

*Ю. М. Полищук, Д. С. Шаронов*

**ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОРМЫ  
БЕРЕГОВЫХ ГРАНИЦ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР  
В ЗОНАХ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ ГОРНОГО АЛТАЯ**

*Исследования изменчивости формы береговых границ термокарстовых озер проведены на шести тестовых участках многолетней мерзлоты в урочище Ештыкёль в Горном Алтае. Изложены методические вопросы статистического анализа изменчивости границ озер с использованием космических снимков. Показано, что степень изменчивости береговых границ озер на исследуемых тестовых участках растет со временем. Результаты работы могут быть использованы при моделировании полей термокарстовых озер в исследовании динамики термокарста на территориях многолетней мерзлоты в условиях климатических изменений.*



*This article presents a study into the shape variation of thermokarst lakes coastal boundaries carried out on six test sites in Eshtykol in the Altai Mountains. The authors describe the methodological issues of the statistical analysis of lake boundary variability with the help of satellite images. The authors show that the degree of lake shoreline variability is increasing with time. The study results can be used in modeling the fields of thermokarst lakes and research on thermokarst dynamics on permafrost territories in the conditions of climatic changes.*

**Ключевые слова:** многолетняя мерзлота, термокарстовые озера, космические снимки, глобальное потепление, геоинформационные системы.

**Key words:** permafrost, thermokarst lakes, space images, global warming, geoinformation systems.

## Введение

Как известно [1, с. 118], естественные системы наиболее чутко реагируют на изменения климата. Поэтому изучение динамики многолетнемерзлых пород в горных озерно-болотных ландшафтах в условиях глобального потепления имеет большое научное значение. Наземные исследования горных термокарстовых озер в Горном Алтае проводились Волковой и др. [1, с. 118]. Однако исследований термокарстовых озер с использованием методов дистанционного зондирования выполнено крайне мало. Более того, вопросы пространственной изменчивости береговых линий термокарстовых озер, насколько нам известно, до сих пор вообще не рассматривались. Важность этих исследований определяется необходимостью создания средств математического моделирования динамики озер [2, с. 54] в связи с недостаточностью числа доступных разновременных космических снимков оптического диапазона из-за большого количества пасмурных дней в горах в летние месяцы. Вышеизложенное определило цель настоящей работы — дистанционное исследование пространственной изменчивости (извилистости) береговых границ термокарстовых озер в горных ландшафтах мерзлых болот.

## Методика и данные

Для исследования была выбрана территория, расположенная в районе урочища Ештыкёль в горах Алтая в зоне прерывистого распространения многолетней мерзлоты. Подробная ландшафтно-экологическая характеристика озерно-болотной системы Ештыкёль дана в [1, с. 122]. Урочище Ештыкёль расположено в Горном Алтае, на северо-востоке от хребта Биш-Иирду у подножья Северо-Чуйского хребта [1, с. 122]. На данной территории была выбрана совокупность из шести тестовых участков (ТУ) наиболее интенсивного термокарста. Для проведения исследований использовались космические снимки Landsat 5 TM (20.09.1993; 08.09.2006; 15.06.2010) и Landsat 7 ETM+ (27.06.2000), полученные в теплые периоды.

Дешифрирование космических снимков выполнялось с помощью программы ERDAS Imagine 9.1. Для дальнейшей обработки данных использовались программные средства геоинформационной системы ArcGis 9.3. Статистическая обработка результатов проводилась в программе Statistica 6.0.



В качестве показателя пространственной изменчивости береговых границ термокарстовых озер использована величина  $f$ , определяемая в [3, с. 332] по следующей формуле:

$$f = \frac{P^2}{4\pi S},$$

где  $P$  – периметр объекта,  $S$  – площадь объекта.

### Результаты и их анализ

Всего проанализировано 248 озер. Для каждого из них на исследуемом тестовом участке (ТУ) был рассчитан коэффициент  $f$ , затем определялись его средние значения и доверительные интервалы (для доверительной вероятности 0,9) для каждого ТУ. В таблице в качестве иллюстраций представлены статистические характеристики величины  $f$ , определенные на основе обработки снимка от 27.06.2000 г.

#### Статистические характеристики величины $f$

№ ТУ	Кол-во озер	Среднее значение $f$	Доверительный интервал
1	20	2,81	2,48 – 3,13
2	95	3,00	2,83 – 3,17
3	30	3,57	2,93 – 4,21
4	34	2,11	1,89 – 2,34
5	35	2,60	2,35 – 2,85
6	51	2,47	2,27 – 2,67

Аналогичные расчеты проводились для каждого года исследований с использованием разновременных космических снимков. На рисунке представлен график временных изменений среднего значения коэффициента  $f$ , вычисленного по данным измерений на всех тестовых участках. Точки на графике отображают средние значения  $f$  для всех ТУ. Отрезки прямых линий показывают доверительные интервалы, определенные для вероятности 90 %.

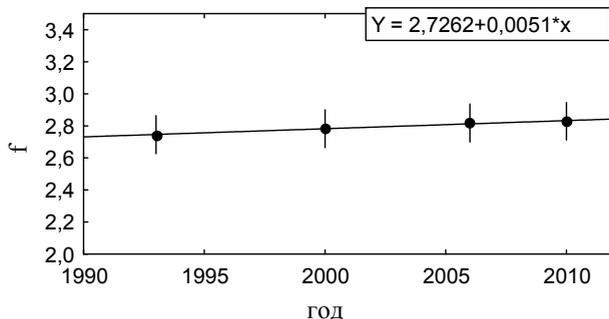


Рис. Изменение среднего значения показателя изменчивости формы озер во времени

Из рисунка видно, что показатель пространственной изменчивости формы береговых линий озер в среднем увеличивается со временем, что может быть связано с влиянием наблюдающегося потепления климата.



## Заключение

Исследования изменчивости формы береговых границ термокарстовых озер проведены на шести тестовых участках многолетней мерзлоты в урочище Ештыкёль в Горном Алтае. Изложены методические вопросы статистического анализа изменчивости границ озер с использованием космических снимков. В результате выполненной работы были исследованы пространственные изменения формы береговых границ озер. Установлено, что степень изменчивости их формы увеличивается со временем. Результаты работы могут быть использованы при моделировании полей термокарстовых озер в исследовании динамики термокарста на территориях многолетней мерзлоты в условиях климатических изменений.

55

*Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (госконтракт № 14.740.11.0409 от 20 сентября 2010 г.) и АВЦП Минобрнауки РФ (проект «Изучение термокарста в зонах многолетней мерзлоты Западной Сибири под воздействием глобального потепления с использованием геоимитационного моделирования и дистанционного зондирования»).*

## Список литературы

1. Волкова И.И., Волков И.В., Косых Н.П. Горная озерно-болотная система урочища Ештыкёль (Горный Алтай) // Вестник Томского государственного университета. 2010. № 1. С. 118–137.
2. Полищук Ю.М., Полищук В.Ю. Имитационное моделирование полей термокарстовых озер на территории многолетней мерзлоты // Информационные системы и технологии. 2011. № 1(63). С. 53–60.
3. Берлянт А.М., Востокова А.В., Кравцова В.И. Картоведение : учебник / под ред. А.М. Берлянта. М., 2003.

## Об авторах

Юрий Михайлович Полищук – д-р физ.-мат. наук, гл. науч. сотр., Институт химии нефти Сибирского отделения РАН, Томск; проф., Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск.

E-mail: Yu\_Polishchuk@ugrasu.ru

Данил Сергеевич Шаронов – вед. инженер, Югорский государственный университет, Ханты-Мансийск.

E-mail: D\_Sharonov@ugrasu.ru

## About authors

Prof. Yuri Polishchuk, Chief Research Fellow, Institute of Petroleum Chemistry of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk; Yugra State University, Khanty-Mansiysk.

E-mail: Yu\_Polishchuk@ugrasu.ru

Danil Sharonov, Chief Engineer, Yugra State University, Khanty-Mansiysk.

E-mail: D\_Sharonov@ugrasu.ru