

ЭКОЛОГИЯ И ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ

УДК 513.234

doi: 10.17223/19988591/20/16

Н.А. Брыксина¹, С.Н. Кирпотин²

¹ Балтийский федеральный университет им. И. Канта (г. Калининград)

² Биологический институт Томского государственного университета (г. Томск)

ЛАНДШАФТНО-КОСМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ ПЛОЩАДИ И КОЛИЧЕСТВА ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР В ЗОНЕ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Работа выполнена при поддержке CAR-WET-SIB «Biogeochemical cycle of carbon in wetlands of Western Siberia» GDRI (Groupement de recherche international) project, грантов РФФИ 08-04-92495-CNRS_a, 11-05-90761-моб_ст, ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» (ГК № 14.740.11.0935), программы INTERACT Transnational Access.

Рассмотрены методические вопросы исследования динамики термокарстовых озерных ландшафтов на территории многолетней мерзлоты севера Западной Сибири на основе использования данных дистанционного зондирования и ГИС-технологий. Приведены данные об относительном изменении суммарной площади и количества термокарстовых озер за 35-летний период в различных ландшафтных зонах и подзонах. Обсуждены возможные причины изменения площадей термокарстовых озер.

Ключевые слова: климатические изменения; многолетняя мерзлота; термокарстовые озерные ландшафты; космические снимки.

Введение

Исследование состояния многолетних мерзлых пород (ММП) на территории севера Западной Сибири в условиях наблюдаемых климатических изменений становится все более актуальным: здесь расположены почти все газовые и большинство нефтяных месторождений региона [1]. Снижение прочности многолетнемерзлых пород вследствие глобального потепления, вызывающего активизацию термокарстовых процессов, приводит к росту аварийности на трубопроводах и других сооружениях нефтегазового комплекса, большим экономическим и экологическим ущербам [2]. В этих условиях изучение изменений ММП и особенностей динамики мерзлотных ландшафтов является проблемой, решение которой вследствие высокой степени заболоченности и труднодоступности территории невозможно без применения данных дистанционного зондирования поверхности Земли.

Анализ литературных источников по использованию таких данных в гео-криологических исследованиях показал, что хорошо дешифрируемые на космических снимках термокарстовые озера являются наиболее информативными индикаторами современных тенденций развития криолитозоны, криогенных изменений рельефа и функционирования мерзлотных ландшафтов [3, 4]. Дистанционные исследования термокарстовых озер проводятся как в России, так и за рубежом [5–8]. Однако в большинстве случаев исследование динамики термокарста ограничивается мелкомасштабным качественным анализом тенденций изменения площадей и количества озер по природным провинциям, гео-криологической интерпретацией полученных результатов исследований.

Целью настоящей работы является проведение средне- и крупномасштабного (на ключевых участках) ландшафтного анализа размещения термокарстовых озер с учетом количественных данных о динамике их полей, полученных путем дистанционных измерений площадей распространения по северу Западной Сибири с использованием разновременных космических снимков.

Материалы и методики исследования

Для проведения исследования динамики площадей термокарстовых озер территории Западной Сибири было выбрано 30 тестовых участков. Выбор тестовых участков проводился с учетом специфики зонально-ландшафтной дифференциации территории бывшей Тюменской области, включавшей в себя до 1993 г. ныне самостоятельные субъекты Российской Федерации – Ямало-Ненецкий (ЯНАО) и Ханты-Мансийский (ХМАО – Югра) автономные округа [9]. Заметим, что соответствующая зонально-ландшафтная дифференциация территории сохраняется и в Атласах ХМАО – Югры и ЯНАО, что позволяет в данном вопросе использовать материалы как старого, так и новых Атласов [10, 11]. В связи с тем что последние оказались более труднодоступными материалами для решения нашей задачи, мы использовали ландшафтную карту бывшей Тюменской области. В каждой ландшафтной зоне (подзоне) выбиралось по несколько тестовых участков (рис. 1), позволяющих исследовать закономерности изменения термокарстовых процессов в зависимости от ландшафтной специфики и природного районирования территории. Расположение тестовых участков по ландшафтным зонам дано в таблице.

Исследования динамики полей термокарстовых озер проведены с использованием разновременных космических снимков Landsat за период 1973–2008 гг. На каждый из тридцати тестовых участков имелось от 3 до 6 безоблачных снимков Landsat. Всего на тридцати тестовых участках было собрано 106 безоблачных снимков Landsat. Снимки были получены из архива Global Land Cover Facility. Обработка космических снимков проведена 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.

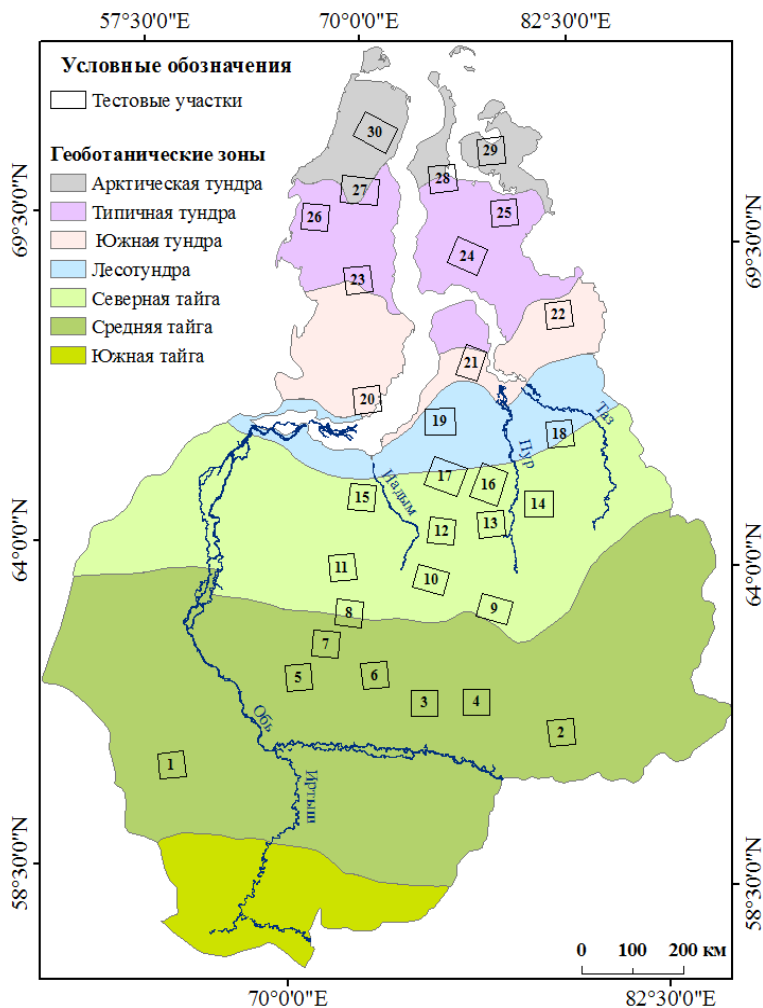


Рис. 1. Карта-схема ландшафтного районирования территории севера Западной Сибири с обозначенными границами тестовых участков [7]

Распределение тестовых участков по ландшафтным зонам (подзонам)

Ландшафтная зона (подзона)	Количество ТУ	Номера ТУ
Арктическая тундра	4	ТУ-27–ТУ-30
Типичная тундра	4	ТУ-23–ТУ-26
Южная тундра	3	ТУ-20–ТУ-22
Лесотундра	2	ТУ-19–ТУ-18
Северная тайга	9	ТУ-9–ТУ-17
Средняя тайга	8	ТУ-1–ТУ-8

Результаты исследования и обсуждение

По результатам измерения площадей озер был проведен количественный анализ изменения площадей озер и числа исчезнувших и вновь образовавшихся озер в разных ландшафтных зонах (подзонах) в зависимости от географической широты.

На каждом из тридцати тестовых участков были рассчитаны суммарные площади озер в разные годы наблюдений и определены абсолютные и относительные величины их изменения за период наблюдений (1973–2008 гг.).

Величина относительного изменения суммарной площади определялась как

$$R = (S_e - S_i) / S_i, \quad (1)$$

где S_e и S_i – суммарные площади озер на тестовом участке в конечный и начальный годы исследования соответственно.

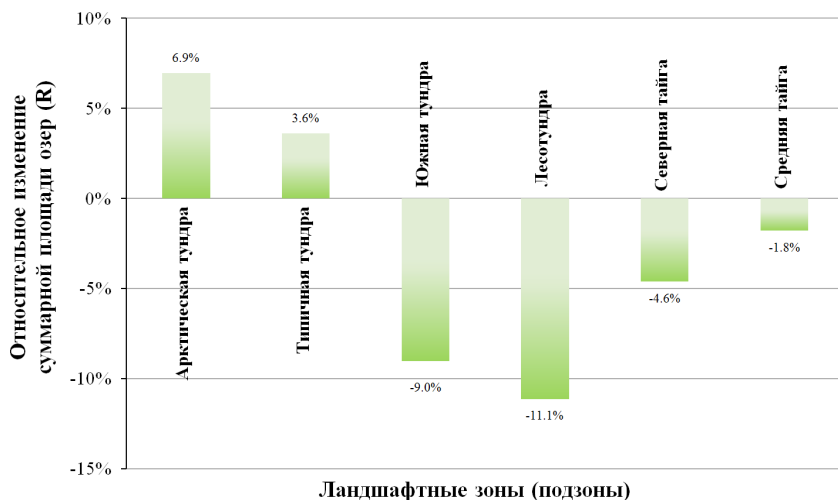


Рис. 2. Среднее значение относительного изменения суммарной площади озер в ландшафтных зонах и подзонах

На рис. 2 приведена диаграмма величин относительного изменения суммарной площади озер (R), усредненных по тестовым участкам, расположенным в различных ландшафтных зонах (подзонах). Как видно из рис. 3, увеличение суммарной площади озер наблюдается только в двух подзонах: арктической (+3,6%) и типичной (+7%) тундры. В ландшафтных зонах (подзонах) южной тундры, лесотундры, северной и средней тайги значение величины $R < 0$ и, следовательно, преобладают процессы, вызывающие сокращение суммарной площади озер. Так, величина относительного изменения

суммарной площади озер в зоне лесотундры и подзоне южной тундры составляет $-11,1$ и -9% соответственно.

Таким образом, в большинстве ландшафтных зон и подзон преобладает процесс сокращения суммарных площадей озер, сопровождающийся осушением озерной котловины. В связи с этим интересно рассмотреть изменение количества исчезнувших озер за период проведенного исследования в разных ландшафтных зонах (подзонах).

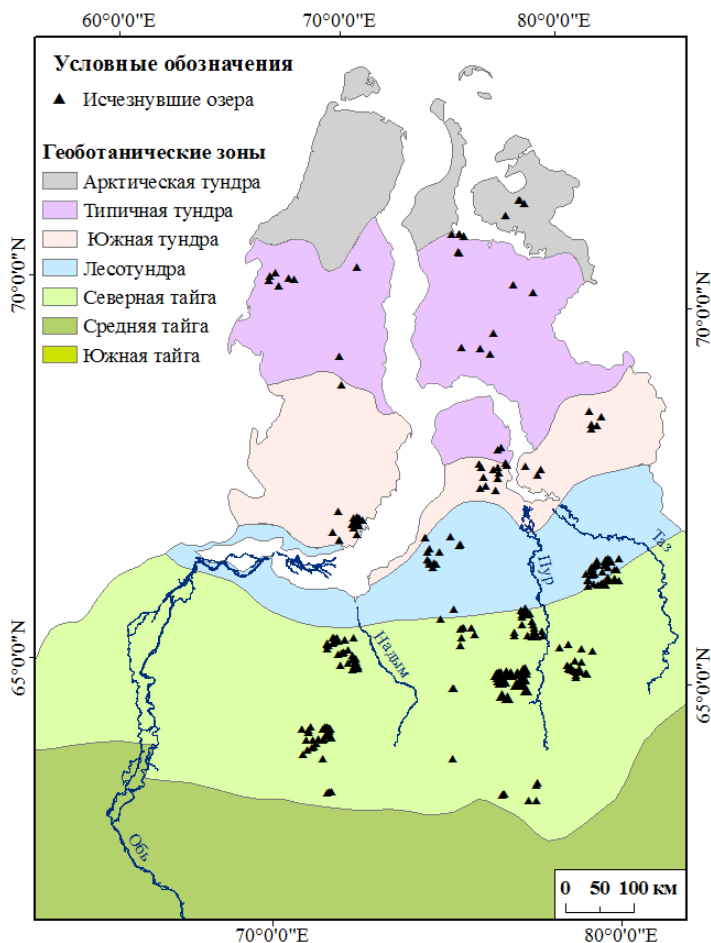


Рис. 3. Расположение центров исчезнувших озер на карте-схеме районирования ландшафтных зон (подзон) территории севера Западной Сибири [7]

На рис. 3 приведена карта-схема центров расположения исчезнувших озер, обозначенных треугольниками, по ландшафтным зонам (подзонам) территории Западной Сибири. Как видно из рис. 3, наибольшая плотность

центров исчезнувших озер сосредоточена в подзоне северной тайги, а наименьшая – в подзонах тундры, с преобладанием ее в арктической тундре, что может объясняться разнонаправленностью термокарстового процесса в рассматриваемых ландшафтных зонах.

На рис. 4 для иллюстрации показаны фрагменты разновременных космических снимков Landsat, представляющие последовательные стадии осушения озерной котловины на тестовом участке 9 за период 1973–2007 гг. [12].

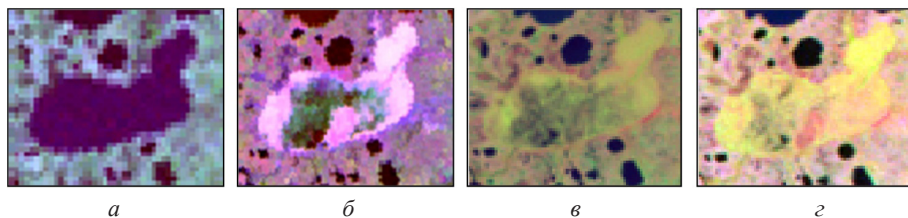


Рис. 4. Фрагменты космических снимков Landsat с изменениями площади водной поверхности озер во времени: а – Landsat-1 (10.08.1973 г.); б – Landsat-5 (26.06.1988 г.); в – Landsat-7 (10.08.2001 г.); г – Landsat-7 (19.08.2007 г.)

С использованием программы Excel проведен статистический анализ изменения количества исчезнувших и вновь образовавшихся озер на каждом тестовом участке. На рис. 5 и 6 приведено распределение количества исчезнувших и вновь образовавшихся озер по географической широте расположения тестового участка.

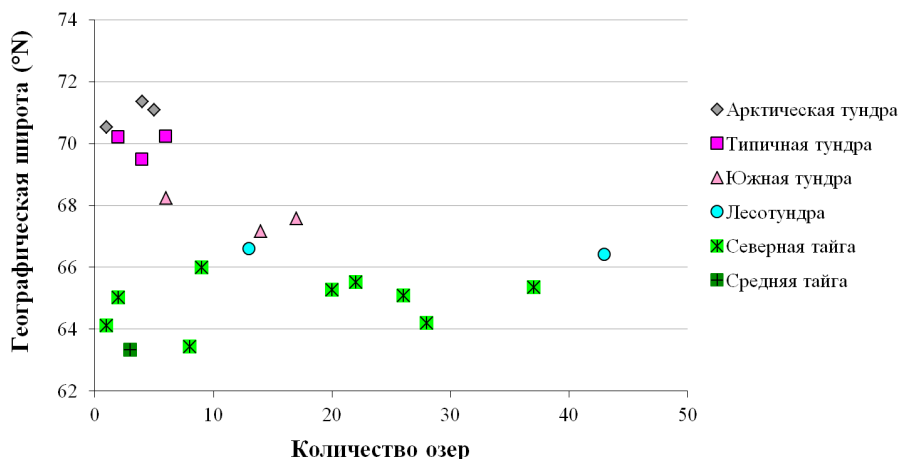


Рис. 5. Распределение количества исчезнувших озер в разных ландшафтных зонах (подзонах) по географической широте

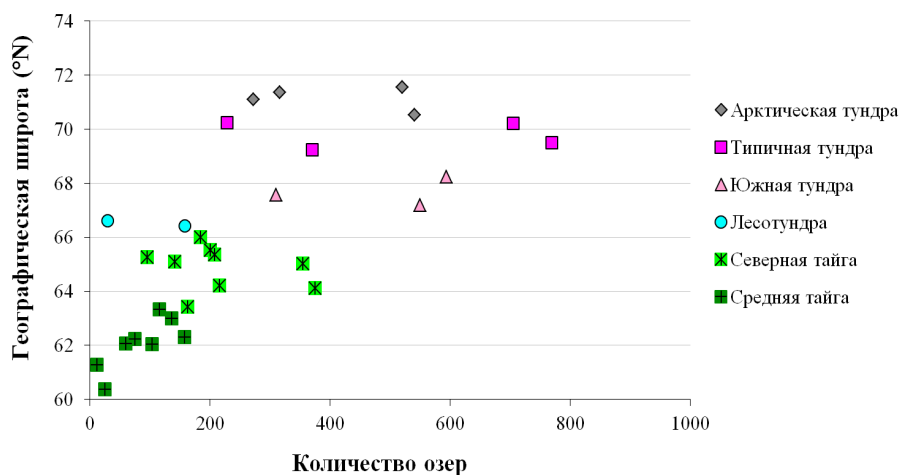


Рис. 6. Распределение количества вновь образовавшихся озер в разных ландшафтных зонах (подзонах) по географической широте

На рис. 5 и 6 видно, что севернее 68° с.ш. в зоне тундры количество исчезнувших озер на тестовых участках заметно уменьшается (рис. 5), а количество вновь образовавшихся (рис. 6), наоборот, увеличивается. Южнее 68° с.ш. наблюдается противоположная тенденция: увеличивается количество исчезнувших озер и сокращается число вновь образовавшихся (рис. 5–6). Общее количество исчезнувших озер за период 1973–2008 гг. составило 273. Общая площадь осушенной водной поверхности по состоянию на 1973 г. составила 10467,9 га. За период исследования количество вновь образовавшихся озер с площадью в пределах 4–10 га составило около 8 тыс. с общей площадью водной поверхности 13648,7 га.

По мнению А.А. Земцова [13], сокращение площадей озер может быть обусловлено новейшими тектоническими движениями отдельных блоков территории, вызывающими полное или частичное осушение котловин озер. Если же озерная система или отдельные крупные озера находятся в пределах уплотненных фрагментов центральной части равнины, то существенного осушения озер может не произойти, так как эта часть поднимается равномерно, захватывая всю систему озер.

Другие причины сокращения озер рассмотрены в работах [5, 7, 8, 15, 16]. Согласно работе [7], возможными причинами сокращения площадей озер могут быть почвенный дренаж при оттаивании мерзлоты при повышении температуры почвы как следствие потепления климата либо транспирация (испарение) растительностью, интенсивность которой возрастает с повышением температуры воздуха. В работе [5] авторы совершенно правильно указывают, что наблюдения за динамикой термокарстовых озер следует проводить, охватывая весь спектр разнообразных условий развития термокарста.

Один из возможных механизмов спуска воды из термокарстовых озер за счет почвенного дренажа рассмотрен в работе [15]. Согласно данным исследованиям, крупные озера, как правило, более старые и имеющие более низкий уровень водного зеркала по сравнению с окружающими мелкими озерами, создают условия для спуска воды из мелких озер в соседние, более крупные, за счет почвенного дренажа при оттаивании почвы. Так как при этом площадь крупного озера мало изменяется, то общая площадь озер в среднем уменьшается за счет осушения соседних мелких неглубоких озер. Этот фактор действует постоянно, на протяжении всего короткого летнего периода, при этом крупные озера работают как водосборные ёмкости.

Дренаж озер может являться показателем усиления заболоченности территорий по принципу регрессивно-топяной эволюции, когда в результате самоподтопления торфяника процесс торфообразования возобновляется. Это положение рассмотрено в работе [16] и предполагает: спуск болотных озер в результате русловой эрозии внутриболотных ручьев и рек, неравномерную эрозию берегов озер и увеличение их акваторий за счет слияния соседних крупных озер, их обмеление, возобновление зарастания озер и наступление болот на суходолы. Всё это создает сложную картину коэволюции озерных термокарстовых и грядово-мочажинно-озерных болотных ландшафтов. В.И. Кравцова особо отметила в работе [5] распространение подобных процессов на склонах Сибирских Увалов и в подзоне островной мерзлоты в целом.

Заключение

Исследование изменения площадей и числа термокарстовых озер на тестовых участках проводилось для всей совокупности озер с площадью более 4 га. Как показали результаты дистанционного исследования, на территории Западной Сибири наблюдаются два контрастных процесса развития термокарста, проявляющиеся в увеличении или сокращении площадей и числа термокарстовых озер в разных ландшафтных зонах (подзонах).

Процесс увеличения суммарной площади термокарстовых озер до 7% наблюдается в двух подзонах – арктической и типичной тундре. На фоне увеличения суммарной площади озер в зоне тундры наблюдается увеличение количества вновь образовавшихся озер, что можно связывать с протаиванием многолетнемерзлых грунтов вследствие потепления климата. В большинстве ландшафтных зон и подзон происходит сокращение суммарной площади термокарстовых озер до 11%, приводящее впоследствии к осушению озерной котловины и образованию хасыреев. Этот вывод подтверждается и данными других исследований [6–8], проведенных в этих ландшафтных зонах.

Обсуждаются возможные причины сокращения площадей озер, обусловленные тектоническим режимом или изменением климата. Высказывается предположение о том, что механизм спуска воды из термокарстовых озер

за счет почвенного дренажа при оттаивании почвы под воздействием потепления климата может являться основной причиной усиления развития термокарста и связанного с ним в среднем сокращения суммарной площади термокарстовых озер на территории Западной Сибири. Однако, как правильно указывают авторы в работе [5], наблюдения за динамикой термокарстовых озер следует проводить, охватывая весь спектр разнообразных условий развития термокарста.

Литература

1. Вечная мерзлота и освоение нефтегазоносных районов / под ред. Е.С. Мельникова, С.Е. Гречищева. М. : ГЕОС, 2002. 402 с.
2. Анисимов О., Лавров С. Глобальное потепление и таяние вечной мерзлоты: оценка рисков для производственных объектов ТЭК РФ // Технологии ТЭК. 2004. № 3. С. 78–83.
3. Мельников Е.С., Вейсман Л.И., Крицук Л.Н. Ландшафтные индикаторы инженерно-геокриологических условий севера Западной Сибири и их дешифровочные признаки. М. : Недра, 1974. 132 с.
4. Некрасов И.А., Петропавловская М.С. Опыт применения космических снимков для геокриологического картирования // Исследование Земли из космоса. 1983. № 2. С. 14–20.
5. Кравцова В.И., Быстрова А.Г. Изучение динамики термокарстовых озер России // Геоинформатика. 2009. № 1. С. 44–51.
6. Махатков И.Д. Динамика озерных берегов в криолитозоне Западной Сибири на космических снимках // Горный информационный аналитический бюллетень. 2009. Отд. вып. 17: Кузбасс-2. С. 221–224.
7. 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.
8. Smith L.C., Sheng Y., MacDonald G.M., Hinzman L.D. Disappearing Arctic Lakes // Science. 2005. Vol. 308, № 3. P. 14.
9. Атлас Тюменской области / отв. ред. Л.А. Галкина. Москва ; Тюмень : ГУГК, 1971. Вып. 1. 216 с.
10. Атлас Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Ханты-Мансийск ; Москва, 2004. Т. 2. 152 с.
11. Атлас Ямало-Ненецкого автономного округа. Омск : Омская картографическая фабрика, 2004. 303 с.
12. Брыксина Н.А., Евтюшкин А.В., Полищук Ю.М. Изучение динамики изменений термокарстовых форм рельефа с использованием космических снимков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2007. Т. 4, № 2. С. 123–128.
13. Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (северная и центральная части). Томск : Изд-во Том. ун-та, 1979. 343 с.
14. Воскресенский С.С. Геоморфология Сибири. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1962. С. 166–168.
15. Kirpotin S. et al. One of the possible mechanisms of thermokarst lakes drainage in West-Siberian North // Int. J. Envir. Studies. 2008. Vol. 65, № 5. P. 631–635.
16. Иванов К.Е., Новиков С.М. Болота Западной Сибири, их строение и гидрологический режим. Л. : Гидрометеиздат, 1976. 446 с.

Поступила в редакцию 23.05.2012 г.

Natalia A. Bryksina¹, Sergey N. Kirpotin²¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russia²Biological Institute of Tomsk State University, Tomsk, Russia**LANDSCAPE-SPACE ANALYSIS OF CHANGE OF THERMOKARST LAKES AREAS AND NUMBERS IN THE PERMAFROST ZONE OF WEST SIBERIA**

Methodological questions of thermokarst lakes landscape dynamics in West Siberia permafrost territory based on Landsat space images taken at different time during warm seasons of the period 1973–2008 and GIS-tools were considered. The study used the data on the areas (sizes) of the thermokarst lakes which had developed. This was done by using satellite imagery for 30 test sites, located in different landscape zones and subzones of Western Siberia. Test sites were chosen so as to cover the entire territory of the research more evenly.

The research into the multiyear dynamics of thermokarst lakes in West Siberia north was carried out by means of lakes areas measurement using a collection of space images taken at different time in the above 30-year period. Areas of thermokarst lakes on all studied test sites were measured on the basis of satellite images. The total number of lakes was from several hundreds to several thousands. Measurements of lake areas were carried out with the help of geoinformation systems (GIS) ERDAS Imagine 8.3 and ENVI 4.4. The array of measured data was analyzed statistically for thermokarst changes research.

Summarized areas of thermokarst lakes were determined on each test site for the observation period for determining relative changes of lakes areas. The dependence of summarized area of thermokarst lakes on each test site at latitudes was determined. The study of multiyear changes of thermokarst lakes showed that in the landscape zones of arctic and typical tundra thermokarst lakes expanded their areas by about 7%. It was shown that in other landscape zones and subzones, lakes areas decreased, on average, by about 10–11%. The data about change of thermokarst lake numbers are given for a 35-year period in different landscape zones and subzones. The total of the disappeared lakes during 1973–2008 made 273. The total area of the drained lakes water surface made 10467.9 hectares in 1973. The area of new lakes changed from 4 to 10 hectares. During the research their quantity made about 8 thousand with the total water surface area 13648.7 hectares. Possible factors of thermokarst lake areas change are discussed. The mechanism of drain water draining from small lakes to large lakes, connected with the acceleration of soil drainage with an increasing temperature is considered, which explains the general shrinking of the lake areas owing to global warming.

Key words: climatic changes, permafrost, thermokarst lake landscapes, space images.

Received May 23, 2012