

УДК 551.465

## ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ РАЗВИТИЯ ПОБЕРЕЖИЙ И ШЕЛЬФОВ ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ РОССИИ В УСЛОВИЯХ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА И ПОВЫШЕНИЯ ИХ УРОВНЯ

© 2002 г. Ю.А. Павлидис, Ф.А. Щербаков

*Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва*

Поступила в редакцию 26.12.2000 г.

По мнению авторов наиболее рациональный путь к прогнозу развития шельфов внутренних морей, расположенных в умеренной климатической зоне, состоит в использовании данных о тех преобразованиях, которые происходили в их недавней геологической истории во времена потепления климата и подъема уровня моря. Приведем здесь некоторые важные, на наш взгляд, соображения. Новейшая история развития внутренних морей была неразрывно связана с глобальными изменениями природных обстановок: климата, уровня моря, океанологических характеристик прибрежных вод и т.п. Особенно значительные изменения произошли в самом конце позднего плейстоцена и в голоцене во время деградации и таяния последнего материкового оледенения в Северном полушарии и при становлении современных природных условий на Земле.

### ВВЕДЕНИЕ

Потепление климата на рубеже XX и XXI вв., свидетелями которого мы являемся, и связанное с ним повышение уровня Мирового океана неизбежно приведет к изменениям океанологических, геоморфологических, геологических, биологических и других параметров природной среды на рубеже суши и моря - в береговой зоне и на шельфе. Однако такие изменения будут не везде одинаково интенсивными. Наибольшими они ожидаются в Российской Арктике. Однако и в пределах внутренних морей России они могут быть весьма существенными, т.к. в их замкнутых акваториях влияние климатических изменений и повышение уровня моря на характер дальнейшего развития береговой зоны и шельфа будут, очевидно, хотя и не столь существенными как и в Арктике, но в тоже время более очевидными по сравнению с открытыми океанскими шельфами.

Новейшая история развития внутренних морей была неразрывно связана с глобальными изменениями природных обстановок: климата, уровня моря, океанологических характеристик прибрежных вод и т.п. Особенно значительные изменения произошли в самом конце позднего плейстоцена и в голоцене во время деградации и таяния последнего материкового оледенения в Северном полушарии и при становлении современных природных условий на Земле.

Наша концепция в отношении прогноза развития побережий и шельфов базируется на анализе аналогий прошлого, т.е. опирается на

палеогеографическую основу, поэтому для рассмотрения возможных путей дальнейшего развития побережий и шельфов внутренних морей России мы воспользуемся данными, в основном полученными с нашим участием, по их позднечетвертичной палеогеографии.

### ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗВИТИЯ ВНУТРЕННИХ МОРЕЙ РОССИИ ЗА ПОСЛЕДНИЕ 15 ТЫС. ЛЕТ

Важнейшим фактором развития бассейнов внутренних морей в самом конце позднего плейстоцена и в голоцене была последняя трансгрессия Мирового океана, начавшаяся почти одновременно с распадом и таянием покровных ледников в Северном полушарии. Начало трансгрессии относят примерно к периоду времени 15-16 тыс. лет назад. Тогда же началось быстрое повышение уровня Мирового океана, а затем и уровней связанных с ним внутренних морей, в первую очередь глубоководного Черного моря. Однако ряда внутренних, относительно мелководных морей России в начале Всемирной трансгрессии еще не существовало. Формирование Азовского, Балтийского, Белого морей как морских бассейнов, началось позднее, примерно 10-7 тыс. лет назад, в результате проникновения океанских вод во впадины этих бассейнов.

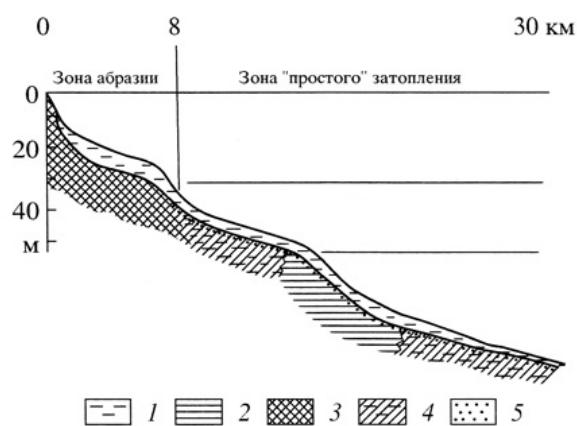
Повышение уровня в начале трансгрессии в Мировом океане и особенно во внутренних морях было, по геологическим масштабам

времени, очень быстрым - до 1 м в столетие. Это может служить основой для прогнозирования возможных изменений в береговой зоне и на шельфе внутренних морей в начале будущего тысячелетия, т.к. многие специалисты предсказывают повышение уровня моря к концу XXI в. на 1 м.

Многие исследователи Черного моря, в том числе и авторы этой статьи, пришли к мнению, что трансгрессия в этом бассейне началась примерно 14 тыс. лет назад, несколько позднее чем в Мировом океане, т.к. исходный уровень здесь был минус 90 м, а не 120-130 м. Около 7 тыс. лет назад уровень Черного моря достиг отметки -30 м, а это означает, что за 7 тыс. лет уровень этого бассейна поднялся на 60 м, что составляет примерно 0.9 м в 100 лет. Такое поднятие уровня вызвало прежде всего затопление предельно выровненных аллювиальных равнин, расположенных во внешней части осушенного во время последнего ледникового периода черноморского шельфа. Там, где уклоны поверхности приморской суши были особенно малы, произошло «простое», по определению П.А. Каплина и А.О. Селиванова [1999], затопление без существенного геоморфологического преобразования затопляемой поверхности. В свое время Е.Н. Невеским [1967] было показано, что при трансгрессии в пределах плоских приморских равнин сохраняются, а не уничтожаются волнами моря многие реликтовые формы рельефа и отложения (аллювиальные, озерные, прибрежно-морские и др.), которые впоследствии оказываются погребенными под более поздними морскими отложениями. Более поздние исследования, в том числе бурение на шельфе, показали, что по такому «сценарию» развивались многие участки шельфа Черного моря. Нами было установлено, что в результате «простого» затопления суши в районе Западного Крыма береговая линия смещалась в сторону суши в период с 14 до 10 тыс. лет назад со скоростью 1.4 м/год (рис. 1). Последующий этап в Черном море характеризовался, как, впрочем, и во всем Мировом океане, существенным замедлением скорости трансгрессии, что по времени соответствовало окончанию дегляциации территорий в Северном полушарии около 8 тыс. лет назад.

Именно в этот последний период послеледникового развития, когда скорость повышения уровня замедлилась, в период между 8 и 7 тыс. лет назад в Черном море произошли принципиальные изменения, приведшие к формированию его в современном

виде. В первую очередь это было связано с возникновением современной гидрологической системы в Босфоре, состоящей из двух противотечений: придонного, направленного в сторону Черного моря, потока соленых средиземноморских вод и поверхностного, направленного в сторону Мраморного моря, потока черноморских вод с меньшей соленостью. Начиная с этого времени подъем уровня Черного моря обеспечивался, главным образом, притоком средиземноморских вод, а его скорость составляла в среднем за 7 тыс. лет 0.4 м в 100 лет. Такая скорость примерно соответствует тому, что прогнозируют сторонники умеренных оценок подъема уровня моря в XXI в. - примерно 0.5 м к 2100 г.

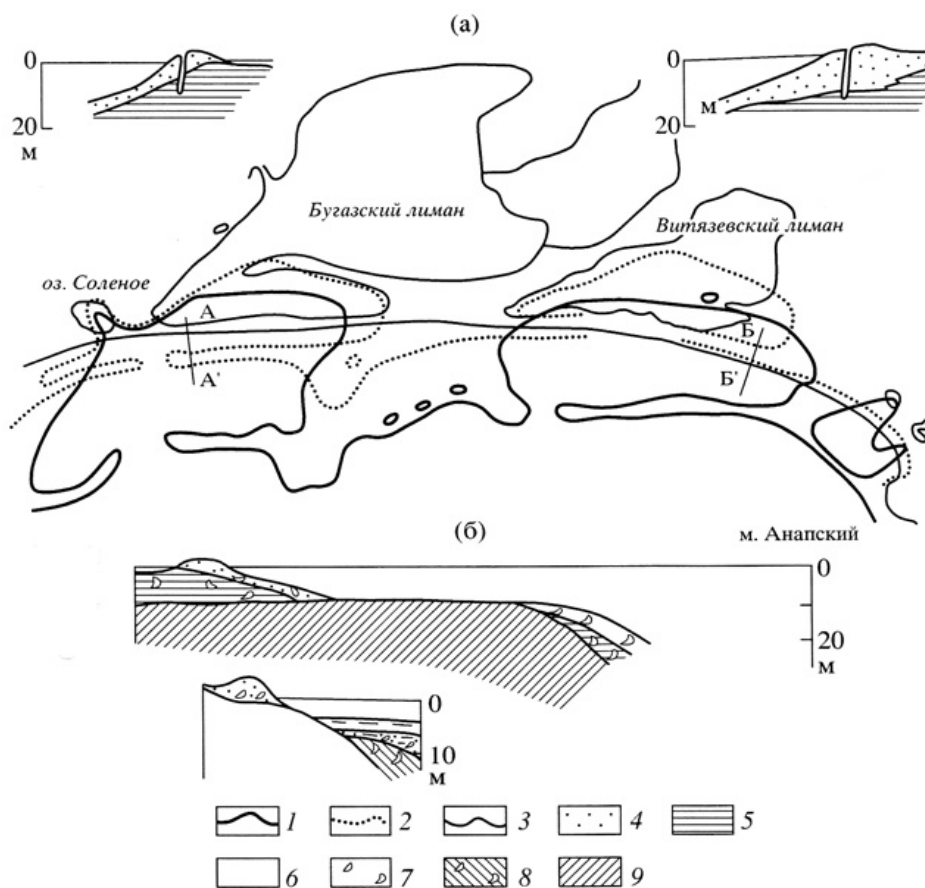


**Рис.1.** Схема плейстоцен-голоценового затопления черноморского (западнокрымского) шельфа.

1 – голоценовые морские илы, неуплотненные, водонасыщенные; 2 – позднеплейстоцен-раннеголоценовые морские илы, уплотненные; 3 – лёссы, континентальные суглинки и глины; 4 – позднеплейстоцен-раннеголоценовые лагунные илы; 5 – песчаные прибрежные отложения среднего и позднего голоцена (базальный слой).

Начиная с 7 тыс. лет назад Черное море начало интенсивно осолоняться за счет притока соленых вод и в его впадине формируется мощный слой плотных не аэрируемых вод с сероводородным заражением. До этого времени море было опресненным и его воды полностью аэрировались до дна.

Продолжающееся замедленное повышение уровня Черного моря приводило к дальнейшему затоплению суши. Однако характер его несколько изменился. «Простое» затопление сменилось переработкой ее поверхности волнами моря. Это привело к усилению абразии (разрушению берегов морским волнением) возвышенных участков суши и прибрежно-морской аккумуляции, что в конечном итоге за несколько тысячелетий выразилось в формировании современных абразионно-аккумулятивных берегов на всем северо-западе Черного моря. Спецификой



**Рис. 2.** Схемы и разрезы, иллюстрирующие смещение береговых аккумулятивных форм (кос, пересыпей), лагун и лиманов вслед за трансгрессирующим морем. (а) – анапские пересыпи и лиманы Черного моря; (б) – косы Азовского моря.  
 1 – положение береговой линии Черного моря примерно 6 тыс. лет назад при уровне моря –20 м; 2 – то же около 4.5 тыс. лет назад при уровне моря –10 м; 3 – современное положение береговой линии; 4 – пески береговых аккумулятивных форм; 5 – лиманные (лагунные) илы; 6 – современные морские илы; 7 – ракушка; 8 – морские отложения карангатского времени позднего плейстоцена; 9 – континентальные отложения позднего плейстоцена (лѣссы, суглинки).

динамики прибрежной зоны было в этот период не только затопление, но и последующее захоронение береговых аккумулятивных форм, а также их смещение в сторону суши, как это было, например, с пересыпями анапских лиманов (рис. 2).

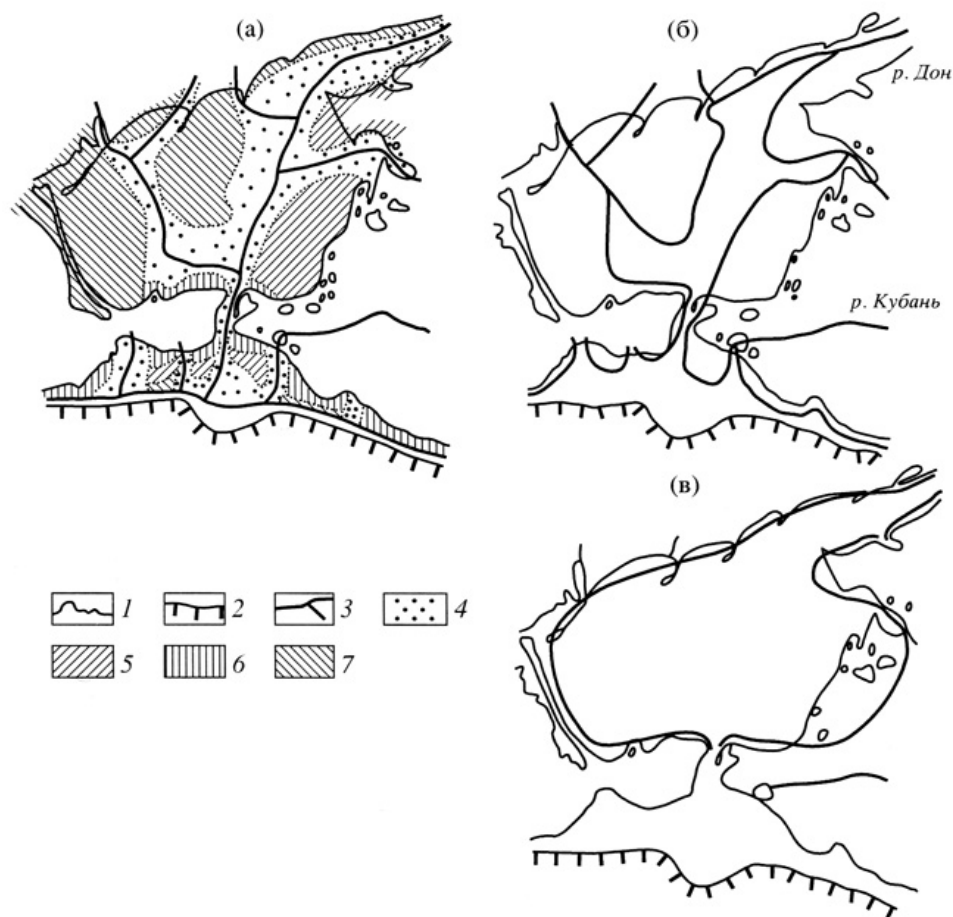
Подобная схема формирования современного шельфа Черного моря во время поздне-последледниковой трансгрессии конца плейстоцена-начала голоцена была характерна и для сравнительно узкого кавказского шельфа. Относительно широкая внешняя его полоса и сейчас довольно пологая в прошлом имела еще меньшие уклоны и поэтому на первых этапах трансгрессии подвергалась «простому» затоплению. Оно продолжалось примерно до того времени, когда уровень моря достиг отметок -30 м, что произошло около 7 тыс. лет назад. Тогдашний кавказский берег находился уже в непосредственной близости от линии современного берега и воздействию моря начали подвергаться ранее недоступные ему участки суши. На таких берегах произошел

резкий переход от пассивного затопления низменных плоских пространств ранее осушенного шельфа к усилению процессов абразии подножий складчатых сооружений. Собственно с этого времени и началось формирование современного облика кавказского берега Черного моря.

Голоценовый этап развития черноморского бассейна как морского водоема - лишь последняя страничка в длительной его эволюции. Остальные внутренние моря России возникли как самостоятельные морские водоемы во время заключительного этапа последледниковой трансгрессии.

В первую очередь это относится к Азовскому морю, на месте которого в доголоценовое время вообще существовала обширная аллювиальная равнина, прорезанная руслами рек.

До начала черноморской трансгрессии береговая линия в керченско-таманском районе располагалась близко к современной бровке шельфа (рис. 3а) и сюда были направлены



**Рис. 3.** Стадии формирования Азовского моря.

(а) – сухопутная стадия (древнее 7 тыс. лет назад); (б) – лиманная стадия (около 7 тыс. лет назад); (в) – морская древнеазовская стадия (около 5 тыс. лет назад); 1 – современная береговая линия; 2 – край шельфа; 3 – положение древней береговой линии и долин палео-рек; 4 – аллювиальные и дельтовые отложения; 5 – водораздельные участки суши, сложенные континентальными четвертичными отложениями; 6 – участки суши, сложенные дочетвертичными отложениями; 7 – приморские низменности.

потоки палео-рек Дона, Кубани и других более мелких. В ходе трансгрессии, на её завершающем этапе, примерно 7 600 лет назад возник в низовьях Дона обширный лиман, который соединился с Черным морем узким каналом на месте современного Керченского пролива (рис. 3б). В дальнейшем с проникновением черноморской воды во впадину Азовского моря началось осолонение вод донского лимана и примерно 7 000 лет назад сюда начали переселяться черноморские моллюски. Именно это время и считается началом формирования современного Азовского моря.

По низовьям долин рек относительно соленые черноморские воды (так называемый «галоклин») проникали далеко в сторону суши, в том числе в будущий Таганрогский залив, начало образования которого относится к периоду 7-6 тыс. лет назад. Было подсчитано, что продвижение галоклина по долине палео-Дона достигало скорости 60 м/год (6 км в

100 лет). Водораздельные низменные территории междуречий Дона и Кубани, Дона и Молочной начали затопляться примерно 5,5 тыс. лет назад, а 5 тыс. лет назад во время климатического оптимума голоцена (атлантический период) сформировался бассейн, занимающий Таганрогский залив и часть будущих Кубанских плавней (рис. 3в). Скорость смещения береговой линии при затоплении водораздельных пространств на отдельных участках в период 6-5 тыс. лет назад достигала 13 м/год (1,3 км в 100 лет), что типично для так называемого «простого затопления» без сколько-нибудь существенной переработки затопляемой плоской территории. Затем, когда трансгрессия приостановилась, начались интенсивные процессы переработки берегов, особенно в Северном Приазовье, где усилилась абразия берегов, увеличилось перемещение песка вдоль берега, что привело к формированию кос Азовского типа - Белосарайской, Бердянской и



др. На юго-востоке Азовского моря в период между 5 и 2.5 тыс. лет назад процесс затопления низменной территории сменился не менее быстрым процессом выдвигания береговой линии при формировании Кубанских плавней в то время, когда р. Кубань изменила направление своего течения и вместо Черного моря устремилась в Азовское.

История Балтийского моря хорошо известна специалистам по работам многих авторов [Геология..., 1976] и нам нет необходимости ее пересказывать. Остановимся лишь на некоторых деталях, важных, с нашей точки зрения, для целей прогноза. Начало становления Балтики как современного морского бассейна относится ко времени установления постоянной связи с Мировым океаном, что произошло около 8 тыс. лет назад, когда осуществился прорыв вод Атлантики во впадины Балтийского моря и стадия Анцилового озера сменилась стадией Литоринового моря, которое после небольших изменений превратилось в современное Балтийское море.

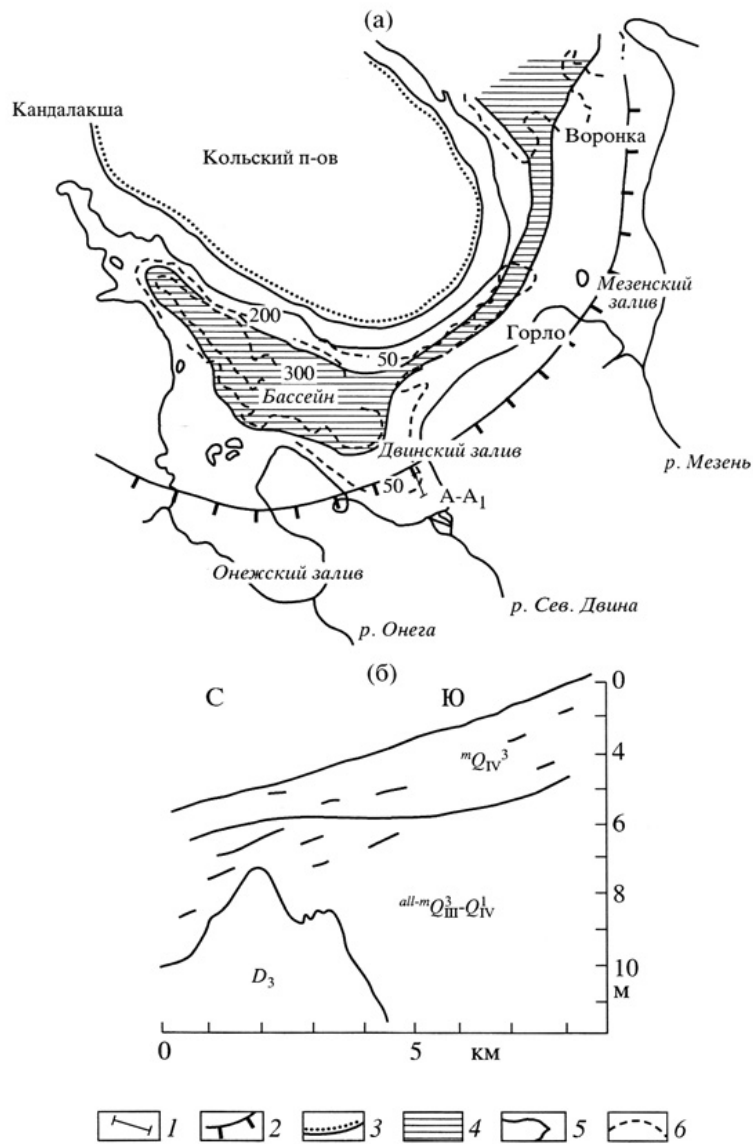
Уровень Литоринового моря, как и уровень Мирового океана того времени, был ниже современного. Ширина зоны затопления на заключительной стадии Фландрской трансгрессии Мирового океана в наиболее пониженных местах Прибалтики составила 30-35 км, а в местах новейших неотектонических поднятий (Эстонское побережье) - порядка 10-12 км. Продвижение береговой линии Литоринового моря в сторону суши по расчетам составляло сотни метров в 100 лет. Так в районе центральной части Куршской косы скорость смещения этой аккумулятивной формы в сторону коренного берега за 8 тыс. лет измеряется величиной 350-400 м в 100 лет. В районе Лиепая в ходе Литориновой трансгрессии береговая линия смещалась в сторону суши со средней скоростью 400-450 м в 100 лет. В районе Швянтойе скорость затопления (смещения береговой линии) составляла 350-400 м в 100 лет. Это данные для всего 8-тысячелетнего периода. Однако установлено, что Литориновое море достигло современного уровня около 3 тыс. лет назад. Следовательно за 5 тыс. лет скорость продвижения берега в сторону суши составляла 600 м в 100 лет в районах Куршской косы и Швянтойе и 700 м в 100 лет в районе Лиепая. Как видим, скорость затопления на Балтике в ходе трансгрессии была значительно меньше, чем на Азовском море.

Белое море в позднеледниковое время (15-11 тыс. лет назад) еще на «дневной

поверхности» не существовало. Было установлено, что в центральной, наиболее глубокой его котловине под покровом Кольского ледника был подледный пресный водоем. Морские воды начали проникать в этот водоем примерно 11-10 тыс. лет назад (рис. 4а). Затопление побережья Белого моря началось одновременно с освобождением его ото льда, что по геологическим масштабам времени произошло очень быстро, всего за 2-3 тыс. лет, так как уже 7 тыс. лет назад Белое море стало нормальным морским водоемом. Процесс затопления наступающим морем прибрежной суши протекал по разному в различных местах. Так в южной части Воронки Белого моря и в Мезенском заливе за счет абразии сложенных рыхлыми породами берегов темп продвижения береговой линии в сторону суши достигал 10-12 м/год [Невесский и др., 1977], или 1.2 км в 100 лет. «Простое» (по Каплину) затопление суши в Белом море происходило, вероятно, только в Двинском заливе, в той его части, где ныне располагается дельта и авандельта Северной Двины. По-видимому, 11-10 тыс. лет назад здесь уже не было покровного льда и затопление происходило с участием морских вод. Около 8 тыс. лет назад морской край древней дельты Северной Двины был затоплен и морские воды устремились на плоскую поверхность самой дельты, сформировав на ней чехол морских отложений поверх аллювиальной толщи (рис. 4б, 4в).

За последние 8 тыс. лет берег здесь продвинулся в сторону суши (до современного морского края дельты Северной Двины) примерно на 20 км, т.е. в среднем по 250 м в 100 лет. Если же учесть, что голоценовая трансгрессия в Мировом океане вывела уровень моря примерно на современные отметки около 6 тыс. лет назад, то скорость продвижения береговой линии в сторону суши за счет подъема уровня за 2 тыс. лет составляла почти 800 м/год. Однако в условиях нарастающего края дельты реки смена знака перемещения берега моря происходит очень быстро. Во всяком случае, после 6 тыс. лет морской край дельты начал выдвигаться. Увеличение скорости подъема уровня в ближайшем будущем может привести снова к смене направления смещения береговой линии, т.е. к новому этапу затопления дельты, особенно в условиях сокращения твердого стока реки при повышении базиса эрозии и искусственном регулировании ее жидкого стока.

Влияние вторжения океанских вод в изолированные пресноводные или солоноватые водоемы, какими были внутренние



**Рис. 4.** Белое море 11–10 тыс. лет назад.

(а) – схема, иллюстрирующая условия начала проникновения морских вод в Белое море в конце последнего ледникового периода; (б) – схема залегания отложений дельты Северной Двины на участке профиля (А-А<sub>1</sub>), выполненного с помощью эхолота-профилографа “Парасанд”.

1 – положение профиля; 2 – примерное положение края ледника около 10–11 тыс. лет назад; 3 – то же около 7 тыс. лет назад; 4 – остатки материкового льда, всплывшего при повышении уровня Белого моря над его центральной впадиной (Бассейном); 5 – современная береговая линия; 6 – изобаты (м).

моря России до трансгрессии, кроме рассмотренного выше затопления прилегающей суши, вызвало резкие изменения в их гидрологическом режиме, что сопровождалось целым рядом последствий, существенных прежде всего для обитателей этих морей. Главным при этом был процесс осолонения водоемов. Некоторое повышение температуры вод тоже имело значение, но было все же второстепенным для биоса, по сравнению с увеличением солености.

Наиболее впечатляющим по своим масштабам, приведшим к кардинальным переменам в бассейне, был прорыв соленых средиземноморских вод в Понт Эвксинский

через Босфор, что произошло в сравнительно короткий отрезок времени - от 8 до 6 тыс. лет назад. Заполнение черноморской впадины солеными средиземноморскими водами и одновременно создание в ней сероводородного заражения длилось, таким образом, 2 тыс. лет, а такой промежуток времени, как считают специалисты, достаточен для полного водообмена Черного моря со Средиземным. Таким образом, можно предположить, что уже 6 тыс. лет назад в Черном море существовала водная масса с показателями солености близкими к современным, т.е. 16-18%. Одновременно происходило и повышение температуры поверхностных вод. Все это

привело к резким и быстрым изменениям всего комплекса биоса, что особенно ярко проявилось в составе донной фауны (бентоса).

Первые средиземноморские вселенцы появляются на тогдашнем шельфе Черного моря примерно 8 тыс. лет назад и уже к 6-5 тыс. лет назад произошла полная замена солоноватоводной фауны на современную, соответствующую теперешней солёности вод. При рассмотрении изменений комплексов фауны в разрезе голоценовых отложений Л.А. Невеская [1965] обнаружила, что в среднем голоцене, во время так называемого климатического оптимума (атлантический период) состав донной фауны соответствовал еще большему влиянию средиземноморских вод, чем в настоящее время (каламитские слои). Таким образом, за период 2-3 тыс. лет солёность Черного моря увеличилась с 6 до 18‰, т.е. этот процесс шел со средней скоростью около 1‰ за 200 лет. По-видимому, соответствующей была и средняя скорость смены комплексов фауны, имея в виду бассейн в целом.

Особенно резкие изменения природной обстановки происходили при различных стадиях формирования современного Азовского моря. Прежде всего обращает на себя внимание начало проникновения черноморских вод в Керченский пролив и образование там лимана, а затем стремительное продвижение галоклина вверх по расширяющейся долине палео-Дона. Этот процесс занял всего несколько сот лет в течение 6-го тысячелетия до н.э. Лиманная стадия продолжалась в Азовском море всего с 7 до 6.5 тыс. лет назад, когда в Керченском проливе на поверхности затопленной суши были отложены древнеазовские отложения, которые по составу фауны ближе к черноморским, чем современные. Древнеазовский период в истории Азовского моря продолжался от 6.5 до 3 тыс. лет назад, т.е. 2.5 тыс. лет. Однако гидрологическая обстановка, соответствующая условиям Древнего Азова, сложилась в значительно более короткий срок, возможно исчисляемый сотнями лет в самом начале этого периода, а в остальное время в древнем Азовском море существовали нормальные для него морские условия.

Период Новой истории Азовского моря начался не ранее 3-х тыс. лет назад. Он характеризуется установлением в бассейне современных условий, менее близких к черноморским, чем во времена Древнего Азова. В Новом Азове несколько уменьшилась солёность, немного похолодали поверхностные

воды, исчезли некоторые представители черноморской фауны. Эти сравнительно небольшие изменения произошли как и при становлении Древнего Азова в относительно короткий промежуток времени в интервале от 3 до 2.5 тыс. лет (возможно за 200-300 лет).

Процесс формирования современной водной массы Балтийского моря и соответственно его биоса напоминал историю Азовского моря. Начало превращения пресноводного Анцилового озера в Литориновое море относится к 8 тыс. лет назад. Установлено также, что в верховьях Финского залива гидрологические условия Литоринового моря установились 6 тыс. лет назад. Таким образом, полное преобразование пресноводного озера в слабо солёное море произошло за 2 тыс. лет.

В Белое море первое поступление баренцевоморских вод произошло 11-10 тыс. лет назад. Уже 7 тыс. лет назад, судя по составу планктона и бентоса, гидрологические условия в этом море соответствовали климатическому оптимуму голоцена Северной Европы - периоду более теплomu, чем современный. Таким образом за 3 тыс. лет в Белом море произошла полная трансформация подледного пресного водоема в морской бассейн бореального типа. Нами подсчитано условно, что продвижение галоклина от Воронки Белого моря до вершины Кандалакшского залива происходило со скоростью около 16 км в 100 лет. Скорость осолонения водоема от 0 до 30‰ составляла 1‰ в 100 лет, как и на Черном море. Вполне возможно, что эти скорости преобразования были еще выше, так как 7 тыс. лет назад Кандалакшский залив имел уже полностью нормальную для Белого моря солёность.

#### ВОЗМОЖНАЯ НАПРАВЛЕННОСТЬ ПРИРОДНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ВО ВНУТРЕННИХ МОРЯХ РОССИИ В НАЧАЛЕ ТРЕТЬЕГО ТЫСЯЧЕЛЕТИЯ

Установленные закономерности развития в голоцене внутренних морей умеренной климатической зоны дают основание полагать, что в будущем, в условиях глобальных изменений природной среды, могут произойти аналогичные преобразования в бассейнах этих морей и особенно в пределах их мелководных окраин и на побережьях. Как мы видели, в истории развития водоемов, у которых связь с Мировым океаном то нарушалась в периоды регрессий, то восстанавливалась при трансгрессиях главным фактором изменений природной среды было изменение уровня и, соответственно, усиление или ослабление

притока океанских вод. Специалисты считают, что в связи с потеплением климата на планете произойдет увеличение скорости подъема уровня Мировом океане. Если это так, то будущие поколения станут очевидцами трансгрессии моря, подобной той, которая была в послеледниковое время и достигла своего пика примерно 6 тыс. лет назад.

По расчетам Клиге [Клиге и др., 1998], обобщившего данные более чем 1000 уровнемерных станций, за последнее столетие средний уровень океана повышается примерно на 1.5 мм/год. Этот подъем уровня можно связывать с перераспределением водных масс между ледниками и океаном при потеплении климата. Мнение о значительном, на 1 м, будущем подъеме уровня Мирового океана в XXI столетии требует, однако, надежного обоснования. Прибавление воды в океанах в таком объеме может произойти только в случае существенного таяния покровных ледников в центрах современного оледенения, а это процесс длительный. Даже таяние шельфовых ледников Антарктиды не даст желаемого результата, так как они находятся «на плаву» в равновесии с современным уровнем. Повышение уровня может произойти от термического расширения верхнего слоя воды (термоклина), но эта величина, как показали расчеты, не будет превышать 10 см при повышении среднегодовой глобальной температуры на 2°C. Таяние всех малых ледников и ледниковых шапок на арктических островах (за исключением Гренландии) приведет к повышению уровня на 20-30 см. Эффекты от изменения скоростей таяния и аккумуляции ледниковых покровов Антарктиды и Гренландии, возможно, скомпенсируют друг друга. Однако можно предположить, что за счет более интенсивного таяния льда этих современных ледниковых покровов произойдет некоторое повышение уровня Мирового океана, но не более чем на 10 см. Таким образом, мы полагаем, что суммарное повышение уровня Мирового океана к концу будущего века может составить 0.5 м. Однако в случае потепления на 3-4°C и изменения баланса между водами суши и океана уровень может подняться на большую величину - до 1 м.

Что касается прогрессирующего потепления климата, то это в умеренной зоне скорее всего не приведет к существенно заметным изменениям в прибрежно-шельфовой зоне внутренних морей России, как это, очевидно, произойдет в арктических морях, о чем мы уже писали [Павлидис и Леонтьев,

2000]. Исключение может составить лишь Белое море, на берегах которого, сложенных рыхлой мерзлой толщей, произойдет заметное увеличение темпа термоабразии.

В настоящее время, когда внутренние моря России уже сформировались усиление притока океанских вод приведет к некоторому изменению их гидрологического режима, прежде всего, произойдет увеличение солености их вод. Сравнение с обстановками прошлого позволяет предположить, что на Черном море при усилении притока средиземноморских вод, неизбежного при повышении уровня, произойдет увеличение средней солености по бассейну в целом на 1‰. Это окажет определенное влияние на донную фауну черноморского шельфа выше границы сероводородного заражения. Раковины моллюсков, являющиеся существенной частью донных отложений на шельфе, возможно в несколько большем количестве станут осадкообразующим компонентом при отмирании некоторых стеногалинных (приспособленных к определенной солености) видов. Для Азовского и Балтийского морей с низкой соленостью их вод последствия осолонения для биоса могут быть более существенными, например, для осетровых и некоторых лососевых рыб. Моллюски Азовского моря, раковины которых составляют в некоторых местах основную массу донных и прибрежных отложений, видимо не пострадают, так как основные их виды относятся к разряду эвригалинных (приспособленных к условиям меняющейся солености).

В Белом море вряд ли произойдет существенное изменение солености. Здесь на первый план, как и в арктических морях, выйдет, пожалуй, повышение температуры поверхностных вод, что будет связано с более интенсивным, чем в средних широтах, потеплением климата. В результате возможно уменьшение сроков замерзания моря, сокращения в нем ледового покрова. Повышение температуры вод может привести по мнению Израэля и др. [1999] к почти полной ликвидации ледового покрова в восточной части Белого моря, что вызовет значительное усиление гидроэнергетического воздействия на дно, не говоря уже о берегах. Здесь возможно изменение приливного донного рельефа, например, изменение глубин над приливными грядами - крупными положительными аккумулятивными формами на шельфе в Мезенском заливе и Воронке Белого моря.



Оценивая возможные «прямые» последствия повышения уровня внутренних морей России мы пришли к выводу, что они могут быть двоякого рода.

Во-первых, это «простое» затопление прибрежной суши, что широко было распространено в недалеком прошлом на плоских побережьях при «быстрой» трансгрессии. Скорость подъема уровня моря на 1 м в 100 лет, что прогнозируется многими специалистами, это именно «быстрая» трансгрессия, которая была в послеледниковое время и в начале голоцена. «Простое» затопление может охватить такие низменные участки побережья, как, например, Кубанские плавни в юго-восточной части Азовского моря, где берег может сместиться в сторону суши на несколько сот метров.

Во-вторых, это волновая переработка прибрежного рельефа и перестройка поперечного профиля береговых аккумулятивных форм при повышении уровня моря. Этот вариант развития берега известен как модель Зенковича-Брюна. И.О. Леотьевым разработана математическая модель изменения профиля берегового склона, которая учитывает не только собственно подъем уровня, но и такие главные параметры гидрометеорежима прибрежной акватории (длина разгона волн, направление ветра, высота волн), а также время переработки профиля. Эта модель была нами [Павлидис и Леонтьев, 2000] применена для прогноза развития аккумулятивных берегов Восточно-Сибирского моря в условиях повышения его уровня и увеличения гидроэнергетического воздействия на берег при сокращении ледового покрова у побережья из-за потепления климата в Арктике. Такие же расчеты могут быть произведены для любых конкретных участков берегов внутренних морей России. Следует указать, что качественная оценка переформирования берегов российских морей была уже предпринята П.А. Каплиным и А.О. Селивановым. По разработанным ими сценариям были построены прогнозные карты берегов морей России и сопредельных Республик в границах бывшего СССР при условии подъема уровня на 1 м за 100 лет. По их расчетам в результате преобразования берегов около 40% берегов Европейской России отступят на сто и более метров. В этом случае пострадают такие города как Санкт-Петербург, Архангельск и др. Интенсивно будут разрушаться песчаные пересыпи, отчленивающие лиманы в Северо-Западном Причерноморье и на Азовском море, а также

североазовские косы, Арабатская Стрелка. В дельте Кубани и на Перекопском перешейке ожидается затопление прибрежных низменностей. Быстрее станут отступать береговые уступы, сложенные непрочными лессами. В районе Одессы, Мариуполя, Приморско-Ахтарска помимо размыва уступов усилятся оползневые и обвальные процессы, и разрушение берегов может достичь катастрофических масштабов.

Однако нам представляется, что масштабы затопления будут не столь катастрофичными. Во-первых, мы считаем оценку подъема уровня на 1 м в 100 лет не достаточно обоснованной. В настоящее время большинство специалистов придерживается мнения, что скорее всего суммарный подъем не превысит 50 см. Во-вторых, волновая переработка многих крупных береговых аккумулятивных форм, прошедших длительный путь развития, не будет столь существенной, как предсказывается. Метод математического моделирования, о котором мы говорили, примененный для различных участков аккумулятивных берегов России показал, что даже при подъеме уровня на 1 м за 100 лет береговая линия отступит в сторону суши не более, чем на первые десятки метров, а сами аккумулятивные формы, такие как Куршская коса, Анапская пересыпь в целом не пострадают.

Говоря о проблемах, которые могут возникнуть в результате изменения гидрологических условий во внутренних морях, связанных с Мировым океаном, из-за увеличения солености их поверхностных вод, особое внимание следует уделить Черному морю. В нем даже небольшое увеличение притока средиземноморских вод через Босфор может повлечь повышение границы, отделяющей поверхностный слой насыщенной кислородом воды от подстилающей водной толщи, зараженной сероводородом. Притока пресных вод с суши, которые могли бы компенсировать этот подъем, ожидать не приходится из-за поднятия базиса эрозии (уровня моря) и почти полной зарегулированности крупных черноморских рек человеком. Большая скорость возникновения сероводородного заражения в Черном море в прошлом позволяет полагать, что даже незначительное увеличение притока тяжелых, соленых средиземноморских вод может повлечь за собой перемещение верхней границы заражения на меньшие глубины. В некоторых районах Черного моря эта граница уже сейчас находится вблизи бровки шельфа на

глубине 150 м. При дальнейшем уменьшении слоя воды, насыщенной кислородом, нижняя часть шельфа может оказаться в анаэробных условиях, где макро-жизнь невозможна.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Зададимся вопросом: следует ли опасаться населению прибрежных районов внутренних морей России тех изменений, которые вероятно произойдут в первом столетии третьего тысячелетия вследствие потепления климата и повышения уровня моря? На наш взгляд, ответ должен быть таким: принимать меры по уменьшению негативных последствий необходимо, но ожидать катастрофы причин нет.

Основная причина природных изменений в прибрежно-шельфовой зоне этих морей - повышение уровня и затопление низменных

участков побережий - не приведет к экологической катастрофе. Скорость повышения уровня моря, при условии принятой нами величины 0.5 м за 100 лет, немного больше, чем в 2 раза превысит наблюдаемую сейчас скорость. Усиление абразии и размывов аккумулятивных берегов, очевидно произойдет и к этому надо быть готовыми. Потепление климата в умеренной зоне будет не столь эффективным как в Арктике и поэтому ожидать таких серьезных изменений, связанных с климатическим фактором, как в прибрежной зоне арктических морей, во внутренних морях России не приходится.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 00-05-64077).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология Балтийского моря / Ред. Гуделис В.К., Емельянов Е.М. Вильнюс: Моклас, 1976. 283 с.
2. Израэль Ю.А., Павлов А.П., Анохин Ю.А. Анализ современных и ожидаемых в будущем изменений климата и криолитозоны в северных регионах России // Метеорология и гидрология. 1999. № 3. С. 13-27.
3. Каплин П.А., Селиванов А.О. Изменения уровня морей России и развитие берегов: прошлое, настоящее, будущее. М.: ГЕОС, 1999. 299 с.
4. Клиге Р.К., Данилов И.Д., Конищев В.Н. История гидросферы. М.: Научный мир, 1998. 369 с.
5. Невеский Е.Н. Процессы осадкообразования в прибрежной зоне моря. М.: Наука, 1967. 255 с.
6. Невеская Л.А. Позднечетвертичные двустворчатые моллюски Черного моря, их систематика и экология // Тр. Палеонтологического ин-та АН СССР. 1965. 105 с.
7. Невеский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 236 с.
8. Павлидис Ю.А., Леонтьев И.О. Прогноз развития береговой зоны Восточно-Сибирского моря при повышении его уровня и потеплении климата // Вестник РФФИ. 2000. № 1. С. 31-39.

#### Possible Ways of the Development of the Coasts and Shelves in the Russian Seas under the Condition of Climate Warming and Increase in the Sea Level

*Yu.A. Pavlidis, F.A. Shcherbakov*

Up to the authors opinion, the best way for the prediction of inner shelves changing entered into temperate climatical zone is to use geological analogical comparison with recent paleogeographical warm periods. The modern history of inner shelves is in close connection with global environment changing such as climate, sea level uplifting, oceanological characteristics etc. The most environment effects are fixes in the Past Pleistocene-Holocene periods during Arctic glacial degradation and stand by of modern natural conditions.

#### Ссылка на статью:



**Павлидис Ю.А., Щербаков Ф.А. Возможные пути развития побережий и шельфов внутренних морей России в условиях потепления климата и повышения их уровня // Океанология. 2002. Т. 42. № 6. С. 920-929.**