

Палеогляциология

УДК [551.461.24+551.435.3](99)

doi:10.15356/2076-6734-2016-1-93-102

Послеледниковые изменения относительного уровня моря на полуострове Файлдс, остров Кинг Джордж (Западная Антарктика)

© 2016 г. К.В. Поleshuk^{1,2*}, С.Р. Веркулич¹, И.С. Ёжиков¹, З.В. Пушина^{1,3}¹Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург;²Санкт-Петербургский государственный университет;³Всероссийский научно-исследовательский институт геологии и минеральных ресурсов Мирового океана имени И.С. Грамберга, Санкт-Петербург

*Ksya.poleshuk@gmail.com

Postglacial relative sea level change at Fildes Peninsula, King George Island (West Antarctic)

K.V. Polishchuk^{1,2*}, S.R. Verkulich¹, I.S. Ezhikov¹, Z.V. Pushina^{1,3}¹Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia;²St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia;³The All-Russia Scientific Research Institute for Geology and Mineral Resources of the Ocean named after I.S. Gramberg, St. Petersburg, Russia

*Ksya.poleshuk@gmail.com

Article accepted for publication on November 25, 2015

Keywords: *Antarctic, bottom relief forms, bottom sediments, glacial isostasy, Holocene, marine deposits, radiocarbon dating, sea level changes.*

Summary

Analysis and integration of data obtained in our field and laboratory investigations of 2008–2012 together with results of previous paleogeographic studies were conducted to reveal parameters and factors of the post-glacial changes in the relative sea-level on the Fildes Peninsula and the King George Island. Results of dating of organic material taken from cross-sections of Quaternary deposits, data on morphology of marine landforms as well as on bottom sediments in lakes were used to construct a curve of changes in the relative sea-level.

Our research has shown that the rapid rise of relative sea level in the area (since the beginning of the Holocene) decelerated about 8000 years BP, achieving its maximum about 7000 years BP. This was followed by the fall of relative sea-level (the land elevation) by 18–20 m in total, and it was characterized by relatively high rate of fall during periods of 6000–5000 years BP, 4000–2500 years BP, and during the last 1500 years; the rate decreased in 5000–4000 years BP and 2500–1600 years BP. The changes in relative sea level in this region were determined by the following factors: the eustatic component of the global changes in sea-level and, possibly, oscillations in the global sea level of another nature; local parameters of the Last glacial maximum; a course of the Peninsula deglaciation; regional physical characteristics of the Earth's crust and the mantle substances; local tectonic processes, including the isostatic rebound. Since the beginning of the Holocene up to about 7000 years BP, the main contribution to changes of the relative sea-level in this area was made by the global eustatic factor. The subsequent fall of the relative sea-level (elevation of the Peninsula surface) proceeded under condition of reduced role of the eustatic factor and predominance of other factors.

Статья принята к печати 25 ноября 2015 г.

Ключевые слова: *Антарктика, гляциоизостазия, голоцен, донные осадки озёр, донные формы рельефа, изменения уровня моря, морские отложения, радиоуглеродное датирование.*

Послеледниковые изменения относительного уровня моря на п-ове Файлдс (о. Кинг Джордж) установлены на основе анализа и интеграции результатов собственных и предшествующих палеогеографических исследований. Быстрый подъём относительного уровня моря (с начала голоцена) замедлился около 8000 лет назад (л.н.) с достижением около 7000 л.н. своего максимума. Скорости последовавшего затем падения уровня моря (поднятия суши) на 18–20 м уменьшались в периоды около 5000–4000 и 2500–1600 л.н. Выявленные изменения зависели преимущественно от эвстатического фактора примерно до 7000 л.н.; дальнейшие изменения в большей степени были обусловлены региональными параметрами оледенения последнего ледникового максимума, ходом дегляциации, региональными особенностями земной коры и мантийного вещества, локальными тектоническими процессами (включая гляциоизостазию).

Введение

Полуостров Файлдс представляет собой самый большой свободный от покровного оледенения участок о. Кинг Джордж в архипелаге Южных Шетландских островов (Западная Антарктика) (рис. 1). Палеогеографические исследования здесь проводятся отечественными и зарубежными учёными с 1970-х годов, что позволило накопить значительный объём самых раз-

ных данных. Часть их соотносится с изменениями уровня моря, которые играли важную роль в формировании природной среды полуострова в голоцене. Дополнительные сведения получены нами при экспедиционных и лабораторных работах 2008–2012 гг. В настоящей статье проводится анализ и интеграция собственных и предшествующих результатов палеогеографических исследований с целью получения детальных и обоснованных представлений о ходе и параме-



Рис. 1. Схема фактического материала на п-ове Файлдс.

1 – колонки донных осадков озёр; 2 – раковины морских моллюсков *in situ*; 3 – морские водоросли *in situ*; 4 – мхи в отложениях; 5 – номера разрезов четвертичных отложений; 6 – профили изучения морских форм рельефа; 7 – водоёмы; 8 – суша; 9 – ледник

Fig. 1. Scheme of the factual material on the Fildes Peninsula.

1 – bottom sediment cores from lakes; 2 – marine shells *in situ*; 3 – marine algae *in situ*; 4 – mosses in sediment outcrops; 5 – numbers of sediment outcrops; 6 – profiles studying marine landforms; 7 – water basins; 8 – land; 9 – ice dome

трах послеледниковых изменений относительно уровня моря в районе, а также о зависимости этих изменений от различных факторов.

Постановка проблемы

Изменения уровня моря относительно поверхности суши (относительный уровень моря) — результат взаимодействия двух основных факторов: эвстатического — изменения количества воды в Мировом океане, в том числе в результате глобальных климатических событий, и тектонического — изменения высоты и объёма суши относительно содержания воды в Мировом океане, что связано с процессами в земной коре и мантии. Изучение хода относительного уровня моря помогает оценивать соотношение этих факторов.

Послеледниковые эвстатические изменения уровня Мирового океана связаны, прежде всего, с трансгрессией, при которой морские воды поднялись примерно на 120 м за счёт деградации оледенения последнего ледникового максимума. Параметры и последовательность глобальных изменений уровня реконструированы в виде кривых на основе результатов исследований кораллов низких широт [11, 17]. Однако на региональном уровне в фактический облик кривых изменений уровня моря (относительных изменений) существенный вклад вносят движения суши, обусловленные тектоникой. В районах прошлого и текущего оледенения тектонические процессы осложняются гляциоизостазией — реакцией территории на появление или снятие ледниковой нагрузки. Для окраин Антарктики гляциоизостазия считается одним из ведущих факторов формирования относительного уровня моря вместе с эвстатикой и тектоникой: послеледниковое поднятие участков краевой зоны континента на высоты от 8–10 м до > 30 м соотносятся исследователями преимущественно с перекрывавшим эти участки оледенением последнего ледникового максимума [2].

Считается, что величина гляциоизостатического, компенсационного подъёма территории зависит от нескольких факторов: мощности прошлого оледенения, вязкости мантии и толщины земной коры. На основе представлений о каждом из факторов строятся глобальные модели расчёта гляциоизостатического поднятия и изменения

относительного уровня моря [14, 16, 18]. Результаты модельных построений покрывают значительное число районов краевой зоны Антарктики, позволяя оценить локальные тенденции изменения относительного уровня моря. Однако в моделях даются упрощённые кривые таких изменений с широким диапазоном высот, который зависит от выбранных характеристик литосферы и оледенения района в прошлом. В этом отношении реконструкции относительных изменений уровня моря на основе палеогеографических данных более корректны. Подобные реконструкции необходимы также для развития моделирования, проверки и уточнения данных о параметрах оледенения и ходе дегляциации районов, оценки соотношения гляциоизостатических и фоновых тектонических процессов.

В данной работе для реконструкции выбран район п-ова Файлдс (о. Кинг Джордж), свободный от оледенения; его небольшую территорию можно принять за однородный в тектоническом отношении объект.

Материалы и методы, их палеогеографическое значение

Для выяснения изменений относительного уровня моря в районе п-ова Файлдс систематизированы и сопоставлены собственные и накопленные ранее палеогеографические данные: результаты датирования органического материала в разрезах четвертичных отложений; сведения о высотах и морфологии береговых форм рельефа; результаты изучения донных осадков озёр полуострова (см. рис. 1). Определение возраста и высотных отметок залегания ископаемых органических остатков *in situ* (табл. 1) свидетельствует о прежнем положении морских вод. При этом необходимо учитывать, что представители ископаемой флоры и фауны по-разному соотносятся с уровнем моря. Морские моллюски, раковины которых датируются для определения возраста вмещающих морских отложений, обитают обычно на глубинах в первые метры. Датировки прослоев морских водорослей в песчано-гравийных отложениях указывают на время их формирования в приливно-отливной зоне древнего побережья; в этой же зоне в отложениях пляжей часто находятся останки пингвинов. Знание возраста

Таблица 1. Возраст и высотные отметки залегания ископаемого органического материала

Название разреза/ номер образца	Высота над уровнем моря, м	Возраст*, л.н.	Корректированный возраст, л.н.	Материал
36	5,5	3085±30	Около 2020	Морские водоросли
67–83/83	4	1280±30	Без коррекции	Мхи из разрезов четвертичных отложений
86–88/87	9	2590±30		Мхи из разрезов озёрных отложений над морскими
89–92/92	15	6800±40	Около 5760	Раковины <i>in situ</i> из разреза морских отложений
117	6,5	5400±1000	Без коррекции	
123–127/125	20–21	5560±40		Мхи
128–130/130	16	3520±150		
БМ1	18	6650±90	5900	Кости пингвинов в морских отложениях [12]
БМ2	19	6560±60	5810	

* Во всех случаях использовался радиоуглеродный (^{14}C) метод датирования, кроме разреза 117, когда применялся уран-ториевый метод.

ископаемых мхов или пресноводных водорослей в наземных отложениях позволяет ограничить максимальную высоту уровня моря во время накопления этих отложений.

Морские абразионно-аккумулятивные формы рельефа на берегах полуострова (поднятые пляжи, береговые валы, террасы) – прямые свидетельства изменений уровня моря. Безусловно, образование этих форм зависит от целого комплекса факторов: морфологии морского дна у берега, очертаний и рельефа самого берега, характеристик местных пород и отложений и др. Так, геоморфологические исследования на 15 участках побережья полуострова (см. рис. 1) позволили установить немало различий в количестве, облике и высотах береговых форм. Вместе с тем полученные данные указывают на наличие нескольких высотных интервалов, в пределах которых максимальна встречаемость и морфологическая выраженность морских форм рельефа: между 13 и 15 м, между 5 и 7 м и около 2 м над ур. моря. На наш взгляд, эти интервалы можно соотнести с периодами стабилизации положения морских вод, т.е. с увеличением длительности морского воздействия на берега п-ова Файлдс.

Важные сведения об изменениях уровня моря содержат донные осадки нескольких невысоко расположенных озёр полуострова [12, 19] (см. рис. 1). Изучение строения и состава осадков, их геохимических характеристик, комплексов ископаемых диатомовых водорослей позволяет определять условия осадконакопления в водоёмах в прошлом (пресноводные, морские, переходные – солоновато-водные). Радиоуглеродное

датирование органического материала даёт хронологию осадконакопления и возможность расчёта временных границ смены одних условий в водоёме на другие (табл. 2). Сравнение этой палеогеографической информации с высотным положением озёрных котловин позволяет реконструировать ход уровня моря: подъём уровня и проникновение морских вод в озёра; понижение уровня и опреснение водоёмов в известные интервалы времени на определённых отметках. При реконструкциях следует учитывать, что наличие морских условий позволяет говорить о высоте стояния морских вод не ниже уровня водоёма (но с неизвестным максимальным высотным положением уровня моря). Появление переходных и последующее развитие пресноводных условий в озере происходят в течение интервала времени, занятого снижением уровня морских вод вблизи высотной отметки уровня озера.

При выполнении палеогеографических реконструкций принципиальное значение имеет корректное использование результатов датирования разнородного органического материала. В результаты датирования органики морского происхождения (раковины моллюсков, водоросли, останки видов млекопитающих и птиц с морским рационом питания) необходимо вносить поправку на «антарктический морской резервуарный эффект» (АМРЭ), величина которого в Антарктике разная, как регионально, так и в зависимости от типа материала [10, 15]. В целом для краевой зоны континента поправки при датировании морских водорослей оцениваются в минус 1300 лет, раковин моллюсков – в

Таблица 2. Исходные датировки и расчётное время смены условий в колонках донных отложений озёр п-ова Файлдс [19]

Номер образца	Глубина отбора, м	Датированный материал	Радиоуглеродный возраст, л.н.	Радиоуглеродный возраст скорректированный, л.н.	Вид смены условий осадконакопления (глубина перехода, м)	Расчитанное время смены условий*, л.н.
<i>Оз. Альбатрос, высота над ур. моря 14,5 м</i>						
YAN 32	0,32	Мхи	4273±37	Без коррекции	От пресноводных к солоновато-водным (0,4)	4310
					От солоновато-водных к пресноводным (0,52)	4365
YAN 201	2,01		5051±38		От морских к пресноводным (2,1)	5210
YAN 260	2,6	Отложения морского генезиса	7155±38	6091±39	От морских к солоновато-водным (2,6)	Около 6091**
YAN 247	2,47		7326±37	6262±38	От солоновато-водных к морским (2,45)	
<i>Оз. Длинное, высота над ур. моря 15 м</i>						
LNG 89	0,89	Пресноводные отложения	5058±38	Без коррекции	От солоновато-водных к пресноводным (0,9)	5062
					От пресноводных к солоновато-водным (1,3)	5229
LNG 303	3,03	Отложения морского генезиса	7098±39	6034±40	От морских к пресноводным (3,1)	5953
LNG 330	3,3		6936±39	5872±40		
LNG 512	5,12		7509±39	6445±40	От морских к солоновато-водным (5,2)	6413
				От солоновато-водных условий к морским (5,0)	6546	
<i>Оз. Ардли, высота над ур. моря 18 м</i>						
ARD 118	1,18	Пресноводные отложения	4155±36	Без коррекции	От солоновато-водных к пресноводным (1,25)	4204
ARD 158	1,58		4433±37			
ARD 283	2,83	Пресноводные водоросли	4469±38		От пресноводных к солоновато-водным (2,8)	4468
<i>Оз. Белен, высота над ур. моря 19,9 м</i>						
BEL 129	1,29	Мхи	4829±38	Без коррекции	От солоновато-водных к пресноводным (1,35)	5054
					От пресноводных к солоновато-водным (2,05)	7674

* Возраст смены условий осадконакопления рассчитан на основе глубины перехода, а также в результате вычисления средних скоростей осадконакопления, которые получены из сведений о глубине отбора и возрасте двух датировок, ближайших к моменту перехода.

** Ввиду инверсии датировок в колонке для обеих глубин используется среднее значение.

минус 950–1300 лет, морских млекопитающих и птиц – в минус 1100–1450 лет [10]. В районах, где велись специальные исследования, эти оценки уточнены. В частности, для района Южных Шетландских островов датировки морских моллюсков и водорослей принято корректировать на 1064 г. в соответствии с данными по возрасту морских вод у п-ова Файлдс [13], а датировки останков пингвинов в отложениях п-ова Файлдс были скорректированы на 750 лет [12]. В нашей

работе используются именно региональные поправки (см. табл. 1, 2). Одна датировка ископаемых раковин (разрез 117), полученная уран-ториевым методом, не нуждалась в коррекции. Определения возраста ископаемых мхов и другого материала, формирование которого не связано с морской средой, дают весьма правдивые значения [9] и также не корректировались.

Совмещение перечисленных выше типов данных позволяет определить положение уровня мор-

ских вод относительно современных высотных отметок в разные отрезки времени и в итоге получить представление об изменениях относительно уровня моря в течение длительного периода.

Результаты

На рис. 2 представлена кривая послеледниковых изменений относительного уровня моря в районе п-ова Файлдс на о. Кинг Джордж. Для реконструкции изменений в раннем голоцене

сопоставлялись скорости глобального подъёма уровня Мирового океана [11] и результаты изучения донных осадков озёр этого полуострова. Факт появления около 9000 л.н. морских условий осадконакопления в оз. Длинное (отметка уреза – 15 м над ур. моря) [19] позволил использовать представления о глобальном ходе уровня между 10 000 и 8000–7000 л.н. и построить трансгрессивный участок кривой, сменяющийся периодом стабилизации. Согласно глобальной кривой, рост уровня Мирового океана начал замедляться 8500–8000 л.н; последующий пери-

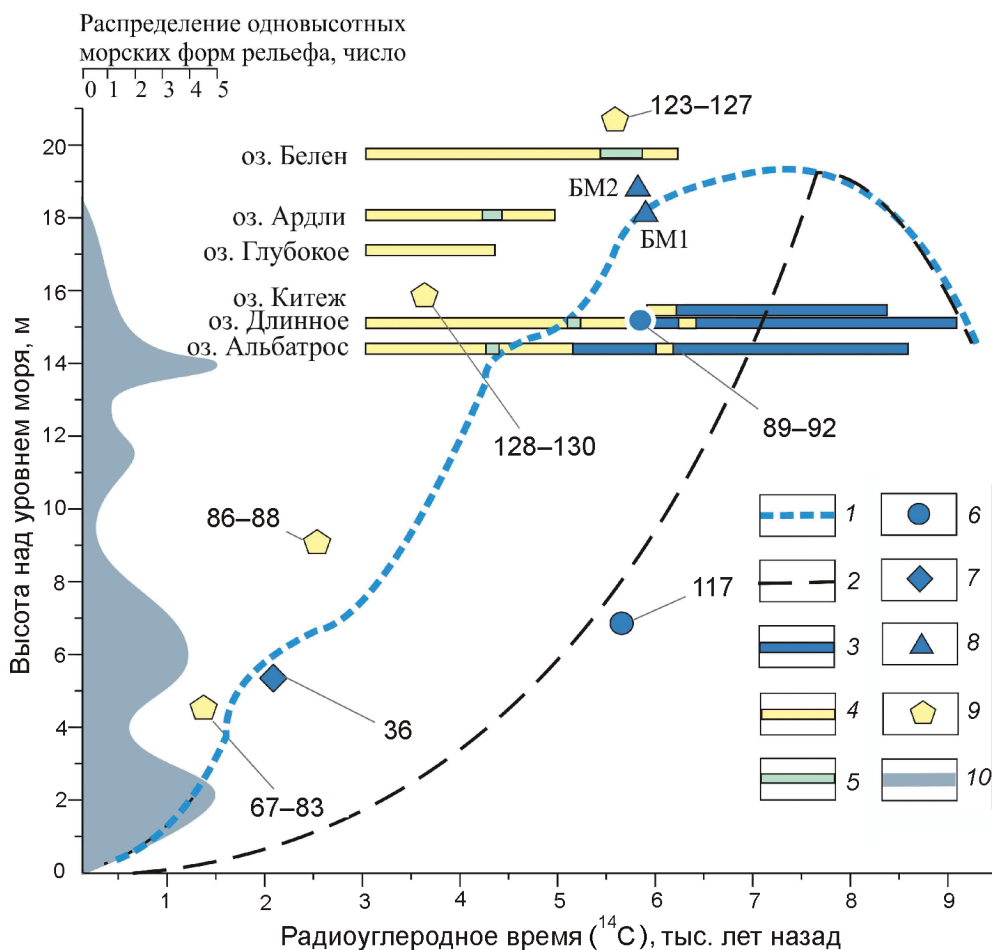


Рис. 2. Кривая изменений относительного уровня моря в районе п-ова Файлдс:

1 – реконструированные изменения относительного уровня моря; 2 – кривая моделирования изменения относительного уровня моря; 3 – морские условия в колонках донных осадков озёр; 4 – пресноводные условия в колонках донных осадков озёр; 5 – солоновато-водные условия в колонках донных осадков озёр; 6 – раковины морских моллюсков *in situ*; 7 – морские водоросли *in situ*; 8 – кости пингвинов в отложениях морской террасы; 9 – мхи в отложениях; 10 – высоты наибольшей повторяемости береговых форм рельефа

Fig. 2. Relative sea level curve in the Fildes Peninsula area.

1 – relative sea level curve; 2 – curve modeling changes in the relative sea level; 3 – marine terms in bottom sediment cores from lakes; 4 – freshwater terms in bottom sediment cores from lakes; 5 – brackish terms in bottom sediment cores from lakes; 6 – marine shells *in situ*; 7 – marine algae *in situ*; 8 – penguin bones in marine terrace; 9 – mosses in outcrops; 10 – heights of maximum marine forms frequencies

од его медленного роста и стабилизации (8000–6000 л.н.) соответствует самой высокой границе морских вод в голоцене.

Определение максимальных отметок стояния морских вод в районе п-ова Файлдс основывается на результатах датирования останков пингвинов в отложениях 18-метровой морской террасы [12] (см. табл. 1, рис. 2). Ещё одно свидетельство – залегание на высоте 15 м над ур. моря разреза морских отложений 89–92 с раковинами моллюсков *Laternula elliptica* возрастом 5760 л.н.: тот факт, что эти моллюски предпочитают обитать на глубинах от 3–5 м [7], предполагает подъём уровня моря в то время минимум до высотной отметки 18 м. В период 8000–6000 л.н. морские условия осадконакопления существовали в трёх озёрах полуострова (Альбатрос, Длинное, Китеж), современные урезы вод которых находятся в интервале высот 14–16 м над ур. моря. Напротив, осадконакопление в оз. Белен, расположенном на высоте 20 м над ур. моря, началось ранее 6000 л.н. в пресноводных условиях [19], т.е. уровень моря располагался тогда ниже отметок 18–20 м. На предельные высоты подъёма морских вод 6000–5500 л.н. указывает присутствие ископаемых мхов в отложениях разреза 123–127, формировавшегося на высоте 20–21 м в континентальных условиях [4]. Таким образом, имеющиеся данные позволяют оценить величину максимального подъёма относительного уровня моря в районе п-ова Файлдс между 8000 и 6000 л.н. в 18–20 м.

В дальнейшем относительный уровень моря в районе о. Кинг Джордж понижался, несмотря на медленный рост и стабилизацию уровня Мирового океана. Ход этого понижения между 6000 и 4000 л.н. реконструируется прежде всего по результатам изучения ископаемых диатомовых комплексов и радиоуглеродной хронологии колонок донных осадков озёр п-ова Файлдс [12, 19]. Последовательная смена морских условий осадконакопления на пресноводные в озёрах Китеж, Длинное и Альбатрос свидетельствует о падении уровня морских вод с возможным уменьшением скорости (или стабилизацией уровня) примерно между 5000 и 4000 л.н., когда в двух последних озёрах после опреснения кратковременно появлялись солоновато-водные условия (см. рис. 2). По-видимому, в это же время формировались наиболее распространённые и морфологически выраженные береговые формы рельефа на отмет-

ках около 14 м над ур. моря. Разрез морских отложений 117 с захороненными *in situ* раковинами моллюсков *Laternula elliptica* подтверждает факт стояния уровня моря в период 6000–5000 л.н. не ниже 10-метровой высотной отметки.

Построение кривой снижения уровня моря в последние 4000 лет основано на данных о возрасте ископаемых мхов *in situ* в разрезах отложений 128–130, 86–88, 67–83, а также на датировке прослая ископаемых морских водорослей *in situ* в разрезе 36 морских отложений древнего пляжа (см. рис. 1, 2). Разрез 128–130 сложен мёрзлой толщей мхов, которые были вскрыты на глубину 1,2 м и дали на дне шурфа возраст, указанный в табл. 1. Хотя дальше пройти шурф не удалось, нет сомнений, что толща мхов продолжается ниже минимум на первые десятки сантиметров, а следовательно, формирование этих отложений началось на сотни лет раньше, чем показано на рис. 2. В разрезе 86–88 мхи залегают в озёрных осадках (с пресноводным диатомовым комплексом), которые перекрывают толщу морских песчано-гравийных отложений [4]. Образование здесь пресноводного водоёма могло протекать только в условиях превышения над урезом морских вод минимум на 2 м (выше штормовой зоны). Такая же величина превышения над уровнем моря выбрана и для разреза 67–83, отложения которого накапливались в пресноводном водоёме [4]. Сопоставление перечисленных данных позволяет предположить: быстрое падение уровня морских вод в период примерно от 4000 до 2500 л.н.; замедление снижения уровня (возможно с его стабилизацией) примерно между 2500 и 1600 л.н.; новое ускорение падения примерно до 1300 л.н.; дальнейшее, среднее по скорости, понижение уровня моря до его современного положения. Косвенно подтверждает замедление падения уровня между 2500 и 1600 л.н. широкое распространение береговых форм рельефа на высотных отметках 5–7 м над ур. моря. Отметим также широкое распространение пляжей и береговых валов, превышающих современный уровень моря на 2–2,5 м.

Кратковременное появление солоновато-водных видов диатомовых водорослей в озёрах Белен и Ардли (см. рис. 2) вряд ли может свидетельствовать о периоде подъёма уровня моря, так как это противоречит всем остальным данным. Остаётся предположить увеличение заноса морских вод в эти озёра ветром.

Обсуждение

На реконструированной кривой (см. рис. 2) прослеживаются несколько этапов изменений относительного уровня моря в районе п-ова Файлдс: подъём уровня с раннего голоцена; последующий период относительной стабилизации положения уровня с достижением максимальных высотных отметок; последующее падение уровня с двумя периодами уменьшения скоростей падения (относительной стабилизацией). Эти изменения отражают суммарное воздействие эвстатического, тектонического (включая гляциоизостазию) и регионального факторов, вклад которых можно оценить при сопряжённом анализе кривой и существующих палеогеографических представлений.

Быстрый рост относительного уровня моря в районе полуострова в раннем голоцене обусловлен преимущественно эвстатическим фактором – глобальным подъёмом уровня Мирового океана в ходе деградации оледенения последнего ледникового максимума. Дегляциация самого полуострова в это время тоже шла быстро: примерно с 11 500 до 8000 л.н. от покровного оледенения освободились многочисленные участки суши, развивались озёра [4]. Однако заметного вклада в изменения относительного уровня моря тектонический (гляциоизостатический) фактор ещё не вносил благодаря, по-видимому, относительно небольшой разгрузке ото льда полуострова в целом и инерционности компенсационных процессов в литосфере после снятия ледниковой нагрузки, что вело к низким скоростям компенсационного поднятия суши.

Заметно уменьшается скорость эвстатического подъёма уровня Мирового океана примерно с 8000 л.н.; в период 7000–5000 л.н. эта скорость уменьшается ещё больше, а с 4000 л.н. приближается к нулевым значениям [8, 11]. В районе п-ова Файлдс относительный уровень моря в период 8000–6000 л.н. медленно достигает своего максимума, стабилизируется на непродолжительное время, а затем проявляет тенденцию к падению. Ход реконструированных изменений относительного уровня моря примерно до 7500 л.н. практически совпадает с расчётной кривой на основе модели ICE-5G VM2 [16, 18], однако затем реконструированная и расчётная кривые расходятся (см.

рис. 2). Главное различие кривых заключается в более позднем начале и стадийности падения реконструированного относительного уровня моря. Вызвать такое различие прежде всего могли региональные особенности тектонических процессов, в том числе обусловленные ходом дегляциации и компенсационными изостатическими движениями. В соответствии с существующими представлениями, относительно тёплые, способствующие дегляциации условия были на полуострове с начала голоцена до 5300 л.н., 4000–2000 и 1400–600 л.н. [4]. Относительные похолодания, при которых могла замедляться дегляциация, имели место 5300–4000, 2000–1400 л.н. и, вероятно, в течение малого ледникового периода. Палеогеографические исследования показали также, что ледники и снежники полуострова чутко реагировали на изменения климата и могли существенно сокращаться и разрастаться в течение нескольких сотен лет.

Как видно на рис. 2, морские воды достигли на полуострове максимальных высотных отметок около 7000 л.н., т.е. в условиях эвстатического подъёма уровня Мирового океана. По-видимому, до этого времени компенсационный подъём суши не начался или имел низкие скорости, хотя полуостров продолжал освобождаться от толщи льда. Примерно с 7000 л.н. начинается падение относительного уровня моря, ускоряющееся в период 6000–5000 л.н. В это время от локальных ледников и снежников очищается практически вся территория полуострова, а ледник Беллинсгаузена сокращается до размеров, значительно меньших современных [4]. Вероятно, около 7000 л.н. была пройдена «критическая» точка тектонической инерционности и начинается активный процесс компенсационного поднятия территории. Скорости этого поднятия значительно превышают скорости роста глобального уровня Мирового океана, резко упавшие с 7000 л.н.

В соответствии с реконструкцией, скорости дальнейшего падения относительного уровня моря могли уменьшаться между примерно 5000 и 4000, 2500 и 1600 л.н. (см. рис. 2). Время первого из этих событий практически совпадает с периодом относительного похолодания, возможной приостановки дегляциации и даже разрастания на полуострове локальных ледников и

снежников [4]. Отсюда логично допустить «торможение» компенсационного поднятия суши из-за увеличения снежно-ледовой нагрузки, что вместе с протекающим (хоть и очень медленно) эвстатическим ростом уровня, и послужило причиной замедления падения относительного уровня моря.

Сложно связать исключительно с гляциоизостазией и уменьшение скорости падения относительного уровня моря 2500–1600 л.н. В этот период климатические условия на полуострове были как весьма тёплыми (до 2000 л.н.), так и холодными, что делало вероятным и сокращение, и разрастание местного оледенения [4]. Возможно, здесь проявились особенности локальных тектонических процессов, например, стадийность компенсационных движений благодаря физическим свойствам мантийного вещества. Ещё одной причиной могут быть неучтённые факторы, например наличие флуктуаций непосредственно уровня Мирового океана. Свидетельства кратковременного подъёма уровня моря примерно в это время установлены для нескольких районов Арктики и Антарктики [1, 3–6].

В целом, сопоставление нашей реконструкции с имеющейся палеогеографической информацией указывает на зависимость последледникового хода относительного уровня моря в районе полуострова от меняющегося во времени взаимодействия эвстатической составляющей глобальных изменений уровня Мирового океана и тектонической составляющей, которая может интегрировать: региональные параметры оледенения последнего ледникового максимума; ход дегляциации полуострова; региональные физические характеристики земной коры и мантийного вещества; локальные тектонические процессы, включая компенсационные движения (гляциоизостазию). Так как многие из региональных параметров (тем более их реализация во времени) не учитываются при физическом моделировании [16], расчётная кривая изменений уровня моря [18] выглядит весьма упрощённой, совпадая с палеогеографической реконструкцией фактических изменений уровня лишь для периода явного преобладания эвстатического фактора, а также при оценке максимальных отметок последледникового подъёма морских вод (см. рис. 2).

Заключение

Анализ и обобщение собственных данных и предшествующих результатов палеогеографических исследований позволили построить кривую последледниковых изменений относительного уровня моря в районе п-ова Файлдс (о. Кинг Джордж) и оценить вклад в эти изменения различных факторов. Быстрый подъём относительного уровня моря (с начала голоцена) замедлился около 8000 л.н. с достижением около 7000 л.н. максимума. Затем идёт падение относительного уровня моря (поднятие суши) в общей сложности на 18–20 м, которое характеризуется: сравнительно высокими скоростями падения в периоды около 6000–5000, 4000–2500 и в последние 1500 л.н.; уменьшением скоростей падения (стабилизацией) в периоды около 5000–4000 и 2500–1600 л.н.

С начала голоцена до примерно 7000 л.н. основной вклад в изменения относительного уровня моря в районе вносил глобальный эвстатический фактор – подъём уровня Мирового океана. Последующее стадийное падение относительного уровня моря (поднятие территории полуострова) протекало, в целом, в условиях уменьшения роли эвстатического фактора (с 4000 л.н. – практически отсутствие вклада в изменения уровня) и преобладания факторов, связанных с ходом дегляциации территории, региональными физическими характеристиками земной коры и мантийного вещества, локальными тектоническими процессами (включая гляциоизостазию).

Систематизация и анализ палеогеографических данных, а также их интерпретация выполнены при финансовой поддержке гранта РФФИ 14-05-00548а.

Литература

1. 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 бореальных районов: Материалы науч. сессии. Т. 2. Новосибирск: изд. ИНГГ СО РАН, 2011. С. 10–14.
2. Веркулич С.Р. Последний ледниковый максимум и дегляциация в краевой зоне Антарктиды: Авто-

- реф. на соиск. уч. степ. д-ра геогр. наук. М.: Ин-т географии РАН, 2011. 46 с.
3. *Веркулич С.Р., Пушина З.В., Сократова И.Н., Меллес М., Диекманн Б.* Изменения уровня моря и гляциоизостазия на побережье Антарктиды в голоцене // МГИ. 2007. Вып. 102. С. 161–167.
 4. *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. Вып. 3 (93). С. 17–27.
 5. *Макаров А.С., Большианов Д.Ю.* Колебания уровня арктических морей России в голоцене // Материалы Всерос. науч. конф. «Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена». М: изд. МГУ, 2011. С. 315–320.
 6. *Полещук К.В., Веркулич С.Р.* Реконструкция изменений уровня моря в районе оазиса Бангера (Восточная Антарктида) в голоцене // Проблемы Арктики и Антарктики. 2014. Вып. 2 (100). С. 15–24.
 7. *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 // Holocene environmental changes in Antarctic coastal areas (Memoirs of National Institute of Polar Research, Special issue, 50) / Eds. P.A. Berkman, Y. Yoshida. Tokyo: NIPR, 1994. P. 1–10.
 8. *Bentley M.J.* Volume of Antarctic ice at the Last Glacial Maximum, and its impact on global sea level change // Quaternary Science Reviews. 1999. V. 18. P. 1569–1595.
 9. *Björck S., Håkansson H., Zale R., Karlen W., Jonsen B.L.* A late Holocene lake sediment sequence from Livingston Island, South Shetland Islands, with paleoclimatic implications // Antarctic Science. 1991. V. 3. № 1. P. 61–72.
 10. *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. V. 11. P. 697–708.
 11. *Lambeck K., Rouby H., Purcell A., Sunc Y.* Sea level and global ice volumes from the Last Glacial Maximum to the Holocene // Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS). 2014. V. 111. P. 15296–15303.
 12. *Mäusbacher R., Müller J., Schmidt R.* Evolution of postglacial sedimentation in Antarctic lakes (King George Island) // Zeitschrift für Geomorphologie. Neue Folge. 1989. 33. V. 2. P. 219–234.
 13. *Milliken K.T., Anderson J.B., Wellner J.S., Bohaty S.M., Manley P.L.* High resolution climate record from Maxwell Bay, South Shetland Islands, Antarctica // Geological Society of America Bulletin. 2009. V. 121. P. 1711–1725.
 14. *Okuno J., Miura H.* Last deglacial relative sea level variations in Antarctica derived from glacial isostatic adjustment modeling // Geoscience Frontiers. 2013. V. 4. P. 623–632.
 15. *Omoto K.* The problem and significance of radiocarbon geochronology in Antarctica // Antarctic Earth Science / Eds. R.L. Oliver, P.R. James, J.B. Jago. Canberra: Australian Academy of Science, 1983. P. 450–452.
 16. *Peltier W.R.* Global glacial isostasy and the surface of the ice-age Earth: the ICE-5G (VM2) model and grace // Annual Review of Earth Planetary Science. 2004. V. 32. P. 111–49.
 17. *Peltier W.R., Fairbanks R.G.* Global glacial ice volume and Last Glacial Maximum duration from an extended Barbados sea level record // Quaternary Science Reviews. 2006. V. 25. P. 3322–3337.
 18. *Spada G., Stocchi P.* SELEN: a Fortran 90 program for solving the «Sea Level Equation» // Computers and Geosciences. 2007. V. 33. № 4. P. 538–562.
 19. *Watcham E.P., Bentley M.J., Hodgson D., Roberts S.J., Fretwell P.T., Lloyd J.M., Larter R.D., Whitehouse P.L., Leng M.J., Monien P., Moreton S.G.* A new Holocene relative sea level curve for the South Shetland Island, Antarctica // Quaternary Science Reviews. 2011. V. 30. P. 3152–3170.