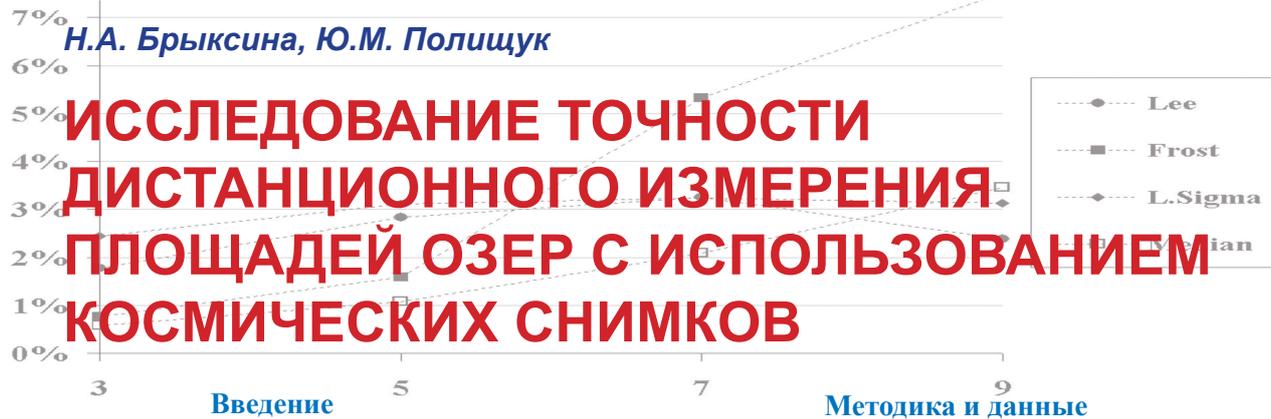


Н.А. Брыксина, Ю.М. Полищук

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ДИСТАНЦИОННОГО ИЗМЕРЕНИЯ ПЛОЩАДЕЙ ОЗЕР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ



В условиях труднодоступности территории многолетней мерзлоты как в России, так и за рубежом большой интерес представляет исследование динамики термокарстовых процессов дистанционными методами. В этих исследованиях в качестве наиболее пригодных геоморфологических индикаторов изменения криогенного состояния грунтов используются хорошо дешифрируемые на космических снимках термокарстовые озера. В большинстве работ, например [1-4], исследование динамики площадей термокарстовых озер на территориях многолетней мерзлоты проводится с использованием оптических космических снимков Landsat. Выбор этих снимков определяется наличием архива данных за более чем тридцатилетний период времени, что позволяет проводить исследования многолетней динамики площадей термокарстовых озер.

Одним из важных вопросов исследования многолетней динамики площадей озер является изучение влияния внутрисезонных изменений площадей озер в летние периоды года. Для исследования внутрисезонной динамики площадей термокарстовых озер необходимо иметь еженедельные или хотя бы ежемесячные космические снимки. Однако из-за преобладания на северных территориях в теплый период года облачных дней не удается получить достаточное число пригодных для исследований безоблачных космических снимков Landsat. Поэтому для исследования внутрисезонной динамики площадей озер необходимо использовать радиолокационные снимки, на которые облачность не оказывает влияния [5].

В настоящее время вопросы оценки точности дистанционного измерения площадей озер с использованием оптических и радиолокационных снимков изучены недостаточно, что затрудняет проведение количественного анализа динамики площадей термокарстовых озер в зонах многолетней мерзлоты в условиях современного глобального потепления климата. В связи с этим исследование точности дистанционного измерения площадей озер явилось основной целью данной работы.

Анализ точности дистанционного измерения площадей озер на снимках Landsat-5 и ERS-2 проводился путем сравнения результатов измерений площадей озер на указанных снимках с данными измерений площадей на снимках Quick Bird, которые рассматривались в качестве эталонных в связи с их достаточно высоким пространственным разрешением.

Для исследования было выбрано два полигона А и В, расположение границ которых показано на рис. 1.

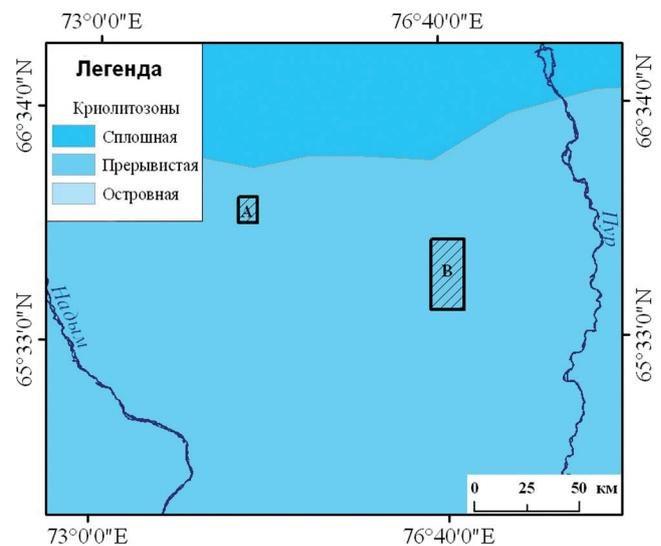


Рис. 1. Карта-схема расположения полигонов А и В

Полигоны расположены в подзоне прерывистой мерзлоты Западной Сибири в междуречье рек Надым и Пур. Площадь полигона А составляет 11 480 км², полигона В – 55 591 км². В табл. 1 приведен перечень космических снимков, использованных в исследованиях погрешности измерения площадей озер. Как видно из табл. 1, на каждый полигон были подобраны снимки одного и того же года. Так, полигон А представлен снимками Landsat-5 и Quick Bird 2008 года, полигон В – снимками Landsat-5, ERS-2 и Quick Bird 2006 года. Измерения площадей озер

Таблица 1

Космические снимки территории полигонов А и В

Территории полигонов	Космические снимки
А	Quick Bird (02.09.2008 г.)
	Landsat-5 (21.07.2008 г.)
В	Quick Bird (15.08.2006 г.)
	Landsat-5 (17.07.2006 г.)
	ERS-2 (12.07.2006 г.)

на космических снимках проводились с использованием средств ENVI 4.4.

Рассмотрим методические вопросы исследования фильтрации радиолокационных снимков ERS-2 для снижения влияния спекл-шума, влияющего на точность измерения площадей озер. Известно, что присутствующий на радиолокационных снимках спекл-шум, оказывает влияние на точность измерения площадей озер, что вызывает необходимость исследования фильтрации радиолокационных изображений для снижения влияния спекл-шума на точность измерения площадей озер с использованием радиолокационных снимков. На рис. 2 представлена обобщенная схема анализа точности измерения площадей озер на радиолокационных снимках ERS-2, отфильтрованных разными методами, которые реализованы в ENVI 4.4.



Рис. 2. Схема анализа влияния фильтрации радиолокационных снимков на точность измерения площадей озер

Оценка точности измерений площадей озер проводилась путем сравнения результатов измерений площадей озер на отфильтрованных радарных снимках с измерениями площадей тех же озер на снимке Quick Bird. Фильтрация изображений проводилась с использованием методов Lee, Frost, Local Sigma и Median, реализованных в программном обеспечении ENVI 4.4. Размеры «скользящего окна» в «фильтрах» выбирались из последовательности 3×3, 5×5, 7×7 и 9×9 пикселей. С помощью каждого метода фильтрации было получено по четыре отфильтрованных снимка ERS-2, так что общее количество исследованных отфильтрованных снимков составило 16. На рис. 3 на примере одного из озер показаны результаты применения фильтрации радиолокационного изображения методом Median при разных размерах «скользящего окна».

Данные измерений площадей озер на отфильтрованных разными методами радиолокационных снимках и на снимках Quick Bird использовались для расчета относительной погрешности измерения площади озер по формуле:

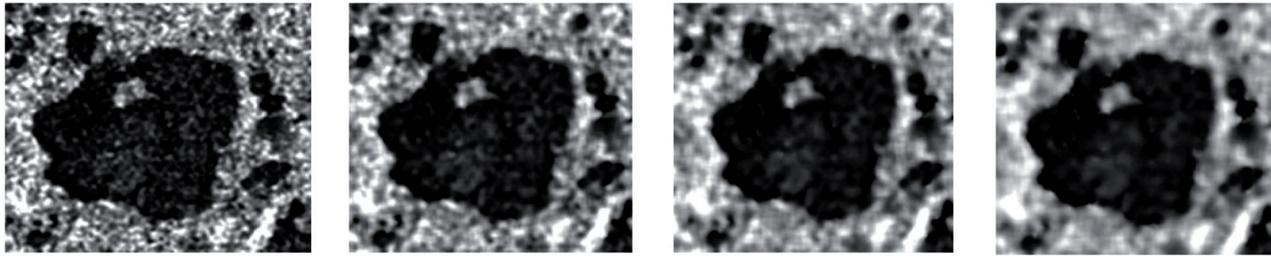
$$\delta = (S_E - S_Q) / S_Q, \tag{1}$$

где S_E и S_Q – значения площади озер на территории полигона В, измеренные на отфильтрованных снимках ERS-2 и на снимке Quick Bird соответственно.

Исследования погрешности измерения площадей озер на оптических снимках Landsat проводились путем расчета относительной погрешности измерения площади озер по формуле, аналогичной (1), в которой величина S_E заменялась величиной S_L , означающей площадь озера, измеренную на снимках Landsat.

Результаты исследования и их обсуждение

Ниже приведены результаты исследований точности дистанционного измерения площадей озер. На снимках Landsat-5 в пределах границ полигонов А и В были измерены площади 84 и 149 озер соответственно, а на отфильтрованном изображении ERS-2 проведены измерения 149 озер в границах полигона В.



Median (3x3)

Median (5x5)

Median (7x7)

Median (9x9)

Рис. 3. Фрагменты отфильтрованных методом Median снимков ERS-2 при разных размерах «скользящего окна»

На рис. 4 приведен график зависимости относительной погрешности измерения площадей всех исследованных озер на полигонах *A* и *B* с помощью снимков Landsat от величины их площади. Точками на графике показаны значения относительной погрешности измерения площади озер, определенные по формуле (1). График изменения величины относительной погрешности (δ) в зависимости от площадей озер (*S*) с использованием программной системы Excel аппроксимируется уравнением степенной функции в виде:

$$\delta = \alpha S^\gamma, \quad (2)$$

где γ и α – коэффициенты степенной функции.

Как видно из рис. 4, относительная погрешность измерения площадей озер с увеличением их площади в среднем уменьшается. Так, при $S > 5$ га усредненная погрешность измерения площади озер на снимках Landsat не превышает 5%.

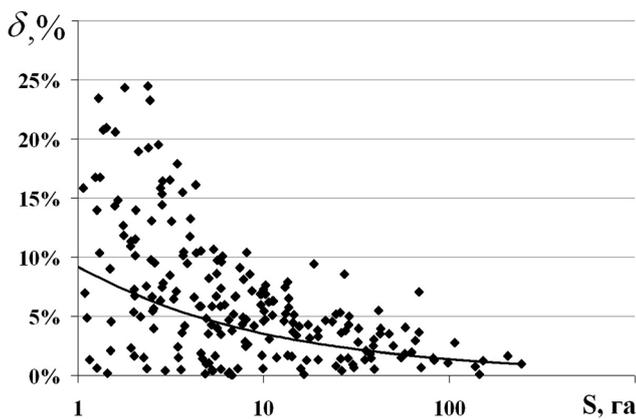


Рис. 4. Относительная погрешность измерений площадей озер на снимках Landsat

Рассмотрим результаты исследования точности измерения площадей озер на радиолокационных снимках. На рис. 5 приведен график относительной погрешности измерения средней площади озер с помощью радиолокационного снимка (по отношению

к измерениям на снимке Quick Bird) в зависимости от размера скользящего окна. Как видно из графика на рис. 5, наилучшая точность измерения площади озер при фильтрации радиолокационных снимков ERS-2 обеспечивается методом Median при размерах «скользящего окна» 3x3, 5x5 и 7x7 пикселей. При этом наименьшая относительная погрешность измерения площадей термокарстовых озер на радиолокационных снимках ERS-2 достигается при использовании метода фильтрации Median при размере «скользящего окна» 3x3 пикселя. Этот метод может быть рекомендован для проведения фильтрации радиолокационных снимков для дистанционных измерений площадей озер.

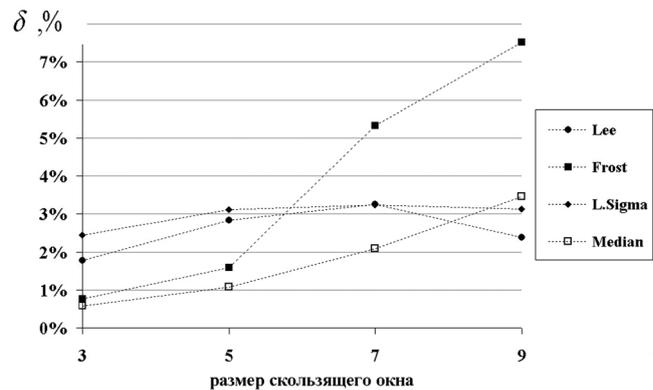


Рис. 5. Относительная погрешность измерения средней площади термокарстовых озер в зависимости от размера скользящего окна

Проведем сравнение погрешностей измерений площадей на исходном снимке ERS-2 (до фильтрации) и после проведения фильтрации методом Median при размере скользящего окна 3x3 на полигоне *B*. На рис. 6 приведены величины относительных погрешностей измерения площадей озер на ERS-2 в зависимости от величины измеряемой площади. Сплошная линия на графике представляет

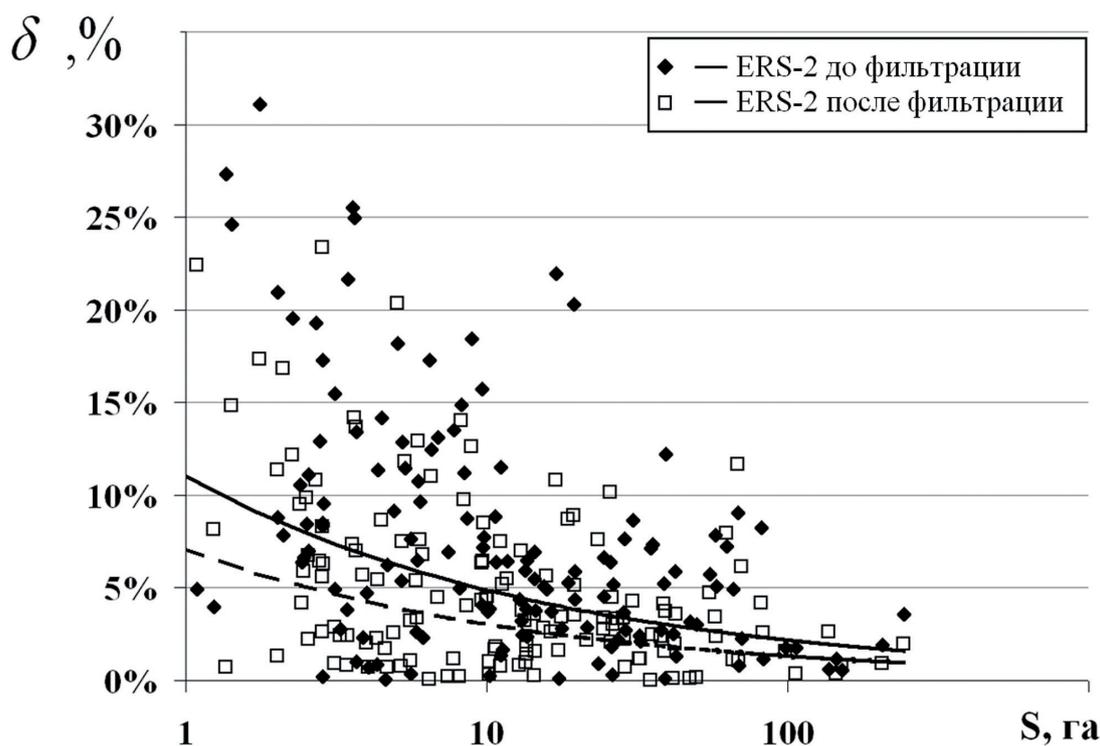


Рис. 6. Относительная погрешность измерений площадей озер на исходном и отфильтрованном изображениях ERS-2

аппроксимацию в виде (2) эмпирической зависимости величин относительной погрешности измерений площадей озер на радиолокационном снимке ERS-2 до фильтрации, а прерывистая линия – на отфильтрованном изображении. Как видно из графика на рис. 6, точность измерения площадей озер после проведения фильтрации изображения ERS-2 выше, чем на исходном (до фильтрации) изображении.

Проведем сравнение погрешностей измерений площадей озер на снимках ERS-2 и Landsat-5. На рис. 7 для сравнения приведен график зависимости относительной погрешности измерений площадей озер на отфильтрованном изображении ERS-2 и на снимке Landsat-5. Сплошная и прерывистая линии на графике показывают аппроксимирующие кривые степенного вида (2) для зависимостей относительных погрешностей измерений площадей озер, полученных на отфильтрованном радиолокационном изображении ERS-2 и на снимке Landsat-5 соответственно.

В соответствии с графиком на рис. 7, точность измерения площадей озер с размерами более 50 га как на отфильтрованном радиолокационном изображении ERS-2, так и на снимке Landsat-5 приблизительно одинаковая, а для озер с площадями менее 50 га точность измерения на ERS-2 в среднем выше, чем на снимке Landsat-5. Так, для озер с площадью 10 га относительная погрешность измерения

площадей озер на отфильтрованном радиолокационном изображении в среднем составляет 3%, что меньше, чем на снимке Landsat-5 (3,5%), что может объясняться более высоким пространственным разрешением снимков ERS-2 (12,5 м) по сравнению с Landsat-5 (30 м).

Приведенные на рис. 4, 6 и 7 графики относительной погрешности дистанционного измерения площадей озер в зависимости от величины их площади позволяют разработать практические рекомендации по определению минимальных площадей озер на космических снимках Landsat-5 и ERS-2 для указанной точности их измерения (табл. 2).

Ключевые слова: термокарстовые озера, космические снимки, методы фильтрации, точность измерения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравцова В.И., Быстрова А.Г. Изучение динамики термокарстовых озер России // Геоинформатика. – 2009. – № 1. – С. 44-51.
2. Kääb A. Remote Sensing of Permafrost-related Problems and Hazards // Permafrost and Periglac. Process. – 2008. – № 19. – P. 107-136.
3. Riordan B., Verbyla D., McGuire A.D. Shrinking ponds in subarctic Alaska based on 1950-2002 remotely sensed images // J. Geophys. Res, 2006. – Vol. III. – G04002, doi:10.1029/2005JG000150.

4. Smith L.C., Sheng Y., MacDonald G.M. A First Pan-Arctic Assessment of the Influence of Glaciation, Permafrost, Topography and Peatlands on Northern Hemisphere Lake Distribution // Permafrost and Periglacial Processes, 2007. – Vol. 18. – P. 201-208.

5. Брыксина Н.А., Полищук Ю.М. Анализ сезонных изменений площадей термокарстовых озер в зоне вечной мерзлоты Западной Сибири с использованием снимков ERS-2 // Исследование Земли из космоса. – 2009. – № 3. – С. 90-93.

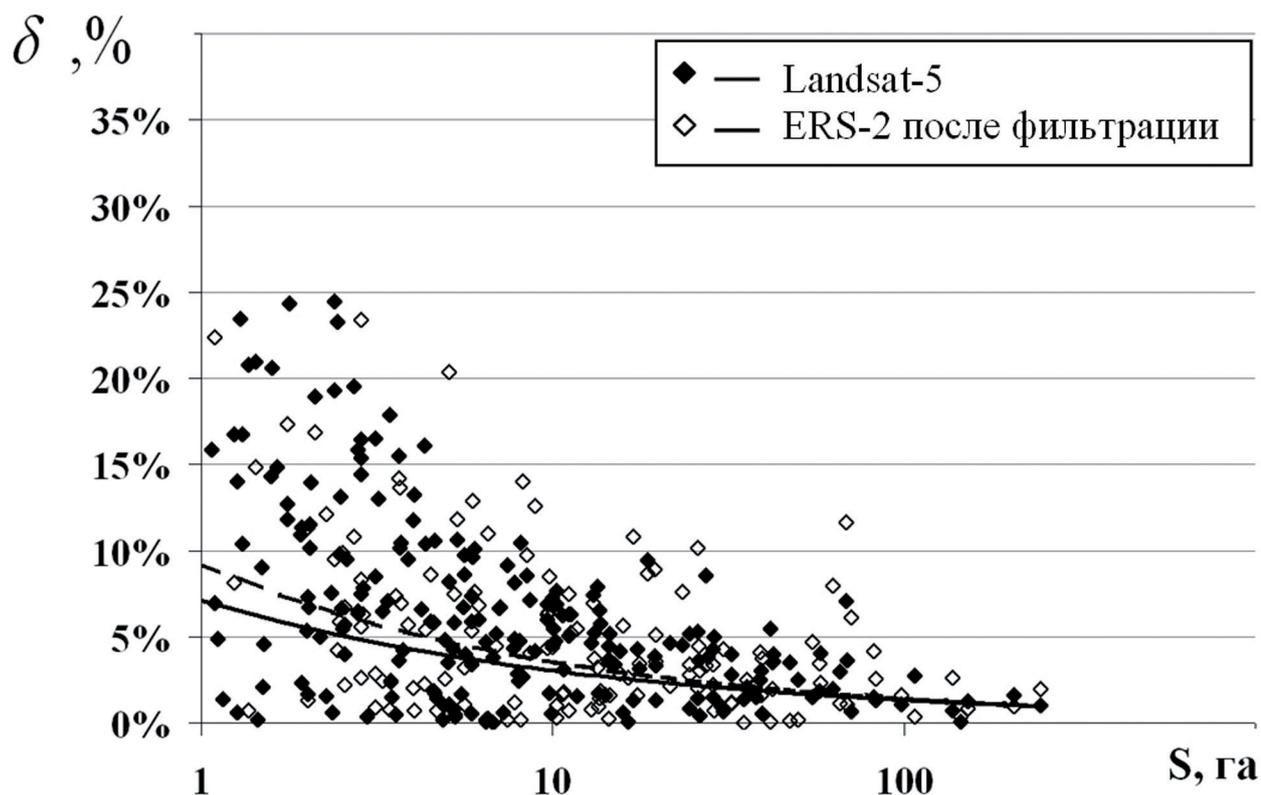


Рис. 7. Изменение относительной погрешности измерений площадей озер на снимках ERS-2 и Landsat-5

Таблица 2

Среднее значение погрешности измерения площадей озер в зависимости от их размеров

$S, \text{га}$	$\bar{\delta}, \%$		
	Landsat-5	ERS-2 (до фильтрации)	ERS-2 (после фильтрации)
1	9,3	11	7,2
2	7,0	8,8	5,3
5	4,8	6,2	3,8
10	3,5	4,8	3,0
50	1,8	3,0	1,8
100	1,4	2,2	1,3
200	1,1	1,7	0,9