

База данных по термокарстовым озерам Западной Сибири на основе космических снимков и возможности ее практического использования

Н.А. Брыксина¹, В.Ю. Полищук², Ю.М. Полищук^{1,3}

*¹Югорский научно-исследовательский институт
информационных технологий (ЮНИИИТ)
628011, г. Ханты-Мансийск, ул. Мира, 151
e-mail: pna@uriit.ru*

*²Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН
634021, г. Томск, пр. Академический, 10/3
e-mail: liquid_metal@mail.ru*

*³Югорский государственный университет
628012, г. Ханты-Мансийск, ул. Чехова, 16
e-mail: Yu_Polishchuk@ugrasu.ru*

Сформирована база данных о площадях термокарстовых озер на территории вечной мерзлоты Западной Сибири за период 1973-2009 гг. на основе использования космических снимков Landsat. В базе данных содержится информация о 30 тысячах озер, расположенных в разных хонах вечной мерзлоты – сплошной, прерывистой и островной. Дано распределение числа озер по их размерам. Приведены иллюстративные примеры практического использования базы данных.

Ключевые слова: вечная мерзлота, термокарстовые озера, база данных, космические снимки.

Введение

Известно, что большинство газовых и нефтяных месторождений в Западной Сибири располагается в зоне вечной мерзлоты (Полищук, Яценко, 2007). В последние три десятилетия в условиях глобального потепления климата наблюдается снижение прочности многолетнемерзлых пород, приводящее к росту аварийности на трубопроводах и других сооружениях нефтегазового комплекса, что сопровождается большими экономическими и экологическими ущербами (Анисимов, Лавров, 2004; Вечная мерзлота..., 2002; Литвин и др., 2003). Для разработки мероприятий по снижению ущербов нефтегазодобывающих предприятий необходимы экспериментальные исследования динамики термокарстовых процессов на рассматриваемой территории. Вследствие высокой степени заболоченности и труднодоступности территории Западной Сибири проведение этих исследований невозможно без применения дистанционных методов.

Как показал анализ литературных источников по использованию данных дистанционного зондирования в геокриологических исследованиях (Некрасов, Петропавловская, 1983; Полищук, Токарева, 2006; Мельников и др., 1974), термокарстовые озёра, хорошо дешифрируемые на космических изображениях, являются наиболее пригодными индикаторами криогенных изменений многолетней мерзлоты в дистанционных исследованиях динамики термокарста, проводимых в последнее время как в России, так и за рубежом (Кравцова, Быстрова, 2009; Махатков, 2009; Riordan et al., 2006; Smith et al., 2005). В повышении эффективности исследования количественных параметров многолетней динамики термокарстовых процессов на территории вечной мерзлоты значительная роль отводится использованию

базы данных по термокарстовым озерам. В связи с этим целью настоящей работы явилось формирование базы данных по площадям термокарстовых озер на территории многолетней мерзлоты Западной Сибири на основе использования космических снимков.

Определение совокупности тестовых участков и выбор космических снимков

Для получения данных о площадях термокарстовых озер на территории вечной мерзлоты Западной Сибири было выбрано 30 тестовых участков. Тестовые участки выбирались в местах наиболее интенсивного развития термокарста на территориях островного, прерывистого и сплошного распространения многолетней мерзлоты Западной Сибири. На рис. 1 приведена картосхема расположения тестовых участков на территории Западной Сибири. Как видно из рис. 1, в островной, прерывистой и сплошной зонах мерзлоты расположено 8, 10 и 12 участков соответственно. Общая площадь 30 тестовых участков составила 78420 км².

Для формирования базы данных о площадях озер всего было отобрано 106 безоблачных снимков Landsat, полученных в теплые месяцы 1973-2009 гг. Снимки были получены из архива Global Land Cover Facility (<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/Landsat/>). Все полученные снимки имеют уровень обработки 1Т («земная» коррекция), предполагающий проведение радиометрической и геометрической коррекций с использованием цифровых моделей рельефа.

На каждый из тридцати тестовых участков имелось по 3-6 безоблачных снимков Landsat. Для примера в таблице 1 приведены сформированные коллекции разновременных снимков Landsat, подобранных на тестовые участки ТУ-5, ТУ-8.

Таблица 1. Коллекция снимков Landsat на тестовые участки

Номер ТУ	Космические снимки	Даты съемки
5	Landsat-1 (MSS)	16.06.1973
	Landsat-5 (MSS)	04.09.1984
	Landsat-4 (TM)	26.06.1988
	Landsat-7 (ETM)	11.09.2001
	Landsat-7 (ETM)	19.05.2003
	Landsat-5 (TM)	19.08.2007
8	Landsat-5 (TM)	21.08.1987
	Landsat-7(ETM)	10.08.2001
	Landsat-5 (TM)	25.08.2006

Формирование базы данных на основе снимков Landsat

Измерения площадей озер на космических снимках Landsat проводились с использованием стандартных средств геоинформационной системы ENVI 4.4. На каждом из тестовых участков определялось от нескольких сотен до нескольких тысяч термокарстовых озер различных размеров. Результаты измерения накапливались в базе данных по площадям термокарстовых озер Западной Сибири на основе космических снимков (LakesAreas_DB), созданной в Центре дистанционного зондирования Земли ЮНИИИТ.

Структура базы данных приведена на рис. 2. База данных включает следующие таблицы:

1. Data_Sources – определяет источник данных, который предоставляет информацию по площадям термокарстовых озер.

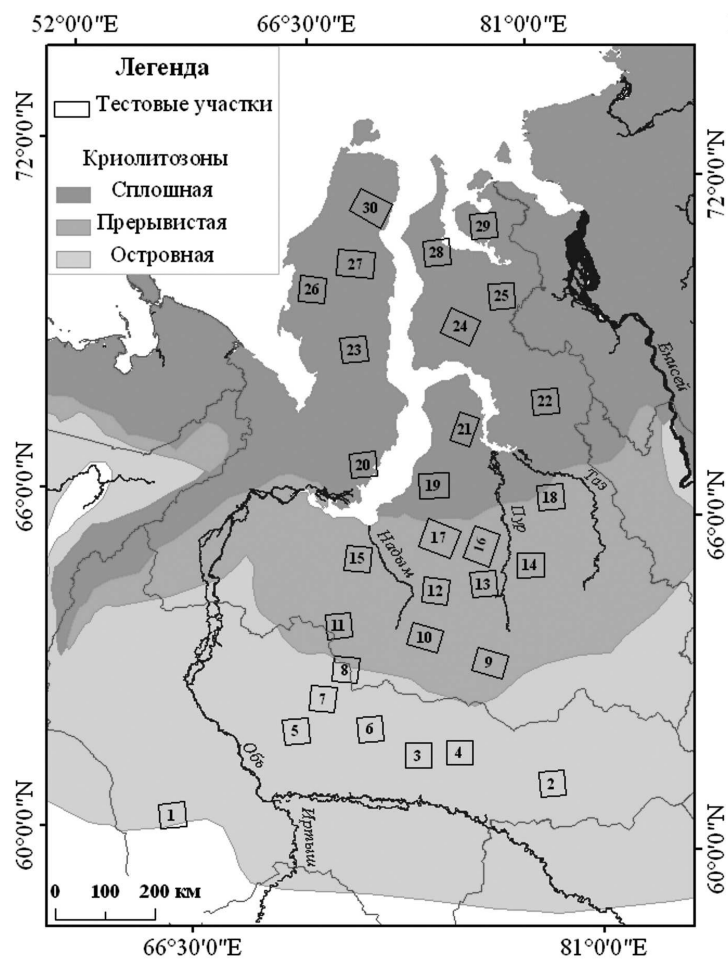


Рис. 1. Карта-схема расположения зон вечной мерзлоты на территории Западной Сибири с обозначенными границами тестовых участков

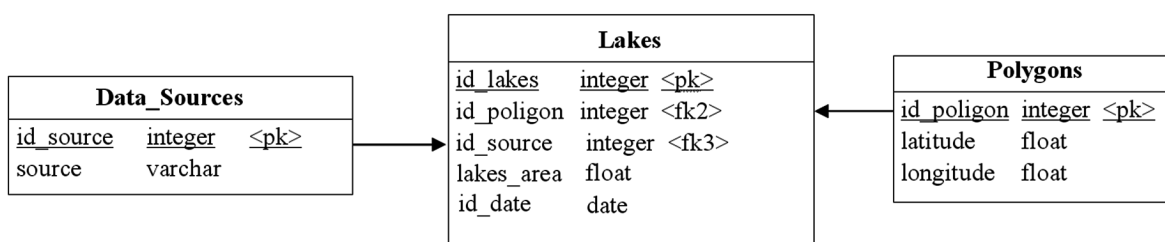


Рис. 2. Структура базы данных LakesAreas_DB

2. Lakes – определяет площади термокарстовых озер.
3. Polygons – определяет тестовый участок, на котором находится озеро.

На рис. 2 приняты следующие обозначения:

- id_source – уникальный идентификатор таблицы Data_Sources;
- source – название источника данных;
- id_lakes – уникальный идентификатор таблицы Lakes;
- id_poligon – уникальный идентификатор таблицы Polygons;
- lakes_area – числовое значение площади термокарстового озёра;
- id_data – дата съемки озера;
- latitude – числовое значение географической широты;
- longitude – числовое значение географической долготы.

Дадим краткую характеристику информации в базе данных. Общее число термокарстовых озер, представленных в базе данных, составляет более тридцати тысяч, которые распределяются по зонам вечной мерзлоты следующим образом. В прерывистой зоне мерзлоты общее количество озер составляет 13058, в сплошной зоне – 10516 и в островной зоне – 7677.

Для характеристики базы данных представляет интерес распределение суммарной площади термокарстовых озер для пяти интервалов величин площадей: от 4 до 10, от 10 до 50, от 50 до 100, от 100 до 500 и от 500 до 1000 га. В таблице 2 приведены относительные величины суммарных площадей термокарстовых озер, попадающих в разные интервалы величин площадей.

Как видно из таблицы 2, наибольший вклад в суммарную площадь термокарстовых озер (более 80 %) в зоне вечной мерзлоты Западной Сибири обеспечивают озера с величиной площади 10 га и более.

Таблица 2. Относительная величина суммарной площади озер

Интервал площадей озер, га	Относительная величина суммарной площади озер, %
4-10	13,7 %
10-50	34,1 %
50-100	16,2 %
100-500	24,2 %
500-1000	7,6 %

Некоторые результаты использования информации из базы данных в исследованиях динамики термокарстовых озер

С использованием информации из базы данных был проведен количественный анализ изменения площадей озер во времени. На каждом из тридцати тестовых участков были рассчитаны суммарные площади озер в начальный и конечные годы наблюдений и определены относительные величины их изменения за период наблюдения. Величина относительного изменения суммарной площади определялась в виде:

$$R = (S_k - S_n) / S_n \quad (1)$$

где S_k и S_n – суммарная площадь озер на тестовом участке в конечный и начальный годы исследования соответственно.

На рис. 3 представлена зависимость величины R от географической широты местоположения тестовых участков (рис. 3). Как видно из рис. 3, в зоне прерывистой мерзлоты $R < 0$ и, следовательно, в этой зоне преобладают процессы, вызывающие сокращение суммарной площади озер. Этот вывод подтверждается и данными других исследований (Махатков, 2009; Riordan et al., 2006; Smith et al., 2005), проведенных в зоне прерывистого распространения мерзлоты, заметим, что по данным наших измерений в зоне сплошной мерзлоты (рис. 3) южнее широты 70° с.ш. также имеет место сокращение суммарной площади термокарстовых озер. Однако на тестовых участках севернее 70° с.ш. наблюдается увеличение суммарной площади озер на 4-12 %.

С использованием информации из базы данных исследована взаимосвязь климатических и термокарстовых изменений. На рис. 4 приведены временные зависимости средней площади термокарстовых озер и среднелетней температуры воздуха на исследованной тер-

ритории многолетней мерзлоты Западной Сибири. Точки на графиках показывают средние значения площадей озер (рис. 4а) и среднелетних температур (рис. 4-б), полученные путем усреднения соответствующих величин по всем тестовым участкам и метеостанциям, находящимся в зоне вечной мерзлоты.

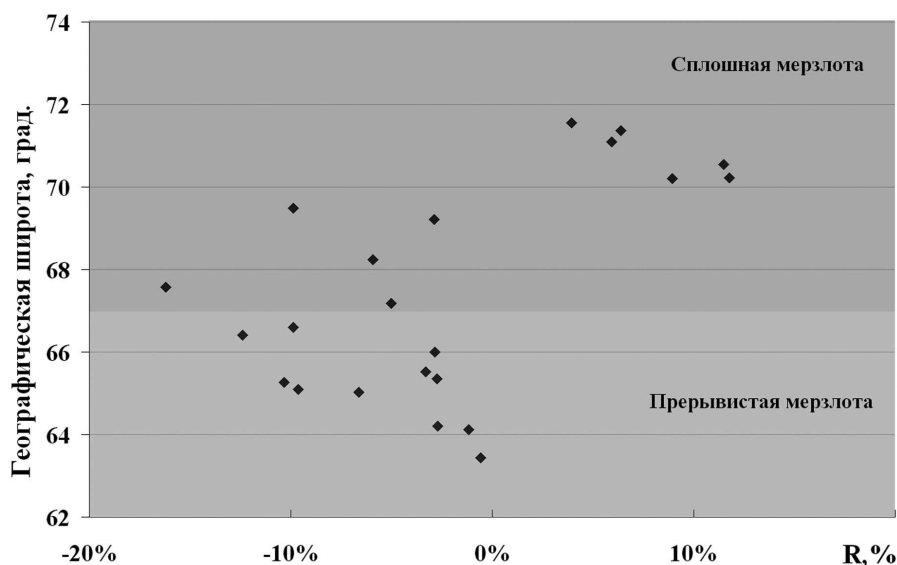


Рис. 3. Относительные величины изменения суммарной площади термокарстовых озер в зависимости от географической широты

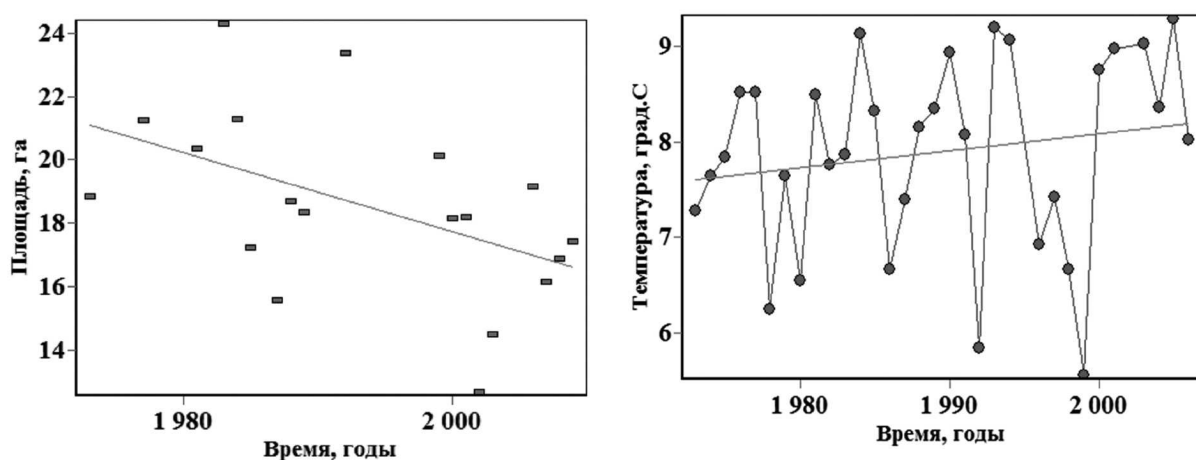


Рис. 4. Зависимости средней площади термокарстовых озер и среднелетней температуры от времени

Сопоставление трендов температур и площадей термокарстовых озер на этих двух графиках (рис. 4а и 4б) показывает, что наблюдаемое в последние три десятилетия повышение среднелетней температуры воздуха сопровождается сокращением в среднем площади термокарстовых озер на территории мерзлоты.

Работа выполнена при поддержке гранта по программе CAT-1 Европейского космического агентства (проект ID-5762 «Cryogenic processes monitoring in Russian permafrost territories using radar data») и по Государственному контракту № 14.740.11.0409 (по заказу Минобрнауки РФ) «Мониторинг состояния окружающей среды таежной и тундровой зон Западной Сибири в условиях глобальных изменений климата с использованием комплексного подхода на основе методов биоиндикации, дистанционных и наземных исследований».

Заключение

В настоящей работе на основе использования космических снимков Landsat сформирована база данных по площадям термокарстовых озер на территории вечной мерзлоты Западной Сибири за период 1973-2009 годов. В настоящее время база данных включает информацию о площадях более тридцати тысячах озер с дальнейшей перспективой ее дополнения по мере поступления и обработки спутниковых данных. Общий объем базы данных составляет 23 МБ. База данных зарегистрирована в Роспатенте (свидетельство № 2010620330 от 17.06.2010 г.). С использованием информации из базы данных проведен количественный анализ изменений площадей озер во времени. Исследована взаимосвязь климатических и термокарстовых изменений, которая показала, что в последние три десятилетия повышение среднелетней температуры воздуха сопровождается сокращением в среднем площади термокарстовых озер на территории мерзлоты Западной Сибири.

Информация в базе данных по площадям озер, накопленная за более чем тридцатипятилетний период времени, может использоваться для оценки снижения прочности многолетнемерзлых пород в связи с глобальным потеплением климата, для разработки мер по снижению аварийности на объектах нефтегазового комплекса и в других задачах.

Литература

1. *Анисимов О., Лавров С.* Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК РФ // Технологии ТЭК. 2004. № 3. С. 78 – 83.
2. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / Под ред. Е.С. Мельникова, С.Е. Гречищева. М.: ГЕОС, 2002. 402 с.
3. *Гудилин И.С., Комаров И.С.* Применение аэрометодов при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях. – М.: Недра, 1978. – 319 с.
4. *Кравцова В.И., Быстрова А.Г.* Изучение динамики термокарстовых озер России // Геоинформатика. 2009. № 1. С. 44-51.
5. *Литвин В.М., Лешиков Ф.Н., Акулова В.В.* Синергетические эффекты в мерзлотнокарстовых геосистемах юга Восточной Сибири // Оценка и управление природными рисками. М.: Изд-во РУДН, 2003. Т. 1. С. 298–302.
6. *Полищук Ю.М., Токарева О.С.* Вопросы мониторинга изменений состояния многолетнемерзлых пород в условиях глобального потепления с использованием космических снимков // Вестник ЮГУ, 2006. № 3. С. 87–90.
7. *Полищук Ю.М., Яценко И.Г.* Сравнительный анализ химического состава нефтей России на территории вечной мерзлоты и вне ее // Криосфера Земли. 2007. Т. 11. № 1. С. 45 – 51.
8. *Махатков И.Д.* Динамика озерных берегов в криолитозоне Западной Сибири на космических снимках // Горн. информ.-аналит. бюл., 2009. – Отд. вып. 17: Кузбасс-2. – С. 221-224.
9. *Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Крищук Л.Н.* Ландшафтные индикаторы инженерно-геокриологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки. – М.: Недра, 1974. – 132 с.
10. *Некрасов И.А., Петропавловская М.С.* Опыт применения космических снимков для геокриологического картирования // Исслед. Земли из космоса. 1983. № 2. С. 14-20.
11. *Riordan B., Verbyla D., McGuire A.D.* Shrinking ponds in subarctic Alaska based on 1950-2002 remotely sensed images // J. Geophys. Res, 2006. – Vol. 111. G04002, doi:10.1029/2005JG000150.
12. *Smith L.C., Sheng Y., MacDonald G.M., Hinzman L.D.* Disappearing Arctic Lakes // Science, 2005. – Vol. 308. – № 3. – P. 14.

Database on thermokarst lakes of Western Siberia on the basis of space images and possibilities of its practical use

N.A. Bryksina¹, V.Y. Polishchuk², Y.M. Polishchuk^{1,3}

¹Ugra Research Institute of Information Technologies (URIIT)

151 Mira Str., Khanty-Mansyisk, 628011, Russia, e-mail: pna@uriit.ru

²Institute of monitoring of climatic and ecological systems, Siberian Branch of RAS

10/3 Academichesky Ave., Tomsk, 634021, Russia, e-mail: liquid_metal@mail.ru

³Ugra State University, 16 Chekhova Str., Khanty-Mansijsk, 628012, Russia,

e-mail: Yu_Polishchuk@ugrasu.ru

The database on the thermokarst lake's areas in permafrost territory of Western Siberia is formed for the period 1973-2009 yrs using space images Landsat. The database contains the information on 30 thousand the lakes located in zones of continuous, discontinuous and patchy permafrost. Distribution of lakes number by their sizes is given. Illustrative examples of practical use of a database are resulted.

Keywords: permafrost, thermokarst lakes, database, space images.