

## УСЛОВИЯ И ХОД ДЕГЛЯЦИАЦИИ В КРАЕВОЙ ЗОНЕ АНТАРКТИДЫ

С.Р. Веркулич

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,  
199397, Санкт-Петербург, ул. Беринга, 38, Россия, verkulich@mail.ru*

Результаты палеогеографических исследований в свободных от оледенения районах Антарктиды проанализированы для выявления зависимости хода их дегляциации от глобальных изменений и локальных факторов. В начале дегляциации (конец позднего неоплейстоцена – 7000 лет назад) ледники отступали быстро и повсеместно благодаря глобальному потеплению (11 000–8500 лет назад) и росту относительного уровня моря. Около 8000–5500 лет назад климат был холоднее, а подъем уровня моря (максимум 7500–6000 лет назад) сменился его падением. Такие климатические условия способствовали медленному продолжению дегляциации на побережье, но обуславливали прирост ледников в “горных” оазисах. В некоторых прибрежных районах также продвигались “плавучие” края ледников, упоравшихся в гляциоизостатически поднимающуюся сушу. Реакция ледников в районах на потепление 4500–2000 лет назад была различной: в “горных” районах продолжалась дегляциация, а в “приморских” росла влажность, аккумуляция снега и незначительно площадь местных ледников. В пределах последней 1000 лет происходило кратковременное разрастание ледников в большинстве районов, которое, по-видимому, совпадает со временем Малой ледниковой эпохи.

*Антарктида, оазисы, голоцен, палеоклимат, уровень моря, дегляциация*

### CONDITIONS AND REGIME OF THE LAST DEGLACIATION IN THE EDGE ZONE OF ANTARCTICA

S.R. Verkulich

*Arctic and Antarctic Research Institute,  
199397, St. Petersburg, Bering str., 38, Russia, verkulich@mail.ru*

The existing paleogeographic data from Antarctic ice-free land areas were analyzed with the purpose to reveal the influence of global changes and local factors on deglaciation processes. The initial phase of deglaciation (end of Late Pleistocene – ca. 7000 yrs BP) was characterized by rapid retreat of glaciers in all areas due to both global climate warming (11 000–8500 yrs BP) and relative sea-level rise. During ca. 8000–5500 yrs BP, the climate was colder, and the relative sea-level rise (maximum 7500–6000 yrs BP) was replaced by fall. Such climatic conditions were still suitable for slow deglaciation process in the coasts (on the whole), but led to positive balance of glaciers in “mountain” areas. Additionally, in some coasts, limited re-advance of the floating glacier edges happened in the places where they turned on the uplifting land. During ca. 4500–2000 yrs BP, essential warming had a different influence: in the areas inside, continent deglaciation was continued, in the “maritime” lowland areas, this warming led to an increase in precipitation/snow accumulation and to a limited expansion of local glaciers. Within the last 1000 years, the limited re-advance of glaciers occurred in most of areas, likely corresponding to the Little Ice Age.

*Antarctica, oases, Holocene, paleoclimate, sea level, deglaciation*

### ВВЕДЕНИЕ

Изменения размеров оледенения Антарктиды со времени последнего ледникового максимума наиболее отчетливо проявлялись в краевой зоне континента. Свидетельства этих изменений, а также послеледниковых климатических флуктуаций и колебаний уровня моря оставлены здесь в рельефе и отложениях ныне свободных ото льда участков суши и водоемов – объектов активных палеогеографических исследований нескольких последних десятилетий. В статье мы анализируем, обобщаем и сравниваем результаты данных исследований с целью выявления как региональных, так и локальных причин, условий и особенностей хода дегляциации.

© С.Р. Веркулич, 2009

### ИСТОЧНИКИ И МЕТОДЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

Сведения о послеледниковом развитии собираются на свободных от оледенения антарктических территориях в основном при изучении рельефа и отложений ледникового, водно-ледникового и морского генезиса, органических отложений в местах обитания птиц, а также донных осадков озер и мелководных морских заливов.

Донные осадки представляют наиболее полные архивы данных. Литологические, гранулометрические, биогеохимические, изотопные и микрорепалеонтологические исследования по разрезам осадков вместе с установлением возраста включенного органического материала позволяют полу-

чать непрерывную и хронологически определенную картину развития водоемов под воздействием изменений природной среды, прежде всего климата и оледенения водосборных бассейнов. Изучение указанных параметров осадков в морских заливах или в озерах, расположенных невысоко и вблизи моря, дает возможность оценивать временные и высотные характеристики влияния морских вод на осадконакопление, т. е. судить об относительных изменениях уровня моря.

На побережьях следы колебаний уровня моря представлены террасами, пляжами, береговыми валами и морскими отложениями, иногда содержащими ископаемую флору и фауну. Расположение и морфология форм рельефа, залегание и строение отложений вместе с возрастом органики дают информацию о нахождении уровня моря на различных высотах. Выраженные в рельефе и отложениях побережий следы изменения интенсивности волноприбойной деятельности или воздействия льда указывают на смену ледовых условий на акваториях, что связано с климатом.

Специфическим ресурсом палеогеографических данных в Антарктиде являются пригодные для радиоуглеродного датирования органические отложения, накапливавшиеся в течение сотен и тысяч лет в гнездах снежных буревестников и пингвинов. Снежные буревестники (*Pagodroma nivea*) селятся на прибрежных территориях и в горных районах краевой зоны Антарктиды. Сопоставляя высоту и местоположение гнезд со временем их заселения, можно получить представление об этапах освобождения низких участков суши или горных склонов ото льда, т. е. о площадных или высотных характеристиках хода дегляциации. Пингвины Адели (*Pygoscelis adeliae*) создают гнезда на свободных от оледенения морских берегах выше линии воздействия приливов, штормов и морского льда; для питания им необходимо наличие близкорасположенных вскрывающихся летом ото льда акваторий. Радиоуглеродное датирование накопившихся в гнездах обломков яиц, гуано, останков тел в сочетании с анализом пространственного положения гнезд говорит о минимальных сроках дегляциации берегов и прилегающих участков шельфа и об относительных изменениях уровня моря. При получении большого числа датировок отложений снежных буревестников или пингвинов в конкретном районе есть возможность выявить изменения интенсивности его посещения птицами в прошлом, что связывается с климатическими флуктуациями.

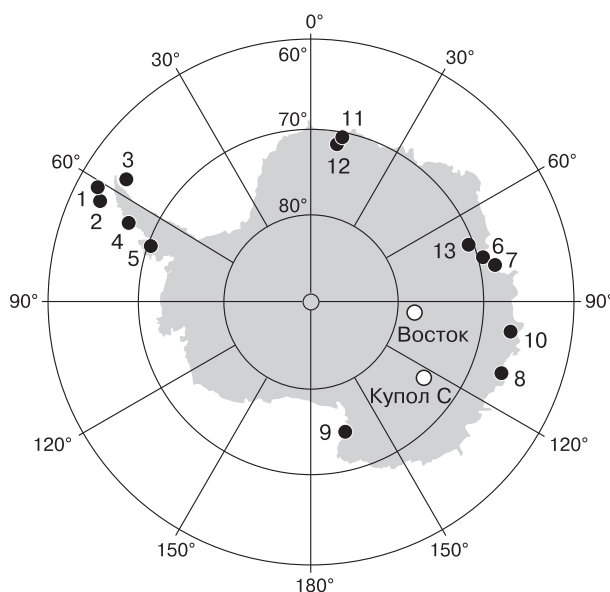
Анализ распространения, морфологии и строения ледниковых и водно-ледниковых образований (моренные покровы и гряды, маргинальные каналы, флювиогляциальные террасы и т. п.) и их соотношения с другими генетическими типами рельефа и отложений дает информацию о

характере предшествующего оледенения и дегляциации территорий. Однако ее использование связано с трудностью установления точных временных границ ледниковых событий. Как правило, удается оценить лишь минимальное время отступления льда (по результатам датирования более поздних, содержащих органику отложений) или максимальное время разрастания ледников (при определении возраста существовавших до этого разрастания отложений).

Хронология рассматриваемых изменений окружающей среды восстанавливается преимущественно по результатам радиоуглеродного датирования. Ее корректность в Антарктиде зависит от внесения в получаемые значения радиоуглеродного возраста необходимых, различных по своей природе и величине поправок [Björck et al., 1991b; Gordon, Harkness, 1992; Ingólfsson et al., 1998; Omoto, 1983]. Поэтому при проведении анализа и обобщения исследований нами использовались датировки с учетом этих поправок. В случае отсутствия таких поправок у предшествующих авторов они вводились нами в хроностратиграфические построения с учетом существующих представлений о радиоуглеродном “шуме” конкретных районов, а также условий осадконакопления датированного материала. В итоге временная шкала приводимых ниже палеогеографических реконструкций представляет собой не радиоуглеродный возраст, а скорректированные, близкие к календарным годы.

#### РАССМАТРИВАЕМЫЕ РАЙОНЫ И ИХ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ

В область нашего рассмотрения входит большинство районов краевой зоны Антарктиды, где были проведены достаточно детальные палеогеографические исследования (рис. 1). Из-за современных различий в местоположении, ледниковом окружении и основных физико-географических характеристиках, эти районы, имеющие площади от первых десятков до сотен квадратных километров, представляют несколько типов свободных от оледенения антарктических территорий (так называемых оазисов) [Сократова, 2007]. Острова Кинг-Джордж, Ливингстон и Джеймса Росса (район Антарктического п-ова, “морская” Западная Антарктида) расположены в относительно низких широтах, в окружении океанических вод и вдали от континентального ледникового щита, что способствует наличию здесь сравнительно мягких климатических условий (среднегодовые значения температуры воздуха колеблются около  $-2,5^{\circ}\text{C}$ , относительной влажности воздуха – более 80 %, количества осадков – более 800 мм). На побережье Восточной Антарктиды невысокие (до 200 м) “низменные” оазисы соприкасаются (или находятся вблизи) с ледниковым покровом и выводны-



**Рис. 1. Местоположение рассматриваемых районов краевой зоны Антарктиды.**

“Морские” районы Западной Антарктиды: 1 – о. Кинг-Джордж, 2 – о. Ливингстон, 3 – о. Джеймса Росса, 4 – шельфовый ледник Георга IV, 5 – шельфовый ледник Мюллера; “приморские” районы Восточной Антарктиды: 6 – Холмы Ларсеманн, 7 – оазис Вестфолль, 8 – о-ва Уиндмилл, 9 – берег залива Терра-Нова; “пришельцовые” районы Восточной Антарктиды: 10 – оазис Бангера, 11 – оазис Ширмахера; “горные” районы Восточной Антарктиды: 12 – оазис Унтер-Зе, 13 – оазис Эймери.

ми ледниками, что увеличивает суровость местного климата: здесь низкие температуры воздуха (среднегодовые значения около  $-10^{\circ}\text{C}$ ), относительная влажность воздуха (менее 65 %). Эти территории подразделяются на “приморские” (Холмы Ларсеманн, оазис Вестфолль, о-ва Уиндмилл, берег залива Терра-Нова), часть берегов которых непосредственно контактирует с океаническими массами, и “пришельцовые” (оазисы Бангера, Ширмахера), отделенные от океана протяженными (более 100 км) пространствами шельфовых ледников (т. е. окруженные льдом со всех сторон), и характеризующиеся более засушливыми условиями (среднегодовая относительная влажность воздуха около 50 %, годовое количество осадков менее 250 мм). В глубине континента, в окружении ледниковых масс, на высотах более 500 м расположены “горные” оазисы (Унтер-Зе, Эймери), в которых температуры воздуха и влажность еще ниже.

Особенности прошлых природных обстановок обусловили разнообразие исследуемых в районах объектов. Оценка голоценовых изменений климата, уровня моря и оледенения на о. Кинг-Джордж была проведена по результатам изучения рельефа, отложений морского, ледникового и водно-ледникового генезиса, древних отложений пингвиных

гнезд [Sugden, John, 1973; Barsch, Mäusbacher, 1986; Birkenmajer, 1998; Emslie, 2001; Del Valle et al., 2002], а также донных осадков озер [Matthies et al., 1990; Schmidt et al., 1990; Martinez-Macchiavello et al., 1996; Tatur et al., 2004]. На о. Ливингстон фактической базой палеореконовструкций являются озерные осадки [Björck et al., 1991a, 1993], а также береговые отложения, содержащие следы жизнедеятельности пингвинов [Pallàs et al., 1997]. Климатические, морские и ледниковые события голоцена на о. Джеймса Росса запечатлены в рельефе, разрезах отложений и в озерных осадках [Rabassa, 1982; Zale, Karlen, 1989; Ingólfsson et al., 1992; Björck et al., 1996]. Кроме того, для района Западной Антарктиды мы включили в анализ хронологически установленные колебания краев шельфовых ледников Георга VI [Hjort et al., 2001] и Мюллера [Domack et al., 1995], расположенных на западных окраинах Антарктического п-ова.

В районе Холмов Ларсеманн картина послеледникового развития природной среды была получена в основном благодаря детальному изучению донных осадков нескольких озер [Веркулич и др., 2007; Hodgson et al., 2001, 2005; Squier et al., 2005; Verleyen et al., 2004a,b, 2005].

Послеледниковые изменения климата и морские события в оазисе Вестфолль выявлялись по результатам изучения рельефа и отложений в пределах озерных систем, донных осадков озер, а также морских отложений на суше [Pickard, 1986; Bird et al., 1991; Fulford-Smith, Sikes, 1996; Roberts, McMinn, 1998; Zwartz et al., 1998; McMinn, 2000]. Этапы дегляциации реконструировались на основе анализа данных о радиоуглеродном возрасте отложений, их соотношении с ледниковыми формами рельефа и отложениями, распространении и степени выветривания материала, ориентировке и морфологии моренных гряд, ледниковой штриховке [Adamson, Pickard, 1986; Fitzsimons, 1991; Gore, 1997; Fabel et al., 1997].

Голоценовые колебания уровня моря, климатические флуктуации и ход дегляциации в районе о-вов Уиндмилл реконструировались при сопоставлении результатов исследований следов ледниковой деятельности [Goodwin, 1993], донных осадков озер и морских водоемов [Kirkup et al., 2002; Cremer et al., 2003; Roberts et al., 2004], а также отложений в колониях пингвинов [Emslie, Woehler, 2005].

В районе залива Терра-Нова информацию об изменениях климата, уровня моря и об отступании ледников дали исследования рельефа, отложений и следов жизнедеятельности пингвинов на побережьях [Baroni, Orombelli, 1991, 1994a,c; Baroni, 1994]. Анализ соотношения датированных отложений с моренными грядами позволил установить этапы разрастания ледников [Baroni, Orombelli, 1994b].

В оазисе Бангера подробные данные о послеледниковых изменениях уровня моря и климата были получены при изучении донных осадков более 10 озер и внутренних морских заливов [Веркулич, 2007; Веркулич и др., 2007; Kulbe et al., 2001; Verkulich et al., 2002], морских форм рельефа и отложений на побережьях [Colhoun, Adamson, 1992]. История дегляциации территории была реконструирована на основе анализа площадного распределения десятков радиоуглеродных датировок ископаемого органического материала из осадков водоемов, морских террас и гнезд снежных буревестников, а также в результате исследований ледникового и водно-ледникового рельефа и отложений [Веркулич и др., 1999; Adamson, Colhoun, 1992; Melles et al., 1997].

Прошлые климатические условия и ход дегляциации оазиса Ширмахера выявлялись автором и другими исследователями [Makeev, 1972; Richter, Bormann, 1995; Stackebrandt, 1995; Schwab, 1998] по особенностям ледникового и водно-ледникового рельефа и отложений, а также при изучении озерных осадков.

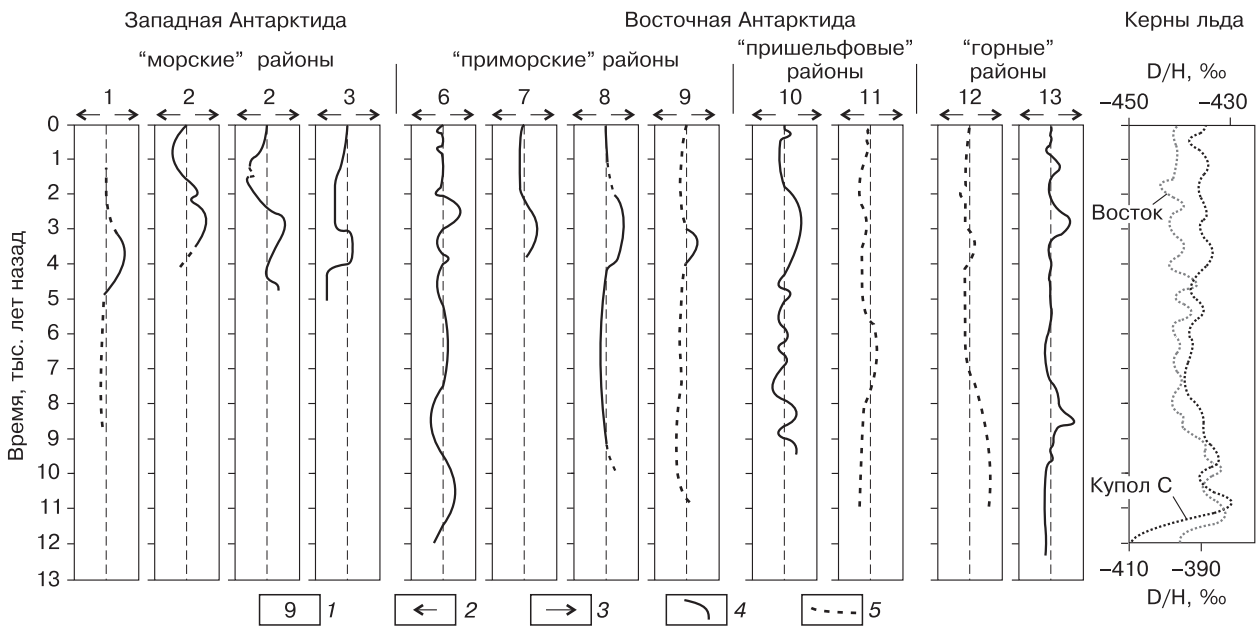
Источниками информации о климатических флуктуациях и дегляциации оазиса Унтер-Зе были озерные осадки [Schwab, 1998], органические отложения в гнездах снежных буревестников [Hiller et al., 1988, 1995] и соотношение этих отложений с комплексом морен [Stackebrandt, 1995]. В оазисе Эймери реконструкция голоценовых изменений климата и оледенения производилась по резуль-

татам детальных исследований колонки озерных отложений [Wagner et al., 2004].

### УСЛОВИЯ И ХОД ДЕГЛЯЦИАЦИИ: ОБСУЖДЕНИЕ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Сравнение реконструированных изменений климата в краевой зоне Антарктиды показывает, что хронология относительных потеплений и похолоданий часто различна между районами (рис. 2). Методическими причинами этого могут быть: 1) упомянутые проблемы датирования; 2) отличия во временном разрешении реконструкций из-за разной детальности датирования и аналитических исследований; 3) неоднородная степень корректности палеоклиматических интерпретаций при изучении различных объектов (отложений суши, донных осадков водоемов, органических отложений в гнездах птиц). Поэтому кривые подразделены нами в соответствии с их предполагаемой достоверностью.

Естественная составляющая палеоклиматических флуктуаций на рис. 2 является результатом взаимодействия глобальных изменений и локальных условий. Схожие по времени и знаку флуктуации, выявленные в большинстве районов, вероятно, отражают общий климатический тренд. К ним относятся пики заметного потепления в районах между 4500 и примерно 2000 лет назад (с максимумом в период 3500–2000 лет назад), а также последующее, почти повсеместное короткое похо-



**Рис. 2. Относительные изменения климата в краевой зоне Антарктиды и результаты изотопных исследований кернов льда (верхняя шкала – Восток, нижняя шкала – Купол С) [Masson et al., 2000].**

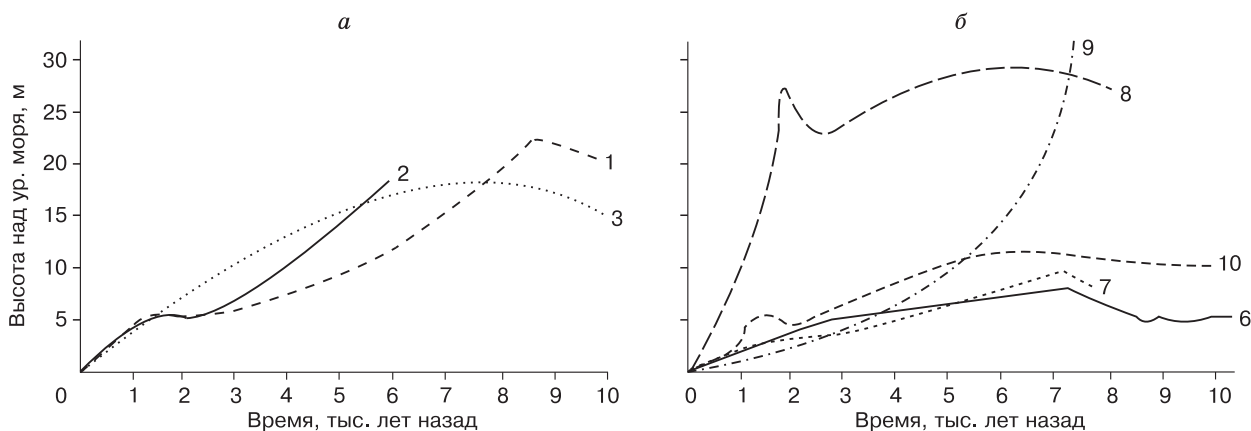
1 – название и местоположение района см. на рис. 1; 2 – холоднее; 3 – теплее; 4 – достаточно достоверные палеоклиматические реконструкции; 5 – приблизительные палеоклиматические реконструкции.

лодание между 2000 и 1500 лет назад. Практически во всех детально изученных разрезах донных осадков обнаружены свидетельства существенного потепления в конце позднего неоплейстоцена – раннем голоцене (до ~8500 лет назад). Реконструкции для периода 8000–5500 лет назад и для последних 1500 лет обнаруживают много несопадений, однако в целом они говорят о наличии климатических условий, близких современным или более холодных.

Сравнение этих флуктуаций с результатами изотопных исследований кернов льда из центральных областей континента обнаруживает похожие черты (см. рис. 2), что подтверждает мысль об их глобальном характере. Прежде всего, это касается периодов потепления на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена, последующего похолодания в раннем–среднем голоцене, а также короткого похолодания между 2000 и 1500 лет назад. Пики потепления между 4500 и 2000 лет назад, уверенно реконструируемые в краевой зоне Антарктиды, также присутствуют на изотопных кривых, но имеют разную амплитуду: они более ярко выражены в кернах льда с Купола С, чем со станции Восток. Объяснением этому можно считать усиливающуюся в течение голоцена роль локальных факторов в формировании антарктического климата. К таким факторам относится, например, возрастание влияния освобождающийся от оледенения прибрежных морских акваторий на особенности теплового баланса и атмосферной циркуляции конкретных районов. Так, небольшое потепление было способно привести к увеличению продолжительности освобождения акваторий ото льда и росту температур воды, что оказывало дополнительное отепляющее и увлажняющее воздействие на территории суши, причем степень этого воздействия уменьшалась по мере удаления от берега и возрастания высотных отметок территорий. К другим факторам, которые могли вли-

ять на пестроту палеоклиматических условий в разных районах Антарктиды в голоцене, относятся вулканические извержения, катастрофические разрушения шельфовых или выводных ледников, изменения площади свободной ото льда суши.

Реконструкции голоценового хода относительного уровня моря (рис. 3) отражают изменения соотношения знаков и амплитуд эвстатических колебаний уровня Мирового океана (глобальный водообмен в системе океан–ледник–атмосфера), региональных тектонических и локальных гляциоизостатических движений. Общими для построенных кривых являются: рост относительного уровня моря с раннего голоцена до достижения максимальных высот между 7500 и примерно 6000 лет назад (кроме о. Кинг-Джордж); последующее падение уровня до ~2500 лет назад; снижение скорости падения, стабилизация и даже возможный рост уровня в период 2500–1500 лет назад; падение уровня в течение последних 1500 лет. Повышение уровня в раннем–среднем голоцене свидетельствует, по-видимому, об опережающих скоростях трансгрессивного роста уровня океана по отношению к гляциоизостатическому подъему территорий, начавших освобождаться от ледниковой нагрузки. Наоборот, в дальнейшем скорость гляциоизостатических поднятий в целом превышала эвстатическую составляющую изменений относительного уровня моря. Замедление или кратковременный рост уровня моря между 2500–1500 лет назад объяснить сложнее. В этот период скорости компенсационного изостатического подъема прибрежных территорий могли снизиться как из-за почти полного завершения их дегляциации, так и вследствие повторного разрастания здесь ледников, и тогда на берегах доминировало эвстатическое поднятие уровня океана, указанное в работе [Fairbridge, 1961]. Некоторые исследователи [Verleyen et al., 2004b] не исключают также быстрого допол-



**Рис. 3. Изменения относительного уровня моря на побережье Антарктиды:**

а – Западная Антарктида, б – Восточная Антарктида; 1–10 – названия и местоположение районов см. на рис. 1.

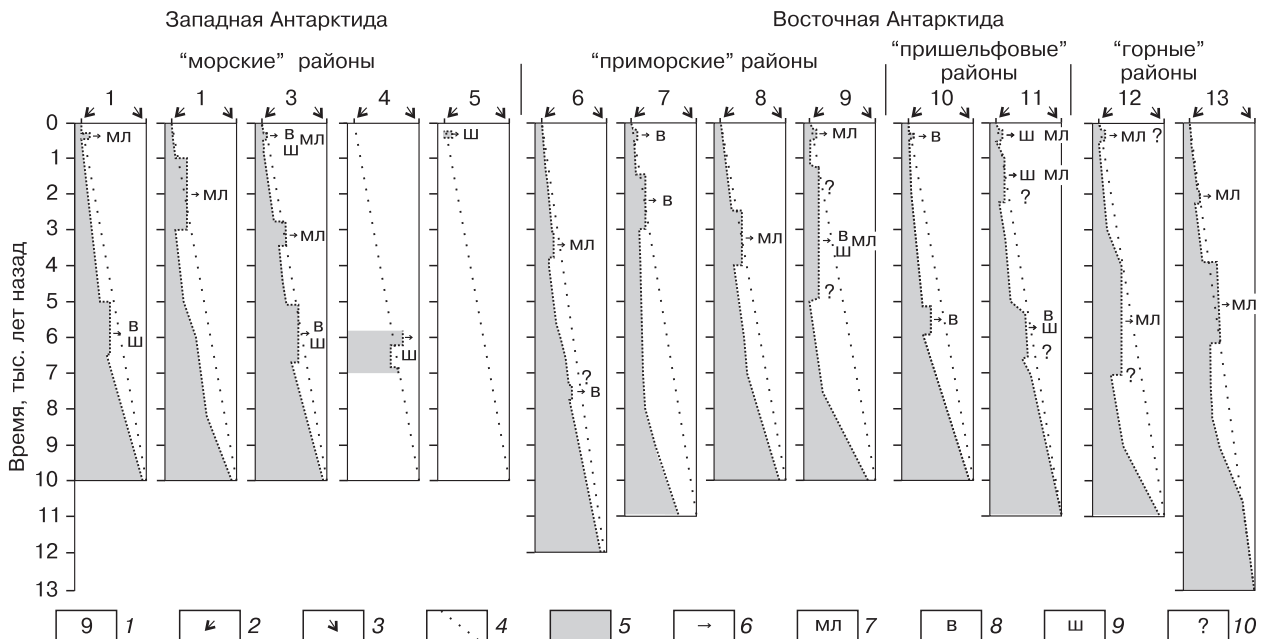
нительного поступления вод в океан в результате катастрофических разрушений крупных шельфовых ледников.

Сравнительно небольшие хронологические различия в кривых относительных изменений уровня моря (см. рис. 3) обусловлены, по-видимому, как особенностями динамики дегляциации территорий, так и указанными ранее методическими ошибками. Более значительной является разница в максимальных высотах уровня моря в районах. Одной из причин этого может быть “мозаичность” геологического строения и тектонической активности Антарктического побережья. Однако даже в районах Западной Антарктиды, где имеются предпосылки для усиления тектонической составляющей движений, ее роль в послеледниковом поднятия оценивается как менее значительная, чем изостазия [Pallàs et al., 1997]. Вероятно, амплитуды поднятия рассматриваемых территорий в голоцене в большей степени зависели от мощности их последнего оледенения.

Главной проблемой изучения развития краевой зоны Антарктиды является невозможность точного определения хронологии ледниковых событий, что приводит к относительному характеру оценки хода дегляциации (рис. 4). Несмотря на это, сравнение выполненных реконструкций позволяет обнаружить в истории районов общие черты и особенности. Самые древние радиоуглеродные датировки ископаемой органики из после-

ледниковых донных осадков и наземных отложений указывают на то, что свободные от оледенения участки суши и акваторий появились в исследуемых районах на рубеже позднего неоплейстоцена и голоцена. В раннем голоцене дегляциация территорий шла быстро, что было обусловлено как существенным потеплением (интенсивное таяние льда), так и ростом уровня моря, вызывающим всплывание и активное разрушение ледников в прибрежных областях. Эта “быстрая” фаза дегляциации завершилась раньше (около 8000–9000 лет назад) в “горных” оазисах Унтер-Зе и Эймери (см. рис. 4), где она была связана только с климатическими условиями. Несмотря на начало относительного похолодания примерно с 8000 лет назад, во многих районах Антарктического побережья ускоренное сокращение оледенения продолжалось дольше (до 6500–7500 лет назад), по-видимому, из-за деструктивного воздействия на местные ледниковые системы продолжающейся трансгрессии. В итоге результатом первой стадии дегляциации (ранний голоцен) стало освобождение от проективного ледникового покрытия не менее 50 % площади рассматриваемых районов.

Последующее развитие территорий (средний, поздний голоцен) характеризуется в целом меньшими скоростями их дегляциации и неоднократными незначительными разрастаниями местных ледников, причем разрастания касались ледников разных типов и зачастую не были синхронными



**Рис. 4. Относительная оценка хода дегляциации районов краевой зоны Антарктиды.**

1 – название и местоположение района см. на рис. 1; 2 – современная площадь проективного покрытия района ледниками; 3 – полное оледенение района; 4 – “идеальная” линия сокращения покрытия района ледниками (дегляциации); 5 – площадь проективного покрытия района ледниками; 6 – продвижение, разрастание ледников; 7 – ледниковые купола, малые ледники; 8 – выводные ледники; 9 – шельфовые ледники; 10 – предполагаемые события или их временные границы.

(см. рис. 4). По нашему мнению, это объясняется увеличением влияния таких локальных факторов, как местоположение и рельеф территорий, степень их аридизации, а также особенностями местной атмосферной циркуляции, морской и ледниковой обстановок. Между 7500 и 5000 лет назад в Западной Антарктиде, в районе Холмов Ларсеманн, и в “пришельфовых” районах Восточной Антарктиды происходило продвижение выводных и шельфовых ледников. Оно могло быть вызвано наличием в этот период относительно холодных условий (см. рис. 2), способствующих уменьшению таяния на нижней поверхности “плавающих” ледников, а также началом падения относительного уровня моря (см. рис. 3), при котором края шельфовых и выводных ледников упирались в прилегающие поднимающиеся участки суши. Влияние второго фактора косвенно подтверждается тем, что выдвигание краев ледников в указанных районах происходило вскоре после начала понижения уровня моря (см. рис. 3, 4). Относительно холодные условия периода 7000–4500 лет назад способствовали также уменьшению летнего таяния льда в “горных” оазисах, что, по-видимому, и вызвало рост местных ледников и снежников (см. рис. 4). Эти же климатические условия одновременно могли вести к увеличению ледовитости морей вблизи “приморских” районов и, как следствие, к снижению здесь влажности воздуха, количества снежных осадков и медленной деградации местных наземных ледников.

Еще более разнообразна картина дегляциации районов между 4500 и 1000 лет назад (см. рис. 4). В “горных” оазисах относительное потепление в этот период (см. рис. 2) выражалось в усилении летнего таяния и убыли льда, а короткое похолодание около 2000 лет назад, вероятно, привело к росту ледников и снежников в оазисе Эймери. В “морских” и “приморских” районах Антарктиды на общем фоне дегляциации регистрируется увеличение местных ледниковых куполов и разрастание краев склона ледникового щита, причиной которых могла служить схема “потепление–снижение ледовитости прилегающих морских бассейнов–увеличение переноса влаги на ледники–положительный снежно-ледовый баланс на ледниках–рост местного оледенения”. Между 2000 и 1000 лет назад на окраинах некоторых из прибрежных территорий (оазисы Вестфолль и Ширмахера, район залива Терра-Нова) отмечается также продвижение краев выводных и шельфовых ледников, которое, возможно, было связано как с коротким похолоданием, так и с быстрыми изменениями относительного уровня моря 2500–1500 лет назад (см. рис. 3).

В течение последней 1000 лет ландшафты и ледниковая обстановка в рассматриваемых районах в целом были похожи на современные. В этот

период, однако, практически на всех территориях были сформированы конечные морены с ледяным ядром, регистрирующие незначительное разрастание ледников (см. рис. 4). Повсеместность, кратковременность этого события и участие в нем ледников всех типов позволяют предположить, что разрастание было обусловлено климатическими изменениями, скорее всего, во время Малой ледниковой эпохи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ результатов палеогеографических исследований позволяет реконструировать изменения климата, относительного уровня моря и оледенения в краевой зоне Антарктиды с рубежа позднего неоплейстоцена–голоцена. Сравнение реконструкций показывает, что в развитии рассматриваемых районов ведущая роль принадлежала глобальным изменениям природной среды. Начальный период дегляциации был инициирован и ускорен заметным потеплением и эвстатическим ростом уровня моря, что уже в раннем голоцене привело к освобождению от покровного оледенения не менее 50 % рассматриваемых районов. В среднем–позднем голоцене дегляциация шла медленнее, на общем фоне преобладания близких к современному или тенденции снижения уровня моря.

Влияние локальных факторов (местоположение и высота территорий, их близость к океану, особенности ледникового окружения и др.) на местные климатические условия, морские события и соответственно на ход дегляциации увеличивалось в течение всего голоцена. Наиболее ярко это влияние проявилось в среднем–позднем голоцене следующим образом: усилением параметров потепления на Антарктическом побережье (4500–2000 лет назад) по сравнению с внутренними районами континента; одновременностью достижения максимального подъема относительного уровня моря; совпадением времени дегляциации и роста ледников в разных районах; асинхронностью подвижек плавающих выводных и шельфовых ледников с изменениями площади наземных ледников.

Частое совпадение дегляциации в одних районах с разрастанием ледников в других косвенно свидетельствует о том, что в среднем–позднем голоцене (в отличие от предшествующего времени) вклад убыли льда в краевой зоне Антарктиды в изменения уровня Мирового океана был постепенным и в целом незначительным (правда, здесь мы не учитываем возможных катастрофических разрушений шельфовых или выводных ледников).

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

## Литература

- Веркулич С.Р.** Реконструкция голоценовых изменений климата в краевой зоне Восточной Антарктиды на основе изучения донных осадков озер и морских заливов // Изв. РАН. Сер. геогр., 2007, № 4, с. 1–6.
- Веркулич С.Р., Большианов Д.Ю., Хиллер А., Кузьмина И.Н.** Органические отложения в гнездах снежных буревестников как индикатор дегляциации оазиса Бангера (Восточная Антарктида) // Информ. бюл. РАЭ, 1999, № 119, с. 92–104.
- Веркулич С.Р., Пушина З.В., Сократова И.Н. и др.** Изменения уровня моря и гляциоизостазия на побережье Антарктиды в голоцене // Материалы гляциол. исслед., 2007, вып. 102, с. 161–167.
- Макеев В.М.** Новые данные о рельефе оазиса Ширмахера и истории его развития // Труды САЭ, 1972, вып. 60, с. 48–64.
- Сократова И.Н.** Антарктические оазисы: история и значение термина // Материалы гляциол. исслед., 2007, вып. 103, с. 25–29.
- Adamson D.A., Colhoun E.A.** Late Quaternary glaciation and deglaciation of the Bunger Hills, Antarctica // Antarctic Sci., 1992, vol. 4, No. 4, p. 435–446.
- Adamson D.A., Pickard J.** Cenozoic history of the Vestfold Hills // Antarctic oasis. Sydney, Acad. Press, 1986, p. 63–99.
- Baroni C.** Notes on late-glacial retreat of the Antarctic ice-sheet and Holocene environmental changes along the Victoria Land coast // Mem. Nat. Inst. Polar Res. Spec. Iss., 1994, vol. 50, p. 85–107.
- Baroni C., Orombelli G.** Holocene raised beaches at Terra Nova Bay, Victoria Land, Antarctica // Quatern. Res., 1991, vol. 36, p. 157–177.
- Baroni C., Orombelli G.** Abandoned penguin rookeries as Holocene paleoclimatic indicators in Antarctica // Geology, 1994a, vol. 22, p. 23–26.
- Baroni C., Orombelli G.** Holocene glacier variations in the Terra Nova Bay area (Victoria Land, Antarctica) // Antarctic Sci., 1994b, vol. 6, No. 4, p. 497–505.
- Baroni C., Orombelli G.** The retreat of the Antarctic Ice Sheet from the Ross Sea continental shelf and the Holocene diffusion of Adelie penguins in Victoria Land // Terra Antarctica, 1994c, vol. 1, p. 151–152.
- Barsch D., Mäusbacher R.** New data on the relief development of the South Shetland Islands, Antarctica // Interdisciplinary Sci. Rev., 1986, vol. 11, No. 2, p. 211–218.
- Bird M.I., Chivas A.R., Radnell C., Burton H.R.** Sedimentological and stable-isotope evolution of lakes in the Vestfold Hills, Antarctica // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 1991, vol. 84, p. 109–130.
- Birkenmajer K.** Quaternary geology at Potter Peninsula, King George Island (South Shetlands Islands, West Antarctica) // Bull. Pol. Acad. Sci.: Earth Sci., 1998, vol. 46, p. 9–20.
- Björck S., Håkansson H., Olsson S. et al.** Paleoclimatic studies in South Shetland Islands, Antarctica, based on numerous stratigraphic variables in lake sediments // J. Paleolimnol., 1993, vol. 8, p. 233–272.
- Björck S., Håkansson H., Zale R. et al.** A late Holocene lake sediment sequence from Livingston Island, South Shetland Islands, with paleoclimatic implications // Antarctic Sci., 1991a, vol. 3, p. 61–72.
- Björck S., Hjort C., Ingólfsson O., Skog G.** Radiocarbon dates from the Antarctic Peninsula region – problems and potential // Quatern. Proc., 1991b, vol. 1, p. 55–65.
- Björck S., Olsson S., Ellis-Evans C. et al.** Late Holocene paleoclimatic records from lake sediments on James Ross Island, Antarctica // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 1996, vol. 121, p. 195–220.
- Colhoun E.A., Adamson D.A.** Raised Beaches of the Bunger Hills, Antarctica // ANARE Rep., 1992, vol. 136, p. 1–47.
- Cremer H., Gore D., Melles M., Roberts D.** Paleoclimatic significance of late Quaternary diatom assemblages from southern Windmill Islands, East Antarctica // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 2003, vol. 195, p. 261–280.
- Del Valle R.A., Montalti D., Inbar M.** Mid-Holocene macrofossil-bearing raised marine beaches at Potter Peninsula, King George Island, South Shetlands Islands // Antarctic Sci., 2002, vol. 14, No. 3, p. 263–269.
- Domack E.W., Ishman S.E., Stein A.B. et al.** Late Holocene advance of the Müller Ice Shelf, Antarctic Peninsula: sedimentological, geochemical and palaeontological evidence // Antarctic Sci., 1995, vol. 7, No. 2, p. 159–170.
- Emslie S.D.** Radiocarbon dates from abandoned penguin colonies in the Antarctic Peninsula region // Antarctic Sci., 2001, vol. 13, No. 3, p. 289–295.
- Emslie S.D., Woehler E.J.** A 9000-year record of Adelie penguin occupation and diet in the Windmill Islands, East Antarctica // Antarctic Sci., 2005, vol. 17, No. 1, p. 57–66.
- Fabel D., Stone J., Fifield L.K., Cresswell R.G.** Deglaciation of the Vestfold Hills, East Antarctica: preliminary evidence from exposure dating of three subglacial erratics // The Antarctic Region: geological evolution and processes: Proc. of the 7th Intern. Symp. on Antarctic Earth Sci. Siena, Terra Antarctica Publ., 1997, p. 829–834.
- Fairbridge R.W.** Eustatic changes in sea-level // Phys. and Chem. Earth, 1961, vol. 4, p. 99–185.
- Fitzsimons S.J.** Geomorphic development of the Vestfold Hills: question regarding Holocene deglaciation // Quatern. Res. in Aust. Antarctica: future directions. Canberra, Aust. Defense Force Academy (Spec. publ. 3), 1991, p. 25–36.
- Fulford-Smith S.P., Sikes E.L.** The evolution of Ace Lake, Antarctica, determined from sedimentary diatom assemblages // Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol., 1996, vol. 124, p. 73–86.
- Goodwin I.D.** Holocene deglaciation, sea-level change, and the emergence of the Windmill Islands, Budd Coast, Antarctica // Quatern. Res., 1993, vol. 40, p. 70–80.
- Gordon J.E., Harkness D.D.** Magnitude and geographic variation of the radiocarbon content in Antarctic marine life: implications for reservoir corrections in radiocarbon dating // Quatern. Sci. Rev., 1992, vol. 11, p. 697–708.
- Gore D.B.** Last glaciation of Vestfold Hills: extension of the East Antarctic ice sheet or lateral expansion of Sørsdal Glacier // Polar Record, 1997, vol. 33, No. 184, p. 5–12.
- Hiller A., Hermichen W.-D., Wand U.** Radiocarbon-dated subfossil stomach oil deposits from petrel nesting sites: novel paleoenvironmental records from continental Antarctica // Radiocarbon, 1995, vol. 37, No. 2, p. 171–180.
- Hiller A., Wand U., Kampf H., Stackebrandt W.** Occupation of the Antarctic continent by petrels during the past 35000 years: inferences from a <sup>14</sup>C Study of Stomach Oil Deposits // Polar Biology, 1988, vol. 9, p. 69–77.
- Hjort C., Bentley M.J., Ingólfsson O.** Holocene and pre-Holocene temporary disappearance of the George VI Ice Shelf, Antarctic Peninsula // Antarctic Sci., 2001, vol. 13, No. 3, p. 296–301.
- Hodgson D.A., Noon P.E., Vyverman W. et al.** Where the Larsemann Hills ice-free through the Last Glacial Maximum? // Antarctic Sci., 2001, vol. 14, No. 4, p. 440–454.



- 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, p. 83–99.
- Ingólfsson Ó., Björck S., Hjort C., Smith R.I.L.** Late Pleistocene and Holocene glacial history of James Ross Island, Antarctic Peninsula // *Boreas*, 1992, vol. 21, p. 209–222.
- Ingólfsson Ó., Hjort C., 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, No. 3, p. 326–344.
- Kirkup H., Melles M., Gore D.B.** Late Quaternary environment of southern Windmill Islands, East Antarctica // *Antarctic Sci.*, 2002, vol. 14, No. 3, p. 385–394.
- Kulbe T., Melles M., Verkulich S.R., Pushina Z.V.** East Antarctic climate and environmental variability over the last 9400 years inferred from marine sediments of the Bunger Oasis // *Arctic, Antarctic and Alpine Res.*, 2001, vol. 33, No. 2, p. 223–230.
- Martinez-Macchiavello J.C., Tatur A., Servant-Vildary S., Del Valle R.** Holocene environmental change in a marine-estuarine-lacustrine sediment sequence, King George Island, South Shetland Islands // *Antarctic Sci.*, 1996, vol. 8, No. 4, p. 313–322.
- Masson V., Vimeux F., Jouzel J. et al.** Holocene climate variability in Antarctica based on 11 ice-core isotopic records // *Quatern. Res.*, 2000, vol. 54, p. 348–358.
- Matthies D., Mausbacher R., Storzer D.** Desolation Island tephra: a stratigraphical marker for limnic and marine sediments in Bransfield Strait area, Antarctica // *Z. Geol. und Paläontol.*, 1990, Bd. 1, S. 153–165.
- McMinn A.** Late Holocene increase in sea ice extent in fjords of the Vestfold Hills, eastern Antarctica // *Antarctic Sci.*, 2000, vol. 12, No. 1, p. 80–88.
- Melles M., Kulbe T., Verkulich S.R. et al.** Late Pleistocene and Holocene environmental history of Bunger Hills, East Antarctica, as revealed by fresh-water and epishelf lake sediments // *The Antarctic Region: geological evolution and processes: Proc. of the 7th Intern. Symp. on Antarctic Earth Sci.* Siena, Terra Antarctica Publ., 1997, p. 809–820.
- Omoto K.** The problem and significance of radiocarbon geochronology in Antarctica // *Antarctic Earth Science.* Canberra, Austr. Academy of Sci., 1983, p. 450–452.
- Pallàs R., James T.S., Sàbat F. et al.** Holocene uplift in the South Shetland Islands: evaluation of tectonics and glacio-isostasy // *The Antarctic Region: geological evolution and processes: Proc. of the 7th Intern. Symp. on Antarctic Earth Sci.* Siena, Terra Antarctica Publ., 1997, p. 861–868.
- Pickard J.** Antarctic oases, Davis station and the Vestfold Hills // *Antarctic oasis: terrestrial environments and history of the Vestfold Hills.* Sydney, Acad. Press, 1986, p. 1–19.
- Rabassa J.** Stratigraphy of the glacial deposits in James Ross Island, Antarctic Peninsula // *Tills and related deposits.* Balkema, Rotterdam, 1982, p. 329–340.
- Richter W., Bormann P.** Geomorphology // *The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings.* Gotha, Perthes, 1995, p. 171–206.
- Roberts D., McMinn A.** A weighted-averaging regression and calibration model for inferring lakewater salinity from fossil diatom assemblages in saline lakes of the Vestfold Hills: a new tool for interpreting Holocene lake histories in Antarctica // *J. Paleolimnol.*, 1998, vol. 19, p. 99–113.
- Roberts D., McMinn A., Cremer H. et al.** The Holocene evolution and paleosalinity history of Beall Lake, Windmill Islands (East Antarctica) using an expanded diatom-based weighted averaging model // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 2004, vol. 208, p. 121–140.
- Schmidt R., Mäusbacher R., Müller J.** Holocene diatom flora and stratigraphy from sediment cores of two Antarctic lakes (King George Island) // *J. Paleolimnol.*, 1990, vol. 3, p. 55–74.
- Schwab M.J.** Reconstruction of the Late Quaternary climatic and environmental history of the Schirmacher Oasis and the Wohlthat Massif (East Antarctica) // *Ber. Polarforsch.*, 1998, vol. 293, 128 p.
- Squier A.H., Hodgson D.A., Keely B.J.** Evidence of late Quaternary environmental change in a continental east Antarctic lake from lacustrine sedimentary pigment distribution // *Antarctic Sci.*, 2005, vol. 17, No. 3, p. 361–376.
- Stackebrandt W.** Moraines around Lake Untersee – indicator of the Late-Quaternary regional glacial history // *The Schirmacher Oasis, Queen Maud Land, East Antarctica, and its surroundings.* Gotha, Perthes, 1995, p. 237–242.
- Sugden D.T., John B.S.** The ages of glacier fluctuations in the South Shetland Islands, Antarctica // *Palaeoecology of Africa, the surrounding islands and Antarctica.* Balkema, Cape Town, 1973, p. 141–159.
- Tatur A., del Valle R., Barczuk A., Martinez-Macchiavello J.** Records of Holocene environmental changes in terrestrial sedimentary deposits on King George Island, Antarctica: a critical review // *Ocean and Polar Res.*, 2004, vol. 26, No. 3, p. 531–537.
- Verkulich S.R., Melles M., Pushina Z.V., Hubberten H.-W.** Holocene environmental changes and development of Figurnoye Lake in the southern Bunger Oasis, East Antarctica // *J. Paleolimnol.*, 2002, vol. 28, p. 253–267.
- Verleyen E., Hodgson D.A., Milne G.A. et al.** Relative sea-level history from the Lambert Glacier region, East Antarctica, and its relation to deglaciation and Holocene glacier readvance // *Quatern. Res.*, 2005, vol. 63, p. 45–52.
- Verleyen E., Hodgson D.A., Sabbe K. et al.** Coastal oceanographic conditions in the Prydz Bay region (East Antarctica) during the Holocene recorded in an isolation basin // *The Holocene*, 2004a, vol. 14, No. 2, p. 246–257.
- Verleyen E., Hodgson D.A., Sabbe K., Vyverman W.** Late Quaternary deglaciation and climate history of the Larsemann Hills (East Antarctica) // *J. Quatern. Sci.*, 2004b, vol. 19, No. 4, p. 361–375.
- Wagner B., Cremer H., Hultsch N. et al.** Late Pleistocene and Holocene history of Lake Terrasovoje, Amery Oasis, East Antarctica, and its climatic and environmental implications // *J. Paleolimnol.*, 2004, vol. 32, p. 321–339.
- Zale R., Karlen W.** Lake sediment cores from the Antarctic Peninsula and surrounding islands // *Geografiska Ann.*, 1989, vol. 71, p. 211–220.
- Zwartz D., Bird M., Stone J., Lambeck K.** Holocene sea level change and ice-sheet history in the Vestfold Hills, East Antarctica // *Earth and Planet. Lett.*, 1998, vol. 155, p. 131–145.

Поступила в редакцию  
30 октября 2008 г.