



**Алексей Кучейко**

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР  
ООО «РИСКСАТ»



**Андрей Иванов**

ИНСТИТУТ ОКЕАНОЛОГИИ  
ИМ. П.П. ШИРШОВА РАН



**Кирилл Айнов**

СРЕДНЯЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНАЯ  
ШКОЛА № 30, Г. ЯКУТСК



**Елизавета Лисаченко**

ГИМНАЗИЯ ИМ. Н.В. ПУШКОВА,  
Г. ТРОИЦК (МОСКВА)

## ОБНАРУЖЕНИЕ ОТМЕЛЕЙ И МАЛЫХ ОСТРОВОВ В ЮЖНОЙ ЧАСТИ МОРЯ ЛАПТЕВЫХ ПО СПУТНИКОВЫМ ДАННЫМ

Шельф арктических морей до сих пор недостаточно подробно изучен и подвержен динамическим изменениям, что необходимо учитывать при организации судоходства и хозяйственной деятельности в Арктике. Целью исследования является поиск и картографирование малых островов и отмелей в юго-восточной части моря Лаптевых на основе анализа спутниковых снимков из открытых источников. Район исследования, поделенный на два подрайона (рис. 1), охватывает южную часть моря Лаптевых около дельты р. Лена.

Основными задачами являлись сбор данных малооблачных спутниковых снимков на южную часть моря Лаптевых в безледный период (июль–октябрь), анализ спутниковых снимков, выявление малых островов, стамух и отмелей, а также оценка затопляемости и видимости малых островов, в том числе о. Яя. Для решения перечисленных задач применялись различные методы анализа спутниковых сним-

ков, по итогам составлена карта отмелей на исследуемую часть моря Лаптевых.

### Район исследования и описание подходов к решению задач

Море Лаптевых — окраинное море Северного Ледовитого океана, является одним из основных районов образования крупных ледовых полей, осложненных полыньями и стамухами [1]. Особенности строения шельфа моря Лаптевых определяются наличием подводных реликтовых долин рек Яна и Лена, а также многочисленных отмелей и банок [2, 3]. Крупнейшими из отмелей являются Семёновское мелководье и Васильевская банка, соответствующие исчезнувшим в середине XX в. двум одноименным островам (рис. 2).

На акватории моря хорошо выражены приливные колебания уровня моря, величина которых составляет около 0,5 м [1]. Кроме приливных колебаний в море Лаптевых наблюдаются сезонные и сгонно-нагонные колебания уровня. Сезонные изме-

нения уровня сильнее выражены в юго-восточной части моря ближе к устьям рек, причем размах колебаний здесь не превышает 40 см [2]. Сгоны и нагоны обуславливают наибольшие понижения и повышения уровня в море. Размах колебаний положения уровня между сгонами и нагонами достигает 1–2 м, а иногда доходит до 2,5 м (бухта Тикси). Чаще всего сгоны и нагоны происходят осенью при сильных и устойчивых ветрах. В море Лаптевых отмечается повышение среднегодовых значений высот уровня за последнее время на 4–10 см, что, возможно, связано с интенсивным таянием льдов вследствие глобального потепления климата.

Таким образом, основным фактором, влияющим на видимость островов и отмелей в море Лаптевых на спутниковых снимках, могут являться сгонно-нагонные явления, влияние которых на уровень моря (от 1 до 2,5 м) существенно превышает вклад других факторов. В частности, самые большие изменения уровня моря происходят при совпадении нескольких факторов.

С учетом доступности спутниковых снимков были выбраны четыре основных подхода к выявлению островов и отмелей по спутниковым снимкам:

- мониторинг акватории во время отлива и сильного сгона, когда отмели и низкие острова обнажаются или становятся более заметными;
- наблюдение за ледяным покровом с целью обнаружения опасных ледяных образований — торосов и стамух (льда, севшего на грунт), систематически образующихся над отмелями и у малых островов;
- обнаружение и картографирование областей с аномальным цветом (светло-коричневым или



Рис. 1. Район исследования островов и отмелей — приустьевая область р. Лена в южной части моря Лаптевых



Рис. 2. Острова Семёновский и Васильевский, исчезнувшие в середине XX в. в море Лаптевых. На их месте сейчас находится обширное Семёновское мелководье. Административная карта СССР, 1936 г.

зеленоватым) на оптических мультиспектральных снимках, которые образуются в районах песчаных отмелей и осложнены шлейфами с осадочным материалом из-за воздействия местных течений;

- анализ характеристик взволнованной морской поверхности при ветре от умеренного до сильного, когда над мелководьями образуются обрушения волн (буруны), имеющие на оптических снимках светлый тон

(на морских навигационных картах такие зоны обозначаются отметкой «breakers» — буруны).

При поиске низких островов и отмелей был проведен анализ оптических снимков спектрорадиометров MODIS на ИСЗ Terra и Aqua за 2001–2018 гг., снимков ИСЗ Landsat 8 и Sentinel-2, а также радиолокационных изображений (РЛИ) Sentinel-1 за 2016–2018 гг. Для доступа к снимкам и РЛИ использовались базы данных NASA WorldView, портал SciHub европейской программы Copernicus, EarthExplorer геологической службы USGS и веб-платформа Sentinel Hub (проект Sinergise).

Детальные спутниковые снимки были сведены в общую базу с помощью веб-ГИС приложения GeoMixer®. Для обнаружения и идентификации подводных форм рельефа использовались карты и данные,

находящиеся в открытом доступе [4], а также карта C-MAP, размещенная на морском портале ГК «СКАНЭКС».

Методика исследования предполагает поиск космоснимков, соответствующих самому низкому уровню моря из-за отливов и сгонных явлений, когда обнажившиеся отмели хорошо заметны даже на снимках низкого пространственного разрешения. В дальнейшем проводился подробный анализ обнаруженных отмелей с использованием детальных оптических снимков и РЛИ с разрешением 10–30 м на длительном временном интервале. Кроме того, проводился анализ радиолокационных изображений с целью обнаружения стамух и ледяных образований вокруг выявленных отмелей.

Для оценки размеров островов, расположенных над водой, использовались оптические снимки ИСЗ

Landsat 8 (синтез инфракрасных (ИК) спектральных каналов 5, 6 и 4) и Sentinel-2 (синтез 12, 8А и 4 или 12–11–11 каналов).

## Результаты исследований

### 1. Юго-восточная часть моря

#### Лаптевых от приустьевых районов р. Лена до о. Столбовой

В результате анализа снимков спектрорадиометра MODIS для исследований были выбраны три снимка:

- 1) снимок от 25.08.2000 г. — первый малооблачный с низким уровнем моря из имеющихся в базе WorldView; 2) снимок от 11.09.2005 г. с самым низким уровнем моря и самыми большими размерами отмелей из проанализированных за период 2000–2018 гг. (рис. 3); 3) снимок от 11.08.2018 г. — самый актуальный снимок 2018 г. с низким уровнем моря, имевшийся в базе.

Табл. 1. Острова и отмели, обнаруженные на оптических спутниковых снимках в юго-восточной части моря Лаптевых

№	Идентификация обнаруженной отмели	Координаты центра (СК WGS-1984)	Характеристика отмели
1	О. Яя в 75 км к западу от о. Столбовой. Совпадает с банкой Васильевской	73.9897 с.ш., 133.0952 в.д.	Вытянутая с ЮВ на СЗ коса длиной 1,5 км, низкий остров находится в южной части. Зимой у отмели образуется вытянутая стамуха
2	Отмель в 76 км на СВ от дельты р. Лена на безымянном мелководье	73.97 с.ш., 129.65 в.д.	Вытянутая с юга на север коса длиной 2,5 км шириной около 300 м, с юга примыкает меньшая по размеру отмель
3	Отмели на мелководье Семёновское	74.21 с.ш., 133.45 в.д.	Обширное мелководье с центром в 60 км западнее острова Столбовой. На снимках выделяются две отмели, опознаваемые по волновым бурунам в ветреную погоду
4	Песчаный бар, прилегающий к дельте р. Лена с северо-восточной стороны	73.13 с.ш., 129.66 в.д.	Длинный бар длиной 26 км на северо-восточной стороне дельты Лены, замечен при низких уровнях воды. С севера примыкает второй бар длиной 6 км
5	О. Затопляемый на мелководье Вест	73.1648 с.ш., 133.0252 в.д.	Низкий остров размером 900 м x 160 м в 133 км севернее мыса Буор-Хая
6	Две отмели на мелководье Нерпа	73.1648 с.ш., 133.0252 в.д.	Две близко расположенные отмели изогнутой подковообразной формы. Большая по размеру отмель имеет длину 1–1,3 км, ширину 300–600 м. Зимой образуется большая стамуха





Рис. 3. Острова и обнажившиеся отмели, обнаруженные на снимке Terra MODIS 11.09.2005 г. во время наиболее сильного понижения уровня моря. © NASA

В результате анализа снимков выявлены шесть групп отмелей, характеристики которых приведены в таблице 1.

Отмель № 1 идентифицирована как остров Яя, открытый в 2013 г. (хотя на снимке MODIS он замечен еще в 2002 г.). О. Яя расположен на банке Васильевской (изобата 5 м) и, вероятно, на месте бывшего о. Васильевский, которые, в свою очередь, входят в Семёновское мелководье. Отмель представляет собой вытянутую с ЮВ на СЗ косу длиной 1,5 км (в момент сильного понижения уровня моря длина видимой из космоса части — до 5–6 км), остров расположен в южной части отмели и имеет форму небольшой лагуны размером 100–150 м. Зимой вокруг острова и отмели регулярно образуется вытянутая стамуха (рис. 4).

Оценка размеров о. Яя, расположенного над водой на момент съемки, выполнена с использованием

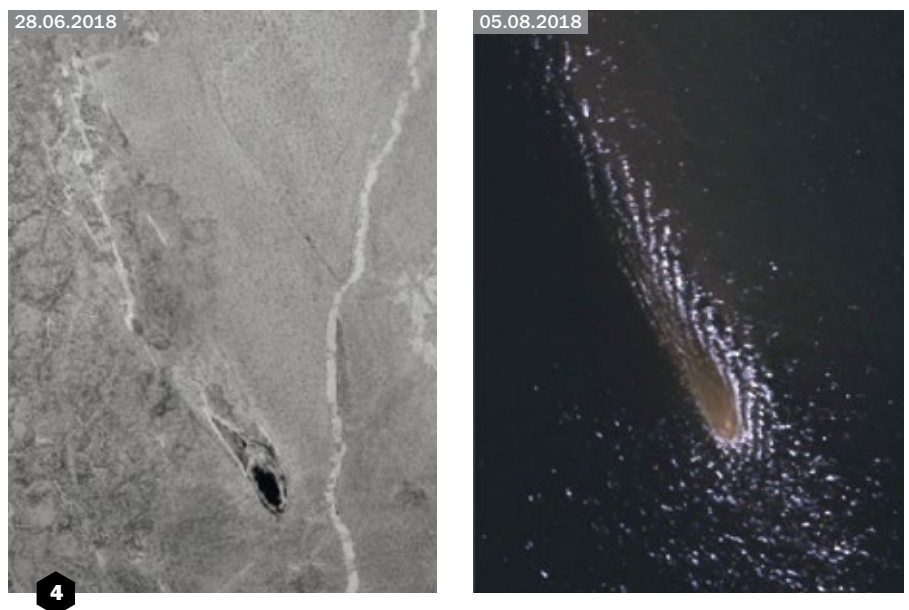


Рис. 4. Остров Яя в период разрушения ледяного покрова (слева) и в безледный период при ветре умеренной силы, образующем буруны на отмели, на оптических снимках Landsat 8 (слева) и Sentinel-2 (справа). © USGS, ESA



Рис. 5. Выступающая над водой часть о. Яя (имеет размеры  $100 \times 150$  м и расположена в южной части отмели) на оптических снимках Sentinel-2 от 05.08.2018 г. (слева) и 13.08.2018 г. (справа); синтез каналов 12-8A-4. © ESA



Рис. 6. Оценка видимости о. Яя, скрытого под водой, на оптическом снимке Sentinel-2 от 14.09.2018 г. (слева: синтез каналов 4-3-2, справа: 12-8-4). © ESA



Рис. 7. О. Яя, окруженный торосами в зимний период, на оптических снимках Sentinel-2: 28.04.2018 г. (слева) и в период разрушения льда и подтопления 26.07.2018 г. (справа). © ESA

оптических снимков Sentinel-2 (синтез ИК-каналов 12, 8A и 4, и 12, 11 и 11). Анализ показал, что 2, 6, 12, 14 и 15 сентября остров находился под водой. Небольшая часть о. Яя располагалась над водой 5, 7 и 11–14 августа. Примеры оценки размеров над-

водной части о. Яя в разные даты приведены на рис. 5 и 6.

Полные размеры острова (с учетом подтопленной низководной части) можно оценить, исходя из контуров торосов после ледостава и в ходе разрушения стамухи (рис. 7).

Площадь острова по контуру, ограниченному торосами, составляет  $0,14 \text{ км}^2$ , размеры —  $580 \times 260$  м. В период разрушения льда и подтопления острова его площадь по видимому контуру составляет  $0,09 \text{ км}^2$ , а размеры —  $520 \times 240$  м.

Отмель № 2 находится в 76 км на СВ от дельты р. Лена, имеет вид вытянутой с юга на север косы длиной  $\sim 2,5$  км и шириной около 300 м, с юга примыкает меньшая по размеру отмель. На доступных морских картах в данном районе обозначена безымянная отмель с глубинами 2–3 м. На моменты спутниковой съемки в безледный период 2018 г. отмель находилась под водой. Вдоль отмели в период ледостава формируется протяженная стамуха (рис. 8).

Под номером 3 обозначено обширное Семёновское мелководье с центром в 60 км западнее о. Столбовой. На снимках выделяются два центра отмели, опознаваемые по волновым бурунам в ветренную погоду. Западный центр отмели по координатам совпадает с банкой Семёновской с глубинами 1–3 м и, вероятно, расположен на месте бывшего о. Семёновский. На обзорных снимках MODIS в районе мелководья в малооблачную погоду постоянно наблюдаются области взмученной воды светло-зеленого цвета (рис. 9). Примерные координаты места образования бурунов на банке Семёновской —  $74.22$  с.ш. и  $133.38$  в.д.

Отмель № 4 — фактически длинный песчаный бар (подводная аккумулятивная форма рельефа, сложенная рыхлыми осадками) длиной около 26 км вдоль северо-восточной стороны дельты р. Лена, который заметен при низких уровнях воды. При сильных сгонных ветрах на снимках видно, что с севера примыкает второй небольшой бар длиной 6 км. На доступных картах песчаные бары не обозначены. В период ледостава

вдоль бара формируется обширная стамуха вместе с припаем, в периоды низкого уровня моря песчаный бар над поверхностью не виден и замечен только благодаря бурунам и по светлому тону на оптических снимках (рис. 10).

Отмель № 5 идентифицирована как малый остров Затопляемый размером 900×160 м в 133 км севернее мыса Буор-Хая. В период отливов и сильного сгонного ветра остров обнажается, но на снимках 2018 г. остров был покрыт водой. В период ледостава вокруг острова и западнее его формируются стамухи (рис. 11). На доступных морских картах о. Затопляемый расположен на восточной окраине мелководья Вест с глубинами 4 м.

Отмель № 6 состоит из двух близко расположенных отмелей изогнутой формы. Более крупная по размеру отмель имеет длину 1–1,3 км и ширину 300–600 м. Зимой над ней образуется большая стамуха. На доступных картах в районе с координатами отмели расположено мелководье Нерпа. По данным детальной съемки, 2018 г. отмель была скрыта под водой (рис. 12).

Все обнаруженные нами объекты могут представлять опасность для судоходства. Большинство обнаруженных отмелей нанесены на морские карты как мелководья с глубинами 5 м и менее. Песчаный бар у северо-восточной части дельты р. Лена на современных картах отсутствует.

Интегральная карта отмелей, выявленных по оптическим снимкам, а также карта мелководий, полученная по доступным картам, приведена на рис. 13.

## 2. Результаты исследований Оленёкского залива

Для поиска подобных объектов в Оленёкском заливе моря Лаптевых

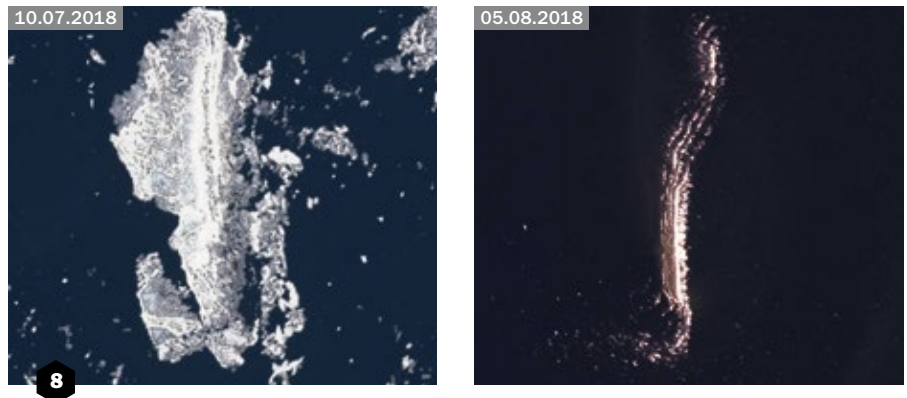


Рис. 8. Отмель (находится под водой) на безымянном мелководье севернее дельты р. Лена в период таяния льда и разрушения стамухи на оптических снимках Sentinel-2: 10.07.2018 г. (слева) и в период низкого уровня моря 05.08.2018 г. (справа). © ESA

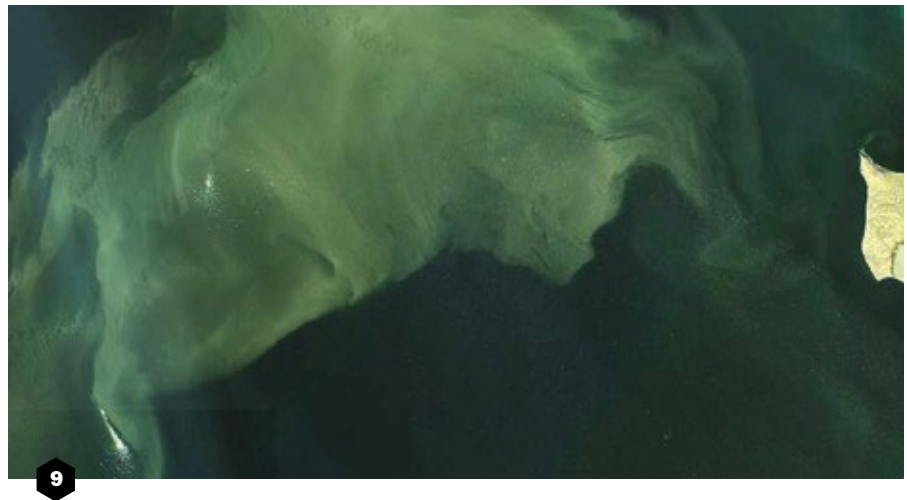


Рис. 9. Семёновское мелководье на оптическом снимке Sentinel-2 от 11.08.2018 г. В центре сосредоточения белых бурунов — банка Семёновская, в левом нижнем углу — о. Яя, справа — о. Столбовой. © ESA



Рис. 10. Песчаный бар у северо-восточной части дельты р. Лена на оптических снимках Sentinel-2: 02.07.2018 г. в период таяния льда и разрушения стамухи (слева) и 05.08.2018 г. в период низкого уровня моря (справа), когда бар опознается по полосе бурунов. Песчаный бар отсутствует на доступных навигационных картах. © ESA

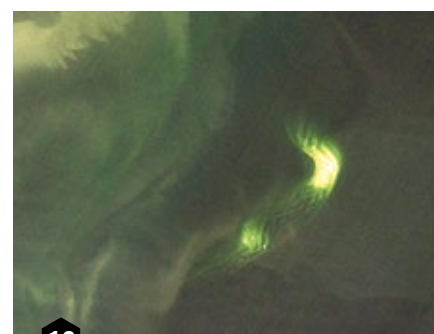




11



Рис. 11. О. Затопляемый на оптических снимках Sentinel-2: 18.07.2018 г. в период таяния льда и разрушения стамухи (слева) и 13.08.2018 г. в период низкого уровня моря (справа). © ESA



12

Рис. 12. Отмели на мелководье Нерпа на оптическом снимке Sentinel-2 от 12.08.2018 г. в период низкого уровня моря. © ESA



13

Рис. 13. Идентификация обнаруженных на снимках отмелей с помощью морской навигационной карты S-MAP. Нанесены изобаты 5 и 10 м

в качестве исходного материала был выбран снимок MODIS от 24.08.2000 г. (рис. 14), на котором из-за сильного сгона (проследивается по выносу взмученной воды) обнажились четыре отмели, получившие порядковые номера от 1 до 4; основные характеристики обнаруженных отмелей приведены в таблице 2.

Отмель № 1 идентифицирована как остров Лейкина (до 1978 г. о. Осушной), назван в честь советского полярника Б.И. Лейкина. Остров

имеет продолговатую форму, вытянут с СЗ на ЮВ: длина острова около 2 км, ширина варьирует от 150 до 300 м, в зимнее время вокруг острова регулярно образуется стамуха.

Проведенный анализ видимости о. Лейкина в данных спутниковой съемки показал, что в безледный период остров часто скрыт под водой, иногда даже в тихую, маловетренную погоду и при высоком уровне моря — без видимых бурунов. Случаи с высоким уровнем моря от-

мечены, например, 26–28.08, 20.09 и 14.09.2018 г. (рис. 15), в эти дни остров-отмель может быть особенно опасен для судоходства.

Анализ оптических снимков показал, что в период низкого уровня моря (наблюдался 05–8.08 и 18.07.2018 г.) часть острова, находящаяся над водой, весьма незначительна по размерам (рис. 16). Максимальные размеры выступающей над водой части о. Лейкина составили 800–280 м на момент съемки 06.08.2018 г. в условиях низкого уровня моря.

В период ледостава над островом образуется стамуха с торосами, которая разрушается в июне–июле (рис. 17).

Анализ радиолокационных изображений показывает, что большую часть времени о. Лейкина находится под водой, а на РЛИ отображаются области трансформации волнового поля над ним, причем на некоторых РЛИ остров в поле волнения вообще не обнаруживается (рис. 18).

Обнаруженная безымянная отмель (обозначена как отмель № 2) расположена к ЮВ от о. Лейкина и имеет небольшие размеры 350×200 м. В безледный период 2018 г., по данным детальной спутниковой съемки, не отмечено случаев ее возвышения над поверхностью



Рис. 14. Острова и отмели, обнаруженные в Оленёкском заливе на оптическом снимке Terra MODIS от 24.08.2000 г.; в правой части — о. Аэросъёмки у западной части дельты р. Лена, внизу — дельты р. Оленёк и Оленёкской протоки. © NASA

Табл. 2. Острова и отмели, обнаруженные на спутниковых снимках в Оленёкском заливе

Условное название отмели или острова	Координаты центра (СК WGS-1984)	Характеристики отмели в августе 2018 г.
Отмель № 1 в 83 км к западу от о. Аэросъёмки и в 103 км к северу от дельты р. Оленёк (опознан как о. Лейкина)	74.0745 с.ш., 120.4729 в.д.	Продолговатый остров, вытянутый с СЗ на ЮВ, длиной около 2 км и шириной 150–300 м, зимой образуется стамуха
Отмель № 2 в 57 км к западу от о. Аэросъёмки и в 96 км к СВ от дельты р. Оленёк	73.9487 с.ш., 121.2983 в.д.	Небольшой остров-отмель размерами 350×200 м. Образуются волновые обрушения (буруны), обнажается при сильных отливах. В зимний период образуется стамуха
Отмель № 3 (находится рядом с банкой Опасная) и обширное мелководье в 20 км к СЗ от о. Аэросъёмки	74.0746 с.ш., 122.6170 в.д.	Вытянутая отмель (определяется по трансформации волнового поля), обнажается в период сильных отливов. Обширное мелководье определяется по цвету снимка и наличию обрушений волн. В зимний период образуется обширная стамуха
Отмель № 4 находится в 7 км к СВ от п-ова Терпий-Тумса	73.5316 с.ш., 119.2114 в.д.	Песчаная коса длиной 8 км. Определяется по наличию обрушений волн. Обнажается в период сильных отливов и сгонов воды. В зимний период образуется стамуха

моря даже в период низкого уровня 5–10.08.2018 г. Отмель визуализируется только благодаря эффекту трансформации волнового поля (и обрушению волн) на мелководье (рис. 19). Зимой в районе отмели № 2 регулярно образуется стамуха (рис. 20). Обнаруженная отмель на

доступных навигационных картах не нанесена, что представляет опасность для судоходства. На РЛИ в безлёдный период отмель № 2 видна либо как темная область из-за выглаживания окружающей волновой ряби на мелководье (рис. 21), либо как светлая область во

время сильного ветрового волнения из-за интенсивного обрушения волн. Отмель № 3 расположена в 20 км к северо-западу от о. Аэросъёмки, была идентифицирована на навигационной карте С-МАР как банка Опасная и определяется на оптических снимках по светло-зеленому





Рис. 15. О. Лейкина, полностью скрытый под водой в период маловетренной погоды и высокого уровня моря без видимых обрушений — бурунов, на оптическом снимке Sentinel-2 от 26.08.2018 г. © ESA

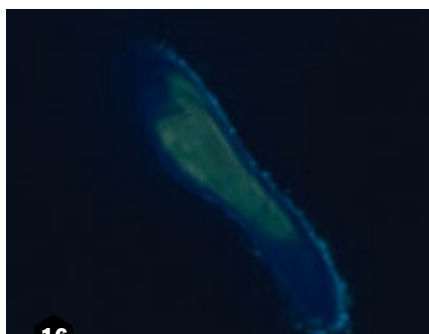


Рис. 16. О. Лейкина, частично скрытый водой, на оптическом снимке Sentinel-2 от 06.08.2018 г. (синтез каналов 12, 8А и 4); на поверхности находится небольшая часть суши (отображается зеленоватыми цветами), волны прибоя заметны только у восточного берега. © ESA



Рис. 17. Процесс разрушения стамухи около о. Лейкина на оптическом снимке Landsat 8 от 16.07.2015 г. © USGS



Рис. 18. О. Лейкина на радиолокационном изображении Sentinel-1 от 05.09.2018 г. Он скрыт под водой, его положение определяется только по изменению структуры поверхностного волнения на мелководье (темный тон изображения). © ESA

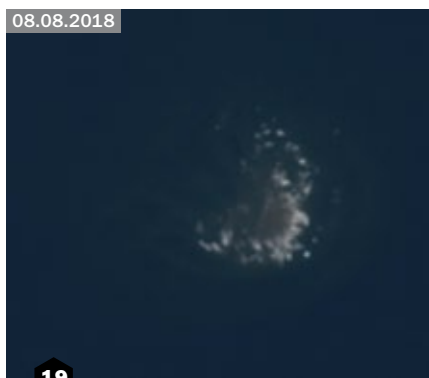


Рис. 19. Безымянная отмель на оптических снимках Sentinel-2 в период низкого уровня моря и слабого волнения (слева) и в период шторма (справа). © ESA



Рис. 20. Стамуха в период разрушения ледяного покрова над отмелью № 2 на снимке Landsat 8 от 16.07.2015 г. © USGS

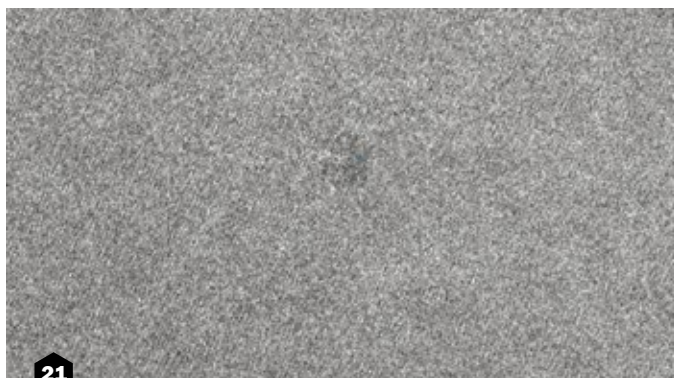


Рис. 21. Отмель № 2 на радиолокационном изображении Sentinel-1 от 05.09.2018 г. видна как темная область в центре изображения из-за эффекта трансформации волнового поля на мелководье. © ESA

цвету моря и наличию обрушений волн. Отмель обнажилась во время понижения уровня моря из-за сильного сгона воды 10.08.2011 г. В 2018 г. отмель отображалась в виде области волновых бурунов при низком уровне моря в период 06–10.08.2018 г. (рис. 22).

В зимнее время над отмелью № 3 образуется большая по площади стамуха, что связано с наличием в районе обширного мелководья (рис. 23).

На РЛИ отмель № 3 (банка Опасная) заметна в безлёдный период в виде светлой полосы, которая также обусловлена трансформацией волнового поля над мелководьем.

Отмель № 4 расположена в 7 км северо-восточнее мыса Терпай-Тумса и представляет собой песчаную косу длиной 8 км, которая обнажается в периоды сильных отливов (рис. 24).

При сопоставлении обнаруженных отмелей с данными навигационной карты С-МАР можно сделать вывод, что все обнаруженные отмели находятся в пределах районов, ограниченных изобатой 10 м (голубой цвет) с отметками глубин 1–3 м. Отмель № 1 опознана как о. Лейкина, отмель № 2 остается безымянной, а отмель № 3 — это банка Опасная (рис. 25).

По результатам анализа спутниковых снимков отмелей в видимом, ИК- и СВЧ-диапазонах установлено, что в исследуемый период отмели в основном были скрыты под водой и обнаруживались только по наличию/трансформации ветрового волнения на радиолокационных изображениях и по изменению цвета моря на оптических снимках. В период ледостава над отмелями ежегодно образуются стамухи с торосами. Отмель № 3 (банка Опасная) характеризуется образованием большой по площади стамухи из-за обширного мелководья.



Рис. 22. Детальный снимок Sentinel-2 от 08.08.2018 отмели № 3 (банка Опасная, расположена к западу от о. Аэросъемки) в период максимально низкого уровня моря. Хорошо видна светлая область обрушения волн над отмелью; светло-коричневая область взмученной воды (в левой верхней части снимка) обусловлена наличием в данном районе обширной отмели. © ESA

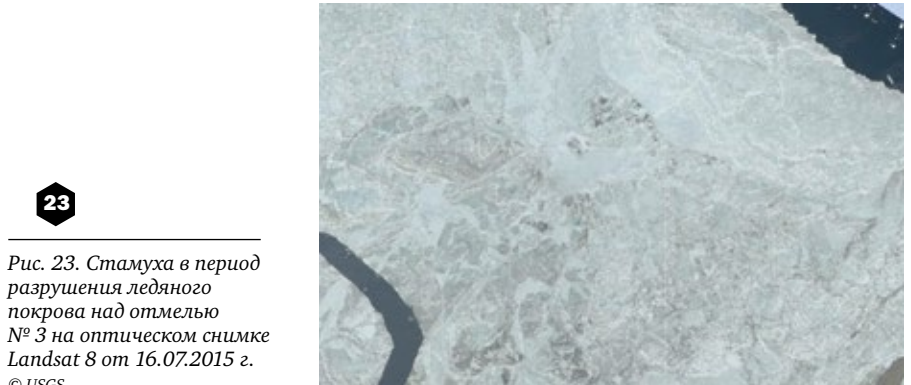


Рис. 23. Стамуха в период разрушения ледяного покрова над отмелью № 3 на оптическом снимке Landsat 8 от 16.07.2015 г. © USGS

В результате анализа спутниковых снимков Оленёцкого залива обнаружены четыре отмели, две из них опознаны как о. Лейкина (отмель № 1) и банка Опасная (отмель № 3), они находятся на обширном арктическом мелководье. Отмели № 2 и № 4 остаются безымянными и могут при сильном понижении уровня моря из-за сгонных явлений (вероятно, в сочетании с отливами и сезонными колебаниями уровня моря) обнажаться и представлять опасность для судоходства.

Проведенный анализ видимости о. Лейкина по данным спутниковой съемки показал, что в безлёдный период остров часто скрыт под водой, иногда даже в тихую маловетреную погоду и при высоком уровне моря — без видимых бурунов. Указанные случаи с высоким уровнем моря отмечены, например, 26–28.08, 20.09 и 14.09.2018 г., в эти дни остров-отмель может быть особенно опасен для судоходства. Анализ оптических снимков показал, что в период низкого уровня моря (наблюдался



Рис. 24. Детальный снимок (Sentinel-2 от 06.08.2018) песчаной косы у мыса Терпий-Тумса (отмель № 4) длиной около 8 км, обнажившейся в период максимально низкого уровня моря. © ESA



Рис. 25. Сравнение обнаруженных на спутниковых снимках отмелей № 1–3 (флажки) с данными навигационной карты C-MAP (морской портал СКАНЭКС). © С-МАР, СКАНЭКС

05–8.08 и 18.07.2018 г.) часть острова, находящаяся над водой, весьма незначительна по размерам. Максимальные размеры, выступающей над водой части о. Лейкина, составили 800×280 м (06.08.2018 г.).

#### Итоги исследования и заключение

В результате анализа снимков юго-восточной части моря Лаптевых и Оленёкского залива выявлены 10

групп отмелей, для которых характерны следующие признаки, детектируемые на спутниковых снимках: 1) обнажение во время сильного понижения уровня моря или формирование шлейфов осадочного материала под действием местных течений; 2) образование в зимний период опасных ледяных образований (торосов и стамух) над отмелями и у малых островов; 3) формирование областей обрушения волн (бурунов).

Три из десяти объектов опознаны как малые острова Яя, Затопляемый и Лейкина. Анализ снимков в различных комбинациях спектральных каналов показал, что острова регулярно затопляются и покрываются водой. Пять отмелей расположены на банках и мелководьях с изобатами 5 м и менее и могут обнажаться при сильных понижениях уровня моря из-за сгонов. Две отмели находятся на известных мелководьях Семёновское и западнее о. Аэросъемки. Все острова и отмели совпадают с нанесенными на карты объектами, кроме одного. Обнаруженный на снимках длинный песчаный бар, состоящий из двух частей, расположен к северо-восточного берега дельты р. Лена и не нанесен на современные карты. Определены геопространственные характеристики выявленных отмелей. Сведения о новом объекте переданы в Управление навигации и картографии МО России.

Выполненные исследования мелководной части моря Лаптевых с помощью спутниковых снимков показали эффективность методов ДЗЗ при решении задач обнаружения, идентификации и картографирования малых островов и отмелей, а также слежения за их эволюцией. ¶

Авторы выражают благодарность Станичному С.В. (МГИ РАН) и Пижанковой Е.И. (МГУ им. Ломоносова) за высказанные предложения и замечания.

#### Список литературы

1. Добровольский А.Д., Залогин Б.С. Моря СССР. — М.: Изд-во МГУ. — 1982. — 192 с.
2. Атлас моря Лаптевых. [http://www.esimo.ru/atlas/Laptevix/1\\_1.html](http://www.esimo.ru/atlas/Laptevix/1_1.html)
3. Holmes M., Creager Y. Голоценовая история континентального шельфа моря Лаптевых. 1974.
4. Карты моря Лаптевых с веб-ресурсов Retromap.ru, Etomesto.ru, Loadmap.net, морской портал «СКАНЭКС», в том числе карта ГГЦ М 1:200000, 2001 и карта М 1:50 000, 1985.