

ПРИЛИВО-ОТЛИВНЫЕ ФОРМЫ МЕЗОРЕЛЬЕФА ДНА ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЯ

Введение

Общеизвестны очень крупные (гигантские) песчаные аккумулятивные гряды ("кошки") в пределах так называемой "Воронки" Белого моря, представляющей собой его крайнюю восточную часть, открытую в сторону Баренцева моря. Их морфология и динамика, контролируемые во многом приливо-отливными течениями, были изучены во время беломорских экспедиций Института океанологии еще в 60-х годах и описаны П.С. Чахотиним, В.С. Медведевым и В.В. Лонгиновым [1]. Наряду с этими гигантскими грядами, подобными тем, которые существуют в Северном море, на атлантическом шельфе Северной Америки и других приливных и штормовых шельфах Мирового океана, в Белом море выявлен целый "спектр" приливо-отливных, или "торрентогенных" [2] форм рельефа меньших размеров. Эти в основном аккумулятивные формы мезорельефа сложены песками, покрывающими практически сплошь все дно "Горла" и "Воронки" [3]. Некоторые из них были охарактеризованы этими авторами, насколько позволяли имевшиеся батиметрические данные, но в целом степень их изученности остается до настоящего времени недостаточной. В то же время полный набор таких форм детально изучен и подробно описан для зарубежных шельфов [4–7] и многие др.

Подобный такому "набору" комплекс форм донного мезорельефа был изучен авторами статьи при анализе новых данных высокоразрешающего сейсмоакустического профилирования, полученных в восточной части Белого моря в 11-м и 12-м рейсах НИС "Академик Сергей Вавилов" в 1997 г. Этими работами после длительного перерыва возобновились исследования Института океанологии в восточной части Белого моря, которые проводились более 20 лет назад [1–3]. Исследования 1997 г. (рис. 1) проводились с помощью судового узлового параметрического профилографа/эхолота ПАРАСАУНД производства фирмы "Круп Атлас Электроник" (ФРГ), высокая эффективность которого для исследования строения дна других шельфовых районов продемонстрирована в предшествующих рейсах [8–9]. Съемка, выполненная вдоль двух региональных профилей (рис. 1), обеспечила детальное изучение рельефа дна и структуры первых метров (иногда до 10–15 м) слагающих его осадков и пород (рис. 2). Однако на большей части исследованных участков плотные песчаные отложения на поверхности дна рассеивают высокочастотные акустические сигналы и экранируют строение подстилающей осадочной толщи.

Наблюдаемые приливо-отливные формы рельефа

Аккумулятивные формы. Всего на двух анализируемых профилях нами выделено шесть типов обусловленных действием приливо-отливных течений аккумулятивных форм рельефа и два типа, которые мы считаем эрозионными.

Наиболее распространенной группой подобных аккумулятивных форм мезорельефа дна являются песчаные волны (рис. 2А, 3А), развитые вдоль юго-восточной периферии Кольского полуострова. Это средней величины (до 5–6 м высотой и шириной в основании до 400 м) валообразные пологие выступы дна, длинные оси которых ориентированы по нормали к направлению приливо-отливных течений, как это и имеет место на всех подвергающихся воздействию приливов и океанских штормов шельфах [4]. На полученных записях ПАРАСАУНДа выделяются два типа песчаных волн: асимметричные и симметричные.

Асимметричные песчаные волны (рис. 3А, участки 18 и 19), противоположные склоны которых имеют разную крутизну и соответственно длину, наблюдаются чаще. Подобные формы достаточно подробно описаны для приливного шельфа Западной Европы, например, Северного моря. В обзоре В.В. Лонгинова [10] мы видим очень похожий на беломорские формы пример именно из этого бассейна со ссылкой на работы Вен Веена еще 30-х годов. Характерной особенностью таких песчаных волн является, как известно, строгая корреляция между крутизной их склонов и вектором направления равнодействующей

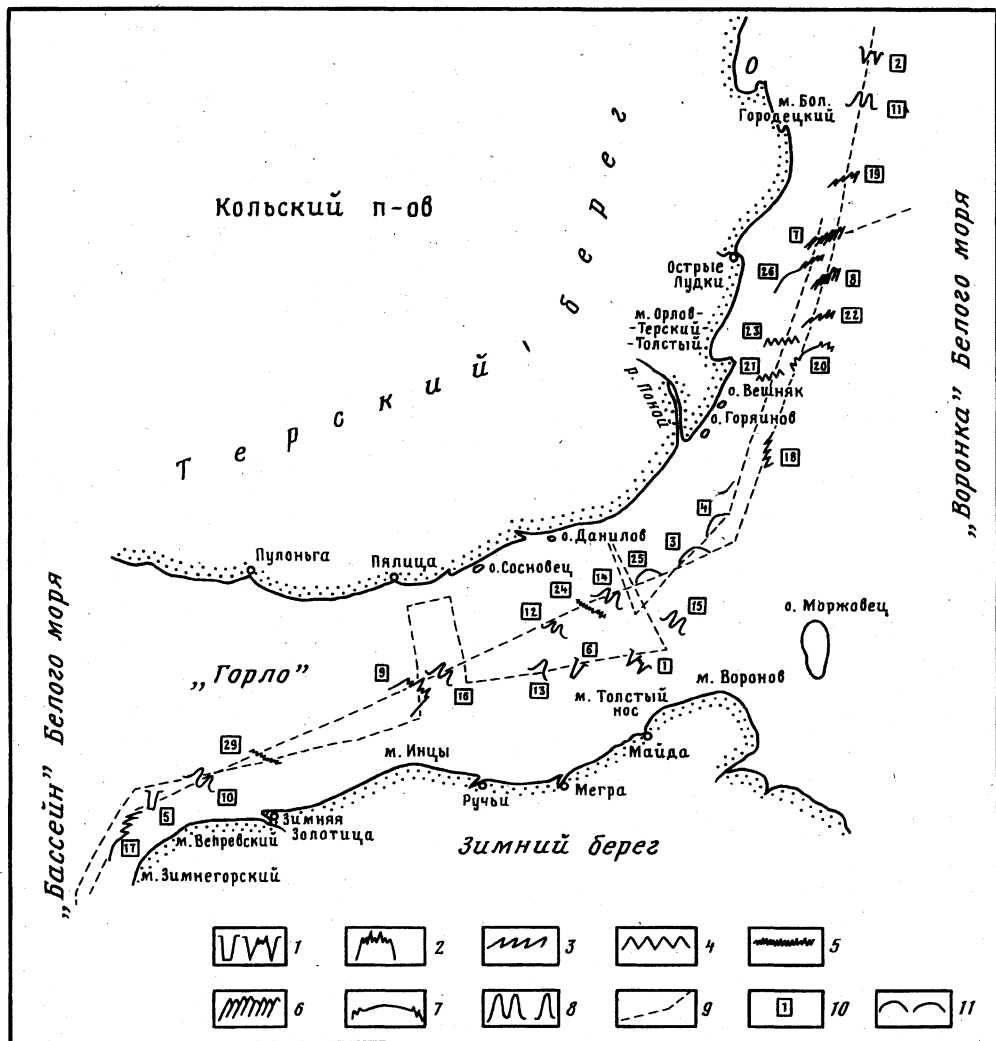


Рис. 1. Схема расположения профилей параметрического профилографа ПАРАСАУНД 11- и 12-го рейсов НИС "Академик Сергей Вавилов" (1997 г.) в Белом море с выделенными на них типовыми участками приливо-отливных форм рельефа

1 – эрозионные врезы; 2 – песчаные массивы; 3 – асимметричные песчаные волны; 4 – симметричные песчаные волны; 5 – песчаные рифели; 6 – обнажения на дне палеозойских осадочных пород; 7 – "гладкие пески"; 8 – песчаные гряды; 9 – профили ПАРАСАУНДА; 10 – номера типовых участков; 11 – гладкие песчаные покровы

приливно и отливных течений: крутой склон совпадает с этим вектором, а пологий – направлен в обратную сторону. В рассматриваемом районе Белого моря наблюдаются серии асимметричных волн с более крутыми как южными, так и северными склонами.

Первый тип асимметричных песчаных волн, у которых крутые склоны падают в сторону центрального бассейна Белого моря, развит преимущественно в "Горле" и в прилегающей части "Воронки". Только по периферии Терского берега Кольского полуострова на выходе в Баренцево море появляются песчаные волны, крутые склоны которых обращены в сторону последнего. Таким образом, можно предположить, что образование асимметричных песчаных волн контролируется интегральными скоростями придонных приливных и отливных течений. В "Горле" в прилегающей части "Воронки" в придонном слое, по-видимому, господствует суммарный поток холодных и соленых баренцевоморских вод,

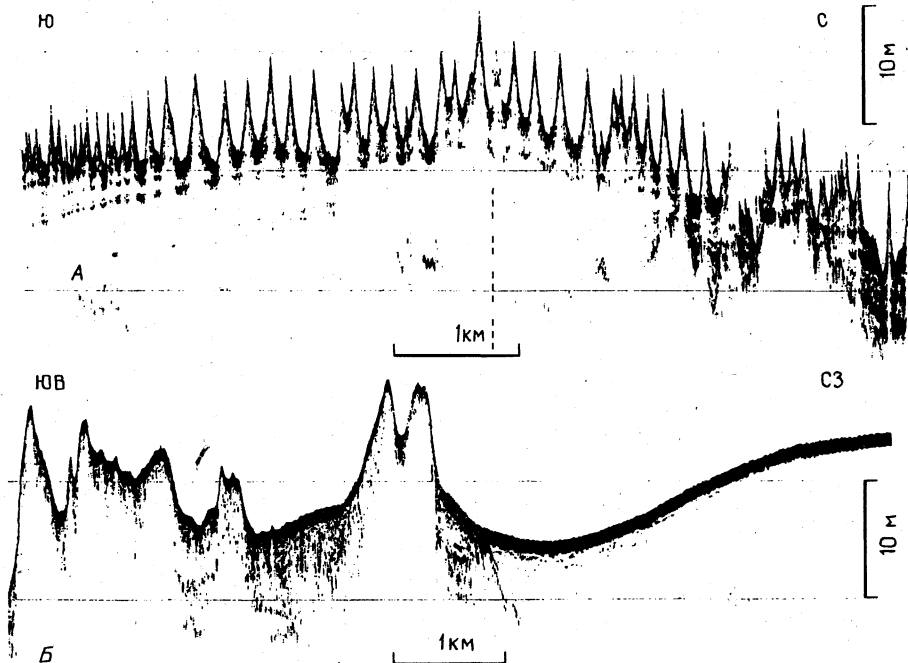


Рис. 2. Примеры записей профилографа ПАРАСАУНД в "Горле" и "Воронке" Белого моря (фрагменты профилей 11-го рейса НИС "Академик Сергей Вавилов")

А – симметричные песчаные волны; Б – песчаные гряды и "гладкие пески"

направленный в сторону центрального бассейна Белого моря, который и формирует наблюдаемый профиль песчаных волн с крутым южным склоном. Это обусловлено четкой двухслойной структурой сравнительно маломощной водной толщи в "Горле" Белого моря, основу нижнего придонного слоя которой составляют именно баренцевоморские воды. Напротив, в отливном течении здесь господствует поток приповерхностных относительно опресненных и более теплых беломорских вод, слабо влияющий на донные осадки. Рельефообразующая роль этого отливного течения из Белого моря, по-видимому, становится достаточно активной только на самом выходе в Баренцево море, особенно у северо-восточной окраины Кольского полуострова, что и находит свое отражение в асимметричном профиле песчаных волн с крутым северным крылом. В 11-м рейсе НИС "Академик Сергей Вавилов" с помощью приборов "Поток" в "Горле" Белого моря измерены направленные в сторону Баренцева моря течения, скорость которых достигала 105,5 см/с.

Симметричные песчаные волны с примерно одинаковой крутизной противоположных склонов наблюдаются также достаточно часто в пределах исследованного участка Белого моря (рис. 2А и 3А, участки 21 и 22) как в "Горле", так и в прилегающей к Кольскому полуострову части "Воронки". Можно выделить также два подтипа симметричных песчаных волн. Первый подтип – формы с гладкими пологими склонами, такими же, как у асимметричных песчаных волн. Второй подтип – более резко очерченные формы с острыми вершинами и неровными склонами. Поверхность последних осложнена многочисленными мелкими элементами типа рифелей, образовавшимися в результате деятельности придонных течений. Песчаные волны второго подтипа распространены в большей степени, чем симметричные песчаные волны первого подтипа. Естественно предположить, что описанные песчаные волны симметричного профиля формируются на тех же участках дна "Горла" и западной части "Воронки" Белого моря, где в придонном слое воды скорости отливной и приливной составляющих этой реверсивной системы течений в целом уравновешены. Соответственно уравновешены их взвесенесущие и рельефообразующие способности. Здесь не возникает постоянной однонаправленной равнодействующей скоростей, как на участках формирования асимметричных песчаных волн.

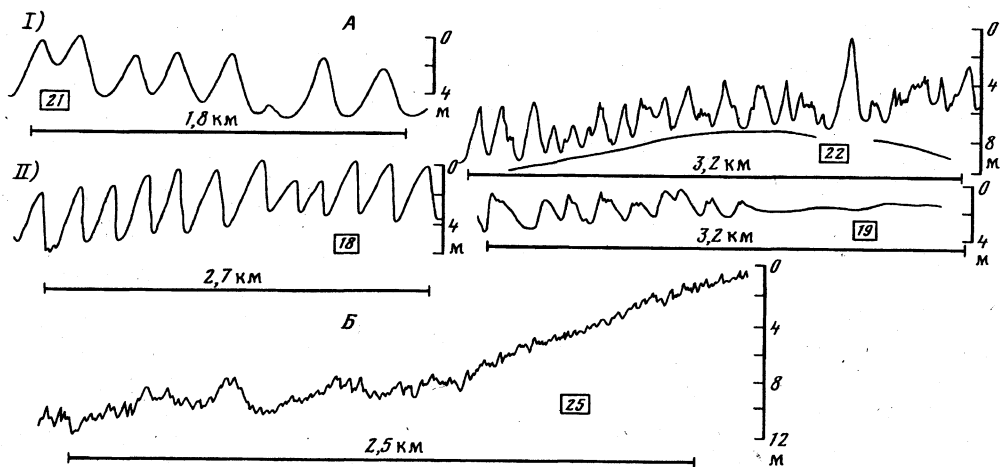


Рис. 3. Профили аккумулятивных форм рельефа

А – песчаные волны – симметричные (I), участки 21 и 22 на рис. 1, и асимметричные (II), участки 18 и 19; Б – песчаные рифели, участок 25

Особенностью рассмотренных выше аккумулятивных приливо-отливных форм рельефа дна является их регулярный характер, или цикличность. Они практически не встречаются одиночно и почти всегда образуют продолжительные серии, насчитывающие до 30 следующих друг за другом песчаных волн. В пределах проанализированных профилей одна такая серия может охватывать участок дна протяженностью до 5 км (рис. 2А, 3А).

На полученных записях профилографа ПАРАСАУНД выделяются и значительно более крупные аккумулятивные формы рельефа дна – песчаные гряды (рис. 2Б и 4Б), хотя эти профили не пересекают те гигантские гряды ("кошки"), о которых говорилось выше. Выявленные нами песчаные гряды представляют собой валообразные формы рельефа дна, вытянутые вдоль направления господствующих приливо-отливных течений. В целом, они очень похожи на подобные гряды, ранее описанные на приливных шельфах Европы и Америки Д. Свифтом [4] и многими другими авторами. В "Горле", где находится основная часть выявленных аккумулятивных песчаных гряд, и в исследованной нами части "Воронки" Белого моря они имеют высоту чаще всего не менее 10 м (местами до 20 м) при ширине у основания от 600–700 м до 1,5 км (рис. 2Б и 4Б). Их поверхность часто осложнена мелкими выступами и участками рифелей. Следует отметить, что в основании некоторых наиболее крупных песчаных гряд прослеживаются фрагменты выступов коренных пород, скорее всего ледникового генезиса. Последние, по-видимому, стимулировали формирование этих гряд в данном месте. Как правило, эти формы рельефа одиночные, в отличие от песчаных волн они не образуют регулярных серий.

Местами в "Горле" наблюдаются довольно крупные возвышенности, которые состоят из нескольких слившихся в основании подобных песчаных гряд. Они образуют еще более крупные положительные аккумулятивные формы рельефа дна, которые все же существенно меньше гигантских гряд – "кошек" в центральной части "Воронки" Белого моря. По аналогии с термином, введенным Д. Свифтом [4] для крупных аккумулятивных песчаных тел сложной конфигурации на шельфе Северной Америки, мы назвали эти комплексы песчаными массивами. В "Горле" Белого моря такие массивы представляют собой песчаные валы с довольно неровной поверхностью, которые вытянуты вдоль простирания этого "пролива", т.е. в направлении действия приливо-отливных течений. Их высота достигает 20–30 м при ширине у основания 4–10 км. В основании этих массивов обычно выделяются выступы коренного более древнего, по-видимому, моренного рельефа, который под экранирующей песчаной толщей на записях профилографа ПАРАСАУНД следится нечетко.

Контрастным по отношению к рассмотренным выше положительным волнам и грядам является другой наблюдаемый тип также созданных приливо-отливными течениями аккумулятивных форм рельефа – сложенные песками очень ровные и гладкие участки дна преимущественно в "Горле" Белого моря. Их поверхность имеет слабовыпуклый и очень

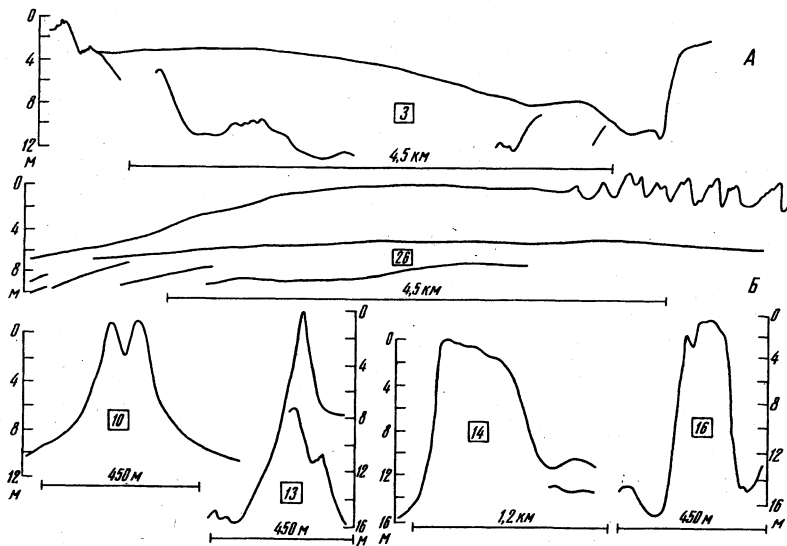


Рис. 4. Профили аккумулятивных форм рельефа

А – выровненные участки дна – "гладкие пески" (по [4]), участки 3 и 26 на рис. 1; Б – песчаные гряды, участки 10, 13, 14 и 16

пологий профиль (рис. 2Б и 4А, участки 3 и 26). На наш взгляд, вполне правомерно использовать для этих форм, предложенный Д. Свифтом [4] термин "гладкий песок" (smooth sand). Этим автором выявлены обширные участки сплошного развития таких песков на атлантическом шельфе Северной Америки. В "Горле" Белого моря участки "гладких песков" занимают существенно меньшие площади и, по-видимому, представляют собой поверхности песчаных линз, заполняющих впадины коренного (моренного) рельефа. Мощность таких линз достигает 10 м (рис. 4А), а их выровненная поверхность на профиле ПАРАСАУНДа в северо-восточной части "Горла" непрерывно следует на протяжении около 20 км. В Белом море также прослеживается связь аккумулятивных песчаных волн с зонами "гладких песков", которая была ранее установлена Д. Свифтом [4]. На наших профилях ПАРАСАУНДа четко видны небольшие серии песчаных волн на пологих склонах слабовыпуклой поверхности "гладких песков" (рис. 4А, участок 26).

Наконец, в качестве отдельного типа создаваемого приливо-отливными течениями аккумулятивного рельефа преимущественно песчаного морского дна могут быть выделены обширные поля сплошного развития специфических форм микрорельефа – песчаных рифелей высотой до 1 м (местами 1,5–1,7 м) при ширине основания около 50–60 м (рис. 3Б). Максимальная протяженность участков сплошного развития рифелей на профилях ПАРАСАУНДа достигает 5 км. Как и у всех описанных в литературе подобных микронеровностей песчаного дна, длинные оси наблюдаемых рифелей ориентированы вкрест направлению приливо-отливного течения.

Эрозионные формы. Высокая разрешающая способность профилографа ПАРАСАУНД, обеспечивающая большую детальность при изучении рельефа морского дна, позволила также выявить и закартографировать эрозионные формы, которые возникли на дне восточной части Белого моря в результате деятельности приливо-отливных течений. Здесь выделяется два типа эрозионных форм.

Первый тип, чисто эрозионный – это неглубокие врезы (промоины) в коренном, сложенном рыхлыми ледниковыми осадками дне. Их глубина составляет около 10 м при ширине верхней части порядка 150 м (рис. 5А). Они имеют характерный V-образный профиль.

Другой тип выделенных нами отрицательных форм рельефа дна следует считать скорее структурно-эрозионным. Это довольно крупные желоба глубиной до 30 м и шириной до 2 км, которые, несомненно, первично структурно обусловлены. Характерной чертой таких врезов, как, например, желоб близ мыса Вепревский на Зимнем берегу в начальной части "Горла" (рис. 1), является плоское дно (тальвег). Как правило, в основании одного из крутых

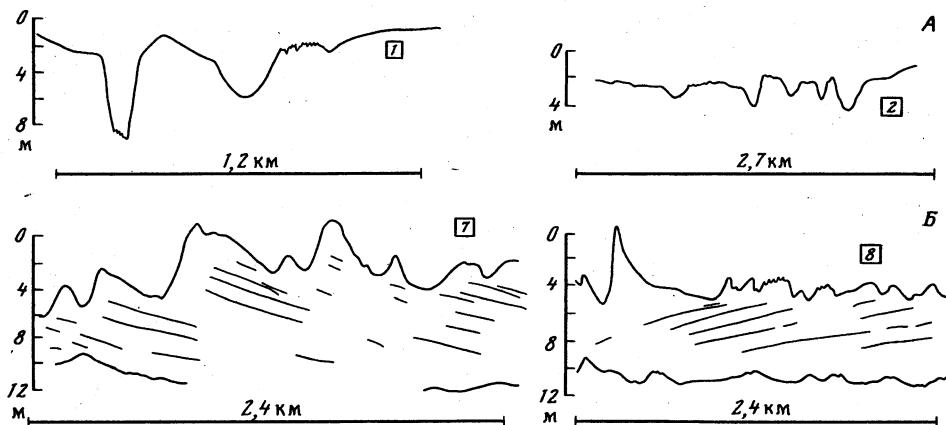


Рис. 5. Профили некоторых эрозионных форм, созданных приливо-отливными течениями
А – эрозионные врезы, участки 1 и 2 на рис. 1; Б – грядовые выходы палеозойских пластов, участки 7 и 8

склонов желоба наблюдается неглубокий узкий каньон. Последний отражает активное эрозионное воздействие современных придонных течений, тогда как морфология самого крупного желоба обусловлена его первичной разломной природой.

К эрозионным формам рельефа, созданного приливо-отливными течениями, мы относим также выявленные на записях профилографа ПАРАСАУНД в "Воронке" близ Терского берега Кольского полуострова обнажения на дне моря коренных пород палеозойского возраста (рис. 5Б). Они образуют характерную грядовую поверхность из выступающих вверх торцов пластов этих древних осадочных пород. Формирование грядового рельефа дна в местах выхода на его поверхность палеозойских пород, по-видимому, обусловлено интенсивным размывом приливо-отливными течениями маломощного здесь покрова рыхлых четвертичных отложений ледникового и ледниково-морского генезиса с последующим выносом продуктов размыва в Баренцево море. Это может свидетельствовать о том, что в данном месте имеется структурно обусловленное поднятие в рельефе докембрийско-палеозойского фундамента, которое контролировало малые мощности рыхлых четвертичных отложений.

Заключение

Основной целью данной статьи было познакомить научное сообщество с новыми детальными данными о рельефе дна восточной части Белого моря, впервые полученными в результате сейсмоакустического профилирования с применением новой современной техники – высокоразрешающим аппаратным комплексом ПАРАСАУНД. Авторы ограничились кратким описанием полученных данных с приведением наиболее характерных примеров и предложили классификацию выявленных аккумулятивных и эрозионных форм рельефа приливо-отливного беломорского шельфа, сформировавшихся в результате активной деятельности этих течений. На основании предварительного анализа полученных данных можно сформулировать ряд выводов об их генезисе.

1) В восточной части Белого моря, характеризующейся активным гидродинамическим режимом, развиты те же аккумулятивные формы рельефа дна (песчаные волны, гряды и массивы; зоны "гладкого песка" и рифелей и т.п.), что и на широко изученных приливных шельфах Европы и Америки (например, [4]). Наряду с этим, в "Горле" и "Воронке" Белого моря выявлены структурно обусловленные специфические формы, созданные приливо-отливными течениями (сравнительно крупные желоба, грядовые поверхности выходов коренных палеозойских пород).

2) Формирование асимметричных песчаных волн на большей части "Горла" и "Воронки" Белого моря контролируется приливным течением холодных и соленых баренцевоморских вод. Только на выходе в Баренцево море отливное течение относительно опресненных и более теплых беломорских вод начинает играть основную роль в образовании аккумулятивных песчаных волн. На участках, где скорости обоих течений примерно уравновешены, развиты симметричные песчаные волны.

3) В восточной части Белого моря аккумулятивные формы рельефа – песчаные волны и песчаные рифели, образующие протяженные серии – вытянуты обычно вкост направления приливо-отливных течений, тогда как одиночные более крупные аккумулятивные формы – песчаные гряды и массивы – вдоль этого направления.

4) Формирование некоторых крупных песчаных одиночных гряд и массивов в "Горле" и "Воронке" Белого моря контролировалось выступами более древнего коренного моренного рельефа.

5) В отличие от протяженных зон на приливных шельфах Европы и Америки, в восточной части Белого моря зоны "гладкого песка" приурочены к песчаным линзам, заполняющим впадины коренного моренного рельефа.

В заключение хотелось бы отметить, что исследования, проведенные в 11-м и 12-м рейсах НИС "Академик Сергей Вавилов" на высоком современном техническом уровне, позволили существенно детализировать картину рельефа дна "Горла" и "Воронки", сформированного приливо-отливными течениями, дополнив ее выявлением в восточной части Белого моря целого спектра как типичных для приливных шельфов форм, так и некоторых специфических для данного бассейна. Авторы надеются, что данная работа, после 20-летнего перерыва возобновившая изучение приливо-отливных форм рельефа дна в пределах "Горла" и "Воронки" Белого моря, является лишь первой в ряду подобных исследований в арктических экспедициях Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН. Поэтому одной из целей данной публикации являются рекомендации для последующего систематического изучения этих приливо-отливных форм рельефа в Белом море. Нам представляется, что необходимо с учетом полученных данных выполнить детальную площадную съемку различных типов структур и провести их геологическое опробование¹.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чахотин П.С., Медведев В.С., Лонгинов В.В. Песчаные волны и гряды на дне океана // Океанология. 1972. Т. XII. Вып. 3. С. 457–469.
2. Леонтьев О.К., Гершанович Д.Е. Шельф: некоторые вопросы терминологии, геоморфологии и геологической истории // Проблемы геологии шельфа. М.: Наука, 1975. С. 13–19.
3. Невеский Е.Н., Медведев В.С., Калинин В.В. Белое море. Седиментогенез и история развития в голоцене. М.: Наука, 1977. 236 с.
4. Swift D.J.P. Tidal sand ridges and shoal-retreat massifs // Marine Geol. 1975. V. 18. № 2. P. 105–134.
5. Fleming R.W. Factors controlling shelf sediments, dispersal layers on inner continental margin. In.: Sedimentary dynamics on continental shelves. Marine Geol. 1981. V. 42. № 1–4. P. 259–277.
6. Field M.S., Nelson C.H., Cachione D.A., Drake D.E. Sand waves on an epicontinental shelf: north Bering Sea // Marine Geol. 1981. V. 42. № 1–4. P. 233–258.
7. Figueiredo A.G., Sanders J.E., Swift D.J.P. Storm-graded layers on inner continental shelves: examples from southern Brazil and the Atlantic coast of the Central United States // Sedimentology. 1982. V. 31. № 3–4. P. 241–257.
8. Ионин А.С., Павлидис Ю.А., Шербаков Ф.А. Проблемы геоморфологии гляциальных шельфов // Геоморфология. 1993. № 1. С. 15–31.
9. Павлидис Ю.А. Шельф Мирового океана в позднечетвертичное время. М.: Наука, 1992. 272 с.
10. Лонгинов В.В. Очерки литодинамики океанов. М.: Наука, 1973. 243 с.

Институт океанологии РАН

Поступила в редакцию
20.05.98

¹ Авторы статьи выражают глубокую признательность экипажу НИС "Академик Сергей Вавилов" и коллегам – участникам регистрации данных на профилографе ПАРАСАУНД в 11-м и 12-м рейсах, а также Ю.А. Павлидису, ознакомившемуся с работой и высказавшему ряд ценных замечаний.

S u m m a r y

The data obtained by the parametric fathometer "Arasound" in 1997 during the run of the research ship "Academician Sergey Vavilov" in the eastern part of the White Sea were processed. Six accumulative and two erosion tidal landform types are characterized. Sand ridges, sand waves of two types, sand ripple and glib sands may be mentioned among accumulative forms. The conditions of such landform existence and their distribution within the area are discussed.

УДК 551.4.037:550.8.012(-925.12)

© 1999 г. **И.С. НОВИКОВ, А.И. ДАК**

**СКЛОНОВЫЕ ОРЕОЛЫ РАССЕЯНИЯ ИНДИКАТОРНЫХ МИНЕРАЛОВ
КИМБЕРЛИТОВ В ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ
СЕВЕРА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ**

Введение

Изучение закономерностей формирования ореолов рассеяния минералов кимберлитовых тел в пределах Сибирской платформы началось в 50-х годах, еще на стадии поиска первых кимберлитопоявлений. С тех пор выполнено большое количество тематических исследований, опубликовано значительное число статей и монографий, затрагивающих этот вопрос. Можно признать, что на качественном уровне проблема решена. Однако до построения полноценной теории формирования шлихо-минералогических ореолов рассеяния минералов-индикаторов кимберлитов (МИК) еще далеко. Во-первых, исследователи рассматривают преимущественно вопросы эволюции минеральной ассоциации, уже попавшей в аллювиальные отложения. Особенно подробно рассмотрен вопрос сохранности минералов в зависимости от их удаления от коренного источника [1–11]. Однако перед тем как попасть в русловые отложения, продукты разрушения кимберлитов должны сначала переместиться комплексом процессов по склону, если только кимберлитовое тело не выходит на поверхность непосредственно в русле реки. Формирующийся при этом первичный склоновый ореол рассеяния является основным источником, из которого характерные минералы кимберлитов попадают в речную сеть. Во-вторых, эволюция первичной ассоциации кимберлитовых минералов рассматривается, как правило, вне связи с конкретными геолого-геоморфологическими особенностями территории. Закономерности формирования первичных склоновых ореолов не только не нашли должного отражения в публикациях, но и вообще разработаны недостаточно. Очевидно, что в таких ореолах ведущую роль играют склоновые процессы, контролируемые в основном геолого-геоморфологическими обстановками. В геологическом отношении на севере Сибирской платформы можно выделить следующие крупные области (рис. 1): Анабарский щит, в пределах которого на поверхность выходят глубоко метаморфизованные породы архея и протерозоя; область распространения венд-кембрийских карбонатных пород из основания разреза Анабарской антеклизы и область выхода на поверхность песчаных пермских пород, пронизанных долеритовыми интрузиями, относящихся к верхам разреза антеклизы. Таким образом, для начала достаточно охарактеризовать ореолы для трех основных геологических обстановок. В основу данной публикации легли результаты, полученные А.И. Даком (АК "Алмазы России-Саха") в ходе тематических работ 1989–1991 гг. по картированию минералогических ореолов рассеяния ряда кимберлитовых тел и материалы геоморфологических исследований И.С. Новикова (ИГ СО РАН), проводившихся в 1993–1994 гг. Было изучено пять участков (рис. 2), из которых "Хардах", "Архей" и "Харахта" расположены в области