

## НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЙ ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ ВИСЛИНСКОЙ КОСЫ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ

Н.Н. Дунаев

*Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН,  
117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36  
e-mail: [dunaev@ocean.ru](mailto:dunaev@ocean.ru)*

Статья поступила в редакцию 25.03.2018, одобрена к печати 20.08.2018

Любое прогнозирование опирается на принятые исходные позиции. В настоящее время применительно к береговым аккумулятивным формам сценарий их развития обычно базируется на представлениях о повышении уровня моря и запасов соответствующего рыхлого обломочного материала. Однако в региональных геосистемах существенным, а нередко и определяющим фактором, являются неотектонические условия. Изучение неотектоники любой территории более продуктивно, если рассматривать ее местоположение с учетом исторической эволюции и общей геолого-географической обстановки соответствующего региона. Это в полной мере относится к району расположения Вислинской косы. В геотектоническом отношении он приурочен к юго-восточному крылу Гданьской впадины, осложняющей крупную гемисинеклизу, в ложе которой формировалась акватория Балтийского моря по мере отступления последней стадии валдайского оледенения и последующего соединения с Мировым океаном. В ходе трансгрессии формировалась цепочка вдольбереговых баров, которые, соединившись, дали начало Вислинской пересыпи.

В результате выполненных исследований составлена картографическая модель неотектоники исследуемого района, где показана блоковая структура, в пределах которой произошло формирование Вислинской косы. Предлагаемый прогноз ее развития основан на анализе структурно-тектонической обстановки и голоценовой кинематики уровня моря. Показано, что эвстагический фактор не окажет заметного влияния на эволюцию косы, по крайней мере, на инженерном (50–60 лет) масштабе времени. Каких-либо катастрофических изменений в развитии по природному сценарию приморской части данной аккумулятивной формы почти на всем ее протяжении за это время не предвидится, поскольку прибрежный морфогенез адаптировался к современной ситуации. Исключение составляет приканальная дистальная часть косы, где размыв берега может быть остановлен реализацией инженерных решений. В дальней перспективе можно ожидать распад Калининградского залива на ряд озер вследствие заполнения осадками и слабого тектонического поднятия территории. Оценивая природную обстановку района, можно сказать, что развитие Вислинской косы дает повод для беспокойства, но не для паники.

**Ключевые слова:** Балтийское море, Вислинская коса, побережье, неотектоника, прогноз

### Введение

Изучение неотектоники любой территории малопродуктивно без рассмотрения ее местоположения в общей геолого-географической обстановке соответствующего региона, которая предопределяет своеобразную структуру

и локальные деформации конкретного геолого-геоморфологического объекта. Это обстоятельство предполагает определенный набор методических приемов для идентификации проявлений неотектоники и создания ее картографической модели. Последнее в полной мере касается крупных береговых аккумулятивных тел (форм), в ряду которых находится Вислинская коса, расположенная в пределах юго-восточного побережья Балтийского моря, исторически сформированная как типичная пересыпь. Такие формы могут находиться в одних или разных геотектонических условиях, располагаться в пределах одного или нескольких структурно-тектонических элементов (положительных и отрицательных, зон разломов, крыльев и замков складок, моноклиналей, флексур и др.) и соответственно быть подверженными похожему или разному воздействию экзогенных процессов, прежде всего ветро-волновых сопредельной морской акватории. При различии направленности, интенсивности и пространственного распределения вертикальных движений соответствующих участков земной коры разнообразие этого воздействия проявляется особенно наглядно. Поэтому, для обоснования прогноза их развития, неотектонические исследования должны сводиться прежде всего к построению структурной модели изучаемого района, чтобы представить картину тектонической организации геологического пространства (блоки, складки, разломы и др.) Без учета такого существенного фактора, определяющего наряду с другими палеогеографическую обстановку и эволюцию района, возможность объективного изучения динамики и обоснования прогноза развития расположенных в его пределах береговых аккумулятивных образований весьма ограничена.

Прибрежье Балтики привлекательно для развития российского и международного туризма, а также обладает большим рекреационным потенциалом, благоприятствующим, в частности, надлежащей организации пляжно-купального отдыха (Ермак, 2017). Работа в этом направлении требует проведения комплексных исследований, чтобы дать научно обоснованные прогнозы и рекомендации. В ряду таких исследований выявление неотектонической обстановки района как базиса, на котором протекают экзогенные морфолитодинамические процессы, приобретает одно из ведущих, если не первостепенное, значение.

В связи с изложенным кратко отметим некоторые характерные физико-географические, геолого-тектонические и палеогеографические особенности рассматриваемого объекта и сопредельной территории.

### **Краткая характеристика исследуемого района. Политико-географическое расположение Вислинской косы**

Вислинская (Балтийская) коса, до 1946 г. Фрише-Нерунг, представляет собой аккумулятивный барьер морского происхождения, расположенный в юго-восточной части Балтийского моря, ограничивая с этого направления Гданьский залив и отделяя от него Вислинскую (Калининградскую) вдольбереговую полузакрытую (полуоткрытую) лагуну площадью 838 км<sup>2</sup> и средней глубиной около 3 м. Адми-

нистративно коса поделена между Польшей и Россией. Поэтому иногда польскую часть косы называют Вислинской, а российскую – Балтийской. Лагуну часто в литературе именуют либо одноименным заливом, либо польскую часть называют Вислинским заливом, а российскую площадью 472 км<sup>2</sup> – Калининградским заливом. Водный режим этого бассейна преимущественно определяется связью с акваторией Балтийского моря через Балтийский (Пиллауский) канал и в меньшей степени зависит от речного стока (Навроцкая, Чубаренко, 2011). Канал заложен на месте Пиллауского (первоначально Фрише Гафф) пролива, образовавшегося естественным путем в результате сильного шторма 10 сентября 1510 г., что было в шестой раз за историческое время. В 1815 г. был построен маяк Пиллау и пролив стал называться Пиллауским. Ранее, в 1497 г., здесь был прорыт узкий мелкий канал, но стал судоходным лишь после этого шторма.

Считается, что корневая часть Вислинской косы приурочена к локальной возвышенности на правом берегу устья Смелой Вислы, где расположена польская деревня Микошево. Однако на самом деле она начинается ближе к г. Сопоту, изначально продолжаясь как пересыпь вплоть до г. Балтийска, находящегося уже в России. В связи со строительством Балтийского (Пиллауского) канала, расположенный к северу от него фрагмент пересыпи представлен Пиллауским полуостровом, а ее наибольшая южная часть функционирует как коса.

### **Геотектоническая позиция и геологическое строение района**

В геотектоническом отношении район расположен на юго-восточном крыле Гданьской впадины, осложняющей Балтийскую (Прибалтийскую, Балтийско-Белорусскую) гемисинеклизу. Последняя имеет вид крупного структурного залива, открытого на юго-западе и центриклинально замыкающегося на северо-востоке. Будучи частью Русской плиты Восточно-Европейской платформы (ВЕП), данная мегаформа сопрягается на западе с Балтийским щитом этой платформы. Формирование гемисинеклизы началось в протерозое и завершилось в среднем девоне. Согласно одной из версий, она возникла в результате субдукции океанической коры палеоокеана Япетус под западную окраину ВЕП. Субдукция, а затем и столкновение древних Восточно-Европейского и Северо-Американского континентов были причинами не только каледонской орогении, но и привели к формированию ряда прогибов, в том числе и гемисинеклизы, образованию разломов и локальных поднятий. Приуроченная к гемисинеклизе впадина Балтийского моря заполнялась осадочным чехлом в условиях открытости или закрытости по отношению к Мировому океану. В геологическом строении перекрывающего кристаллический фундамент (архейские гнейсы, гранито-гнейсы, кристаллические сланцы) чехла здесь участвуют осадочные отложения палеозоя–кайнозоя, отражающие морские и субаэральные обстановки ее истории, зафиксированные в структурно-формационных комплексах. В геологическом разрезе прибрежной части Юго-Восточной Балтики обнаружены терригенно-морские и карбонатно-морские отложения мелового воз-

раста, а также нерасчлененные, преимущественно континентальные, отложения палеогена и неогена мощностью до первых десятков метров. В толще этих третичных отложений доминируют континентальные фации с широким развитием озерно-болотных разновидностей. Отдельные песчанистые и глинистые горизонты содержат включения янтаря, в том числе промышленного содержания. Выше практически повсеместно распространены четвертичные отложения южно-литовского ледникового и межледникового комплексов (голоцен принимается как межледниковье) мощностью до нескольких десятков метров (Геологическая..., 1984; Афанасьев и др., 1979; Геология..., 1991; Харин, 1993; Харин, 2017). Краевые морены отступавшего поздневалдайского ледника выявлены в пределах акватории и сопредельной суши. На подводном склоне открытого моря прослеживаются пески, которые мористее сменяются илами (Свиридов, Емельянов, 2000). В Вислинском (Калининградском) заливе преобладают илы и пески (Zachowicz, Uscinowicz, 1997).

### Голоценовая эвстатика Балтийского моря как фактор образования крупных береговых аккумулятивных форм

Балтийское, самое пресноводное, море является молодой водной геосистемой. Его акватория формировалась в голоцене по мере отступления последней стадии валдайского оледенения позднего неоплейстоцена и последующего соединения с Мировым океаном. В целом ее облик определился в последние 2.5 тыс. лет, а границы и рельеф дна претерпевают разного масштаба изменения и в настоящее время. Отмечаемую дифференцированную проградацию береговой линии на сушу большинство исследователей региона увязывают с эвстатическим повышением уровня Мирового океана, инициированного наступившим, по их мнению, глобальным потеплением климата с конца XIX века. Эти представления разделяются далеко не всеми исследователями. И подобно тому, как формирование балтийской акватории и ее кинематика в этом процессе оцениваются по-разному (рис. 1), современное состояние ее уровня также дискуссионно.

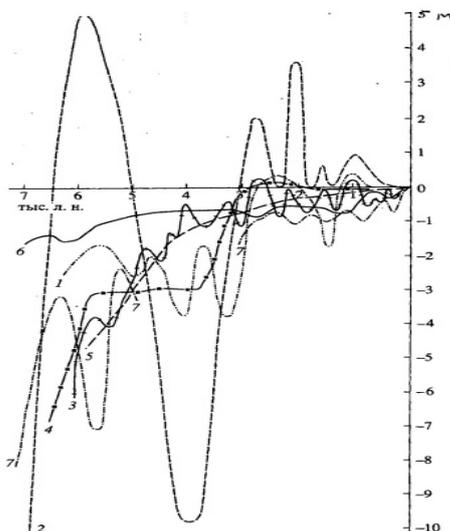


Рис. 1. Представления ряда исследователей о голоценовой трансгрессии Балтийского моря (Бадюкова и др., 2006): 1 – Кунскас, 1970; 2 – Жиндарев и др., 1979; 3 – Mörner, 1976; 4 – Mojski, 1988; 5 – Uscinowicz, 2003; 6 – Lampe et al., 2004; 7 – Kosciubowski, 1992.

Этому способствуют и наблюдения на гидрометеопостах. В частности, даже в период 1961–2003 гг., соответствующий климатической норме, принятой Всемирной метеорологической организацией в 2014 г., отмечается неоднозначность данных измерений на мало удаленных друг от друга гидрометеопостов Балтийска, Клайпеды и Пионерска (Навроцкая, Чубаренко, 2011).

Значительные пространства освобождающейся от ледника Балтийской впадины заполнялись отложениями дельт впадающих в нее речных долин. Накопление аллювиального и ледникового материала при активном волновом воздействии трансгрессирующего моря обусловило формирование и продвижение к берегу песчаных береговых валов и баров. Возникновение трансгрессивных баров у края дельтовой суши, где больше всего осадочного материала, послужило началом образования и весьма крупных аккумулятивных форм, развитие которых унаследовали, в частности, современные Куршская, Хельская и Вислинская косы. Сформированные типы морских берегов различаются в зависимости от состава и условий залегания горных пород, слагающих морское дно и сопредельную сушу, новейшей тектоники побережья, а также от особенностей волновых процессов, но доминирующими являются абразионно-аккумулятивные берега.

### **Строение и формирование Вислинской косы**

Исследования геолого-геоморфологического строения косы позволили сделать вывод о том, что ее тело, за исключением пляжей, низкой (1–1,5 м) призаливной террасы и относительно поднятого (2–2,5 м) останца морены в районе м. Высокий, в значительной степени состоит из переработанных ветром морских песков, образующих несколько генераций форм и прослеживающихся на 1–2 м ниже современного уреза (Kobelynskaaya et al., 2009). Дюнный микрорельеф отличается большим разнообразием. Вдоль уреза моря на всем протяжении косы наблюдается песчаный пляж средней ширины 20–25 м, максимальной 40–50 м в средней части косы и 8 м на севере. Поверхность пляжа осложнена небольшими валами. Береговая линия фестончатая с расстояниями между мысами фестонов 100–200 м (Бобыкина, Кобелянская, 2012). Непосредственно вдоль призаливных берегов в пределах косы эпизодически отмечаются молодые террасы примерно одинаковой высоты, не превышающей 1,5 м, и неширокие пляжи. В настоящее время эти террасы освоены растительностью, на многих участках они размываются, о чем свидетельствуют невысокие уступы размыва. Повсеместное присутствие фрагментов этих террас указывает на незначительное (около 0,5 м) превышение уровня моря в недалеком прошлом, либо на неотектоническое поднятие. Следует также иметь в виду, что Вислинский залив подвержен нагонам с амплитудой более 1 м. Поэтому некоторые небольшой площади террасовидные эфемерные аккумулятивные формы могли образоваться и при современном уровне Балтийского моря.

По результатам работ польских исследователей выявилось несколько генераций дюн разного возраста и морфологии (Mojski, 1988). Самые древние из них – это отдельные относительно высокие (до 10 м) дюны, наиболее удаленные от

современной береговой линии. По направлению к морю прослеживаются низкие гряды «коричневых дюн» с хорошо развитой ожелезненной подзолистой почвой, возраст которой составляет 1210+60 лет. Они удалены от современной береговой линии на расстояние около 2 км и имеют субширотное простирание. Их возраст оценивается в 4300–4500 лет и они расположены на древней регрессивной поверхности пальве, являющейся в своей основе регрессивной террасой. Следующая генерация дюн – «желтые дюны» более 30 м высоты, с ориентировкой 75–85°, глубокими котловинами выдувания и с плохо развитой почвой.

Их возраст определяется в 2.2–1.8 тыс. лет. Наиболее молодая эоловая генерация – современные авандюна и дюнный вал. Это «белые дюны», почти лишенные почвенного покрова и ориентированные вдоль современной береговой линии. На российской территории Вислинской косы наиболее древние и относительно высокие дюны первой генерации, а также низкие гряды «коричневых» дюн отсутствуют, что, по-видимому, может свидетельствовать о более позднем формировании этой части косы.

Как единое аккумулятивное тело Вислинская морфоскульптура образовалась в историческое время в результате соединения нескольких островных баров, которые еще в XII в. были автономны. Изначальные ядра рассматриваемой аккумулятивной формы заложились в ходе начавшейся примерно 8 тысяч лет назад литориновой фазы голоценовой трансгрессии в виде подводных валов, постепенно смещавшихся в сторону суши в силу специфики прибрежной гидродинамики морской акватории. При определенных условиях наиболее крупные из них были преобразованы в бары (Бадюкова и др., 2017). Надо полагать, что последние зарождались в результате поперечного по отношению к берегу перемещения наносов в приустьевых участках с их запасами рыхлых отложений, а также и на подводном продолжении сnivelированных морской абразией низких водоразделов. Слагающий их аллювиально-моренный материал позволял быстро формировать профиль равновесия, смещавшийся в сторону суши параллельно самому себе по мере продвижения морской трансгрессии. Со временем в морской береговой зоне наряду с поперечным перемещением наносов возникло и продольное их перемещение. Последнее привело к соединению баров в единую пересыпь, которая стала развиваться по своим закономерностям, включая активное проявление эоловых процессов. Лишь расположенный в северной части пересыпи приустьевой участок р. Преголя оказался наименее устойчивым к морскому ветро-волновому воздействию, и время от времени здесь образовывался проход в отчлененную пересыпью Вислинскую лагуну. К настоящему времени установлено, что морской северный берег косы на протяжении 3–5 км отступает со скоростью до 2–4 м/г., а южнее берег в целом стабильный. Прилагунный (призаливный) берег характеризуется участками размыва (Болдырев, Рябкова, 2001) и отступанием со скоростью от 0.5–0.6 до 2 м/г. (Есюкова, 2013)

### **Неотектоника района Вислинской косы Проявление неотектоники в береговых процессах**

Новейшая тектоника акцентирует исходные и создает новые неровности земной поверхности, контролируя тем самым специфику экзогенных морфо- и литодинамических процессов. Как следствие, она влияет на особенности развития

денудационного и аккумулятивного рельефа, транзита осадочного материала, формирования литологических разновидностей, мощностей и механических свойств отложений и др. Один из главных аспектов новейшей тектоники проявляется в создании исходных уклонов земной поверхности. Последние, в частности, предопределяют развитие береговой зоны по аккумулятивному или абразионному сценарию. Известно, например, что пляжеобразующий материал при поперечном к береговой линии его перемещения с подводного берегового склона (ПБС) подается к урезу воды при уклонах дна в тангенсах угла 0.002–0.01. При меньших уклонах ПБС и сопредельной суши происходит ее пассивное затопление, а при больших проявляются абразионные процессы.

Оптимальными уклонами подводного берегового склона, определяющими спокойное состояние прибрежной обстановки, можно считать величины в пределах 0.001–0.005. Литологические особенности, как и климат, в большей мере влияют на скорость береговых процессов, не будучи способными радикально изменить их направленность.

Можно подчеркнуть, что в условиях береговой зоны моря бывают природные ситуации, когда уклону дна достаточно измениться всего на 0.001 (в tg), чтобы аккумулятивный сценарий ее развития сменился абразионным или наоборот. А такое изменение может случиться уже завтра, поскольку до тех пор, пока в недрах Земли функционирует мощный тепловой котел, на ее поверхности нет и не будет тектонического покоя. Считается, что минимальный период перестройки глубинных процессов, инициирующих тектонические структурообразующие движения, составляет 10 тыс. лет (Грачев и др., 1990). Поэтому начало продолжающейся в настоящее время молодой тектонической фазы можно отнести к рубежу поздний неоплейстоцен–голоцен.

Важной особенностью новейших тектонических движений, в том числе и современных, является тот факт, что во временном их проявлении они характеризуются унаследованностью по знаку, а часто и по скорости (Калашникова, Магницкий, 1978). При этом унаследованность тектонических процессов детерминирует унаследованность береговых процессов, что хорошо отражено в типах берегов (Зенкович, 1964, Лукьянова, Холодилин, 1975). Скорость вертикальных тектонических смещений (считается значительной уже при величине 1 мм/г.) является, в частности, решающей в формировании подтипов берегов, местоположения, размеров и конфигурации береговых аккумулятивных форм, что доказано на примере морских побережий (Никифоров, 1977). При тектоническом опускании берегов усиливается их разрушение, которое тем сильнее, чем больше скорость опускания. Поднятие берега часто инициирует формирование и рост пересыпей, примкнувших аккумулятивных террас.

Какой-либо участок береговой зоны претерпевает существенные изменения и тогда, когда его береговая линия выходит из области влияния конкретного выраженного на земной поверхности структурно-тектонического элемента. Это происходит также при переходе ее на другой участок того же самого элемента, например, с падающего в сторону акватории крыла антиклинальной складки на противоположное крыло. Поэтому наиболее информативной тектонической моделью при исследованиях

береговых зон является неотектоническая, построенная по структурному принципу, где показываются новообразованные и унаследованные дислокации, отражающиеся в современном ландшафте и экзодинамике земной поверхности. Такие модели позволят полнее представить картину тектонической организации геологического пространства (блоки, складки, разломы и др.), направленность и, где возможно, активность движения выделенных элементов тектонической структуры. В свете изложенного очевидно, что важность прогнозирования развития исследуемой территории побуждает усилить внимание к изучению ее неотектоники.

О проявлениях неотектоники с большой достоверностью можно судить на основе структурно-геоморфологического подхода, предусматривающего изучение особенностей в распределении различных форм и элементов рельефа земной поверхности (ее тверди), его морфографических и морфометрических свойств в пограничной области суша – море, специфики распространения, залегания и состава сопредельных отложений, характера прибрежных абразионно-аккумулятивных, эрозионно-денудационных и других процессов. Выполненная дифференциация территории по этим критериям является основой для составления картографических неотектонических моделей, в том числе по структурному принципу вне зависимости от приверженности исследователя к какой-либо геодинамической концепции. Следует особенно подчеркнуть, что по выражению одного из ведущих геоморфологов Ю.А. Мещерякова (1981) «...рельеф был и остается одним из основных путей выявления новейших движений». Методика структурно-геоморфологического анализа территорий разработана ведущими отечественными учеными: В.Е. Хаиным, Н.П. Костенко, В.П. Философовым, Л.Г. Никифоровым и др., и прошла успешную многолетнюю практическую апробацию (Применение..., 1970).

### **Неотектоническое строение и геодинамика района**

Как отмечалось ранее, построение картографической модели неотектоники исследуемого района предусмотрено на основе результатов его структурно-геоморфологического анализа. Важнейшими критериями являются орографические и генетические особенности субаэрального и субаквального рельефа, простираения и типы морских берегов, очертание и сечение изогипс и изобат, ориентация и форма речных долин, как правило, берущих начало на положительных структурных формах и развивающихся по отрицательным неотектоническим структурным формам, либо по тектонически предопределенным линеаментам в виде ослабленных зон приповерхностных горизонтов земной коры, фиксирующих тектонические разломы.

Уже на мелкомасштабных физико-географических картах видна структурированность в размещении подходящих к морскому берегу мезоформ рельефа. Последняя проявляется в их согласованном северо-западном простираении и чередовании с севера на юг поднятий и впадин. По направлению с севера на юг наиболее крупными орографическими образованиями являются Самбийская возвышенность, акцентирующая Калининградский п-ов, Прегольская низменность, Вармийская и Эльблонгская возвышенности, разделенные Пасленским придолинным понижением рельефа, Вислинская низменность, уходящая в глубь суши к окрестностям города Быдгош.

В пределах Вислинской косы по направлению с севера на юг можно выделить 7 участков, различающихся по ширине, высоте рельефа, генерациям дюн, морфодинамике берегов и другой морфоскульптурной обстановкой. Причину рассмотренной фрагментации косы по простиранию с отчетливыми ее сужениями и расширениями (по четыре соответственно), а также батиметрическую дифференциацию залива следует искать в истории их происхождения и развития, степени участия сопутствующих факторов и агентов. Представляется логичным, что в условиях практически единого по геологическому строению субстрата района косы и залива заметная роль в их становлении и современном виде принадлежит дифференцированным вертикальным новейшим тектоническим движениям этого субстрата. Можно предполагать, что последние активизировались вследствие попеременного чередования ледниковой нагрузки/разгрузки. Наиболее выразительно такая активизация произошла в зонах тектонических разломов, сопровождаясь смещениями поним тектонических блоков. В рельефе Вислинского залива также можно выделить три района: северный, расположенный севернее выступа коренного берега с одноименным прибрежным мысом, центральный до Браневского выступа коренного берега и южный. Каждый из них характеризуется своеобразной циркуляцией водной массы в зависимости от преобладающих ветров.

В результате выполненных исследований составлена картографическая модель неотектоники исследуемого района (рис. 2), которая показывает доминирующее развитие пликативных структурных форм в виде разного масштаба поднятий и прогибов. Дизъюнктивные нарушения в целом отличаются более скромным значением, но важным на локальном уровне. Последнее имеет прямое отношение к Вислинской косе, о чем будет сказано ниже.

По степени активности поднятий, определяемой по их высотным отметкам, строению и глубинам врезов речных долин, их можно ранжировать по нисходящему значению в порядке: **VI, VIII, II, IV** (рис. 2). Последнее, по-видимому, и самое молодое. В отношении разрывных нарушений можно сказать, что их протяженность соответствует верхнекоровому заложению. Скорее всего, они не столько новообразованные, сколько представляют обновленный вариант более древних, активизированных четвертичными ледниками и землетрясениями в соседних районах. В пространственном распределении этих нарушений заметно преобладание северо-западных простираний на юге района, которое, начиная с Прегольского прогиба и далее на Самбийском валу, сменяется преимущественно северо-восточным простиранием. Данное обстоятельство вероятно является следствием местной дифференциации направленных с запада глобальных сжимающих напряжений. Согласно представленной модели неотектоники, выявленные разломы северо-западного простирания осложняют восточный склон Гданьской впадины, создавая его слабо дифференцированную блоковую структуру. В пределах этой структуры произошло формирование Вислинской косы.

Сопоставление геоморфологических данных Вислинской косы с неотектонической моделью показывает, что наиболее широкие ее участки и развитие высоких дюн хорошо согласуется с относительно приподнятыми блоками. Возможно, данные участки были более благоприятны по исходным уклонам, предопределивших более раннее формирование нуклеарных фрагментов косы (изначальной пересыпи) и последующей аккумуляции поставляемых с подводного склона береговых наносов.

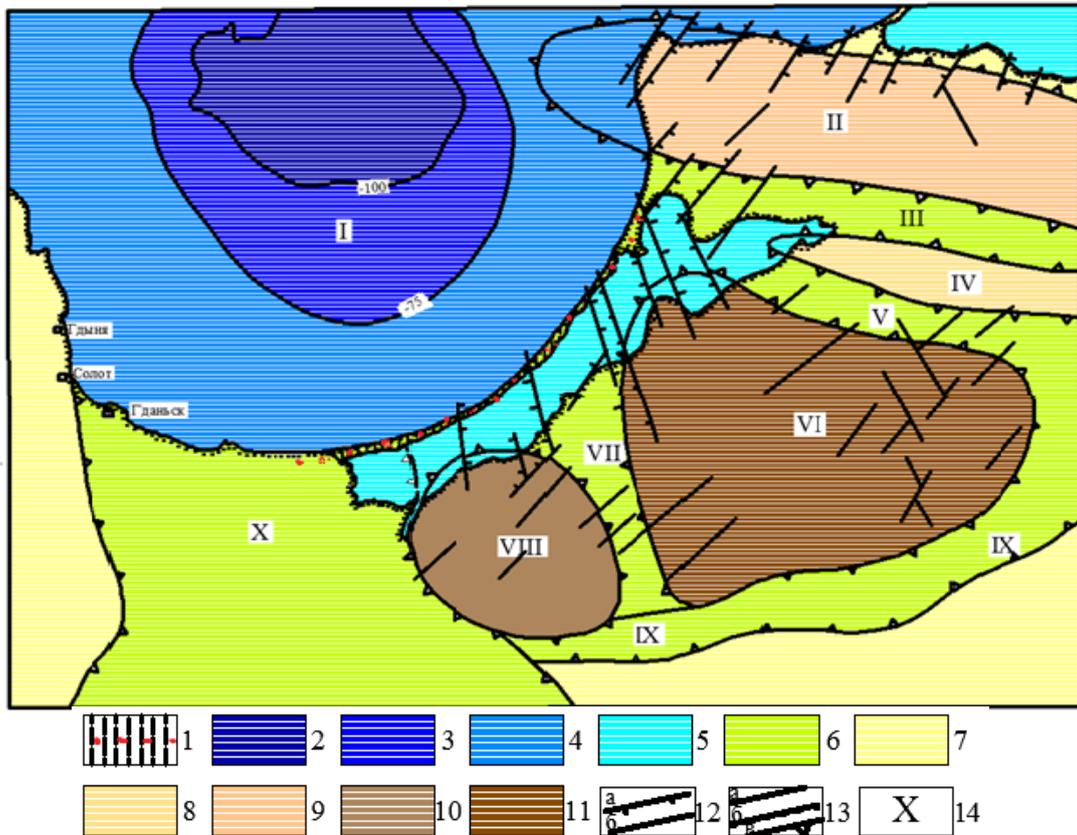


Рис. 2. Картографическая модель новейшей тектоники района Вислинской косы Балтийского моря

- 1 – Вислинская коса; 2–5 – Акватория, глубины: 2 – более 100 м, 3 – 100–75 м, 4 – 75–10 м, 5 – менее 10 м; 6–11 – Суша, высотный тренд: 0–250 м;  
 12 – разрывные нарушения: а – со смещением, б – прочие;  
 13 – границы: а – глубин акватории, б – суши, в – структурных форм;

14 – Структурные формы: I – Гданьская впадина;

Новейшие поднятия: II – Самбийский вал; IV – Междуреченский вал; VI – Вармийское брахиморфное; VIII – Эльблонгское изометричное.

Новейшие относительные опускания: Придолинные прогибы: III – Прегольский, V – Прохладненский, VII – Браневский, IX – Лава-Лынский, X – Вислинский.

В целом, новейшая геодинамика района характеризуется дифференцированным поднятием, в которое вовлекается и склон Гданьской впадины, где сформирована Вислинская пересыпь. В числе признаков поднятия можно отметить обрывистые берега врезающихся даже небольших водотоков, последовательное сокращение ширины придолинных прогибов вследствие роста сопредельных поднятий, на крыльях которых новейшие отложения омолаживаются вниз по склону, проявление разрывных нарушений в толще четвертичных отложений, наличие позднеголоценовых призаливных береговых террас и др. Можно предполагать, что в настоящее время скорость поднятия в районе косы примерно сопоставима (по крайней мере не меньше) со скоростью трансгрессии Балтийского моря в текущем климатическом цикле планеты. Именно этим обстоятельством можно объяснить стабильное состояние морского берега косы, поскольку в таких условиях глубина подводного берегового склона тоже остается практически неизменной, что позволяет ветро-волново-

му фактору мобилизовать имеющийся пока еще в достаточном количестве донный материал и перемещать его к берегу. Если бы скорость поднятия превышала темп трансгрессии, то морские волны теряли бы часть энергии дальше от берега, что могло привести к формированию новых подводных валов, которые необязательно сместились бы к современной береговой линии. При скорости поднятия меньшей темпа трансгрессии увеличится глубина подводного склона и морские волны с большей энергией будут подходить к берегу, обуславливая его размыв. На приканальном участке косы вследствие вмешательства антропогенного фактора главную роль играет прибрежная гидродинамика, которая в силу локальных условий предопределяет размыв косы.

### **Неотектонический прогноз развития Вислинской косы**

Любое прогнозирование опирается на принятые исходные позиции. В нашем исследовании принимаем представленные выше структурно-тектоническую обстановку рассматриваемого региона, его общую тенденцию к дифференцированному поднятию и голоценовую кинематику уровня моря, который, стабилизировавшись не позднее 2.5 тыс. лет назад, осложняется малоамплитудными (первые десятки сантиметров) колебаниями погодно-синоптического происхождения и кратковременными климатическими осцилляциями. Некоторые исследователи отмечают положительную фазу таких изменений в последние годы (Kowalewska-Kalkowska, Marks, 2011).

Неотектонический этап развития исследуемого региона сопровождался тектогенезом, который по Н.И. Николаеву (1988) можно отнести к реструктивному типу, характеризующемуся изменением прежней структуры, масштаба и интенсивности проявления. Неотектоника может усугубить негативное воздействие берегоформирующих факторов и деструкцию морских берегов, сдерживать их, либо вовсе нейтрализовать вплоть до проградации береговой линии. Продолжающееся с мелового периода ( $\approx 80$  млн л. н.) глобальное относительное понижение уровня Мирового океана и соответствующее поднятие континентов и других крупных территорий суши предполагает направленность земного климата к похолоданию, которое, как исторически установлено, будет осложняться геологически непродолжительными потеплениями и похолоданиями разного масштаба. Так, за последние 150 лет отчетливо выделяются 30-летние климатические циклы, из которых было три стадии похолодания и две стадии потепления. В настоящее время климат находится в фазе похолодания, которое продлится еще примерно 15 лет (Нигматулин и др. 2013). Как известно, похолодания не приводят к повышению уровня Мирового океана. Из этого следует, что эвстатический фактор не окажет заметного влияния на эволюцию Вислинской косы, по крайней мере, на инженерном (50–60 лет) масштабе времени.

Главное значение в динамике морской береговой зоны косы будет иметь баланс наносов. Дело в том, что в условиях длительной относительной стабилизации уровня моря поперечное перемещение наносов со дна уменьшается в связи с тем, что ветровые волны при их относительно стабилизировавшихся характеристиках имеют предел энергетических возможностей для мобилизации и перемещения к берегу рыхлого материала со дна. Механическая составляющая ветро-волновой

энергии больше расходуется не на перемещение к берегу наносов с подводного берегового склона, а на моделировку приурезового рельефа (Шуйский, 1986). Тем не менее, каких-либо катастрофических изменений в развитии по природному сценарию приморской части пересыпи почти на всем ее протяжении за это время не предвидится, поскольку прибрежный морфогенез адаптировался к современной ситуации. Исключение составляет приканальная дистальная часть пересыпи, где размыв берега может быть остановлен реализацией специальных инженерных решений. Калининградский залив будет поддерживаться за счет поступления морских вод по Балтийскому каналу и речного стока. Но в дальней перспективе можно ожидать его распад на ряд озер вследствие заполнения осадками и слабого тектонического поднятия территории. Отмечаемые в настоящее время участки размыва его берегов будут сокращаться, поскольку прогрессирующее обмеление акватории будет ослаблять ветро-волновое воздействие.

Заканчивая статью и оценивая данные по ситуации исследуемого района, можно перефразировать слова главы Комитета по оценке содержания двуокси углерода в атмосфере при НАН США У.Э. Нюренберга и сказать, что развитие Вислинской косы в XXI веке дает повод для беспокойства, но не для паники.

Работа выполнена по теме Госзадания № 0149-2018-0015 «Тектоника деформируемых литосферных плит и геодинамическая эволюция океанской литосферы: геодинамическая эволюция Арктики и зоны перехода от Тихого океана к Евразии; развитие катастрофических и потенциально опасных процессов в зонах субдукции, окраинных, внутренних морях и береговой зоне, анализ их геоэкологических последствий; оценка и генезис полезных ископаемых континентальных окраин и внутриокеанических областей, окраинных и внутренних морей».

### Литература

- Афанасьев Б.Л., Данилов И.Д., Недешева Г.Н., Смирнова М.С.* История геологического развития Прибалтики в плиоцен-четвертичное время. Рига: Зинатне, 1979. 69 с.
- Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д.* Геолого-геоморфологическое строение Куршской косы и некоторые этапы истории ее развития // Геоморфология. 2006. № 3. С. 37–48.
- Бадюкова Е.Н., Жиндарев Л.А., Лукьянова С.А., Соловьева Г.Д.* Крупные аккумулятивные формы на берегах юго-восточной Балтики // Океанология. 2017. Т. 5. № 4. С.641–649.
- Бобыкина В. П., Кобелянская Я.С.* Рельеф береговой зоны Вислинской косы // Балтийское море: Материалы XXIV Международной береговой конференции, посвященной 60-летию со дня основания Рабочей группы «Морские берега». Морские берега – эволюция, экология, экономика. Туапсе, 1–6 октября 2012 г. С. 67–70.
- Болдырев В.Л., Рябкова О.И.* Динамика береговых процессов на Калининградском побережье Балтийского моря // Изв. ВГО. 2001. Т. 133. Вып. 5. С. 41–49.
- Геологическая история и геохимия Балтийского моря / ред. Лисицин А.П. М.: Наука, 1984. 176 с.
- Геология и геоморфология Балтийского моря. Сб. ст. (Редактор Григалис А.А.). Л.: Наука. 1991. 420 с.

- Грачев А.Ф., Долуханов П.М. Последледниковое поднятие земной коры в Канаде и в Фенноскандии по данным радиоуглеродных датировок // *Baltica*. 1970. Vol. 4. С. 297–312.
- Ермак А.В. Как развивается внутренний туризм в России: опыт Калининградской области /Министерство по туризму Калининградской области 30 ноября 2017 г. URL: <http://www.profi.travel/articles/31885/details>, (дата обращения: 16.03.2018.).
- Есюкова Е.Е. Результаты еженедельного мониторинга побережья Вислинского залива в районе пос. прибрежный в 2011–2012 годах // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. 2013. Вып. 1. С. 82–91.
- Зенкович В.П. Основные направления исследований прибрежной зоны морей в СССР. Теоретические вопросы динамики морских берегов. М.: Наука, 1964. С. 3–13.
- Калашишкова И.В., Магницкий В.А. Об унаследованном характере современных движений земной коры // *Известия АН СССР. Физика Земли*. 1978. № 10. С. 13–20.
- Лукьянова С.А., Холодильник Н.А. Протяженность береговой линии мирового океана и различных типов берегов и побережий // *Вест. МГУ. Сер.географ.* 1975. № 1. С. 48–54.
- Мещеряков Ю.А. Рельеф и современная геодинамика. М.: Наука, 1981. 276 с.
- Навроцкая С.Е., Чубаренко Б.В. Климатические тренды изменения уровня моря у побережья Калининградской области // *Изв. КГТУ*. 2014. № 32. С. 133–42.
- Нигматулин Р.И., Вакуленко Н.В., Сонечкин Д.М. Глобальное потепление в реальности и в климатических моделях // *Турбулентность, динамика атмосферы и климата: Сборник трудовмеждународной конференции, посвященной памяти академика А.М. Обухова (13-16 мая 2013 г.)*. М., ИФА РАН, 2013. С. 76–79.
- Никифоров Л.Г. Структурная геоморфология морских побережий. М.: МГУ, 1977. 175 с.
- Николаев Н.И. О принципах составления карт новейшей тектоники при неотектоническом районировании // *Изв. ВУЗов. Геология и разведка*. 1982. № 4. С. 3–12.
- Применение геоморфологических методов в структурно – геоморфологических исследованиях (ред. И. П. Герасимов). М.: Наука, 1970. 296 с.
- Свиридов Н.И., Емельянов Е.М. Фациально – литологические комплексы четвертичных отложений центральной и юго-восточной Балтики // *Литология и полезные ископаемые*. 2000. № 3. С. 246–267.
- Харин Г.С. Структурно – формационное районирование // *Система Балтийского моря под ред. Лисицына А.П.* М.: Научный мир, 2017. С. 359–373.
- Харин Г.С. Происхождение и эволюция Балтийской синеклизы // *Тезисы докладов 7-й региональной конференции «Комплексное изучение бассейна Атлантического океана»*. Калининград: КГУ, 1993. С. 41.
- Шуйский Ю.Д. Проблемы исследования баланса наносов в береговой зоне морей. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 240 с.
- Kobelyanskay J., Piekarek-Jankowska, Boldyrev V.L., Bobykina V.P., Stepnievski P. The morphodynamics of the Vistula Spit seaward coast (Southern Baltic, Poland, Russia) // *Oceanological and Hidrobiological Studies*. 2009. V. XXXVIII Suppl. P. 41–56.
- Kowalewska-Kalkowska H., Marks R. Zmiany poziomu morza w swinoujsciu jako istotny dowod Postepujacych zmian klimatycznych na ziemi. Zagrozenia i systemy ostregania. Szczecin: Uniwersytet, Inst. Nauk o Morzu, 2011. P. 171–181.
- Mojski E. Development of the Vistula river delta and evolution of the Baltic Sea, an attempt at chronological correlation (The Baltic sea. Ed. B. Winterhalter) // *Geological Survey of Finland Special Paper*. 1988. V. 6. P. 39–51.
- Zachowicz, J., Uścińowicz S. Late Pleistocene and Holocene sediments of the Vistula Lagoon area// *Geologia i Geomorfologia*. 1997, No. 3. P. 29–37.

**.NEOTECTONIC FORECAST OF DEVELOPMENT  
OF THE VISTULA SPIT OF THE BALTIC SEA**

**N.N. Dunaev**

*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences,  
36 Nahimovskiy prospekt, Moscow, 117997, Russia, e-mail: [dunaev@ocean.ru](mailto:dunaev@ocean.ru)  
Submitted 25.03.2018, accepted 20.08.2018*

Any prediction relies on the accepted starting positions. At present with regard to coastal accumulative forms the forecast of their development is usually based on the ideas of increasing the sea level and stocks of the corresponding material. But in regional geosystems neotectonic conditions are an important and often a determining factor. The study of neotectonics of any territory is more productive if its location is considered taking into account the historical evolution and the general geological and geographic situation of the corresponding region. This fully applies to the area location of the Vistula Spit. Geotectonically it is confined to the southeastern wing of the Gdańsk depression, which complicates large hemisyncline, in the bed of which the Baltic Sea water area was formed as the last stage of the Valdai glaciation receded and subsequently merged with the World Ocean. During the transgression a chain of alongs horebars were formed, that gave rise to the Vistula barrier beach. In connection with the construction of the Baltic (Pillaus) canal the fragment of the transplant located to the north of it is represented by the Pillaus peninsula and its largest southern part functions as Spit.

As a result of the performed studies a cartographic model of the neotectonics of the investigated region is drawn up, where the block structure is shown, within which the Vistula Spit was formed. The forecast of its development in this study is based on an analysis of the structural-tectonic environment and the Holocene kinematics of sea level. It is shown that the eustatic factor will not have a noticeable effect on the evolution of the Spit, at least on the engineering (50-60 years) time scale. There are no catastrophic changes in the development of the coastal part of this accumulative form in almost all its extent during this time, as coastal morphogenesis has adapted to the current situation. An exception is the its distal part by the canal, where the erosion of the shore can be stopped by the implementation of engineering solutions. In the long term we can expect the collapse of the Kaliningrad Gulf into a number of lakes due to the filling of sediments and a weak tectonic uplift of the territory. Assessing the natural environment of the area we can say that the development of the Vistula Spit gives cause for concern, but not for panic.

**Keywords:** Baltic sea, Vistula spit, the coastal zone, neotectonics, forecast

**References**

- Afanas'ev B.L., Danilov I.D., Nedesheva G.N., and Smirnova M.S.* Istoriya geologicheskogo razvitiya Pribaltiki v pliotsen-chetvertichnoe vremya. Riga: Zinatne, 1979, 69 p.
- Badyukova E.N., Zhindarev L.A., Luk'yanova S.A., and Solov'eva G.D.* Geologo-geomorfologicheskoe stroenie Kurshskoi kosy I nekotorye etapy istorii ee razvitiya. *Geomorfologiya*, 2006, No. 3, pp. 37–48.
- Badyukova E.N., Zhindarev, L.A. Luk'yanova S.A., and Solov'eva G.D.* Krupnye akkumulyativnye formy na beregakh yugo-vostochnoi Baltiki. *Okeanologiya*, 2017, Vol. 57, No. 4, pp. 641–649.
- Bobykina V.P. and Kobelyanskaya Ya.S.* Rel'ef beregovoi zony Vislinskoi kosy (Baltiiskoe more). Proc. of XXIV International Coastal Conference "Sea Coasts – Evolution, Ecology, Economy" devoted to the 60th anniversary of the "Sea Coasts" Working Group of RAS Council, Tuapse, 1–6 October, 2012, pp. 67–70.

- Boldyrev V.L. and Ryabkova O.I.* Dinamika beregovykh protsessov na Kaliningradskom poberezh'e Baltiiskogo moray. *Izv. VGO*, 2001, Vol. 133, Issue 5, pp. 41–49.
- Ermak A.V.* Kak razvivaetsya vnutrennii turizm v Rossii: Opyt Kaliningradskoi oblasti, URL: <http://www.profi.travel/articles/31885/details>. Download date: March 16, 2018.
- Esyukova E.E.* Rezul'taty ezhenedel'nogo monitoring poberezh'ya vislinskogo zaliva v raione Pos. Pribrezhnyi v 2011–2012 godakh. *Vestnik Baltiiskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta*, 2013, Issue 1, pp. 82–91.
- Geologia i geomorfologia Baltiiskogo moria. Leningrad: Nauka, 1991, 420 p.
- Gerasimov I.P.* Primenenie geomorfologicheskikh metodov v strukturno-geomorfologicheskikh issledovaniyakh. Moskva: Nauka, 1970, 296 p.
- Grachev A.F. and Dolukhanov P.M.* Poslednikovoe podnyatie zemnoi kory v Kanade i v Fennoskandii po dannym radiouglerodnykh datirovok. *Baltica*, 1970, Vol. 4, pp. 297–312.
- Kalashnikova I.V. and Magnitskii V.A.* Ob unasledovannom kharaktere sovremennykh dvizhenii zemnoi kory. *Izvestiya AN SSSR, Fizika Zemli*, 1978, No. 10, pp. 13–20.
- Kharin G.S.* Proiskhozhdenie i evolyutsiya, Baltiiskoi sineklizy. Book of Abstracts: Sed'maya Regional'naya konferentsiya «Kompleksnoe izuchenie basseina Atlanticheskogo okeana», Kaliningrad: KSU, 1993, p. 41.
- Kharin G.S.* Strukturno – formacionnoe raionirovanie. Sistema Baltiiskogo moria. Edited by Lisitsin A.P., Moskva: Nauchnyi mir, 2017, pp. 359–373.
- Kobelyanskay J., Piekarek-Jankowska, Boldyrev V.L., Bobykina V.P., and Stepnievski P.* The morphodynamics of the Vistula Spit seaward coast (Southern Baltic, Poland, Russia). *Oceanological and Hidrobiological Studies*, 2009, Vol. XXXVIII, Suppl., 1, pp. 41–56.
- Kowalewska-Kalkowska H. and Marks R.* Zmiany poziomu morza w swinoujsci jako istotny dowod Postepujacych zmian klimatycznych na ziemi. Zagrozenia i systemy ostregania. Szczecin: Uniwersytet, Inst. Nauk o Morzu, 2011, pp. 171–181.
- Lisitsin A.P.* Geologicheskaya istoriya i geokhimiya Baltiiskogo moray. Moskva: Nauka, 1984, 176 p.
- Luk'yanova S.A. and Kholodilin N.A.* Prot'yazhennost' beregovoi linii mirovogo okeana i razlichnykh tipov beregov i poberezh'yi. *Vestnic MGU. Ser. geograf.*, 1975, No. 1, pp. 48–54.
- Meshcheryakov Yu. A.* Rel'ef i sovremennaya geodinamika, Moskva: Nauka, 1981, 276 p.
- Mojski E.* Development of the Vistula river delta and evolution of the Baltic Sea, an attempt at chronological correlation (The Baltic sea. Ed. B. Winterhalter). *Geological Survey of Finland Special Paper*, 1988, Vol. 6, pp. 39–51.
- Navrotskaya S.E. and Chubarenko B.V.* Klimaticheskie trendy izmeneniya urovnya morya u poberezh'ya Kaliningradskoi oblasti. *Izv. KGTU*, 2014, No. 32, pp. 133–142.
- Nigmatulin R.I., Vakulenko N.V., and Sonechkin D.M.* Global'noe poteplenie v real'nostii v klimaticheskikh modelyakh. Procc. of The International Conference dedicated to the memory of academician A.M. Obukhov Turbulence, Atmosphere and Climate Dynamics, Moscow: 13–16 May, 2013, Abstracts, Moskva: IFA RAS, 2013, pp. 76–79.
- Nikiforov L.G.* Strukturnaya geomorfologiya morskikh poberezhii. Moskva: MSU, 1977, 175 p.
- Nikolaev N.I.* O printsipakh sostavleniya kart noveishei tektoniki pri neotektonicheskom raionirovanii. *Izv. VUZov. Geologiya i razvedka*, 1982, No. 4, pp. 3–12.
- Shuisky Yu. D.* Problemy issledovaniya balansa nanosov v beregovoi zone morei. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1986, 240 p.
- Sviridov N.I. and Emel'yanov E.M.* Fatsial'no-litoloicheskie komplekсы chetvertichnykh otlozhenii tsentral'noi i yugo-vostochnoi Baltiki, *Litologiya i poleznye iskopaemye*, 2000, No. 3, pp. 246–267.
- Zachowicz, J. and Uscinowicz, S.* Late Pleistocene and Holocene sediments of the Vistula Lagoon area. *Geologia I Geomorfologia*, 1997, No. 3, pp. 29–37.
- Zenkovich V.P.* Osnovnye napravleniya issledovaniya pribrezhnoi zony morei v SSSR. In: Teoreticheskie voprosy dinamiki morskikh beregov, Moskva: Nauka, 1964, pp. 3–13.