, С.В. Калесник. Антарктика; материалы по истории исследования и по физической географии. М., Географгиз, 1958а, с. 158–236.
- Панов Д.Г.** Современное оледенение Антарктики // Там же, 1958б, с. 89–319.
- Ратцель Ф.** Земля и жизнь. Сравнительное землевѣдѣніе (Библиотека Естествознанія / Подъ ред. проф. П.И. Броунова, В.А. Фаусека; вып.: XXII (1903), XXXIV, XXXVIII (1904), XLII, XLIV, XLIX (1905), XLIX, LI (1906)). С.-Петербург, Изданіе Акц. о-ва Брокгаузъ–Ефронъ, 1903–1906, 737 с. (т. 1), х+730 с. (т. 2).
- Рихтер Г.Д.** Происхождение и эволюция “оазисов” Антарктиды // Вопросы физической географии: К 75-летию со дня рождения акад. А.А. Григорьева. М., Изд-во АН СССР, 1958, с. 258–284.
- Ружицкий С.З.** О времени образования оазиса Бангер-Хилс // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед., 1960, № 20, с. 10–14.

- Симонов И.М.** Оазисы Восточной Антарктиды. Л., Гидрометеоиздат, 1971, 176 с.
- Современная Антарктика.** Отчет за пятьдесят лет Новозеландского Антарктического общества / Под ред. Ф.А. Симпсона. М., Изд-во иностр. лит., 1957, 374 с.
- Сократова И.Н.** Антарктические оазисы: история и значение термина // *Материалы гляциол. исслед.*, 2007, № 103, с. 25–29.
- Солопов А.В.** Оазисы в Антарктиде (Результаты исследований по программе МГП. Вып. 14: Метеорология). М., Наука, 1967, 143 с.
- Таубер Г.М.** Основные черты климата и погоды (Антарктика. Ч. 1). Л., Гидрометеоиздат, 1956, 148 с.
- Тронов М.В.** Вопросы связи между климатом и оледенением. Томск, Изд-во Том. ун-та, 1956, 202 с.
- Щербаков Д.И.** Загадки Антарктиды // *Огонек*, 1955, № 49(1486), с. 17–18.
- Щербаков Д.И.** Для чего ученые исследуют Антарктиду. М., Моск. рабочий, 1956а, 56 с.
- Щербаков Д.И.** Современная Антарктика и задачи ее изучения (Всесоюз. о-во по распространению политических и научных знаний). М., Знание, 1956б, 40 с. (Сер. III, № 6).
- Ahlmann H.W.** Nutidens Antarktis och istidens Skandinavien // *Geol. Fören. i Stockholm Förhandl.*, 1944, vol. 66(3), p. 635–652.
- Apfel E.T.** Bunger's "Oasis", Antarctica // *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1948, vol. 59(12 (pt 2)), p. 1308–1309.
- Bamber J.L., Alley R.B., Joughin I.** Rapid response of modern day ice sheets to external forcing // *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 2007, vol. 257(1–2), p. 1–13.
- Björnsson H., Gudmundsson M.** Variations in the thermal output of the subglacial Grímsvötn caldera, Iceland // *Geophys. Res. Lett.*, 1993, vol. 20(19), p. 2127–2130.
- Blackburn Q.A.** The Thorne glacier section of the Queen Maud mountains // *Geograph. Rev.*, 1937, vol. 27(4), p. 598–614.
- Bull C.** Climatological observations in ice-free areas of southern Victoria Land, Antarctica // *Studies in Antarctic meteorology (Antarctic Res. Ser.)* / Ed. by M.J. Rubin. Washington, D.C., Amer. Geophys. Union, 1966, vol. 9, p. 177–194.
- Byrd R.E.** Our Navy explores Antarctica // *National Geogr. Mag.*, 1947, vol. 92(4), p. 429–522.
- Christensen L.** Recent reconnaissance flights in the Antarctic // *Geogr. J.*, 1939, vol. 94(3), p. 192–202.
- Clarke G.K.C.** Ice-sheet plumbing in Antarctica // *Nature*, 2006, vol. 440(7087), p. 1000–1001.
- Convey P., Stevens M.I.** Antarctic biodiversity // *Science*, 2007, vol. 317(5846), p. 1877–1878.
- Corr H.F.J., Vaughan D.G.** A recent volcanic eruption beneath the West Antarctic ice sheet // *Nature Geosci.*, 2008, vol. 1(2), p. 122–125.
- CPESESSE** (Committee on Principles of Environmental Stewardship for the Exploration and Study of Subglacial Environments, National Research Council). *Exploration of Antarctic Subglac. Aquatic Environments: Environmental and Sci. Stewardship*. Washington, Nat. Acad. Press, 2007, ix+152 p.
- Cromer L., Gibson J.A.E., Swadling K.M., Hodgson D.A.** Evidence for a lacustrine faunal refuge in the Larsemann Hills, East Antarctica, during the Last Glacial Maximum // *J. Biogeogr.*, 2006, vol. 33(7), p. 1314–1323.
- Cutler P.M., Mickelson D.M., Colgan P.M. et al.** Influence of the Great Lakes on the dynamics of the southern Laurentide ice sheet: Numerical experiments // *Geology*, 2001, vol. 29(11), p. 1039–1042.
- Dawson J.W.** Some unresolved problems in geology // *Nature*, 1883, vol. 28(723), p. 449–455.
- Duxbury N.S., Zotikov I.A., Neelson K.H. et al.** A numerical model for an alternative origin of Lake Vostok and its exobiological implications for Mars // *J. Geophys. Res.*, 2001, vol. 106(E1), p. 1453–1462.
- Ferrar H.T.** The geological history of the Ross Dependency // *New Zealand J. Sci. and Technol.*, 1925, vol. 7(6), p. 354–361.
- Gibson J.A.E., Bayly I.A.E.** New insights into the origins of crustaceans of Antarctic lakes // *Antarctic Sci.*, 2007, vol. 19(2), p. 157–163.
- Gudmundsson M.T., Sigmundsson F., Björnsson H.** Ice-volcano interaction of the 1996 Gjalp subglacial eruption, Vatnajökull, Iceland // *Nature*, 1997, vol. 389(6654), p. 954–957.
- Hambrey M.J., Glasser N.F., McKelvey B.C. et al.** Cenozoic landscape evolution of an East Antarctic oasis (Radok Lake area, northern Prince Charles Mountains), and its implications for the glacial and climatic history of Antarctica // *Quatern. Sci. Rev.*, 2007, vol. 26(5–6), p. 598–626.
- Herrmann A.** Die geographischen Arbeiten // *Deutschen Antarktische Expedition 1938/39* / Hrsg. Kottas A., A. Ritscher. Leipzig, Koehler & Amelang, 1942, Bd 3, S. 282–304.
- Hodgkins R.** Glacier hydrology in Svalbard, Norwegian high Arctic // *Quatern. Sci. Rev.*, 1997, vol. 16(9), p. 957–973.
- Hodgson D.A., Verleyen E., Sabbe K. et al.** Late Quaternary climate-driven environmental change in the Larsemann Hills, East Antarctica, multi-proxy evidence from a lake sediment core // *Quatern. Res.*, 2005, vol. 64(1), p. 83–99.
- Huybrechts P., de Wolde J.** The dynamic response of the Greenland and Antarctic ice sheets to multiple-century climatic warming // *J. Climate*, 1999, vol. 12(8), p. 2169–2188.
- Ingólfsson Ó., Hjort Ch., Berkman P.A. et al.** Antarctic glacial history since the Last Glacial Maximum: an overview of the record on land // *Antarctic Sci.*, 1998, vol. 10(3), p. 326–344.
- Kleblsberg R. von.** *Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie*; Bd 2: Historisch-regionaler Teil. Wien, Springer, 1949, 625 S.
- Kleman J., Glasser N.F.** The subglacial thermal organization (STO) of ice sheets // *Quatern. Sci. Rev.*, 2007, vol. 26(5–6), p. 585–597.
- Kohler J.** Lubricating lakes // *Nature*, 2007, vol. 445(7130), p. 830–831.
- Lewis A.R., Marchant D.R., Kowalewski D.E. et al.** The age and origin of the Labyrinth, western Dry Valleys, Antarctica: Evidence for extensive middle Miocene subglacial floods and freshwater discharge to the Southern Ocean // *Geology*, 2006, vol. 34(7), p. 513–516.
- Lythe M.B., Vaughan D.G.** BEDMAP Consortium. BEDMAP: A new ice thickness and subglacial topographic model of Antarctica // *J. Geophys. Res.*, 2001, vol. 106(B6), p. 11335–11351.
- MacLennan J., Jull M., McKenzie D. et al.** The link between volcanism and deglaciation in Iceland // *Geochemistry Geophys. Geosystems*, 2002, vol. 3(11), 1062, p. 1–25, doi:10.1029/2001GC000282.
- Maizels J.** Jökulhlaup deposits in proglacial areas // *Quatern. Sci. Revs.*, 1997, vol. 16(7), p. 793–819.

- Nutt D.C.** Second (1948) U.S. Navy Antarctic development project // *Arctic*, 1948, vol. 1(2), p. 88–92.
- NYT** (The New York Times). Antarctic “oasis” of green lakes and earthlike mounds discovered; green lake “oasis” found in Antarctic. 1947a, Feb. 12, p. 1.
- NYT** (The New York Times). Second ice-free “oasis” is found in Antarctic. 1947b, Mar. 3, p. 5.
- NYT** (The New York Times). Antarctic oases. 1947c, Mar. 4, p. C24.
- NYT** (The New York Times). Alexander J. Radioactive heat in the Earth. 1947d, Mar. 14, p. C22.
- Peat H.J., Clarke A., Convey P.** Diversity and biogeography of the Antarctic flora // *J. Biogeogr.*, 2006, vol. 34(1), p. 132–146.
- Pickard J.** Antarctic oases, Davis Station and the Vestfold Hills // *Antarctic oasis; Terrestrial environment and history of the Vestfold Hills* / Ed. by J. Pickard. Sydney etc., Acad. Press Australia, 1986, p. 1–19.
- Priestley R.E., Tilley C.E.** Geological problems of Antarctica // *Problems of Polar research. A series of papers by thirty-one authors* / Ed. by W.L.G. Joerg. N.Y., Amer. Geogr. Soc., 1928, No. 7, p. 315–328.
- Ragotzkie R.A., Likens G.E.** The heat balance of two Antarctic lakes // *Limnol. and Oceanogr.*, 1964, vol. 9(3), p. 412–425.
- Ritscher A.** Organisation, Vorbereitung und Verlauf der Expedition // *Deutschen Antarktische Expedition 1938/39* / Hrsg. A. Kottas, A. Ritscher. Leipzig, Koehler & Amelang, 1942, Bd 3, S. 1–114.
- Ritscher A.** Oasen in Antarktika // *Polarforschung*, 1946, Bd 16(1/2), S. 70–71.
- Roberts B.** The exploration of Antarctica // *Nature*, 1947, vol. 159(4038), p. 388–392.
- Rohde R.A.** Deglaciated Antarctic topography. Oakland, Global Warming Art, 2007. (http://www.globalwarmingart.com/wiki/Image:Antarctica_Without_Ice_Sheet_png).
- Ruddiman W.F.** Orbital changes and climate // *Quatern. Sci. Revs.*, 2006, vol. 25(23–24), p. 3092–3112.
- Schäfer J.M., Ivy-Ochs S., Wieler R. et al.** Cosmogenic noble gas studies in the oldest landscape on earth: surface exposure ages of the Dry Valleys, Antarctica // *Earth and Planet. Sci. Lett.*, 1999, vol. 167(3), p. 215–226.
- Shumskiy P.A.** Glaciological and geomorphological reconnaissance in Antarctica in 1956 // *J. Glaciol.*, 1957, vol. 3(21), p. 54–61.
- Siegert M.J.** Antarctic subglacial lakes // *Earth-Sci. Revs.*, 2000, vol. 50(1–2), p. 29–50.
- Siegert M.J.** Comment on “A numerical model for an alternative origin of Lake Vostok and its exobiological implications for Mars” by N.S. Duxbury, I.A. Zotikov, K.H. Nealon, V.E. Romanovsky, and F.D. Carsey // *J. Geophys. Res.*, 2004, vol. 109(E0), p. 1–3, E02007, doi:10.1029/2003JE002176.
- Siegert M.J., Le Brocq A., Payne A.J.** Hydrological connections between Antarctic subglacial lakes, the flow of water beneath the East Antarctic ice sheet and implications for sedimentary processes // *Glacial Sedimentary Processes and Products* / Ed. by M.J. Hambrey, P. Christoffersen, N.F. Glasser, B. Hubbard. Malden etc., Blackwell Publ., 2007, p. 3–10.
- Stephenson A.** The southern journey // *Southern lights. The official account of the British Graham Land Expedition 1934–1937* / J. Rymill. L., Chatto & Windus, 1938, ch. 9, p. 177–201.
- Taylor G.** A résumé of the physiography and glacial geology of Victoria Land, Antarctica // *Scott’s last expedition*; vol. 2. L., John Murray, 1927, p. 326–334.
- Vogel S.F.** Fire and ice // *Nature Geosci.*, 2008, vol. 1(2), p. 91–92.
- Vogfjörd K.S., Jakobsdóttir S.S., Gudmundsson G.B. et al.** Forecasting and monitoring a subglacial eruption in Iceland // *EOS: Trans. Amer. Geophys. Union*, 2005, vol. 86(26), p. 245, 248.
- Wade F.A.** Northeastern borderlands of the Ross Sea: Glaciological studies in King Edward VII Byrd Land // *Geogr. Rev.*, 1937, vol. 27(4), p. 584–597.
- Wheeler R.H.** The ice-free valley system of McMurdo Sound // *Antarctic*, 1960, vol. 2(8), p. 310–313.
- Wilson A.T., Holdsworth R., Hendy C.H.** Lake Vanda: a source of heating // *Antarctic J. United States*, 1974, vol. 9(4), p. 137–138.
- Zotikov I.A.** The Antarctic subglacial lake Vostok; glaciology, biology and planetology. Chichester, Praxis Publ. Ltd., 2006, xviii+139 p.

*Поступила в редакцию
28 апреля 2008 г.*