

# ДИНАМИКА ОСТРОВОВ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА ПО ДИСТАНЦИОННЫМ ДАННЫМ

Е.И. Пижанкова, А.В. Гаврилов

**Актуальность** исследований на шельфе и береговой зоне арктических морей определяется повышенным вниманием к освоению ресурсов углеводородов арктического шельфа и возрастающей ролью Северного морского пути в перевозке грузов. **Цель** – выявить тенденции в динамике седиментации и рельефа арктических мелководий, а также роль криогенеза в этих процессах. Для этого производился анализ разновременных дистанционных данных, временных рядов ледовитости арктических морей и температуры воздуха, опубликованных современных и исторических данных о криогенной морфолитодинамике береговой зоны и мелководий. **Район работ** охватывает регион моря Лаптевых, Карского и запад Восточно-Сибирского.

**Методы исследований** включали создание базы данных из разновременных космоснимков Landsat; синтез наиболее информативных каналов для выявления взвесей в морской воде с использованием ПО Scanex Image Processor; совмещение изображений с помощью той же программы, анализ электронных архив ВНИИГМИ МЦД и ААНИИ, топографических, геологических, неотектонических, литологических карт; измерительное дешифрирование и картографирование с помощью ПО MapInfo Professional.

Исследованиями в течение 2003-2018 гг. охватывались острова Новая Сибирь, Ляховские и континентальное побережье пролива Дмитрия Лаптева. Первоначально использовались аэрофотоснимки 1951-52 гг. и космоснимки Ландсат 2001 г. Установленные количественные характеристики скорости отступления берегов сопоставлялись с данными полевых наблюдений 1950-60-х и 2000-х годов. Дистанционными исследованиями удалось связать скорости отступления с такими факторами, как экспозиция берегов, стратиграфо-генетические комплексы и состав пород, новейшие тектонические структуры и морфоструктуры, наличие отмелей и осушек, характер снегонакопления. Были установлены особенности разрушения берегов, сложенных породами ледового и аласного комплексов, а также аллювиально-морских отложений. Впервые были оценены масштабы аккумулятивных процессов на побережьях этих островов.

Новый этап изучения динамики берегов был связан с установлением ведущей роли сокращения ледовитости арктических морей в ускорении их отступления, показавший 2-3 кратное увеличение скоростей термоабразии и термоденудации в начале XXI в. Усиление береговой и донной термоабразии приводит к увеличению количества взвешенных наносов в береговой зоне и на мелководьях, что фиксируется на космоснимках Ландсат. Анализ этих снимков за разные годы и сезоны съемки показал активизацию осадконакопления и возникновение новых островов в пределах мелководий. На Васильевской банке, где в 30-е годы XX века был разрушен о. Васильевский, возник остров Яя, фиксировавшийся на материалах космосъемки в 2007 г и открытый при аэровизуальных наблюдениях в 2013 г. (Гуков, 2014) Анализ космоснимков соседних участков акватории также показал формирование выходящих из-под уровня моря отмелей, а в ряде случаев – островов: Затопляемый, Осушной (Лейкина) и несколько других, доселе неизвестных.

Нередко им свойственна кольцеобразная форма. Такую или дугообразную форму имеют острова Наносный (возникший на месте разрушенного в 20-х годах XX века о. Фигурина к северу от о. Котельный), остров Песчаный на западе моря Лаптевых, Неизвестные в Восточно-Сибирском море близ Земли Бунге, косы вокруг островов архипелага Сергея Кирова, островов Свердруп, Воронина, Вилькицкого, Шокальского, Неупокоева в Карском море.

Основными в лито- и морфогенезе на мелководьях в высоких широтах арктических морей являются гидродинамические, ледовые и мерзлотные процессы. В усилении **гидродинамических** процессов существенную роль играет современное потепление климата и сокращение ледовитости арктических морей. Отрицательная в начале XX века среднегодовая температура придонной воды и донных отложений на изобатах от 2 до 5-7 м в 1980-х годов повысилась до положительных значений. А в 2000-х годах интервал положительных значений по данным И.А. Дмитренко (Dmitrenko et al., 2011) увеличился до изобаты 10 м. Это привело к расширению зоны сезонного и многолетнего оттаивания донных отложений. Увеличение температуры воздуха и воды, продолжительности безледного сезона, длины разгона волн, вероятности возникновения экстремальных штормовых нагонов, ускорение разрушения льдистых берегов увеличило объем талых осадков, способных к перемещению и аккумуляции. Это в немалой степени способствовало осадконакоплению на мелях и отмеченному выше образованию островов.

В то же время в зоне припая (изобаты 0-2 м), где лед смерзается с дном, и в настоящее время обеспечивается выхолаживание донных осадков и сохранение в их толще низких температур, достигающих  $-10...-12^{\circ}\text{C}$ .

**Ледовые процессы.** Зимой под напором сильных прижимных ветров из припайных и торосистых льдов создаются валы и гряды большой протяженности. Под действием ветров они продвигаются вверх по склонам положительных морфоструктур, увлекая за собой донные осадки. За счет бульдозерного воздействия торосистых льдов и стамух, как показывают исследования к северу от Аляски, образуются острова или, когда остров есть, - бары вокруг него (Кемпера et al, 1989). Бульдозерным воздействием вокруг островов создаются бары, предохраняющие острова от размыва. Наиболее ярко бары с сидящими на них цепочками стамух проявлены на космоснимках вокруг кольцевых островов Песчаный и Наносный.

**Мерзлотные процессы.** Промерзание осадков происходит в полосе припая (изобаты 0...2-2,5 м), когда аккумулятивное новообразование достигает глубин несколько менее 1 м. Оно облегчается тем, что малые глубины являются местом ежегодного образования стамух и донные осадки после их стаивания опреснены. Совместно с барами, опоясывающими многие кольцевые острова, промерзание обеспечивает стабильное и долговременное существование этих форм.

**Сценарии формирования островов кольцевой формы.** Восточно-арктические моря являются местом существования огромного количества стамух (Горбунов и др., 2007; 2008). Один из сценариев связан со складированием осадков по периметру стамух в условиях штормов (Гуков, 2014). Стамухи стаивают в конце теплого сезона, а осадки промерзают в течение следующей же зимы. Создаются условия для наращивания аккумулятивных образований и долговременного их существования. Другой сценарий основан на захоронении недотаявших стамух, которые внедряются в донные осадки до глубин 3 м и более. Аккумуляция осадков на месте захоронения включает фазу вытаивания захороненного льда, на месте которого создается лагуна.

**Динамика.** Разновременные космоснимки позволяют проследить динамику береговых линий островов. Для островов Карского моря и моря Лаптевых выявлены размыв и разрушение западных (наветренных) берегов и наращивание кос и баров с восточной стороны, их выдвигание в море или стремление замкнуть кольцо. Существующие косы, отшнуровывающие лагуны, либо соединяются, замыкая кольцо (остров Песчаный, Воронина), либо разрываются, меняя места стока воды из лагунных озер. В то же время динамика островов архипелага Сергея Кирова очень незначительна, что объясняется длительным существованием припая вокруг всего архипелага.

Показательна интенсивность динамики береговых процессов, выявленная при сравнении КС за 1984 и 2011 гг. на побережье моря Бофорта. Длина косы острова Пит Поинт увеличилась за 26 лет на 280 м, при этом она придвинулась к берегу на 540 м. Коренной берег отступил в среднем на 370 м, а значит, скорость составила 14 м/год.

Максимальная величина отступления составила 760 м, а значит, скорость достигала 30 м/год. К востоку от острова Пит Поинт возникла коса длиной 2 км.

### **Выводы**

1. Анализ разновременных дистанционных данных показал, что на шельфе арктических морей наблюдаются два разнонаправленных процесса – размыв и наращивание берегов, а на мелководьях – новообразование островов.

2. Активизация сезонного и многолетнего оттаивания донных отложений, отступления берегов под действием термоабразии и термоденудации продуцирует большое количество талых и оттаивающих осадков, способных к перемещению и аккумуляции.

3. На банках и мелководьях морей Лаптевых, Восточно-Сибирского образуются острова, в том числе кольцеобразной формы. Осадконакопление обусловлено гидродинамическими, ледовыми, и мерзлотными процессами, происходящими в условиях существования торосов и стамух большую часть года.

4. В предохранении новообразованных островов от размыва большую роль играют как мерзлое состояние пород, так и бары вокруг островов. Ежегодно формирующиеся на них стамухи гасят волнение со стороны моря.

5. Рассматриваются два сценария образования кольцеобразных островов. Наиболее реалистичным представляется сценарий захоронения недотаявших стамух и припайных льдов в ходе аккумуляции с последующим образованием лагуны в связи с их вытаиванием в теплые сезоны или периоды.

### **Литература**

Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н. Стамухи Восточно-Сибирского и Чукотского морей // Материалы гляциологических исследований, вып. 102, 2007, с. 41 – 47.

Горбунов Ю.А., Лосев С.М., Дымент Л.Н. Стамухи моря Лаптевых // Пробл. Арктики и Антарктики, 2008, № 2 (79), с. 111-116.

Гуков А.Ю. Возрождение острова Васильевского. Природа. 2014, № 5. С.70-73.

Dmitrenko I.A, Kirillov S.A., Bruno Tremblay L., Kassens H, Anisimov O. A., Lavrov S.A., Razumov S.O., Grigoriev M.N. Recent changes in shelf hydrography in the Siberian Arctic: Potential for subsea permafrost instability // Journal of geophysical research, vol. 116, C10027, doi:10.1029/2011JC007218, 2011

Kempema E.W., Reimnitz E., Barnes P.W. Sea ice sediment entrainment and rafting in the Arctic // J. Sediment. Petrol., 1989., N. 2, p. 308-317.

Reimnitz E., Barnes P.W., Harper J.R. A review of beach nourishment from ice transport of shoreface materials, Beafort Sea, Alaska // J. Coastal Res., 1990, v. 6 (2), p. 439-470.