

## ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЛЕДНИКОВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «РУССКАЯ АРКТИКА» АРХИПЕЛАГА НОВАЯ ЗЕМЛЯ ПО СПУТНИКОВЫМ СНИМКАМ



**Алексей Кучейко**

ООО «РИСКСАТ»



**Артем Макаренко**

ООО «РИСКСАТ»



**Дмитрий Ильин**

ООО «РИСКСАТ»



**Валерия Саенко**

ООО «РИСКСАТ»

### Введение

Ледниковая система архипелага Новая Земля является крупнейшей по площади в российской Арктике, изучение ее динамики позволяет говорить о тенденциях в изменении климата на планете. Общей тенденцией в динамике новоземельских ледников начиная с 1900-х гг. является постепенная деградация их покровного оледенения, в результате чего появляются новые заливы, бухты, острова и мысы. Изменения в очертании береговой зоны за последние сто лет хорошо видны при сравнении карты Новой Земли, составленной русским полярником В.А. Русановым в 1910 г. [1], и современного космоснимка (рис. 1). Сегодня для изучения динамики ледников широко применяются методы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) из космоса, в частности, оптические и радиолокационные спутниковые изображения. В статье приведены резуль-

таты изучения динамики ледников Новой Земли, входящих в состав национального парка (НП) «Русская Арктика», по данным спутниковой съемки за 2001–2016 гг.

Динамика выводных ледников оценивалась по положению их фронтальной части на геопривязанных космоснимках спутников Landsat 7/8 и Sentinel-2 за 2001–2016 гг., собранных в веб-ГИС приложении «Геомиксер». Среднегодовая скорость отступления или наступания ледника рассчитывалась по относительному изменению площади выводной части ледника за исследуемый период (измерялась в км<sup>2</sup>/год или га/год). Скорость движения льда определена методом когерентного детектирования сдвига по амплитуде сигналов пары радиолокационных изображений (РЛИ) спутника Sentinel-1 с помощью программы SNAP (измерялась в м/сутки или км/год). Для сопоставления показателей динамики ледников использовались опубликованные

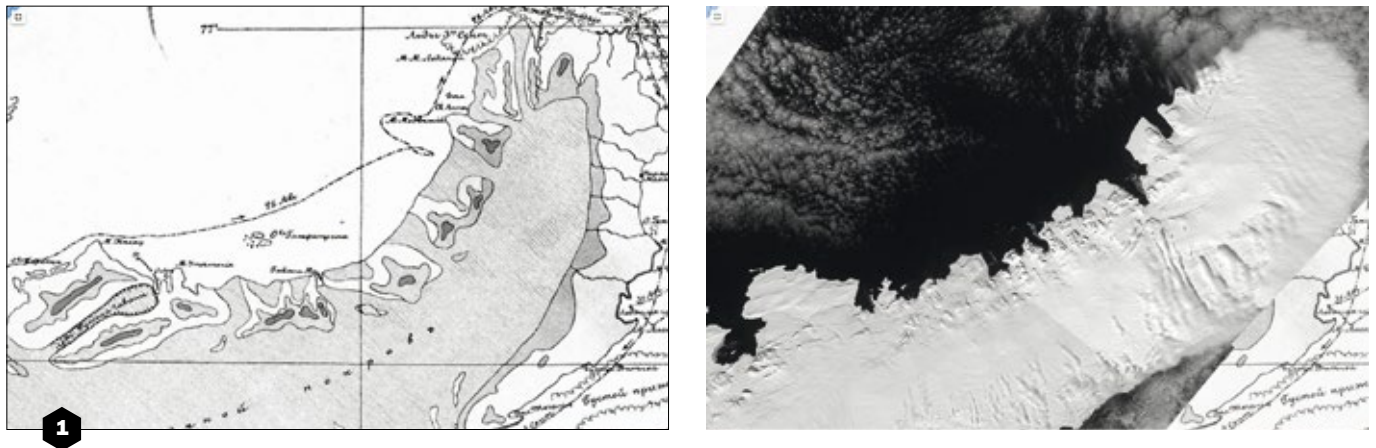


Рис. 1. Западное побережье Новой Земли за последние сто лет. Слева — карта, составленная В.А. Русановым (в 1909–1910 гг.) [1], справа — космоснимок LANDSAT-8, 05.05.2016. © USGS, 2016 г.

Табл. 1. Динамика ледников НП «Русская Арктика» в 1952–2001 гг. [5] и в 2001–2016 гг. \*

Наименование ледника (номер по Каталогу ледников СССР)	Изменение площади в 1952–2001 гг. (км <sup>2</sup> )	Изменение площади в 2001–2015 гг. (км <sup>2</sup> )	Скорость изменения в 1952–2001 гг. (га/год)	Скорость изменения в 2001–2015 гг. (га/год)	Скорость изменения площади за 2016 г. (га/год)	Максимальная скорость движения льда, м/сутки (11.04.2017–23.04.2017)
Иностранцева (13)**	-2,57	-7,0	-5,24	-50	-100	2
Велькена (90)	-14,71	-4,51	-30,0	-32,2	-123	1,4
Мака (91)	-14,71	-2,93	-30,0	-20,9	-144	1,3
Вера (16)	-22,64	-18,8	-46,2	-134	-280	1,2
Визе (95)	-4,17	-1,05	-8,52	-7,5	-137	1,0
Павлова (15)	-4,05	-6,16	-8,27	-44	-141	0,8
Броунова (93)	0,28	-0,03	0,58	-0,2	-7	0,8
Воейкова (92)	-1,16/	-0,30	-2,36	-2,1	-20	0,7
Бунге (18)	-10,52	-5,37	-21,47	-38,3	-20	0,5
Анучина (94)	-1,26	+1,05	-2,56	+7,5	-23	0,3
Петерсена (19)	-2,31	-1,7	-4,71	-12	-16	0,4
<b>Всего</b>		<b>-46,8 км<sup>2</sup></b>			<b>-10 км<sup>2</sup></b>	

\* Примечание. Изменение площади ледников рассчитано по снимкам Landsat 7 (16.06.2001, 25.06.2001, 20.07.2001, 08.08.2001) и Landsat 8 (31.07.2015, 10.09.2016 и 19.09.2016).

\*\* Примечание. Общие потери ледника Иностранцева за 2016 г. складываются из убыли основного ствола и недавно отделившегося западного притока (так называемый ледник Безымянный).

результаты исследований за 1952–2001 гг., а также работы Zeeberg & Forman (2001), А. Глазовского (2006), А. Кураева (2006) и др. [2–5].

#### Описание результатов

Ледники — сложные динамические системы, состояние которых опреде-

ляется балансом массы. В работе [2] выделены относительно стабильные ледники (Карбасникова, Воейкова, Анучина, Броунова), быстро отступающие (Иностранцева, Вера, Визе, Мака, Велькена) и наступающие (Бунге, Павлова). Проведенные в 2001–2016 гг. измерения показали,

что к группе отступающих можно отнести ледники с выводной шельфовой частью: ледники Иностранцева, Вера, Павлова, Мака, Велькена, Визе и Бунге, ледник Анучина, к ледникам с невысокой динамикой относятся ледники Броунова, Воейкова и Петерсена.

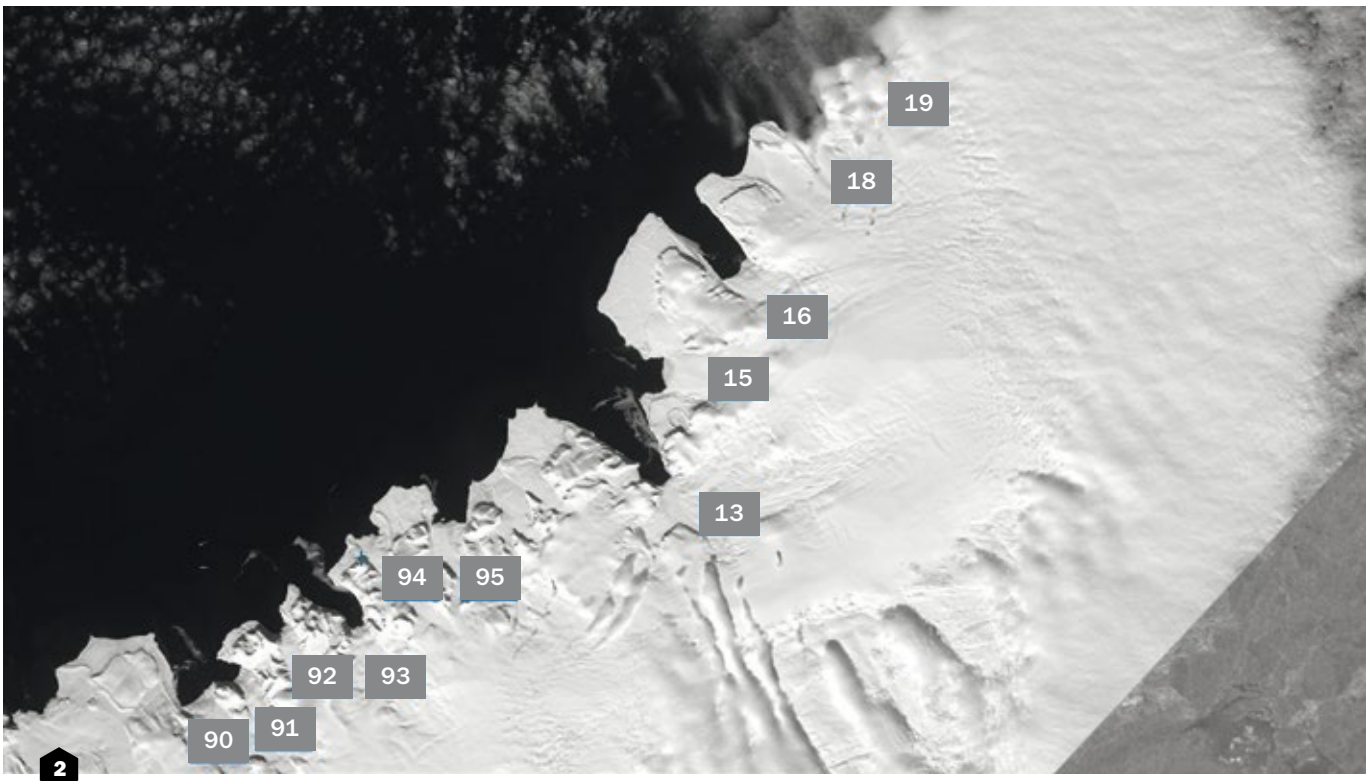


Рис. 2. Ледники национального парка «Русская Арктика» по нумерации Каталога ледников СССР на снимке Landsat 8, 05.05.2016. © usgs

Район исследования показан на рис. 2, данные по площади и скорости изменения площади ледников НП «Русская Арктика» приведены в табл. 1.

Данные измерений показывают, что преобладающей тенденцией за исследуемый период является убыль ледников в площади, хотя скорость процесса достаточно различна для разных ледников. Десять из одиннадцати исследованных ледников продемонстрировали отрицательную динамику (отступали), причем семь из них — со среднегодовыми скоростями более 10 га/год. Один ледник — Анучина, считающийся пульсирующим, по итогам 14 лет увеличил свою площадь на 1 км<sup>2</sup>. Невысокую скорость отступления продемонстрировали ледники Броунова, Воейкова и Визе.

Самую большую площадь потерял ледник Вера (-18,8 км<sup>2</sup>, отступил на

5 км), за ним в порядке убывания следуют шельфовые ледники Иностранцева (-7 км<sup>2</sup>), Павлова (-6 км<sup>2</sup>), Бунге (-5,4 км<sup>2</sup>) и Велькена (-4,5 км<sup>2</sup>). Суммарные потери ледников за 2001–2016 гг. составили 56,8 км<sup>2</sup>, в том числе только за 2016 г. убыль составила 10 км<sup>2</sup> (-46,8 км<sup>2</sup> за 2001–2015 гг.).

В 2016 г. все исследуемые ледники продемонстрировали высокую динамику убыли, причем годовая скорость отступления многократно превысила среднегодовую скорость за исследуемый период. Наиболее вероятной причиной высокой динамики убыли могла стать аномально теплая зима 2016 г., отмеченная в отчетах NASA, NOAA и Гидрометцентра РФ [6–8].

По данным оперативного мониторинга климата, проводимого в ГМЦ России, «средняя температура воздуха по Северному полушарию

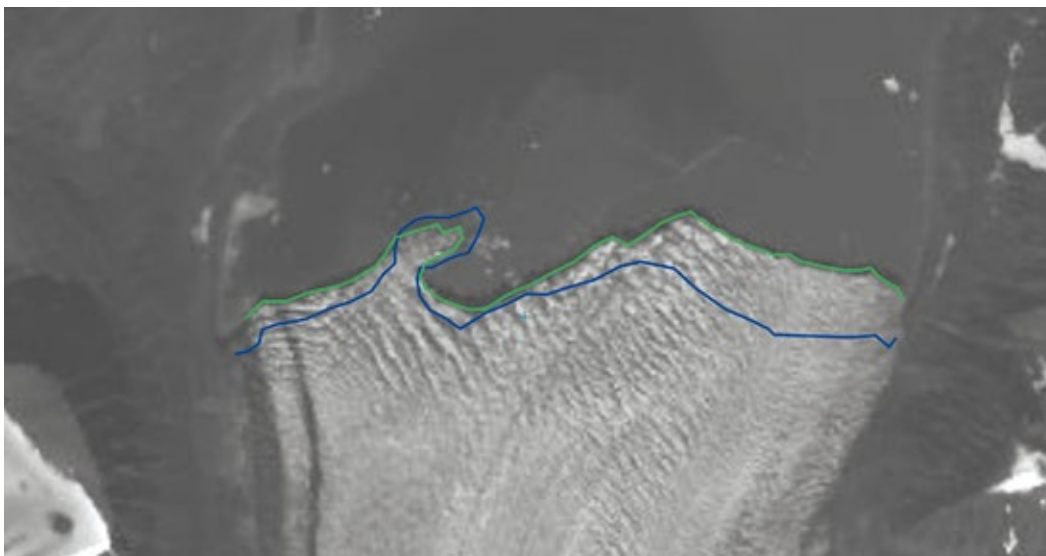
Земли за 2016 г. с точностью до 0,1°C повторила рекордный максимум, установленный в 2015 г. Таким образом, 2015 и 2016 гг. стали самыми теплыми с момента начала регулярных метеорологических наблюдений на Земле, т.е. с 1891 г. Аномалия среднегодовой температуры воздуха превысила +1,0° C. По данным NASA и NOAA, глобальная усредненная температура 2016 г. стала рекордно высокой с 1880 г., причем одна из температурных аномалий находится в Арктике.

Необходимо отметить, что скорость отступления ледников по годам была крайне неравномерной (рис. 3). Так, ледник Визе в 2015 г. продемонстрировал положительную динамику, увеличив площадь по сравнению с 2014 г. (рис. 4), но в последующий период ледник начал стремительно отступать, прибли-



3

Рис. 3. Динамика отступления ледника Визе в 1952–2016 гг., в результате которого в 2016 г. в заливе перед его фронтальной частью открылся новый остров. Снимок Sentinel-2A, 18.09.2016. © ESA



4

Рис. 4. Положительная динамика (наступление) ледника Визе в период с 2014 г. по 2015 г.; синяя линия — положение фронта ледника 14.04.2014 г. и зеленая линия — 31.07.2015 г. Снимок Landsat 8, 31.07.2017. © USGS

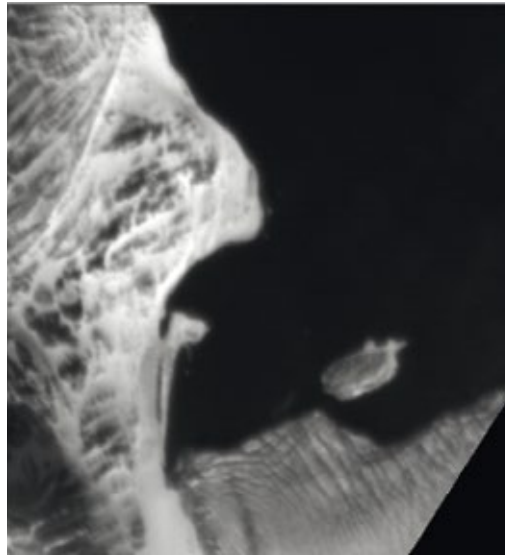
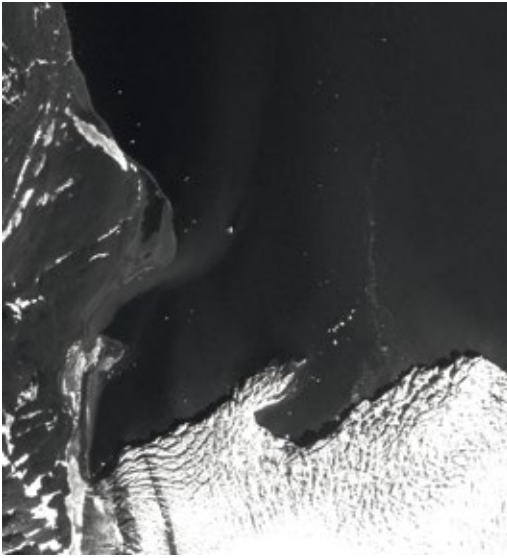
зительно в январе 2016 г. один из нунатаков превратился в новый остров в заливе с координатами центра  $76^{\circ}26'36''$  С.Ш. и  $65^{\circ}10'37''$  В.Д. [9]. Остров имеет форму неправильного овала площадью около  $0,1 \text{ км}^2$ , максимальный размер по оси восток-запад — 540 м, по оси юг-север — 240 м (рис. 5, 6). Ширина пролива, отделяющего остров от фронта ледника, составляла около 340 м в марте 2017 г. Минимальное расстояние до ближайшего берега залива — 760 м. На детальных

снимках видны коренные породы, но на гребне острова сохранился покровный лед, который не разрушился за лето 2016 г. Высота фронта ледника Визе со стороны Баренцева моря в 2015–2016 гг. изменялась незначительно и составляла у левого западного края — 30–35 м, в центре — 45–50 м и у правого восточного края — 15–20 м. Одной из причин разрушения ледника Визе зимой 2015–2016 гг. могла стать аномально теплая зима в Арктике, в результате чего широ-

кий припай у ледников на западном побережье не устанавливался и наблюдалось отступление ледника даже в зимний период.

#### Скорость движения льда

Проведена оценка максимальной скорости движения льда на поверхности выводных ледников по паре РЛИ 11.04.2017 г. и 23.04.2017 г. с помощью процедуры офсетного детектирования сдвига по амплитуде сигналов (offset tracking), реализованной в программном комплексе



5

Рис. 5. «Образование» нового острова в заливе у выводного ледника Визе в результате разрушения фронтальной части ледника. Слева — снимок от 12.06.2015 г., аппаратура ПСС КА «Канопус-В», справа — снимок от 24.04.2016 г., аппаратура ШМСА, Ресурс-П, © ГК «Роскосмос», 2015, 2016



6

Рис. 6. Выводной ледник Визе с нанутаком под ледниковым покровом (на переднем плане), который в 2016 г. станет островом. Фото А.Ф. Глазовского, 30.04.2007 г.

SNAP. Полученные результаты приведены в табл. 1. Самая высокая скорость движения льда отмечена на леднике Иностранцева (2 м/сутки), на ледниках Велькена, Мака, Вера и Визе лед движется с максимальными скоростями от 1 до 1,4 м/сутки. В 2016 г. перечисленные ледники проявили самую высокую динамику убыли.

#### Выводы

Покровное оледенение архипелага Новая Земля и исследованные ледни-

ки национального парка «Русская Арктика» продолжают деградировать. За период с 2001 по 2016 гг. площадь 11 ледников сократилась на 56,8 км<sup>2</sup>, причем шестая часть убыли ледников (10 км<sup>2</sup>) пришлось только на 2016 г., который по данным метеослужб США и России стал рекордно теплым. Наибольшие площади потери обнаружены у ледников Вера, Иностранцева, Павлова, Бунге и Велькена.

Нунатак, бывший ранее под выводным ледником Визе, превратился в новый остров в результате посте-

пенного разрушения и отступления ледника в январе 2016 г. Площадь нового острова, которому дали временное название Хрустальный, составила 0,1 км<sup>2</sup>, его размеры — 540x240 м.

Максимальная скорость движения покровного льда различных ледников по данным анализа пары радиолокационных изображений за 25.10.2016 г. и 18.11.2016 г. составили от 0,5 до 2 м/сутки. Самая высокая скорость, равная 2 м/сутки, зафиксирована на леднике Ино-

странцева; скорости более 1 м/сутки наблюдались на ледниках Велькена, Мака, Визе и Вера. ¶

*Авторы выражают благодарность доктору географических наук, ведущему научному сотруднику географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова В.И. Кравцовой и кандидату географических наук, ведущему научному сотруднику Института географии РАН А.Ф. Глазовскому за помощь, оказанную при подготовке статьи.*

#### Список литературы:

1. Материалы по исследованию Новой Земли. Ред. И.В. Сосновского — Вып. II. СПб, 1911.
2. Zeeberg J., Forman S. Changes in glaciers extent on north Novaya Zemlya in the twentieth century. The Holocene 2001. N11, pp. 161–175.
3. Kouraev A. Northern Novaya Zemlya outlet glaciers: 1990–2000 changes// LEGOS, 2006.
4. Carr J., Stokes C., Vieli A., Recent retreat of major outlet glaciers on Novaya Zemlya, Russian Arctic, influenced by fjord geometry and sea-ice conditions// J. Glaciology, 2014. V. 60. N. 219. doi: 10.3189/2014JoG13J122.
5. Глазовский А.Ф. Новая Земля. В кн.: Оледенение Северной и Центральной Евразии в современную эпоху. Отв. ред. В.М. Котляков. М.: Наука, 2006. С. 105–107.
6. WMO confirms 2016 as hottest year on record. <https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-2016-hottest-year-record-about-11%C2%B0c-above-pre-industrial-era>
7. 2016 Warmest Year on Record Globally. <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-data-show-2016-warmest-year-on-record-globally>
8. 2016 г. Северном полушарии был рекордно теплым. <http://www.sevmeteo.ru/press/news/3397/>
9. Саенко В. С., Кучейко А. А. Изучение динамики таяния ледника Визе на Новой Земле по данным оперативной космической и исследование нового острова. Ялта, МДЦ «Артек», 5–26 апреля 2016 г. [http://new.risksat.ru/docs/%D0%90%D1%80%D1%82%D0%B5%D0%BA\\_%D0%9E%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2.pdf](http://new.risksat.ru/docs/%D0%90%D1%80%D1%82%D0%B5%D0%BA_%D0%9E%D1%81%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%B2.pdf)