
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О ЗЕМЛЕ

ДИСТАНЦИОННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФОРМЫ БЕРЕГОВЫХ ГРАНИЦ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР НА ТЕРРИТОРИИ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

© 2012 г. В. Ю. Полищук*, Ю. М. Полищук

*Учреждение Российской академии наук Институт мониторинга климатических
и экологических систем СО РАН, Томск*

Учреждение Российской академии наук Институт химии нефти СО РАН, Томск

*E-mail: liquid_metal@mail.ru

Поступила в редакцию 08.02.2011 г.

Исследования изменчивости формы береговых границ термокарстовых озер проведены на трех тестовых участках, выбранных в разных зонах вечной мерзлоты на территории Западной Сибири. Разработаны методические вопросы статистического анализа изменчивости границ озер с использованием космических снимков. Исследования границ 30 озер показали, что с погрешностью приблизительно 5% береговые границы реальных озер могут быть аппроксимированы окружностями. Результаты работы могут быть использованы при моделировании полей термокарстовых озер в исследованиях динамики термокарста на территориях многолетней мерзлоты.

Ключевые слова: космические снимки, геоинформационные системы, многолетняя мерзлота, термокарстовые озера

Глобальное потепление климата приводит к уменьшению прочности многолетнемерзлых пород в зоне многолетней мерзлоты Западной Сибири, что вызывает рост аварийности на трубопроводах и других объектах нефтегазового комплекса (Samsonov et al., 2007). Для разработки мероприятий по снижению ущерба нефтегазовых предприятий необходимо получать качественный прогноз изменения термокарстовых процессов на этой территории, что требует разработки средств математического моделирования. В задачах моделирования морфологии ландшафта (Викторов, 2009) и полей термокарстовых озер на территории многолетней мерзлоты (Полищук, Полищук, 2011) важным является вопрос моделирования формы береговых границ отдельных озер. В частности, в (Полищук, Полищук, 2011) описана имитационная модель полей термокарстовых озер, в которой озера моделируются окружностями. Насколько нам известно, вопрос о возможности представления термокарстовых озер окружностями в литературе не рассматривался. В связи с этим целью настоящего сообщения явилось проведение анализа погрешностей представления отдельных озер окружностями на основе космических снимков.

Рассмотрим методические вопросы проведения экспериментальных исследований. Вследствие высокой степени заболоченности и труднодоступности территории многолетней мерзлоты

Западной Сибири исследование термокарстовых процессов практически невозможно без применения данных дистанционного зондирования поверхности Земли. Поэтому изучение возможности представления термокарстовых озер окружностями проведено с использованием космических снимков. Экспериментальные исследования проводились на трех тестовых участках (ТУ), расположенных в разных зонах многолетней мерзлоты на территории Западной Сибири, карта-схема расположения которых приведена на рис. 1.

В исследованиях были использованы следующие космические снимки: Landsat-4 (07.07.1988, ТУ-1); Landsat-5 (20.09.1989, ТУ-2); Landsat-4 (12.07.1988, ТУ-3). Для иллюстрации на рис. 2 приведен фрагмент космического снимка Landsat-5 (20.09.1989) с изображением поля (совокупности) термокарстовых озер различных размеров. На каждом тестовом участке случайным образом выбирались по 10 термокарстовых озер разных размеров. Измерения площадей озер проводились с использованием средств геоинформационных систем ERDAS Imagine 9.1 и ArcGis 9.3.

Как видно на рис. 2, термокарстовые озера имеют в большинстве случаев округлую форму и в дальнейшем нашей задачей будет показать возможность аппроксимации формы береговых границ озер окружностью. В качестве примера на рис. 3 приведено спутниковое изображение береговой границы реального термокарстового озера.

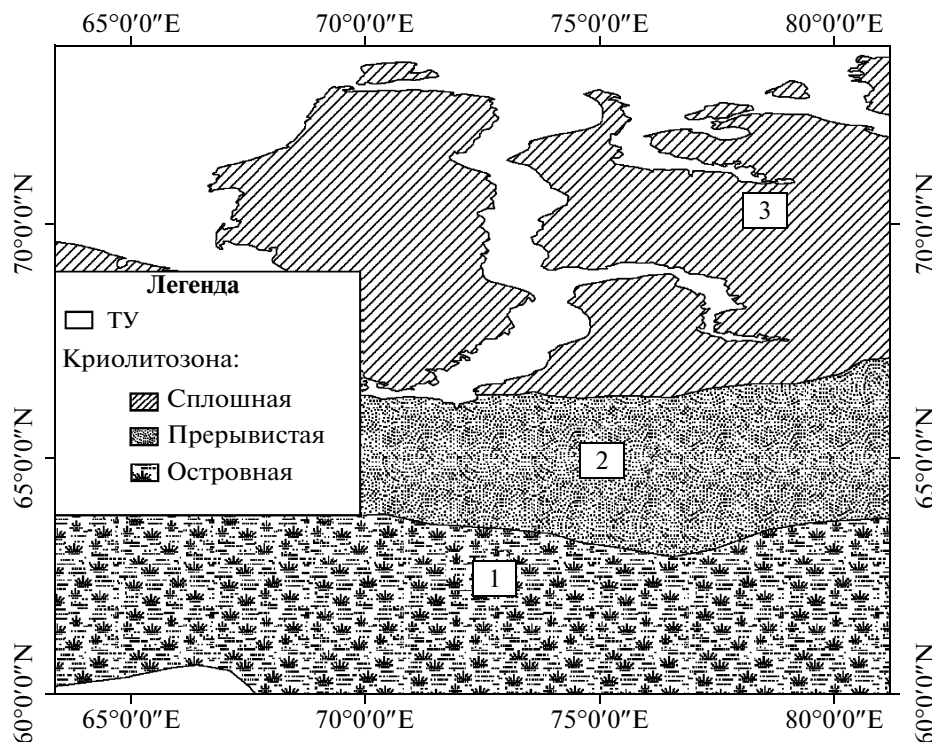


Рис. 1. Карта-схема расположения тестовых участков на территории мерзлоты Западной Сибири.

Методика обработки данных о случайной форме озер предполагала наложение на изображение термокарстового озера лучевой диаграммы и определение длин отрезков радиальных линий (лучей) l_j , ($j = 1, \dots, 16$), показанных на рис. 3. Лучевая диаграмма составлена из лучей, выходящих под углом 22.5° относительно друг друга из условного центра озера, определяемого с использованием средств ArcGIS 9.3. Измерение длины каж-

дого отрезка l_j также проводилось средствами ArcGIS 9.3.

Рассмотрим методические вопросы статистической обработки результатов измерения отрезков l_j . Для каждого из исследуемых озер рассчитывались средние значения длин отрезков по радиальным лучам в виде

$$\bar{l}_j = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n}, \quad i = 1, \dots, n; \quad j = 1, \dots, m, \quad (1)$$

где i – номер луча, n – количество лучей; j – номер озера, m – количество озер.

Каждое j -е озеро будем характеризовать парой (\bar{l}_j, S_j) , где S_j – площадь озера, определяемая средствами ArcGIS 9.3. Найденное среднее значение \bar{l}_j будем далее интерпретировать как радиус окружности, аппроксимирующей линию береговой границы отдельного озера. Для определения погрешности замены формы границ реального озера окружностью понадобится использовать площадь круга радиусом \bar{l}_j , определяемую в виде

$$S_j = \pi \bar{l}_j^2, \quad j = 1, \dots, m, \quad (2)$$

Учитывая (2), рассчитаем дисперсию относительных отклонений площадей реальных озер

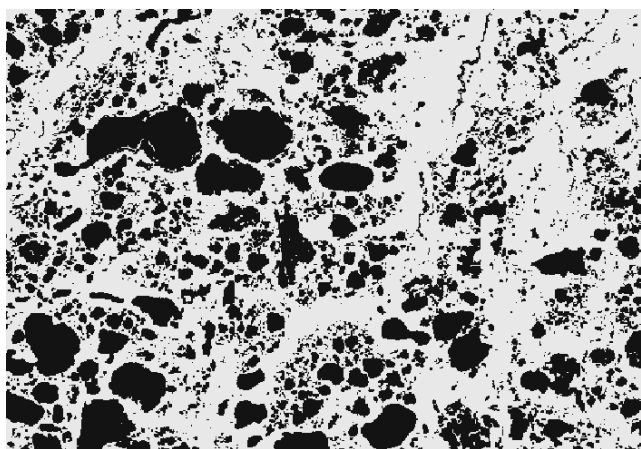


Рис. 2. Фрагмент космического снимка Landsat-5 (20.09.1989 г.) с изображением термокарстовых озер.

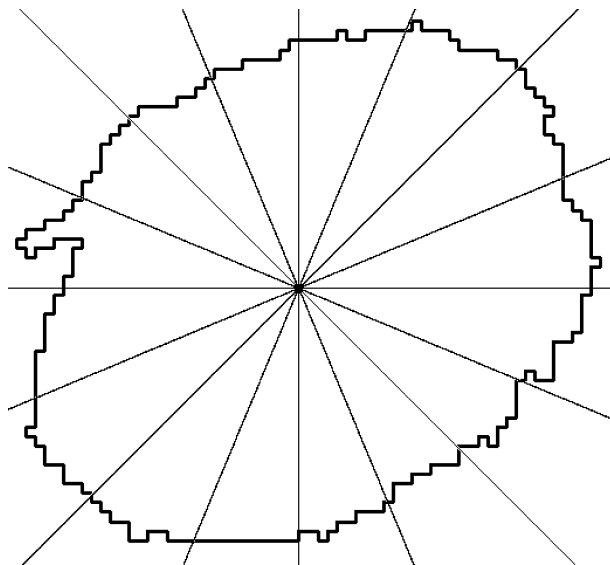


Рис. 3. Изображение термокарстового озера с нанесенной лучевой диаграммой.

каждого тестового участка от площадей аппроксимирующих их окружностей по известной формуле

$$D = \frac{1}{m-1} \sum_{j=1}^m \left(\frac{S'_j - S_j}{S_j} \right)^2, \quad j = 1, \dots, m. \quad (3)$$

Используя рассчитанную величину D , найдем среднеквадратическую погрешность определения площади озера, возникающую при замене реальных границ последних окружностями, по формуле

$$\sigma_s = \sqrt{D}.$$

В таблице приведены результаты измерений длин отрезков радиальных линий для 10 озер, выбранных на ТУ-2. В результате проведения статистической обработки данных (таблица) в соответствии с методикой, изложенной выше, получена среднеквадратическая погрешность для ТУ-2 $\sigma_s = 0.048$. Следовательно, относительная погрешность замены линии береговых границ озер окружностями составляет около 5%.

Аналогичная обработка результатов измерений длин отрезков радиальных линий для 10 озер на других ТУ-1 и ТУ-3 показала, что относительная

Результаты измерений длин отрезков радиальных линий (м) на ТУ-2

№ луча	№ озера									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	290	278	321	353	353	473	257	137	452	533
2	255	248	278	324	349	450	248	170	461	513
3	247	274	245	304	348	502	282	164	480	510
4	289	287	277	348	366	486	299	179	559	544
5	266	265	256	378	365	535	333	149	543	530
6	274	233	310	379	329	502	267	160	530	421
7	215	257	321	397	309	563	223	162	482	382
8	269	282	331	337	301	491	231	153	480	385
9	301	290	305	362	339	426	239	168	500	415
10	296	314	263	395	335	457	260	153	539	476
11	261	286	300	437	378	639	300	183	541	590
12	262	264	299	400	422	486	302	202	571	553
13	242	273	277	367	357	452	314	185	587	420
14	291	265	290	369	291	489	308	141	572	451
15	251	266	285	485	294	458	276	181	622	476
16	252	273	314	382	280	497	215	178	554	515

погрешность замены озер окружностями составляет 0.049 и 0.052 соответственно.

Следовательно, проведенные исследования на тестовых участках в разных зонах (островной, прерывистой и сплошной) многолетней мерзлоты показали, что погрешность в оценке площадей озер при замене береговых границ реальных озер окружностями сравнительно невелика. Это может служить обоснованием выбора окружностей в качестве моделей границ озер при имитационном моделировании полей термокарстовых озер (Полищук, Полищук, 2011).

Результаты работы могут быть использованы в задачах моделирования морфологической структуры озерно-термокарстовых равнин, анализа геоэкологических рисков, анализа динамики природной среды и др.

Работа выполнена при поддержке ФЦП “Научные и научно-педагогические кадры инновацион-

ной России” (госконтракт № 14.740.11.0409 от 20.09.2010 г.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Викторов А.С. Модели математической морфологии ландшафта в решении задач геоэкологии / Сергеевские чтения. Моделирование при решении геоэкологических задач. Выпуск 11. Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии (23–24 марта 2009 г.). М.: ГЕОС, 2009. С. 154–159.

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.

Samsonov R., Lesnykh V., Polishchuk Yu., Bryksina N. The climate change impact on thermokarst in West-Siberian territory and geological risks in gas industry / Proc. 14th Annual Conf. TIEMS. June 5–8, 2007. Split, Croatia. Split: TIEMS, 2007. P. 212–218.

Remote Sensing of Shape Variability of Thermokarst Lakes Coastal Boundaries in Permafrost Territory of Western Siberia

V. Y. Polishchuk, Y. M. Polishchuk

*Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk
Institute of Petroleum Chemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tomsk*

Study of shape variation of thermokarst lakes coastal boundaries was carried out in three test sites selected in different areas of permafrost in Western Siberia. Methodical questions of statistical analysis of lakes boundaries variability using satellite imageries are developed. Investigation of the 30 lakes boundaries showed that circles with an error of about 5 % could approximate the coastal borders of real lakes. The results can be used for modeling the fields of thermokarst lakes in the research of the dynamics of thermokarst in areas of permafrost.

Key words: space images, geoinformation systems, permafrost, thermokarst lakes