

## РЕКОНСТРУКЦИЯ ИЗМЕНЕНИЙ УРОВНЯ МОРЯ В РАЙОНЕ ОАЗИСА БАНГЕРА (ВОСТОЧНАЯ АНТАРКТИДА) В ГОЛОЦЕНЕ

инженер К.В. ПОЛЕЩУК<sup>1,2</sup>, д-р геогр. наук С.Р. ВЕРКУЛИЧ<sup>1</sup>

<sup>1</sup> — ГИЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, e-mail: verkulich@aari.ru

<sup>2</sup> — Санкт-Петербургский государственный университет (СПбГУ), e-mail: Ksva.poleshuk@gmail.com

### ВВЕДЕНИЕ

Обширное таяние ледниковых щитов, шедшее вслед за последним ледниковым максимумом (ПЛМ), привело к значительным изменениям эвстатического уровня Мирового океана. Существуют реконструкции этих глобальных изменений в позднем плейстоцене и голоцене, полученные при изучении коралловых рифов низких широт. Однако в региональном масштабе выявляемые прошлые изменения относительного

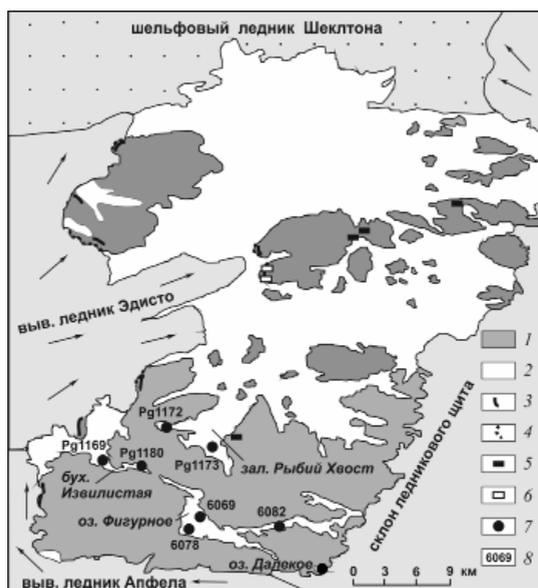


Рис. 1. Схема оазиса Бангера с указанием местоположения и наименования объектов, обсуждаемых в статье.

1 — суша; 2 — водоемы; 3 — морена «Старая Эдисто»; 4 — морена «Молодая Эдисто»; 5 — ископаемые раковины моллюсков *in situ*; 6 — ископаемые раковины моллюсков в морене; 7 — точки отбора колонок донных осадков; 8 — номера колонок.

уровня моря обнаруживают множество различий, одной из главных причин которых является тектоническая составляющая. В краевой зоне Антарктиды тектонические движения во многом связаны с гляциоизостазией — реакцией территорий на уменьшение или увеличение ледниковой нагрузки на литосферу. Так как районы континента испытывали различную ледниковую нагрузку во время ПЛМ и имели разную историю дегляциации, ход и параметры гляциоизостатических движений в них заметно отличаются. В связи с этим определение соотношения эвстатической и тектонической составляющих в этих районах требует сопоставления результатов изучения изменений относительного уровня моря, палеоклиматических и палеогляциологических данных.

Оазис Бангера находится в Восточной Антарктиде и представляет собой свободные от покровного оледенения участки суши и морские водоемы, которые окружены ледниками (рис. 1). Шельфовый ледник и части выводных ледников находятся на плаву, благодаря чему морские заливы оазиса связаны с океаническими водами. Параметры прошлого оледенения, послеледниковые изменения уровня моря, климатические флуктуации и ход дегляциации оазиса изучались российскими, австралийскими, германскими и польскими учеными, в результате чего был накоплен большой объем разнородных данных. В предлагаемой статье проводятся анализ и интеграция этих данных с целью получения наиболее детальных и обоснованных представлений об изменениях уровня моря и гляциоизостатических процессах в районе.

#### ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИХ ПАЛЕОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

Для построения кривой изменений относительного уровня моря в районе оазиса Бангера использовались данные геоморфологических и палеогеографических исследований. Их можно условно разделить на группы, которые маркируют прошлые высоты и свидетельствуют о стабилизации стояния морских вод, указывают на знак хода относительного уровня моря в целом, дают хронологию выявляемых изменений уровня.

Развитые на местных побережьях поднятые пляжи, гораздо реже береговые валы и, единично, аккумулятивно-абразионные террасы отмечают прошлое высотное положение морских вод, которое было относительно стабильным в течение некоторых отрезков времени. Созданные в приливно-отливной полосе пляжи отражают близкие максимальным высоты древних береговых линий. Береговые валы формируются при более продолжительной стабилизации уровня моря, на прибрежных участках с определенным рельефом и наличием обломочного материала, с большей долей участия штормовых, прибойных процессов. Высоты валов превышают средний уровень моря при их образовании на 1,5–3 м (Леонтьев, 1961), что приводит к погрешности определения отметок древних морских границ. Довольно неточным является и соотношение с уровнем моря высот аккумулятивно-абразионных террас, формирование которых могло идти длительное время как под водой в условиях трансгрессии, так и в ходе падения уровня моря; отметки поверхности этих террас дают информацию лишь о возможных минимальных высотах стояния морских вод. Таким образом, для реконструкции изменения высот уровня моря в районе оазиса предпочтительнее использовать данные о наиболее широко распространенных здесь поднятых пляжах.

Бесспорным свидетельством морского генезиса отложений являются залегающие в них *in situ* ископаемые раковины моллюсков. Однако сложно оценить высоту уровня моря в момент захоронения раковин, что связано с широким интервалом глубин их обитания. В частности, антарктический двустворчатый моллюск *Laternula elliptica*

(King and Broderip), чьи раковины найдены в отложениях оазиса, обитает на глубинах от 1 до 100 м (с максимумом численности на глубинах меньше 20 м) (Ahn, 1994).

Важную информацию содержат донные осадки некоторых озер оазиса. Изучение ископаемых диатомовых комплексов в колонках осадков позволяет выявлять периоды проникновения в озера морских вод, изменения солености и экологии водоемов. Исходя из абсолютных отметок уровня озерных вод или осушенных перемычек между озерами и морем, можно реконструировать параметры подъема относительного уровня моря в эти периоды. Следует учитывать, что данные параметры минимальны, так как уровень моря мог превышать высоту перемычек на первые метры.

Специфическим источником сведений о прошлом ходе уровня моря в оазисе Бангера служат ископаемые диатомовые комплексы донных осадков морских заливов. Изменения по колонкам осадков соотношения планктонных и бентосных видов диатомей свидетельствуют о понижении или повышении уровня. Появление и исчезновение в комплексах открыто-океанических видов указывает на улучшение или ухудшение сообщения заливов с океаном, — события, которые определяются в основном изменениями уровня моря и, соответственно, перемещениями линии налегания на дно окружающих оазис ледников, колебаниями границ ледников.

Хронология прошлых морских событий устанавливается с помощью радиоуглеродного датирования захороненного в отложениях органического материала (раковины моллюсков, морские водоросли в осадках заливов, пресноводные мхи в озерах). В результате датирования органики морского происхождения необходимо вносить поправку на «антарктический морской резервуарный эффект» (АМРЭ), величина которого изменяется в Антарктике как регионально, так и в зависимости от типа материала (Gordon, Harkness, 1992; Omoto, 1983). Имеющаяся информация позволяет оценить поправки при датировке водорослей в 1300 лет, раковин в 950–1300 лет, морских животных в 1100–1450 лет (Gordon, Harkness, 1992). Для района оазиса Бангера точная общая величина АМРЭ не определена из-за недостаточного статистического ряда датированной современной органики, поэтому мы используем те скорректированные значения датировок, которые предлагают авторы предшествующих исследований. В случае отсутствия таких коррекций нами применена поправка в 1300 лет, которая характерна для большинства типов морских организмов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Рисунок 2 представляет кривую изменений относительного уровня моря в районе оазиса Бангера — результат анализа и интеграции имеющихся данных. На быстрый подъем уровня в начале голоцена указывают факты накопления в основании колонки Pg1173 (залив Рыбий Хвост — см. рис. 1) морского диатомового комплекса уже ранее 10000 л.н. (Веркулич, 2007) и наполнения морскими водами озера Джо (Jaw lake) «в самом раннем голоцене» (Roberts et al., 2000).

На следующем этапе уровень поднялся на максимальную высоту; при этом скорость подъема, по-видимому, уменьшилась. Основанием построения такого хода кривой служат, во-первых, результаты диатомового анализа колонок донных осадков 6069, 6078, 6082 из озера Фигурное (см. рис. 1): в осадках, сформировавшихся примерно между 8000 и 6000 л.н., присутствуют морские диатомеи, что свидетельствует о проникновении в пресноводное озеро морских вод (Verkulich et al., 2002). Учитывая незначительное число створок морских диатомей и эпизодичность их появления в осадках, а также отметку современного уровня озера (11,6 м), можно предположить,

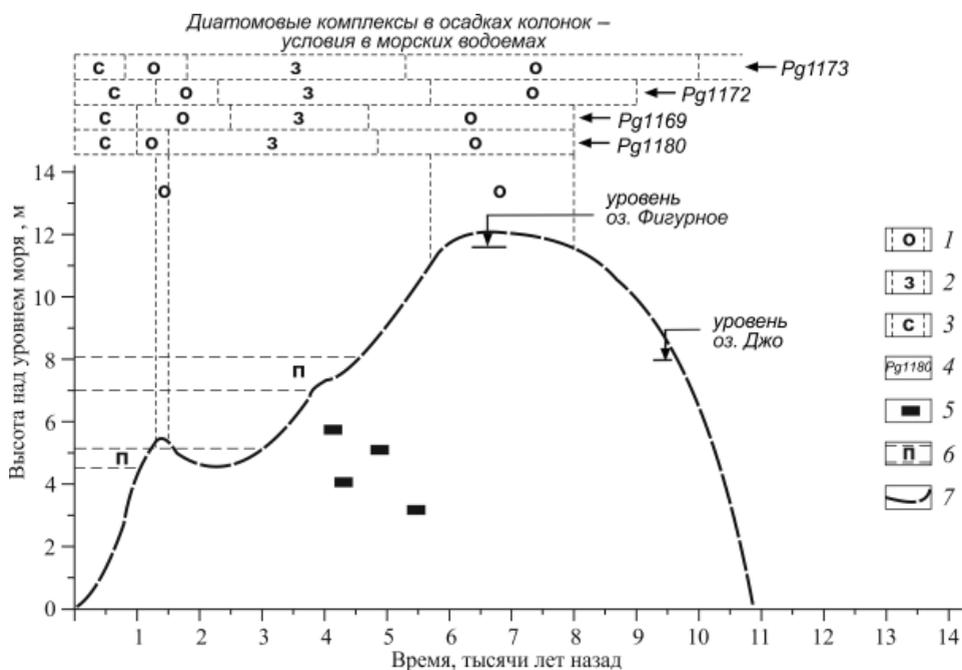


Рис. 2. Реконструкция изменений относительного уровня моря в районе оазиса Бангера.

1 — периоды улучшения связи морских водоемов с океаном; 2 — периоды ухудшения связи морских водоемов с океаном; 3 — близкие современным условия связи морских водоемов с океаном; 4 — номера колонок донных осадков (местоположение — см. рис. 1); 5 — ископаемые раковины моллюсков *in situ*; 6 — интервалы высот максимального распространения древних пляжей; 7 — реконструированная кривая изменений относительного уровня моря.

что относительный уровень моря в этот период едва ли поднимался выше 12 м. Факт достижения морскими водами максимальных высотных отметок в период 8000—6000 л.н. косвенно подтверждается особенностями диатомовых комплексов в колонках Pg1173, Pg1172, Pg1169, Pg1180 из залива Рыбий Хвост и бухты Извилистой (см. рис. 1, 2). В осадках именно этого возраста во всех колонках максимально число открыто-океанических видов и высоко содержание планктонных видов диатомей — признаки роста глубин водоемов, улучшения их сообщения с океаническими водами, т.е. признаки повышения уровня моря и линии налегания на дно окружающих оазис выводных ледников (Веркулич и др., 2007).

Примерно с 6000 л.н. относительный уровень моря стал снижаться — основная тенденция его хода до настоящего времени. Между 6000 и 5000 л.н. прекратилось проникновение морских вод в озеро Фигурное: в диатомовых комплексах озерных осадков более позднего возраста отсутствуют морские виды (Verkulich et al., 2002). С этого же времени в осадках залива Рыбий Хвост и бухты Извилистой преимущественно отсутствуют или редки открыто-океанические виды диатомей, на фоне убывания планктонных растет содержание бентосных видов — это свидетельства ухудшения связи водоемов с океаном и уменьшения их глубины (Веркулич и др., 2007). На берегах, от современной высотной отметки 10 м и ниже, формируются пляжи. Кроме того, на западных окраинах оазиса 6000—5000 л.н. были созданы гряды напорной морены «Старая Эдисто» (см. рис. 1), которые содержат ископаемые раковины (Colhoun, Adamson,

1992). Происхождение морен можно объяснить тем, что при падении уровня моря и понижении линии налегания плавучих частей выводных ледников края этих ледников упирались в осушающиеся берега, сдвигая на них морские отложения.

В течение последних 6000 лет ход относительного уровня моря в районе оазиса имел в целом тенденцию к снижению, но обладал стадийностью (см. рис. 2). Подсчет поднятых пляжей на берегах оазиса, проведенный нами по материалам предшествующих и собственных исследований (Большаинов, Веркулич, 1992; Веркулич, 1991; Евтеев, 1961, 1962; Ружицкий, 1960; Colhoun, Adamson, 1992), позволил выделить интервалы высот их максимального распространения; эти интервалы, вероятнее всего, соответствуют периодам замедления падения или стабилизации уровня моря. Один из периодов — около 4600–4000 л.н., когда создавались пляжи на современных высотных отметках 7–8 м. Доказательством стояния в то время морских вод на этих отметках служит возраст и высотное положение найденных ископаемых раковин *in situ*: они могли обитать здесь лишь на глубинах больше одного метра.

Еще один период замедления падения, стабилизации и даже, возможно, незначительного подъема уровня моря соотносится нами с формированием серии пляжей в интервале современных высот 4–5 м (примерно между 2500 и 1000 л.н.). В соответствии с результатами диатомового анализа, в это время в заливе Рыбий Хвост (колонки Pg1173, Pg1172) и бухте Извилистой (колонка Pg1169) вновь появляются открыто-океанические виды диатомей, наблюдается тенденция к уменьшению бентосных видов. В колонке Pg1180 из восточной котловины бухты Извилистой (см. рис. 1), которая около 1500 л.н. стала водоемом с преобладанием пресноводной диатомовой флоры, между 1400 и 1100 л.н. регистрируется заметное увеличение содержания морских и снижение содержания пресноводных видов, растет количество открыто-океанических и планктонных диатомей (Веркулич и др., 2007). Кроме того, при изучении донных осадков пресноводного приледникового озера Далекое (см. рис. 1) выявлено появление и доминирование между 1500 и 1300 л.н. морских видов диатомей (Bolshiyakov et al., 1991), — свидетельство проникновения в озеро морских вод. Такое событие могло произойти лишь в случае подъема линии налегания ледника (всплывания его края), т.е. при подъеме уровня моря. На наш взгляд, приведенные результаты диатомового анализа осадков морских водоемов и озера Далекое подтверждают предположение о стабилизации относительного уровня моря примерно между 2500 и 1000 л.н. и о возможности его незначительного роста около 1500–1300 л.н. (см. рис. 2).

В последнем тысячелетии падение относительного уровня моря продолжилось: в осадках колонок Pg1173, Pg1172, Pg1169 повышается содержание бентосных видов диатомей; в колонке Pg1180 отчетливо доминируют пресноводные виды диатомей, что означает условия минимального сообщения этого района бухты Извилистой с морем и максимального воздействия талых вод; во всех перечисленных колонках отсутствуют открыто-океанические виды (Веркулич и др., 2007). В последнем тысячелетии на западных окраинах оазиса формируются гряды напорной морены «Молодая Эдисто» (Colhoun, Adamson, 1992), происхождение которых, как объяснялось выше, может быть связано с падением относительного уровня моря.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Построенная нами кривая позволяет проанализировать соотношение эвстатических, тектонических (включая гляциоизостазию) и региональных факторов изменения уровня моря. Общий вид кривой во многом совпадает с представлениями о ходе эвста-

тических изменений уровня Мирового океана: о его первоначальном резком подъеме и последующем замедленном достижении им современных отметок (рис. 3). Наиболее ощутимый вклад в подъем уровня моря талых вод от исчезающих ледниковых щитов относится к периодам около 12,1–11,8 тыс. л.н., около 10 тыс. л.н. и, возможно, около 7,1 тыс. л.н.; суммарный подъем уровня за эти периоды составил около 28 м (Bentley, 1999; Clark, Mix, 2002). Также считается, что период быстрого подъема уровня Мирового океана способствовал разрушению Антарктического ледникового щита и вкладу антарктических талых вод в изменения уровня уже после 7 тысяч л.н. (Ingólfsson, Hjort, 1999); однако величина этого вклада оценивается учеными по-разному: от 37 м до 0,5 м (Zwartz et al., 1998). Заметное снижение скоростей подъема и приближение уровня Мирового океана к современным отметкам относится к периоду 6–5 тысяч л.н. (Ingólfsson, Hjort, 1999). Существует также мнение о понижении уровня на 1 м в позднем голоцене из-за роста ледникового щита Антарктиды (Goodwin, Zweck, 2000).

Гораздо труднее оценить скорости и направления тектонических движений, шедших одновременно с изменением эвстатического уровня моря. Об этих движениях (без участия гляциоизостатической составляющей) свидетельствуют региональные различия в параметрах глобальной голоценовой трансгрессии: согласно кривой по коралловым рифам (о. Барбадос) уровень моря вырос на 17 м в период 8–5 тысяч л.н.; кривые для западного побережья Австралии говорят о подъеме в 10 м после 8 тысяч л.н.; данные по побережью Папуа — Новая Гвинея указывают на подъем в 16 м после 8 тысяч л.н.; кривая для Флориды показывает подъем на 6 м в период 8–5 тысяч л.н. [Ingólfsson, Hjort, 1999].

На окраинах Восточной Антарктиды картина вклада тектоники в ход изменений относительного уровня моря еще более осложнена участием гляциоизостатических процессов. Существующие модельные построения, основанные на геоморфологических данных и зависящие от числового выражения основных физических характеристик литосферы, не разделяют собственно тектоническую и дополнительную гляциоизостатическую составляющие и весьма приблизительны. Для региона Земли Уилкса, в пределах которого расположен оазис Бангера, величина расчетного гляциоизостатического поднятия варьирует от 49 м до 61 м за весь период послеледниковое поднятия территории в зависимости от выбранной величины вязкости мантии (Goodwin, Zweck, 2000). В модельных построениях для оазиса Бангера насчитывается шесть сценариев, основанных на типе модели и принятой в расчетах толщины эластичного слоя литосферы (50 или 100 км); эти сценарии дают различия в максимальной высоте послеледниковое стояния относительного уровня моря в оазисе от 10 до 65 м (Okuno, Miura, 2013). Кроме того, геоморфологические данные указывают на существенную разницу в отметках максимальной морской границы в оазисе Бангера (около 12 м) и на островах Уиндмилл (около 30 м), хотя оба этих района относятся к Земле Уилкса (Веркулич, 2011; Goodwin, 1993; Zwartz et al., 1998).

Из вышеизложенного следует, что оценка соотношения глобальной эвстатической, региональной тектонической и гляциоизостатической составляющих послеледниковых изменений уровня моря с использованием только модельных расчетов (с точностью 10–20 м) является весьма приблизительной. Для оазиса Бангера более корректным может быть выявление вклада этих составляющих на основе сопоставления реконструированных изменений относительного уровня моря, данных о прошлом оледенении и ходе дегляциации, результатов модельных построений.

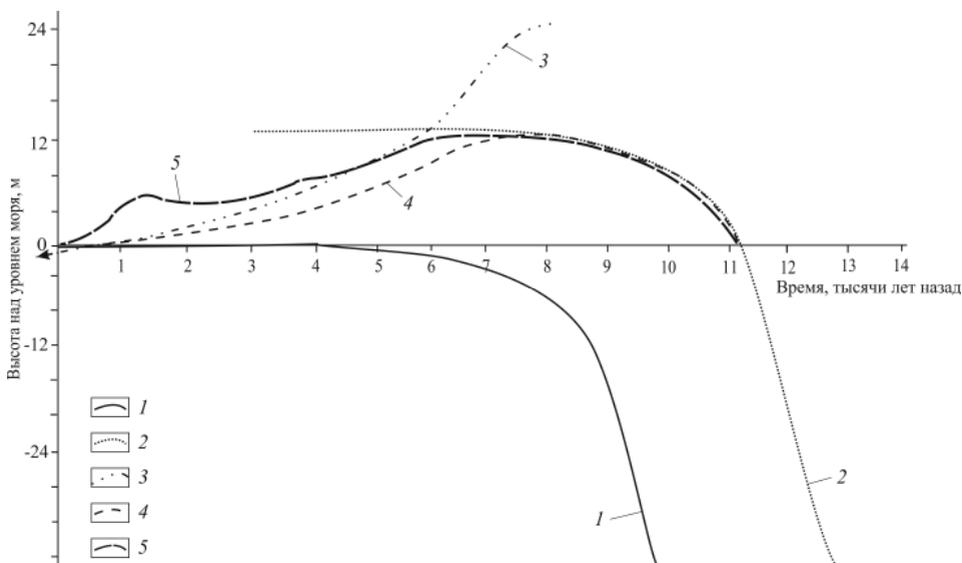


Рис. 3. Кривые составляющих изменения уровня моря в районе оазиса Бангера.

1 — кривая эвстатических изменений уровня Мирового океана в соответствии с (Bentley, 1999); 2 — гипотетическая кривая эвстатического подъема уровня моря в районе оазиса Бангера с учетом данных о максимальных отметках стояния морских вод; 3 — гипотетическая кривая снятия гляциоэвстатической нагрузки для оазиса Бангера; 4 — гипотетическая кривая изменения относительного уровня моря в районе оазиса Бангера как результат взаимодействия эвстатической и гляциоэвстатической составляющих; 5 — реконструированная кривая изменений относительного уровня моря в оазисе Бангера.

В соответствии с существующими представлениями, мощность оледенения оазиса Бангера во время ПЛМ была невелика и составила примерно от 100 м над возвышенностями до 300 м в понижениях рельефа (Веркулич, 2011; Melles et al., 1997). Дегляциация района началась не позднее 12000 л.н.; его освобождение от оледенения было активным, и уже 10000–8000 л.н. ото льда освободились многие участки суши и озера, а океанические воды проникли в местные заливы. В период 8000–4000 л.н. процесс деградации оледенения продолжался на фоне менее теплых условий; к концу периода от покрова льда освободилось более 70 % территории суши. Большое влияние на дегляциацию в первой половине этого периода оказывал подъем уровня моря: морские воды проникли во все современные бассейны и даже достигли южных приледниковых окраин оазиса. Примерно между 4000 и 2000 л.н. в районе преобладали теплые условия, которые способствовали расширению свободных ото льда территорий суши; к 2000 л.н. ландшафты оазиса и границы окружающих ледников стали напоминать современные. В течение последних 2000 лет в целом продолжалась деградация мелких ледников и снежников на суше оазиса.

Как видно на рис. 3, на протяжении первого этапа дегляциации (примерно до 8000 л.н.) кривая изменений относительного уровня моря практически совпадает с гипотетической кривой эвстатического подъема уровня моря (получена из кривой эвстатического роста уровня Мирового океана с учетом максимальных высотных отметок уровня моря в оазисе). Это свидетельствует о явном преобладании эвстатической составляющей; роль тектонических процессов и гляциоэвстатической составляющей минимальна, хотя в оазисе активно развивается дегляциация. Такая ситуация может быть связана с

инерционностью реакции литосферы на постепенное снятие сравнительно небольшой части прошлой ледниковой нагрузки на территорию.

Примерно с 8000 л.н. ход кривых на рис. 3 начинает различаться. Между 8000 и 6000 л.н., на фоне продолжающегося эвстатического роста уровня Мирового океана, происходит явное уменьшение скорости роста и последующая стабилизация относительного уровня моря в оазисе. По-видимому, в течение этого периода начинается подъем территории, значительная часть которой (включая морские бассейны) уже освободилась от покровного оледенения; при этом скорости подъема территории равны или немного превышают скорости эвстатического роста уровня моря.

Для иллюстрации роли гляциоизостазии в подъеме территории мы приводим расчетную кривую относительного изменения уровня моря как результат взаимодействия только эвстатической и гляциоизостатической составляющих (см. рис. 3 — кривая 4). Она получена при сопоставлении эвстатической кривой (см. рис. 3 — кривая 2) и гипотетической кривой снятия гляциоизостатической нагрузки для оазиса Бангера (см. рис. 3 — кривая 3), построенной по модели (Goodwin, Zweck, 2000) с введенными в нее параметрами оледенения ПЛМ по оазису Бангера. Видно, что в течение периода 8000–6000 л.н. происходит расхождение расчетной и реконструированной нами кривыми изменений относительного уровня моря: расчетные скорости поднятия территории (см. рис. 3 — кривая 4) последовательно наращивают превышение над фактическими, установленными по палеогеографическим данным (см. рис. 3 — кривая 5). Подобное различие может иметь несколько объяснений: неточности параметрических характеристик, введенных в модельные расчеты (вязкость мантии, толщина литосферы, параметры оледенения ПЛМ); влияние тектонических процессов, не связанных напрямую с гляциоизостазией (региональные особенности тектоники, инерционность в реакции территории на изменение ледниковой нагрузки).

Примерно с 6000 л.н. до настоящего времени ход приведенных на рис. 3 кривых показывает общую направленность — на фоне прекращения роста и стабилизации эвстатического уровня Мирового океана идет снижение относительного уровня моря, т.е. продолжается компенсационный подъем оазиса Бангера как реакция на снятие ледниковой нагрузки в ходе дегляциации. За исключением нескольких интервалов времени, расчетные и фактические скорости падения уровня моря (или поднятия территории) практически совпадают (кривые 4 и 5 на рис. 3 соответственно), что говорит о преобладающей роли гляциоизостатических процессов. Различия между этими кривыми обнаруживаются около 4000 л.н. и в период примерно 2500–1000 л.н., когда реконструированная нами кривая демонстрирует замедление падения и даже рост относительного уровня моря. Сложно соотнести данные события с имеющимися сведениями о ходе дегляциации, т.к. в оазисе не обнаружено следов серьезного повторного разрастания ледников (роста нагрузки на литосферу) для указанных интервалов времени, хотя палеоклиматические исследования говорят об относительном похолодании 2000–1000 л.н. (Веркулич, 2011). Более вероятно, что эти события отражают особенности тектонических процессов в районе, например, наличие стадийности компенсационного поднятия благодаря изменениям накопленной величины ледниковой разгрузки и физическим свойствам мантийного вещества. Кроме того, для периода 2000–1000 л.н. можно предположить наличие флуктуаций непосредственно уровня Мирового океана — факты кратковременного подъема относительного уровня моря в этот период установлены также для нескольких рай-

онов Арктики и Антарктики (Анисимов и др., 2011; Веркулич и др., 2012; Макаров, Большианов, 2011).

Одним из объяснений различия кривых 4 и 5 на участках, соответствующих последнему тысячелетию (см. рис. 3), может являться уменьшение стока талых вод в связи с наращиванием Антарктидой ледникового щита (Goodwin, Zweck, 2000).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ и обобщение имеющихся палеогеографических данных позволили реконструировать послеледниковые изменения относительного уровня моря в районе оазиса Бангера. Уровень рос с рубежа позднего неоплейстоцена и голоцена примерно до 7000 л.н. (максимум подъема до современных высотных отметок около 12 м). Около 6000 л.н. началось падение относительного уровня моря в оазисе, ход которого был осложнен двумя событиями: замедление падения уровня около 4600–4000 л.н.; замедления падения, стабилизация и даже возможный незначительный подъем уровня моря примерно между 2500 и 1000 л.н.

Сравнение реконструированной кривой с существующими представлениями об эвстатических изменениях уровня Мирового океана, расчетными модельными кривыми гляциоизостатического подъема территории, сведениями о прошлом оледенении и ходе дегляциации дало возможность выявить соотношение влияния на изменения относительного уровня моря в районе оазиса Бангера эвстатической и тектонической (включающей гляциоизостазию) составляющих.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 14-05-00548-а.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Анисимов М.А., Пушина З.В., Иванова В.В., Павлова Е.Ю., Питулько В.В.* История изменений уровня моря в районе Новосибирских о-вов в голоцене // Палеонтология, стратиграфия и палеогеография мезозоя и кайнозоя boreальных районов: Материалы научной сессии, посвященной 100-летию со дня рождения члена-корреспондента АН СССР Владимира Николаевича Сакса. Новосибирск: ИНГ СО РАН, 2011. Т. 2. С. 10–14.

*Большианов Д.Ю., Веркулич С.Р.* Новые данные по истории развития оазиса Бангера (Восточная Антарктида) // Антарктика: Докл. комис. 1992. Вып. 30. С. 58–64.

*Веркулич С.Р.* Особенности морфологии и формирования морских террас на побережьях заливов оазиса Бангера (Восточная Антарктида) // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. 1991. № 115. С. 9–14.

*Веркулич С.Р.* Реконструкция голоценовых изменений климата в краевой зоне Восточной Антарктиды на основе изучения донных осадков озер и морских заливов // Известия РАН. Сер. географическая. 2007. № 4. С. 38–43.

*Веркулич С.Р.* Последний ледниковый максимум и дегляциация в краевой зоне Антарктиды: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2011. 46 с.

*Веркулич С.Р., Пушина З.В., Сократова И.Н., Меллес М., Диекмани Б.* Изменения уровня моря и гляциоизостазия на побережье Антарктиды в голоцене // Материалы гляциологических исследований. 2007. Вып. 102. С. 161–167.

*Веркулич С.Р., Пушина З.В., Татур А., Дорожкина М.В., Сухомлинов Д.И., Курбатова Л.Е., Мавлюдов Б.Р., Саватюгин Л.М.* Голоценовые изменения природной среды на полуострове Файлдс, остров Кинг-Джордж (Западная Антарктика) // Проблемы Арктики и Антарктики. 2012. № 3 (93). С. 17–27.

*Евтеев С.А.* Происхождение террасовидных уступов в Восточной Антарктиде // Исследования ледников и ледниковых районов. 1961. Вып. 1. С. 23–32.

Евтеев С.А. Морские террасы на побережье Антарктиды // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. 1962. № 33. С. 20–26.

Леонтьев О.К. Основы геоморфологии морских берегов. М.: МГУ, 1961. 418 с.

Макаров А.С., Большаков Д.Ю. Колебания уровня арктических морей России в голоцене // Материалы Всероссийской научной конференции «Марковские чтения 2010 г.». Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. М.: МГУ, 2011. С. 315–320.

Ружицкий С.З. О времени образования оазиса Бангер-Хиллс // Информ. бюл. Сов. антаркт. экспед. 1960. № 20. С. 10–14.

Ahn I.Y. Ecology of the Antarctic bivalve *Laternula elliptica* (King and Broderip) in Collins Harbor, King George Island: benthic environment and an adaptive strategy // Berkman P.A., Yoshida Y. (eds.) Holocene environmental changes in Antarctic coastal areas (Memoirs of National Institute of Polar Research, Special issue, 50). Tokyo: NIPR, 1994. P. 1–10.

Bentley M.J. Volume of Antarctic ice at the Last Glacial Maximum, and its impact on global sea level change // Quaternary Science Reviews. 1999. Vol. 18. P. 1569–1595.

Bolshiyakov D., Verkulich S., Pushina Z., Kirienko E. Some features of the Late Pleistocene and Holocene history of the Bunge Hills (East Antarctica) // 6<sup>th</sup> International Symposium on Antarctic Earth Sciences (Abstracts). Tokyo: National Institute of Polar Research, 1991. P. 66–71.

Clark P.U., Mix A.C. Ice sheets and sea level of the Last Glacial Maximum // Quaternary Science Reviews. 2002. Vol. 21. P. 1–7.

Colhoun E.A., Adamson D.A. Raised Beaches of the Bunge Hills, Antarctica // Australian National Antarctic Research Expedition Reports. 1992. Vol. 136. 47 p.

Goodwin I.D. Holocene deglaciation, sea-level change, and the emergence of the Windmill Islands, Budd Coast, Antarctica // Quaternary Research. 1993. Vol. 40. P. 70–80.

Goodwin I.D., Zweck C. Glacio-isostasy and glacial ice load at Law Dome, Wilkes Land, East Antarctica // Quaternary Research. 2000. Vol. 53. P. 285–293.

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 // Quaternary Science Reviews. 1992. Vol. 11. P. 697–708.

Ingólfsson Ó., Hjort C. The Antarctic contribution to Holocene global sea level rise // Polar Research. 1999. Vol. 18 (2). P. 323–330.

Melles M., Kulbe T., Verkulich S.R. et al. Late Pleistocene and Holocene environmental history of Bunge Hills, East Antarctica, as revealed by fresh-water and epishelf lake sediments // Ricci C.A. (ed.) The Antarctic Region: Geological evolution and processes (Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Symposium on Antarctic Earth Sciences, Siena, 1995). Siena: Terra Antarctica Publication, 1997. P. 809–820.

Okuno J., Miura H. Last deglacial relative sea level variations in Antarctica derived from glacial isostatic adjustment modeling // Geoscience Frontiers. 2013. Vol. 4. P. 623–632.

Omoto K. The problem and significance of radiocarbon geochronology in Antarctica // Oliver R.L., James P.R., Jago J.B. (eds.) Antarctic Earth Science. Canberra: Australian Academy of Science, 1983. P. 450–452.

Roberts D., McMinn A., Zwart D. An initial palaeosalinity history of Jaw Lake, Bunge Hills based on a diatom-salinity transfer function applied to sediment cores // Antarctic Science. 2000. Vol. 12 (2). P. 172–176.

Verkulich S.R., Melles M., Pushina Z.V., Hubberten H.-W. Holocene environmental changes and development of Figurnoye Lake in the southern Bunge Oasis, East Antarctica // Journal of Paleolimnology. 2002. Vol. 28. P. 253–267.

Zwart D., Bird M., Stone J., Lambeck K. Holocene sea level change and ice-sheet history in the Vestfold Hills, East Antarctica // Earth and Planetary Science Letters. 1998. Vol. 155. P. 131–145.