

УДК 551.326.85

КРИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ О ПРОСТРАНСТВЕННОМ РАСПРЕДЕЛЕНИИ ЛЬДА НА ОЗЕРАХ

Баклагин В.Н.

*Институт водных проблем Севера – обособленное подразделение ФГБУН Федерального исследовательского центра «Карельский научный центр Российской академии наук»,
Петрозаводск, e-mail: slava.baklagin@mail.ru*

Процессы образования и разрушения льда на озерах – это неотъемлемая часть гидрологического цикла многих озер. Условия протекания ледового режима на озерах оказывают сильное влияние на экологическую систему озер и являются индикатором изменения климатических факторов. В работе выполнен расчет и анализ ошибок при определении пространственного распределения льда (пространственное разрешение 4–6 км) на Онежском озере, Ладожском озере, Сегозере и Выгозере за период 2006–2018 гг. по наборам спутниковых данных Национального центра данных по снегу и льду NSDIC, а также Центра спутниковых приложений и исследований NOAA NESDIS относительно достоверных данных Национальной воздухоплавательной и космической администрации США NASA, спектрорадиометр с умеренным разрешением – датчик MODIS (пространственное разрешение 500 м). Установлено, что меньшее среднее значение ошибок при определении пространственного распределения льда на озерах имеют данные NSDIC (3–10%) по сравнению с данными NOAA NESDIS (11–19%) и представляют больший практический интерес при оценке ледяного покрова озер. Выявлена зависимость среднего значения ошибок, возникающих при определении пространственного распределения льда (по данным NSDIC, NOAA NESDIS), от фактического значения ледовитости (по данным MODIS). Показано, что данные NSDIC позволяют адекватно оценивать сроки фаз ледового режима, однако формирование суточного ряда значений ледовитости во время периода формирования ледовых образований и разрушения ледяного покрова возможно только с большой ошибкой (среднее значение абсолютных отклонений по данным MODIS до 35%).

Ключевые слова: NSDIC, NOAA NESDIS, MODIS, пространственное распределение льда, ледовитость, озера

CRITICAL ANALYSIS OF SATELLITE DATA ON THE SPATIAL DISTRIBUTION OF ICE ON LAKES

Baklagin V.N.

*Northern Water Problems Institute of the Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences,
Petrozavodsk, e-mail: slava.baklagin@mail.ru*

The process of formation and rotting of ice on lakes is an integral part of the hydrological cycle of many lakes. The conditions of the ice regime significantly influence the ecological system of lakes. The paper includes calculation and analysis of errors in the determination of the spatial ice distribution (spatial resolution of 4–6 km) on Lake Onego, Lake Ladoga, Lake Segozero and Lake Vigozero within the period of 2006–2017 according to NSDIC, NOAA NESDIS data with regard to reliable MODIS data (spatial resolution of 500 m). It was established that within the monitoring period NSDIC data has the minimum mean values of errors in determining the spatial distribution of ice on lakes (3–10%) comparing to NOAA NESDIS data (11–19%) and it is also of more practical interest in estimating the ice coverage of lakes. The dependence of the mean value of errors that occur in determination of the spatial distribution of ice (according to NSDIC, NOAA and NESDIS data) on the actual value of ice coverage (according to MODIS) was revealed. The results shows that the NSDIC data allows estimating adequately the phases of the ice regime; however formation of a daily time series of ice coverage during Freeze-up and Break-up phases is possible only with a significant error (mean value of absolute deviations according to MODIS data is up to 35%).

Keywords: NSDIC, NOAA NESDIS, MODIS, spatial distribution of ice, ice coverage, lakes

Формирование ледяного покрова озер зависит от большого количества факторов, как за краткосрочный период (температура воды, температура воздуха, ветер и другие), так и задолго до наступления зимнего периода (тепловой запас озера). Поэтому лед является чувствительным индикатором изменения этих факторов [1, 2].

В связи с этим исследования ежегодно повторяющегося ледового режима озер необходимы для решения важной экологической задачи – установление тенденций глобальных и региональных изменений климата [3].

Помимо этого, формирование и разрушение льда на озерах напрямую оказывает влияние на водную экосистему озер. В частности, ледяной покров на озере уменьшает проникание солнечного света, снижает передачу тепла воды атмосфере, прекращает передачу кинетической энергии ветра воде. Эти факторы формируют экологическую систему озер в зимнее время [2].

Исследования характера протекания ледового режима озер сводится к оценке зависимости ледовитости озер (части акватории занятой льдом) от времени.

В настоящее время для получения сведений о состоянии земной поверхности, в том числе о ледяном покрове озер, широко используются спутниковые данные. Датчики спутников (MODIS, VIIRS, AIRS, MISR и многие другие) ежедневно выполняют многозональную съемку местности в различных диапазонах электромагнитной волны (видимом, инфракрасном, микроволновом) в течение нескольких последних лет (10–25 лет) [4–6].

С высокой точностью можно рассчитать ледовитость озер визуально-экспертной оценкой, исходя из спутниковых снимков датчика MODIS, выполненных в видимом диапазоне (синтезированные RGB-изображения), обладающих высоким пространственным разрешением (до 250 м в открытом доступе <https://earthdata.nasa.gov/earth-observation-data>).

Однако в большинстве случаев выполнить расчет ледовитости озер по спутниковым снимкам видимого диапазона невозможно из-за наличия облачности. Например, за период наблюдений 2006–2018 гг. для оценки состояния ледяного покрова Онежского озера доступно 636 снимков, Ладожского озера – 411 снимков из-за большей площади акватории (чем больше площадь акватории озера, тем меньше вероятность того, что акватория озера полностью свободна от облаков). Поэтому формировать непрерывный ряд значений

ледовитости озер, используя только эти снимки, невозможно.

Однако существуют многосенсорные СВЧ-радиометры, которые могут выполнять многозональную съемку в микроволновом диапазоне (ASMU-A, ATMS, AVHRR, MODIS, VIIRS и другие), что позволяет ежедневно фиксировать сцену вне зависимости от облачности. Результатом автоматического картирования многозональных снимков этих систем являются данные о снежном и ледяном покрове планеты. Эти данные представлены Национальным центром США по снегу и льду NSDIC, а также Центром спутниковых приложений и исследований NOAA NESDIS на ftp-серверах в открытом доступе (<ftp://sidacs.colorado.edu/DATASETS/NOAA/G02156/>, <ftp://ftp.star.nesdis.noaa.gov/pub/smcd/emb/snow/binary/multisensor/global/>). Несмотря на незначительное пространственное разрешение 4–6 км, эти данные пригодны для расчета ледовитости многих озер.

Однако установлено, что в некоторых случаях при автоматической интерпретации спутниковых данных возникают существенные различия при определении пространственного распределения льда на озерах. Все это приводит к ошибкам при расчете ледовитости озер. Например, по данным NSDIC и NOAA NESDIS некоторые участки акватории озер могут быть покрыты льдом (рис. 1, а, б), в то время как в действительности льда на этих участках нет (рис. 1, в).

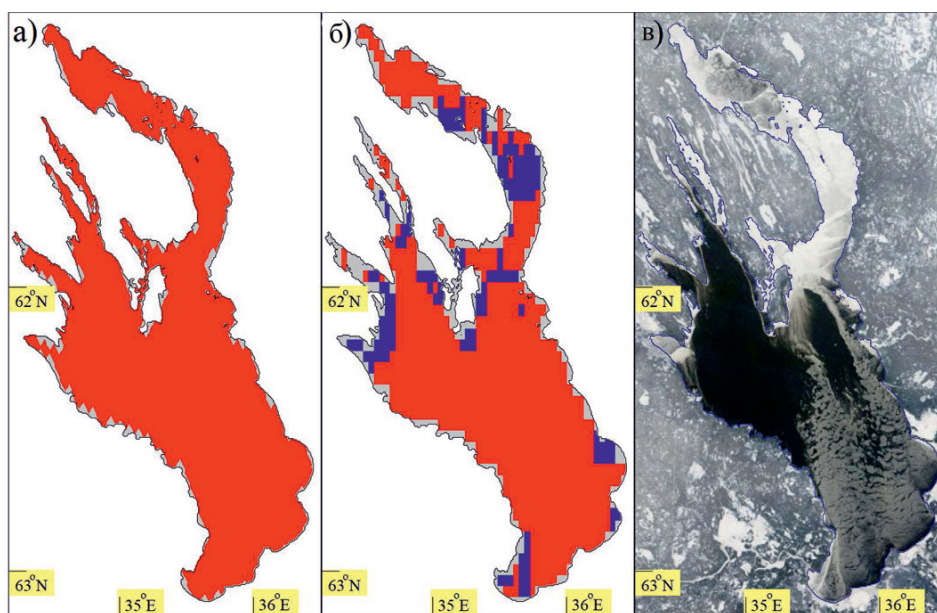


Рис. 1. Визуализация спутниковых данных о состоянии ледяного покрова Онежского озера 25.01.2012: а) по данным NSDIC; б) по данным NOAA NESDIS; в) по данным датчика MODIS. Красным цветом показан лед, синим – вода (а, б)

В связи с этим целью данной работы является проверка адекватности использования данных NSDIC и NOAA NESDIS для определения пространственного распределения льда на озерах, а также для расчета ледовитости озер. Исследование включает следующие этапы:

1. Сбор и анализ спутниковых данных NSDIC, NOAA NESDIS о состоянии ледяного покрова озер за период 2006–2018 гг.

2. Расчет и анализ ошибок спутниковых данных NSDIC, NOAA NESDIS, возникающих при определении пространственного распределения льда на озерах, а также при расчете значений ледовитости озер в моменты времени, на которые доступны достоверные данные.

Материалы и методы исследования

Для критического анализа спутниковых данных NSDIC, NOAA NESDIS при определении пространственного распределения льда выбраны озера, располо-

женные в республике Карелия РФ. Поскольку в этом географическом районе одновременно расположены крупнейшие европейские озера – Онежское и Ладожское, а также небольшие (но пригодные для анализа ледяного покрова при пространственном разрешении 4–6 км) – Сегозеро и Выгозеро (рис. 2). Выбранные озера ежегодно полностью или частично покрываются льдом, что является необходимым условием для проведения данного исследования.

Это позволило определить несоответствие спутниковых данных NSDIC, NOAA NESDIS при определении пространственного распределения льда и расчете ледовитости приблизительно равных и разных по площади акваторий озер в одинаковых климатических условиях.

Временной интервал применяемых в исследовании спутниковых данных соответствует 2006–2018 гг. В этот интервал времени доступны данные всех источников.

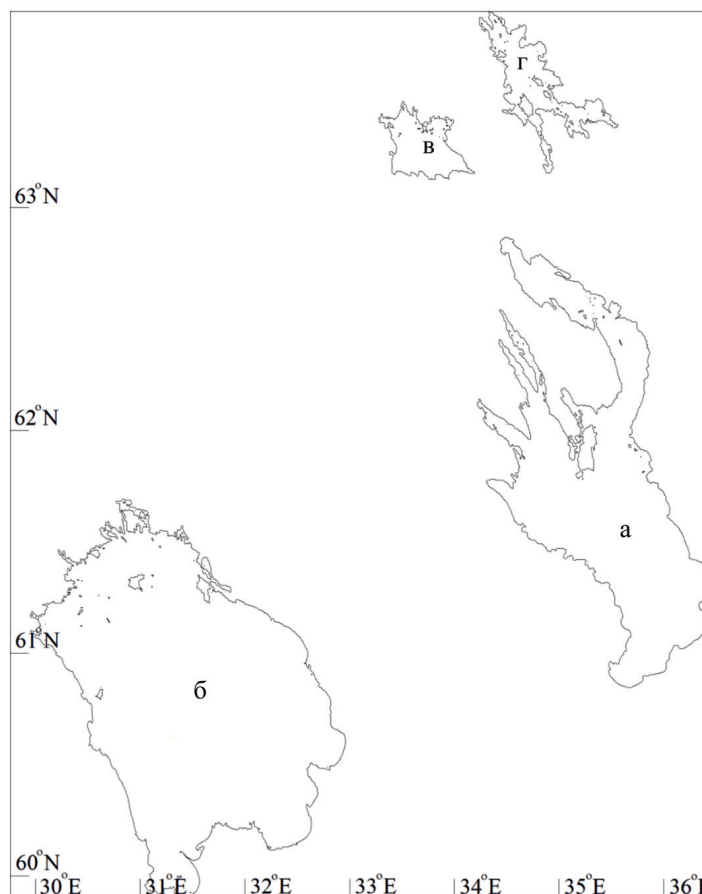


Рис. 2. Рассматриваемые озера в проекции Меркатора (площади акваторий):
 а) Онежское озеро (9720 км²), б) Ладожское озеро (17700 км²), в) Сегозеро (815 км²),
 г) Выгозеро (1250 км²)

В данном исследовании в качестве достоверных данных использовались данные MODIS, которые имеют пространственное разрешение 500 м, в то время как данные NSDIC, NOAA NESDIS имеют пространственное разрешение 4–6 км. Поэтому сравнительный анализ пространственного распределения льда на акватории озер имеет особенности, обусловленные сравнением данных разного пространственного разрешения.

Однородные участки акватории озера $A_1^{small}, A_2^{small}, \dots, A_i^{small}, \dots, A_n^{small}$ по данным MODIS имеют соответственно площади $S_1^{small}, S_2^{small}, \dots, S_i^{small}, \dots, S_n^{small}$. Однородные участки акватории озера $A_1^{large}, A_2^{large}, \dots, A_j^{large}, \dots, A_m^{large}$ по данным NSDIC, NOAA NESDIS имеют соответственно площади $S_1^{large}, S_2^{large}, \dots, S_j^{large}, \dots, S_m^{large}$. При этом $A_j^{large} = \{ \text{water}_j A_j^{small}, \text{ice}_j A_j^{small}, \text{land}_j A_j^{small} \}$.

$\text{water}_j A_j^{small} = \{ \text{water}_j A_{j1}^{small}, \text{water}_j A_{j2}^{small}, \dots, \text{water}_j A_{jw}^{small}, \dots, \text{water}_j A_{jw_count}^{small} \}$ – множество однородных участков по данным MODIS, которые соответствуют участку A_j^{large} по географическим координатам, при этом являются акваторией озера, но не являются льдом.

$\text{ice}_j A_j^{small} = \{ \text{ice}_j A_{j1}^{small}, \text{ice}_j A_{j2}^{small}, \dots, \text{ice}_j A_{jic}^{small}, \dots, \text{ice}_j A_{jic_count}^{small} \}$ – множество однородных участков по данным MODIS, которые соответствуют участку A_j^{large} по географическим координатам, при этом являются акваторией озера, а также являются льдом.

$\text{land}_j A_j^{small} = \{ \text{land}_j A_{j1}^{small}, \text{land}_j A_{j2}^{small}, \dots, \text{land}_j A_{jl}^{small}, \dots, \text{land}_j A_{jl_count}^{small} \}$ – множество однородных участков по данным MODIS, которые соответствуют участку A_j^{large} по географическим координатам, при этом не являются акваторией озера.

Расчет ошибки спутниковых данных (NSDIC, NOAA NESDIS) при определении пространственного распределения льда на озерах для каждого момента времени осуществлялся по формуле

$$\delta = \frac{\sum_{e=1}^r \text{error}_e S_e^{large}}{S_{total}} \cdot 100\%,$$

где S_e^{large} – площадь однородного участка $\text{error}_e A_e^{large}$ из множества $\text{error}_e A_e^{large} = \{ \text{error}_e A_{e1}^{large}, \text{error}_e A_{e2}^{large}, \dots, \text{error}_e A_{er}^{large}, \dots, \text{error}_e A_{er_count}^{large} \}$, которые имеют несоответствие с данными MODIS; r – количество однородных участков, которые имеют несоответствие с данными MODIS; S_{total} – общая площадь акватории озера, обусловленная пространственным разрешением проверяемых спутниковых данных $S_{total} = \sum_{j=1}^m S_j^{large}$.

Несоответствие каждого участка акватории озера проверяемых данных A_j^{large} с данными MODIS считалось, если выполняется условие

$$\left(A_j^{large} = \text{ice} \wedge \sum_{w=1}^{w_count} \text{water}_j S_w^{small} > \sum_{ic=1}^{ic_count} \text{ice}_j S_{ic}^{small} \right) \vee \left(A_j^{large} \neq \text{ice} \wedge \sum_{w=1}^{w_count} \text{water}_j S_w^{small} \leq \sum_{ic=1}^{ic_count} \text{ice}_j S_{ic}^{small} \right).$$

В случае удовлетворения условия участок акватории озера A_j^{large} включался во множество $\text{error}_e A_e^{large}$.

Расчеты δ для озер выполнялись в моменты времени, когда хотя бы по одному из источников данных (NSDIC, NOAA NESDIS, MODIS) на озере имелись ледовые образования. Затем для каждого озера вычислялось среднее значение ошибок $\bar{\delta}$ за все моменты времени.

Результаты исследования и их обсуждение

За период 2006–2018 гг. количество снимков датчика MODIS без облачности в периоды ледовых явлений на озерах составило: 636 снимков Онежского озера, 411 снимков Ладожского озера, 629 снимков Сегозера,

571 снимок Выгозера. Эти снимки использовались при расчете ошибок данных NSDIC, NOAA NESDIS (для каждого момента времени, на который имеется снимок).

Средние значения ошибок при определении пространственного распределения льда на озерах $\bar{\delta}$ и средние значения абсолютных отклонений ледовитости озер спутниковых данных NSDIC, NOAA NESDIS относительно фактических значений ледовитости (по данным MODIS) \overline{MAD}_{ice} представлены в таблице.

Результаты показывают, что данные NSDIC имеют меньшие значения $\bar{\delta}$, чем данные NOAA NESDIS ($\bar{\delta}^{NSDIC} < \bar{\delta}^{NESDIS}$). При этом для всех озер, кроме Ладожского озера, $\bar{\delta}^{NSDIC} < 6\%$.

Средние значения ошибок при определении пространственного распределения льда на озерах $\bar{\delta}$ и средние абсолютные отклонения ледовитости озер \overline{MAD}_{ice} спутниковых данных NSDIC, NOAA NESDIS

| Озера | $\bar{\delta}, \%$ | | $\overline{MAD}_{ice}, \%$ | |
|-----------------|--------------------|-------------|----------------------------|-------------|
| | NSDIC | NOAA NESDIS | NSDIC | NOAA NESDIS |
| Онежское озеро | 5,9 | 18,5 | 4,7 | 16,3 |
| Ладожское озеро | 9,8 | 11,1 | 8,2 | 7,5 |
| Сегозеро | 3,3 | 12,9 | 3,2 | 12,6 |
| Выгозеро | 5,9 | 11,4 | 5,7 | 11,1 |

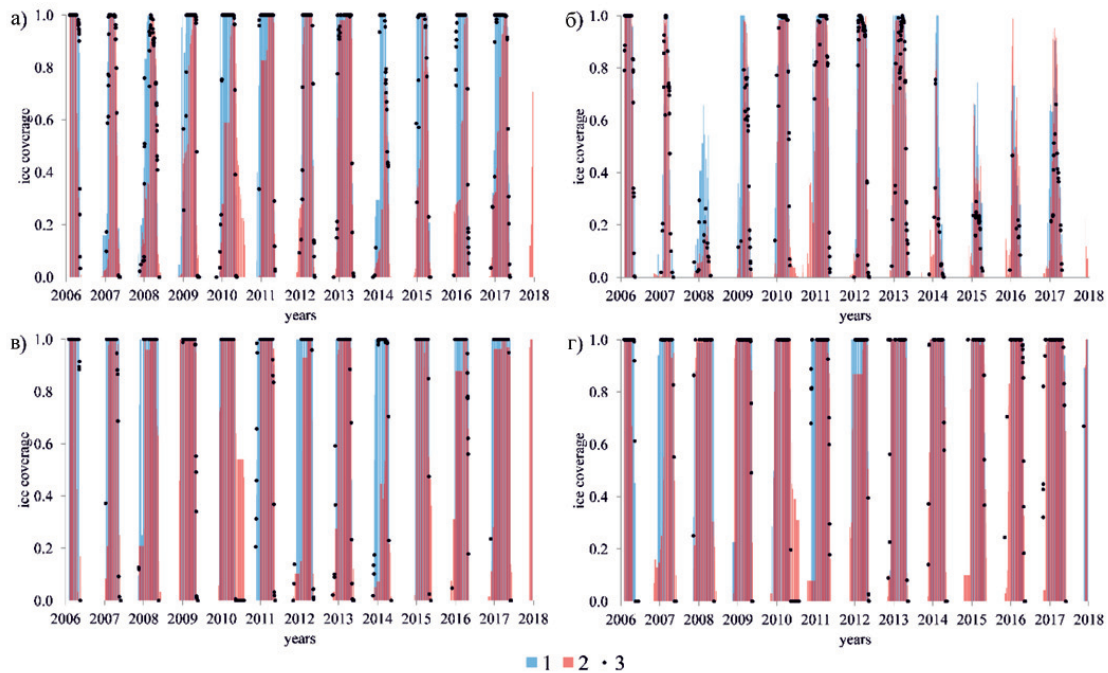


Рис. 3. Графики зависимости ледовитости от времени: а) Онежское озеро; б) Ладожское озеро; в) Сегозеро; г) Выгозеро. Обозначения: 1 – по данным NSDIC, 2 – по данным NOAA NESDIS, 3 – по данным MODIS

Ледовитость характеризует только площадь ледяных образований на озерах, но не характеризует их расположение, поэтому справедливо неравенство: $\overline{MAD}_{ice} < \bar{\delta}$. Ледовитость на озерах имеет большое практическое значение при определении сроков и длительностей фаз ледового режима. Расчет ледовитости озер с меньшим значением \overline{MAD}_{ice} позволяют выполнить лучше данные NSDIC, чем данные NOAA NESDIS, для всех озер, кроме Ладожского озера ($\overline{MAD}_{ice}^{NSDIC} = 8,2\%$).

По спутниковым данным NSDIC, NOAA NESDIS сформированы суточные ряды значений ледовитости озер: Онежское озеро, Ладожское озеро, Сегозеро и Выгозеро за период 2006–2018 гг. Графики зависимо-

стей значений ледовитости озер от времени представлены на рис. 3.

Средние абсолютные отклонения значений ледовитости, полученных по данным NSDIC, от значений ледовитости, полученных по данным NOAA NESDIS, составляют: 18,9% – для Онежского озера, 11,7% – для Ладожского озера, 19,3% – для Сегозера, 12,9% – для Выгозера.

Даты начала и конца, а также длительности ледовых явлений на озерах согласно данным NSDIC иллюстрированы на рис. 4 в виде диаграмм.

Определение дат начала и конца ледовых явлений на рассматриваемых озерах по данным NOAA NESDIS затруднены тем, что в некоторые года ледовые явления наблюдаются и в летнее время. Например, по данным

NOAA NESDIS в 2013 г. в августе и сентябре зафиксировано наличие ледовых образований на Ладожском озере, в то время как в июле и октябре их не было. Это не соответствует действительности для данных озер, которые в летнее время всегда полностью свободны ото льда. При этом невозможно определить границы начала и конца двух смежных периодов ледовых явлений. Поэтому сравнение дат начал и конца ледовых явлений по данным NSDIC и NOAA NESDIS выполнить не удалось.

Количество дней, когда на озерах наблюдались ледовые явления, за период 2006–2018 гг. по данным NSDIC и NOAA NESDIS соответственно составляет: 1846 дней и 2263 дней для Онежского озера (относительное отклонение $\varepsilon = 20,3\%$); 1540 дней и 2159 дней для Ладожского озера ($\varepsilon = 33,5\%$); 1822 дня и 2140 дней для Сегозера ($\varepsilon = 16,1\%$); 1941 день и 2378 дней для Выгозера ($\varepsilon = 20,2\%$).

Значения $\bar{\delta}^{NSDIC}$ являются удовлетворительными (менее 6%) при определении пространственного распределения льда всех озер, кроме Ладожского озера (9,8%). Поэтому данные NSDIC представляют больший интерес при определении пространственного распределения льда, а также при расчетах ледовитости, чем данные NOAA NESDIS. Однако значение $\bar{\delta}^{NSDIC}$ при определении пространственного распределения льда Ладожского озера почти в 2 раза больше, чем других озер. В связи с этим проведен детальный анализ ошибок, которые возникают при определении пространственного распределения льда на озерах по данным NSDIC, NOAA NESDIS и получена зависимость среднего значения ошибки при определении пространственного распределения льда на озерах от фактического значения ледовитости озер $\bar{\delta}(ice)$.

Также установлена зависимость $\overline{MAD}_{ice}(ice)$, характеризующая распределение \overline{MAD}_{ice} от фактических значений ледовитости (по данным MODIS).

Установлено, что зависимость $\bar{\delta}(ice)^{NSDIC}$ монотонно возрастает при увеличении фактических значений ледовитости (по данным MODIS), достигая пика $\bar{\delta}(0,3-0,4)^{NSDIC} = 39,2\%$ при значении ледовитости 0,3–0,4, в дальнейшем происходит монотонное снижение ошибки до минимального значения ($\bar{\delta}(1)^{NSDIC} = 0,7\%$ при полном ледоставе), график зависимости $\bar{\delta}(ice)^{NSDIC}$ изображен на рис. 5.

При этом необходимо отметить, что на 70–80% отобранных для анализа снимков

MODIS озера на них полностью покрыты льдом, исключение составляет Ладожское озеро (лишь 30% всех снимков). Этот факт объясняется тем, что небольшие озера: Сегозеро и Выгозеро, – а также Онежское озеро ежегодно полностью покрывается льдом на значительный интервал времени 80–120 дней. Ладожское озеро не всегда полностью покрывается льдом (рис. 3, б). В 2008–2009 гг., 2014–2017 гг. не имеется снимков MODIS, свободных от облачности, на которых Ладожское озеро полностью покрыто льдом. Все это объясняет относительно большое значение $\bar{\delta}^{NSDIC}$ (9,8%) при исследовании Ладожского озера в сравнении с другими озерами.

Также следует отметить, что данным NSDIC с небольшим средним значением $\bar{\delta}(0)^{NSDIC}$ (5,0%) позволяют зафиксировать полное отсутствие льда на озере (рис. 5). Таким образом, с помощью данных NSDIC можно адекватно в целом определить даты начала и конца периодов, когда озеро покрыто полностью, частично и полностью не покрыто льдом, при этом большое значение $\overline{MAD}_{ice}^{NSDIC}$ (0–1) (до 35%) в фазы замерзания и вскрытия не влияет на расчет этих дат. Это позволяет решить важную гидрологическую задачу – определение сроков и длительностей фаз ледового режима озер. Однако формирование суточного ряда значений ледовитости озер с помощью данных NSDIC во время замерзания и вскрытия является недопустимым. Для этого необходимо использовать дополнительные более точные данные.

Зависимость $\bar{\delta}(ice)^{NESDIS}$ имеет схожий характер с зависимостью $\bar{\delta}(ice)^{NSDIC}$, максимальное значение $\bar{\delta}(0,6-0,7)^{NESDIS} = 37,2\%$ достигается при значении ледовитости 0,6–0,7, а минимальное значение $\bar{\delta}(1)^{NESDIS} = 9,3\%$ при полном ледоставе (рис. 5).

Отличием зависимости $\bar{\delta}(ice)^{NESDIS}$ от зависимости $\bar{\delta}(ice)^{NSDIC}$ является наличие большого значения $\bar{\delta}(0)^{NESDIS} = 30,6\%$ в моменты, когда озеро полностью свободно ото льда. Такое значение $\bar{\delta}(0)^{NESDIS}$ учитывает летние периоды, когда по данным NOAA NESDIS имеют место ледовые явления на озерах, в то время как в действительности рассматриваемые озера в летнее время всегда полностью свободны ото льда. По этой же причине за период 2006–2018 гг. количество дней, когда на озерах наблюдались ледовые явления по данным NOAA NESDIS для всех озер больше на 15–30%, чем по данным NSDIC.

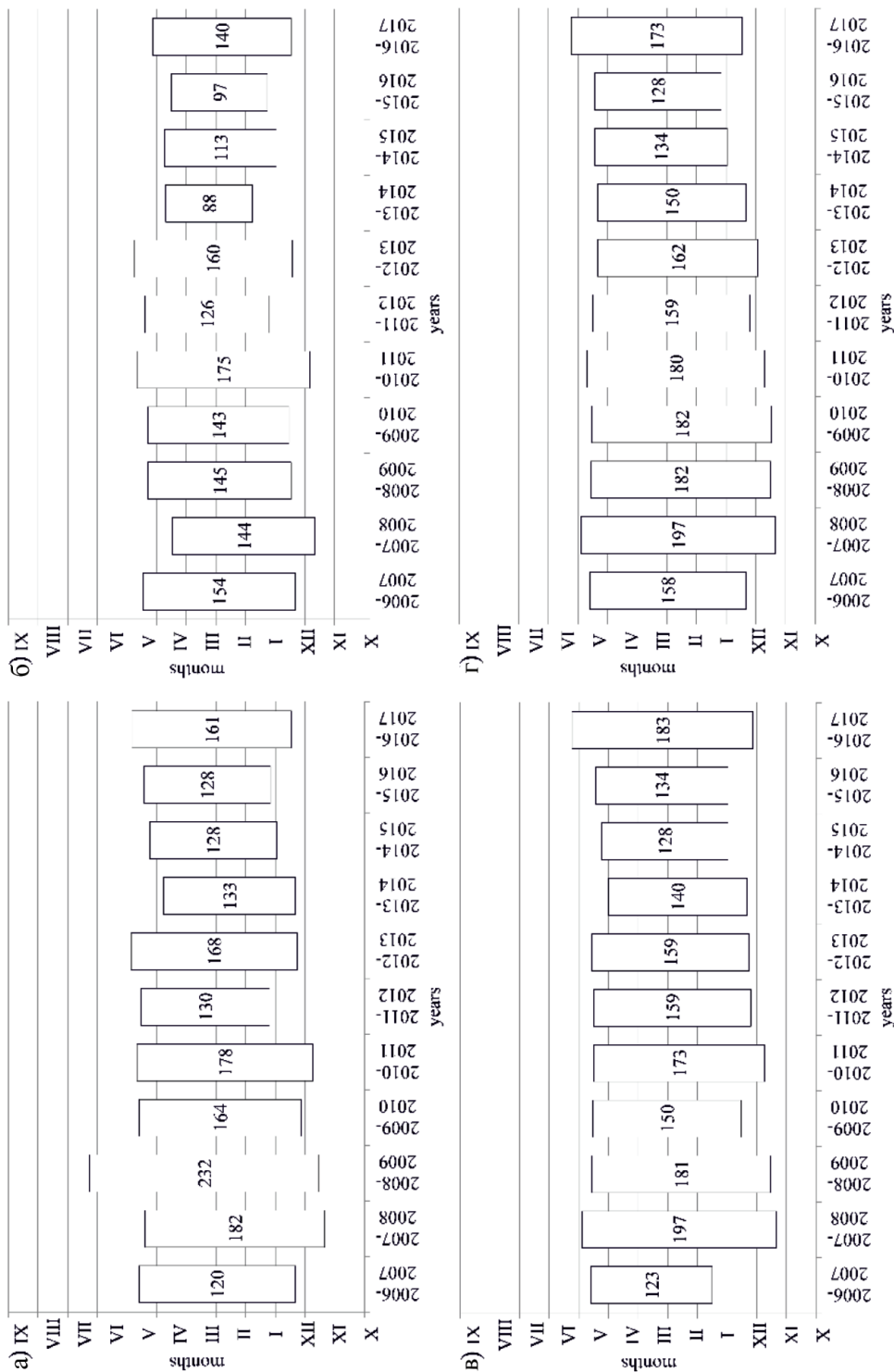


Рис. 4. Даты начала и конца ледовых явлений (с указанием длительности) по данным NSDIC для озер:
 а) Онежское озеро; б) Ладожское озеро; в) Сегозеро; г) Выгозеро

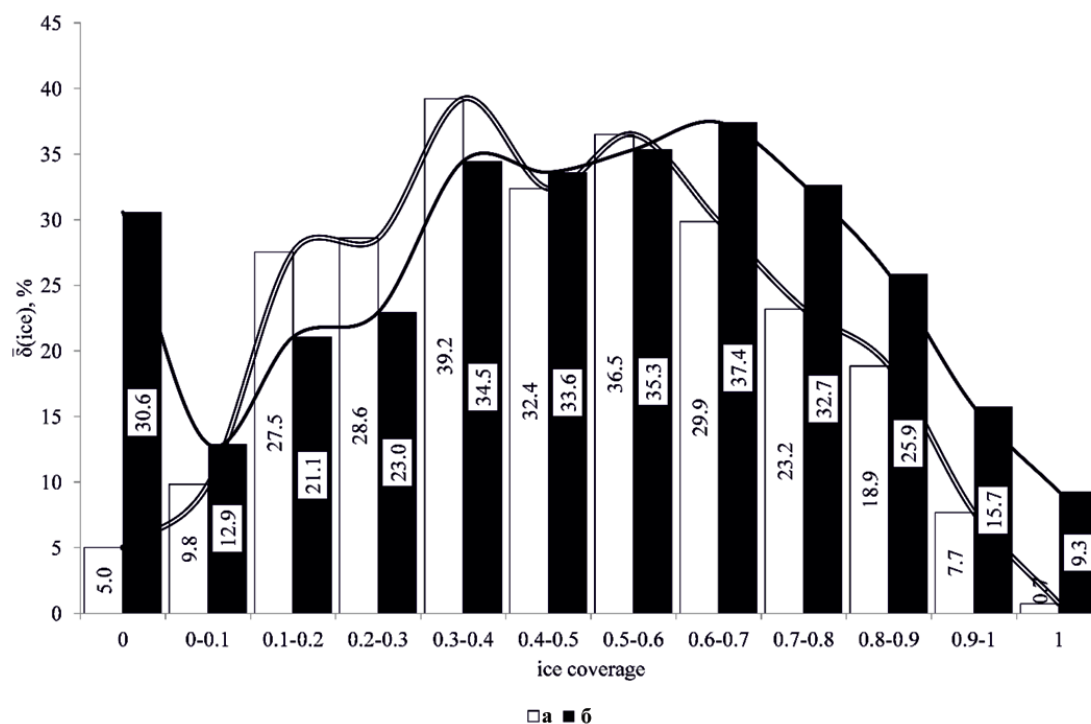


Рис. 5. Графики зависимости $\bar{\delta}(ice)$: а) данных NSDIC; б) данных NOAA NESDIS

Выводы

Установлено, что данные NSDIC имеют меньшее значение $\bar{\delta}$ (3–10%), чем данные NOAA NESDIS (11–19%) для озер (Онежского, Ладожского озер, Сегозера, Выгозера) в сравнении с данными MODIS. Поэтому при определении пространственного распределения льда на озерах целесообразно использовать данные NSDIC.

Во время замерзания и вскрытия по данным NSDIC (а также NOAA NESDIS) $\bar{\delta}^{NSDIC}$ могут достигать неприемлемого значения 40% (значения \overline{MAD}_{ice} до 35%). В связи с этим формирование подробного временного ряда значений ледовитости во время замерзания и вскрытия с использованием спутниковых данных NSDIC, NOAA NESDIS возможно только при корректировке их другими более точными данными, например, данными MODIS.

Однако данные NSDIC позволяют рассчитать значение ледовитости озер во время полного ледостава и отсутствия ледовых явлений на озере с достаточной точностью ($\overline{MAD}_{ice}^{NSDIC}(0) = 0,7\%$ и $\overline{MAD}_{ice}^{NSDIC}(1) = 5,0\%$). Это позволяет сделать вывод о том, что применение данных NSDIC целесообразно для

определения сроков и длительностей фаз ледового режима.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для поддержки молодых российских ученых МК-3379.2018.5.

Список литературы / References

- Adrian R., O'Reilly C.M., Zagarese H., Baines S.B., Hesse D.O., Keller W., Livingstone D.M., Sommaruga R., Striale D., Donk E.V., Weyhenmeyer G.A., Winder M. Lakes as sentinels of climate change. *Limnology and Oceanography*. 2009. Vol. 54. No. 6. P. 2283–2297. DOI: 10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2283.
- Karetnikov S.G., Naumenko M.A. Recent trends in Lake Ladoga ice cover. *Hydrobiology*. 2008. Vol. 599. No. 1. P. 41–48. DOI: 10.1007/s10750-007-9211-1.
- Magnuson J.J., Robertson D.M., Benson B.J., Wynne R.H., Livingstone D.M., Arai T. Historical Trends in Lake and River Ice Cover in the Northern Hemisphere. *Science*. 2000. Vol. 289 No. 5485. P. 1743–1746. DOI: 10.1126/science.289.5485.1743.
- Abd Rahman M.A., Khiruddin A., Hwee S.L., Muhd F.E., Fadhli A., Rosnan Y. Development of Regional TSS Algorithm over Penang using Modis Terra (250 M) Surface Reflectance Product. *Ekológia (Bratislava)*. 2016. Vol. 35. No. 3. P. 289–294. DOI: 10.1515/eko-2016-0023.
- Baklagin V.N. Selection of Parameters and Architecture of Multilayer Perceptrons for Predicting Ice Coverage of Lakes. *Ekológia (Bratislava)*. 2017. Vol. 36. No. 3. P. 226–234. DOI: 10.1515/eko-2017-0019.
- Abd Rahman M.A., Fadhli A., Khiruddin A. Discriminating sediment and clear water over coastal water using GD technique. *Ekológia (Bratislava)*. 2017. Vol. 36 No. 1. P. 10–24. DOI: 10.1515/eko-2017-0002.