

МЕЖГОДОВАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПЛОЩАДЕЙ ТЕРМОКАРСТОВЫХ ОЗЕР НА ТЕРРИТОРИИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ¹

© 2013 г. Т. В. Тарасенко

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова
119991 Москва ГСП-1, Ленинские горы

E-mail: tarasnyu_geo@mail.ru

Поступила в редакцию 29.03.2011 г.

Изучению термокарстовых озер с точки зрения реакции криолитозоны на глобальное потепление климата в настоящее время уделяется много внимания. Однако другим факторам, влияющим на изменение площадей озер, в частности атмосферным осадкам, внимание практически не уделяется, хотя для многих водных объектов они являются одним из основных источников питания. В связи с этим на территории Центральной Якутии были проанализированы межгодовые изменения площадей озер в зависимости от осадков. Исследование было основано на анализе разновременных космических снимков. В результате установлено, что осадки накладывают существенный отпечаток на изменения площадей термокарстовых озер, прослеживается прямая взаимосвязь между колебаниями площадей озер и осадков, не оказывают влияния лишь отдельные единичные многоводные или маловодные годы. Проанализированы также изменения площадей озер в течение летнего сезона, которые важны при выборе снимков для изучения межгодовых изменений. В результате установлено уменьшение площадей термокарстовых озер от июня к августу, что свидетельствует о необходимости использования снимков за близкие даты, полученные в конце летнего периода.

Ключевые слова: термокарстовые озера, колебание осадков, изменение площадей озер, космические снимки

DOI: 10.7868/S0321059613010100

В настоящее время достаточно большое внимание уделяется изучению термокарстовых озер с точки зрения реакции криолитозоны на глобальное потепление климата, определяется изменение их площадей по космическим снимкам [3, 4, 8, 9]. Однако, для того чтобы учесть влияние потепления климата, возникает необходимость рассмотрения других факторов, сказывающихся на изменении площадей озер, таких как влияние эрозионной деятельности рек, неотектонических процессов, а также атмосферных осадков в период, предшествующий космической съемке [4, 5]. Также отмечается важность сезона съемки при подборе космических снимков. Но всем перечисленным факторам чаще всего уделяется мало внимания, а в некоторых исследованиях они не рассматриваются вообще [3, 4, 8]. В связи с этим основная цель настоящего исследования — анализ изменений площадей озер в зависимости от атмосферных осадков и времени съемки в течение лет-

него сезона. Для большинства водных объектов атмосферные осадки — один из основных источников питания, именно поэтому им уделяется особое внимание.

Исследование выполнено на территории Центральной Якутии, где при изучении изменений площадей озер в период потепления климата обнаружено значительное их увеличение с 1976 по 2000 г. [4]. Причины такого увеличения не ясны, поэтому атмосферные осадки в настоящем исследовании рассматриваются в качестве возможной причины зафиксированных изменений.

Обзор литературы показал, что изучением динамики площадей аласных озер Центральной Якутии некоторые ученые занимались еще в середине XX в. [2, 6, 7]. Естественная периодичность в водном режиме озер, отмеченная местным населением, привлекала внимание исследователей, которые указывали на ее зависимость от атмосферных осадков и температуры воздуха.

А.Г. Немчинов [6] проанализировал зависимость внутривековых колебаний уровня озер

¹ Работа выполнена по программам НШ (проект 3405.2010.5), НОЦ (проект 1470.11.0200), РФФИ (проект 10-05-00267).

Центральной Якутии от атмосферных осадков и температуры воздуха за период с 1888 по 1954 г. Для определения водного режима озер в прошлом был использован опросный метод. Из-за отсутствия сведений по многим озерам в исследовании были рассмотрены лишь отдельные озера. Была установлена периодичность водного режима озер Центральной Якутии, обусловленная внутривековыми колебаниями климата.

Независимо от А.Г. Немчинова, в 1961 г. П.А. Соловьевым [7] были получены такие же результаты, при этом им были уточнены климатические факторы, определяющие водный режим озер, продолжительность цикла изменений их водообильности. Им был проанализирован период с 1890 по 1952 г. Для определения состояния уровня озер П.А. Соловьев использовал сведения предшествующих авторов, топографические карты и аэрофотоснимки, а также личные наблюдения над уровнями озер Абалах и Чурапча в 1947, 1948 и 1952 гг.

Таким образом, А.Г. Немчинов и П.А. Соловьев независимо друг от друга установили и подтвердили связь периодичности водного режима озер Центральной Якутии с внутривековыми колебаниями климата, т.е. с изменениями климатических характеристик, среди которых наиболее важны атмосферные осадки (особенно зимние) и температура воздуха в летние месяцы. Помимо этого, оба автора указывают на необходимость учета местных условий, которые могут повлиять на изменение водного режима нескольких озер или отдельного озера.

Продолжил исследования предшественников Н.П. Босиков [2]. Им был рассмотрен временной интервал с 1891 по 1990 г.; проведены полевые маршрутные исследования и опросы старожилов, а также использованы данные непрерывных наблюдений на гидрологических постах за уровнем воды на озерах Тюнгиюлю и Чурапча с 1966 г. Им была подтверждена зависимость колебания уровня аласных озер от распределения осадков по сезонам.

При сравнении результатов трех представленных исследований выявляется существенная аналогия в выделенных многолетних фазах колебания площадей озер (таблица). Авторы этих исследований отмечают зависимость колебания площадей озер от атмосферных осадков и температуры воздуха [2, 6, 7]. Различия наблюдаются лишь в дробности деления той или иной фазы.

На основании этого сравнения возникают вопросы: наблюдаемое увеличение площадей озер с 1976 по 2000 г. на территории Центральной Якутии [4] связано с активизацией термокарста при

Фазы колебаний площадей аласных озер Центральной Якутии, выделенные разными исследователями

Фазы колебаний площадей озер	А.Г. Немчинов (1958 г.), годы	П.А. Соловьев (1961 г.), годы	Н.П. Босиков (1991 г.), годы
Маловодье	1888–1900	1890–1900	1891–1901
Многоводье	1901–1918	1901–1914	1902–1917
Маловодье	1920–1931	1915–1947	1918–1930
Многоводье	1934–1940		1931–1934
Маловодье	1941–1945		1935–1950
Многоводье	1946		
Маловодье	1947–1949		
Многоводье	1950–...	1948–...	1951–1973
Маловодье			1974–1980
Многоводье			1981–1984
Маловодье			1985–1990

потеплении климата или с влиянием атмосферных осадков? Решение этого вопроса подразумевается в настоящем исследовании на основе анализа межгодовых изменений площадей озер с использованием космических снимков. В связи с этим дополнительно проанализированы изменения площадей озер в течение летнего сезона, которые при подборе снимков для изучения многолетней динамики площади озер имеют немаловажное значение.

МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Один из методов, позволяющих осуществлять изучение динамики площадей термокарстовых озер, — анализ космических снимков. Озера можно надежно отдешифрировать на снимках, в частности выделить их в автоматизированном режиме. Но поскольку изучение изменений площадей термокарстовых озер требует изображений в достаточно крупном масштабе (не мельче 1 : 200000), то выявление этих изменений для всей территории распространения термокарстовых озер — слишком большая и трудоемкая работа. Поэтому она проводится на эталонных участках. Для реализации поставленной задачи в пределах Центральной Якутии было выбрано два эталонных участка: 1 — “Виллой” и 2 — “Лена” (рис. 1).

В качестве основных материалов для изучения изменений площадей термокарстовых озер использованы снимки со спутника Landsat. Этот выбор определила возможность поиска и свободного получения их через Интернет.

Пространственное и спектральное разрешение указанных снимков позволяет решать постав-

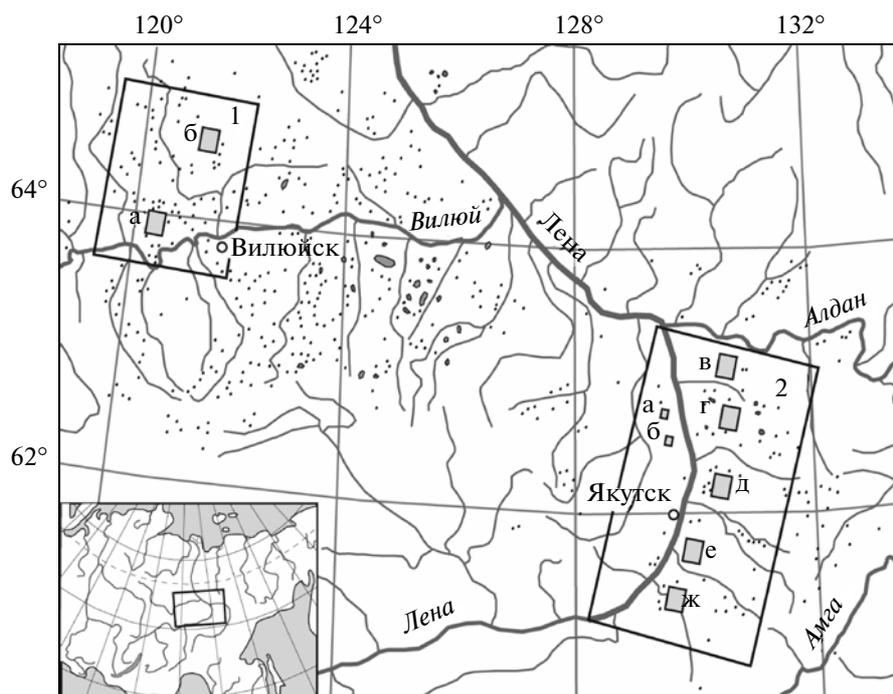


Рис. 1. Расположение эталонных участков 1 и 2. Здесь и на рис. с 2 по 5 а–ж – фрагменты исследования.

ленную задачу. Разрешение снимков, полученных сканирующими системами ТМ, ЕТМ+ со спутника Landsat, составляет 30 м, что достаточно для выделения термокарстовых озер, – размеры меньших из них обычно составляют от нескольких десятков до сотен метров.

Важная особенность используемых космических снимков – наличие канала в ближней инфракрасной зоне, обеспечивающего надежное выделение водных поверхностей по яркостным признакам.

При рассмотрении изменений площадей озер важно учитывать влияние водной растительности, которая может появляться на мелких участках озер [5]. В начале лета, в июне, озера свободны от растительности, а в августе они частично зарастают осокой, которая осенью отмирает и в начале следующего года вновь не видна. Сравнение пары таких снимков за разные годы может привести к неправильным выводам об изменении площади озер.

Другая трудность при выделении озер – наличие на них льда и теней от облаков, которые при автоматизированном дешифрировании могут быть источником ошибок. Поэтому желательно использовать летние снимки без облачности. Помимо этого, на снимке важен учет гарей после пожаров. Как правило, в ближней инфракрасной зоне гари и водные объекты изображены одина-

ково – черным тоном, поэтому при автоматизированном дешифрировании в класс водных объектов попадают и гари.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для дешифрирования водных объектов лучше всего подходит комбинация из ближнего (4) и среднего (5) инфракрасных каналов и красного (3) видимого канала – RGB 453. Эта комбинация, наряду с использованием ближнего инфракрасного канала отдельно, позволяет четко различить границу между водой и сушей. Водные объекты изображаются здесь оттенками синего цвета. Иногда такой синтез позволяет выделить водные объекты и влажные территории лучше, чем при использовании ближнего инфракрасного канала отдельно.

Однако при наличии гарей комбинацию каналов RGB 453 желательно не использовать либо дешифрировать гари отдельно, а в дальнейшем на основе полученных изображений убрать их из класса водных объектов. Лучше всего гари дешифрируются при комбинации каналов RGB 742, где они изображаются ярко розовым цветом. Водные объекты изображаются синими, поэтому не возникает опасности перепутывания этих объектов.

Проводилось автоматизированное выделение озер в программном пакете ERDAS Imagine на основе классификации с обучением, для чего на снимках были выделены эталонные фрагменты со значениями спектральной яркости, соответствующей водной поверхности. В результате на снимке выделялся только один класс объектов – озера, все остальное не классифицировалось.

Сопоставление отдешифрованных материалов и выявление изменений площадей термокарстовых озер осуществлялось в программном пакете ArcGIS и было основано на определении водной поверхности, являющейся “общей” для снимков за разные даты и наблюдаемой лишь за одну дату. Определение “общей” водной поверхности осуществлялось с помощью “растрового калькулятора” (Raster Calculator), представленного среди опций модуля Spatial Analyst. “Растровый калькулятор” позволяет при наличии двух перекрывающихся изображений (в настоящем исследовании – это изображения отклассифицированных озер за разные даты) получить третье, содержащее лишь те элементы раstra, которые присутствуют на обоих исходных изображениях, исключая все остальные. Затем проводилось последовательное наложение друг на друга трех растровых изображений: двух изображений с классифицированными озерами за разные даты и одного, содержащего растровые элементы “общей” водной поверхности.

В результате получена схема, на которой разным цветом выделены: водная поверхность озер, наблюдаемая лишь на снимке за первую дату (сокращение или исчезновение озер); водная поверхность озер, наблюдаемая лишь на снимке за вторую дату (увеличение или появление озер); “общая” водная поверхность озер за обе даты (неизменившиеся озера). На основе визуального анализа таких схем выявлен общий характер изменений. Схемы динамики площадей озер для некоторых наиболее характерных фрагментов эталонных участков представлены в масштабе 1 : 100000.

Наряду с составлением разных схем динамики площадей озер определялись общая площадь озер за обе даты и ее увеличение или уменьшение. Для удобства сравнения результатов по разным районам определялись относительные показатели – увеличение или уменьшение в процентах от общей площади озер.

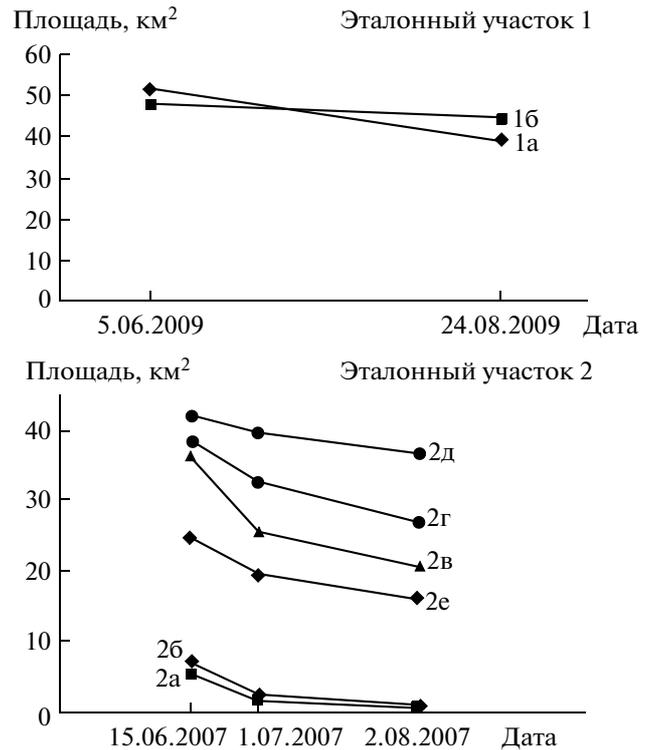


Рис. 2. Графики сезонных изменений площадей озер на эталонных участках.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изменения площадей термокарстовых озер в течение летнего сезона

При анализе межгодовых изменений важен учет динамики площадей озер в течение летнего сезона, что помогает выявить оптимальные сроки съемки. Изучение изменений площадей озер в течение летнего сезона осуществлялось на основе рассмотрения снимков, полученных в начале, середине и конце летнего периода в течение одного года. В результате сопоставления снимков за июнь и август были составлены схемы динамики площадей озер для двух фрагментов участка 1 и шести фрагментов участка 2. Для этих фрагментов определены суммарные площади озер и составлены графики соответствующих изменений (рис. 2).

Как следует из графиков, в пределах рассмотренных эталонных участков наблюдается уменьшение площадей термокарстовых озер от июня к августу. Районы с существенными изменениями относятся, главным образом, к речным долинам, особенно – к низким террасам и поймам (рис. 3а), а районы с незначительными изменениями – к водораздельным междуречным пространствам (рис. 3б).

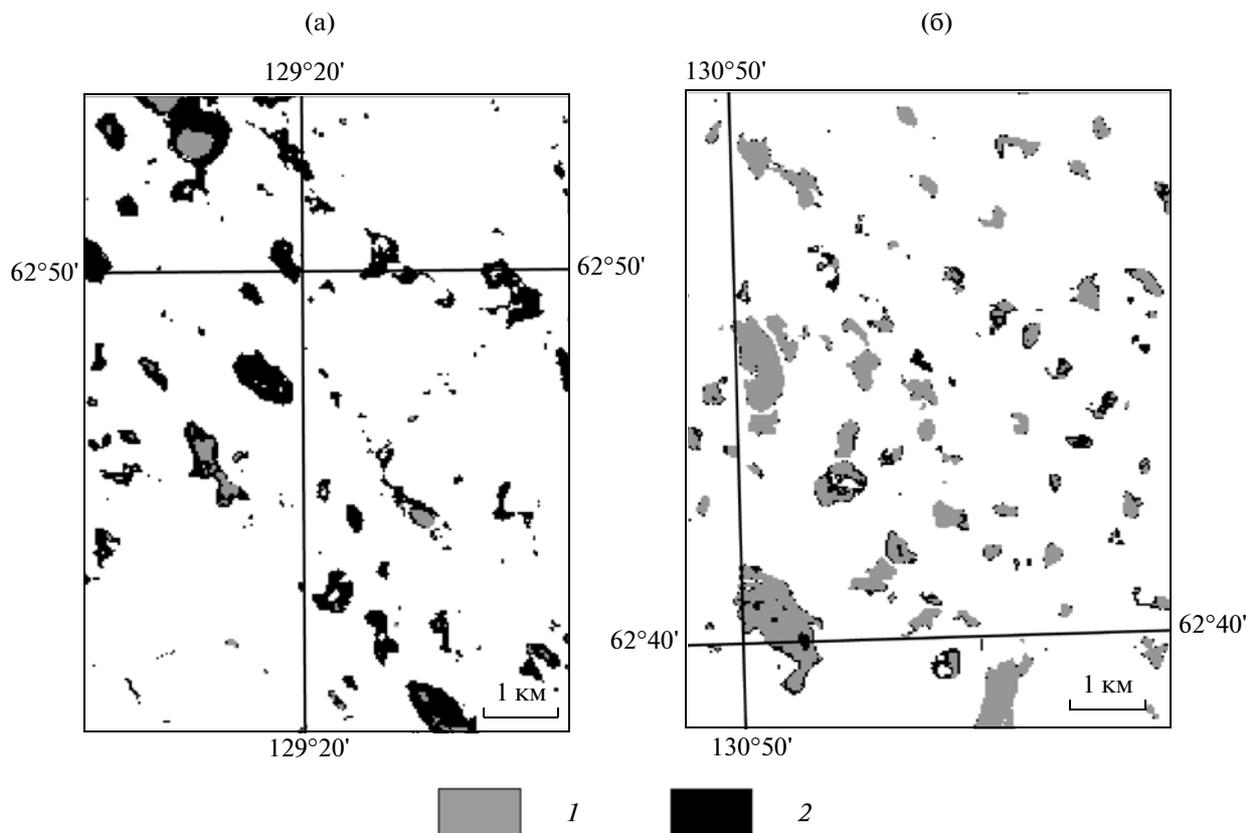


Рис. 3. Сезонные изменения площадей термокарстовых озер в зависимости от расположения — в речных долинах (фрагмент 2а) (а), на водораздельных междуречных пространствах (фрагмент 2г) (б). Здесь и на рис. 4: 1 — не изменившаяся площадь водной поверхности озер; 2 — уменьшение площади водной поверхности и исчезновение озер.

Изменчивость по-разному проявляется также и в различных ландшафтных условиях. В районах с густой сетью аласов, где преобладают озера с уплощенной котловиной, изменения выражены и заметны сильнее (рис. 4а), нежели в районах с глубоко врезанными термокарстовыми озерами, где аласной каймы может не быть вообще (рис. 4б). Как правило, районы с густой сетью аласов представляют собой обезлесенные участки, где преобладают луговые и болотные комплексы, в то время как районы с глубоко врезанными озерами — участки залесенные.

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что для изучения межгодовых изменений площадей озер следует учитывать сезонные изменения. Во избежание принятия изменений площадей озер в течение летнего сезона за многолетние необходимо использовать в исследовании снимки за близкие даты, полученные в конце летнего периода — в августе.

Межгодовые изменения площадей термокарстовых озер

В процессе исследования межгодовых изменений площадей термокарстовых озер для всех отобранных снимков с 2000 по 2009 г. было проведено автоматизированное дешифрирование с выделением водной поверхности озер. На территории эталонного участка 1 более детально были проанализированы два фрагмента, на территории эталонного участка 2 — четыре фрагмента. Для каждого фрагмента была определена суммарная площадь водной поверхности озер за разные даты и составлены графики соответствующих изменений (рис. 5).

Как следует из графика на рис. 5а, на территории участка 1 изменения площади озер за 2000–2002 гг. минимальны. Наблюдается слабое уменьшение их площадей в отдельных аласных котловинах. С 2002 по 2009 г., напротив, наблюдается увеличение площадей термокарстовых озер. Для участка 2 также было зафиксировано незначительное уменьшение площадей озер с 2000 по 2002 г. (рис. 5б) и су-

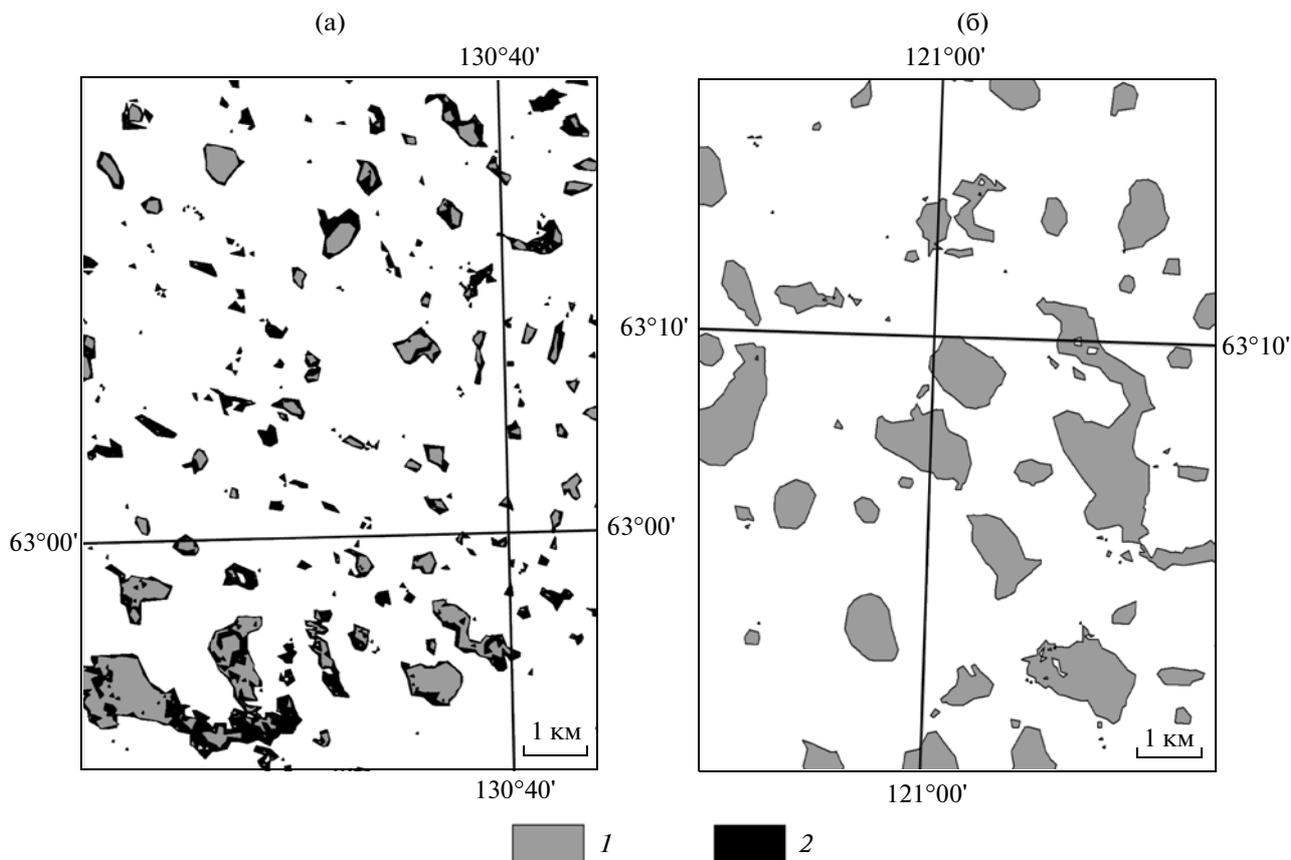


Рис. 4. Сезонные изменения площадей термокарстовых озер в различных ландшафтных условиях – в районах с уплотненными аласными котловинами (фрагмент 2в) (а), в районах с глубоко врезанными аласными котловинами (фрагмент 1б) (б).

ществленное увеличение с 2002 по 2007 г. (рис. 6б), после 2007 г. отмечается некоторое уменьшение площади озер.

Для выявления картины изменения температуры и осадков на исследуемой территории использовались данные с 1948 по 2008 г. двух метеостанций (м/с): Вилюйск, расположенной в пределах участка 1, и Якутск, расположенной в пределах участка 2. Рассмотрение изменений атмосферных осадков с 1948 по 2008 г. очень важно при выявлении причины увеличения площадей термокарстовых озер с 1976 по 2000 г.

Для обеих станций приведены графики годовых сумм атмосферных осадков и среднегодовой температуры воздуха (рис. 7) за рассматриваемый период. Помимо этого, построены графики шестилетних скользящих средних, что позволяет увидеть тенденцию изменения рассматриваемых характеристик.

Вычислены средние многолетние значения за период наблюдений: для м/с Вилюйск среднеегодовое значение годовых атмосферных осадков

составило 261 мм, для м/с Якутск – 231 мм; среднеегодовое значение среднегодовой температуры воздуха для м/с Вилюйск составило -8.9°C , для м/с Якутск -9.7°C .

Графики скользящих шестилетних значений среднегодовых температур для обеих станций демонстрируют общее увеличение температуры воздуха за период исследования. На фоне общего тренда увеличения температуры воздуха наблюдаются незначительные локальные колебания. Кривые скользящих шестилетних значений годовых сумм осадков показывают наличие ярко выраженных ритмических колебаний. Как известно, осадки являются весьма изменчивым метеорологическим элементом во времени и пространстве. Внутривековые колебания осадков имеют различную длительность. В пределах вековых циклов можно заметить колебания с большими и меньшими количествами осадков. Продолжительность таких внутренних циклов бывает различной, а иногда даже не представляется возможным выделить сколько-нибудь заметные циклы [1].

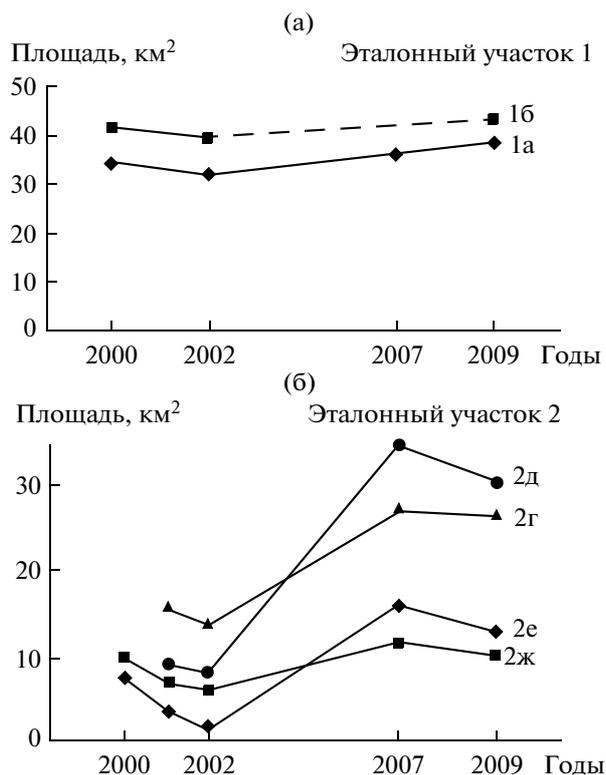


Рис. 5. Графики годовых изменений площадей озера на эталонных участках.

Более наглядное представление о циклических колебаниях без смещения границ между фазами циклов большой и малой водности получается при применении метода разностных интегральных кривых или суммарных кривых отклонений от средней многолетней величины [2].

Для построения разностных интегральных кривых необходимо иметь непрерывный ряд наблюдений, что послужило еще одной причиной рассмотрения широкого временного диапазона. В данном случае непрерывный ряд наблюдений составляет 61 год. На основе имеющихся данных вычисляется норма осадков за многолетний период ($x_{\text{ср}}$, среднеарифметическое значение) и для каждого года определяется модульный коэффициент по формуле $K = x_i/x_{\text{ср}}$, где x_i — количество осадков для каждого конкретного года. Далее вычисляются величины разностей ($K - 1$, отклонение от нормы), которые затем алгебраически суммируются ($\Sigma(K - 1)$) в нарастающем порядке. На графике эти суммарные величины откладываются с учетом поправки по оси ординат, по оси абсцисс — годы. Поправка A вычисляется как среднеарифметическое всех полученных значений по формуле $A = \Sigma(K - 1)/n$, где n — число лет, входящих в непрерывный ряд наблюдений. Поправка A

позволяет кривой расположиться симметрично средней линии [1].

На основе представленной методики были построены графики нормированной разностной интегральной кривой годовых сумм осадков для метеостанций Вилюйск и Якутск (рис. 8). Как видно из графика нормированной разностной интегральной кривой, для м/с Вилюйск с 1948 по 1973 г. характерна маловодная фаза, что также подтверждает график скользящих шестилетних значений годовых сумм осадков (рис. 7), где видно, что все значения лежат ниже среднемноголетней величины. Период с 1974 по 1996 г. характеризуется относительной стабильностью, годовые суммы осадков близки к многолетнему среднему значению. С 1997 по 2008 г. выделяется многоводная фаза с небольшим локальным маловодьем с 2003 по 2005 г. Для м/с Якутск характерна более пестрая картина, выраженная в относительно частом чередовании более коротких по продолжительности многоводных и маловодных фаз.

При сопоставлении графиков годовых изменений площадей озера за 2000–2009 гг. с нормированными разностными интегральными кривыми наблюдается аналогия: уменьшению площадей озера соответствует маловодная фаза, увеличению — многоводная. Единственное исключение составляет уменьшение площадей озера на территории участка 1 с 2000 по 2002 г. в период многоводной фазы. Но это уменьшение наблюдается не повсеместно, а в отдельных аласных котловинах, что может быть объяснено частичным спуском отдельных озера водотоками.

В связи с отсутствием космических снимков за каждый год, позволяющих выполнить сплошное дешифрирование озера на всей площади, на территории участка 2 были более детально рассмотрены изменения отдельных крупных озера (рис. 9а), изученных якутскими исследователями, так как при анализе отдельных озера было возможно использовать больше снимков. Для этих озера имеется непрерывный ряд ежегодных измерений с 2001 по 2009 г. При исследовании отдельных озера выполнялось визуальное дешифрирование изображения на экране монитора с цифрованием мышью контуров береговой линии (так называемый способ цифрования по подложке) и определением площади озера.

Результат анализа изменений показал у всех озера скачок увеличения площади в 2007 г. Причиной этому послужил многоводный 2006 г. (326 мм осадков за год (м/с Якутск) — на 95 мм (30%) больше среднемноголетнего значения). С 2007 по 2009 г. площади практически всех озера сократились. На

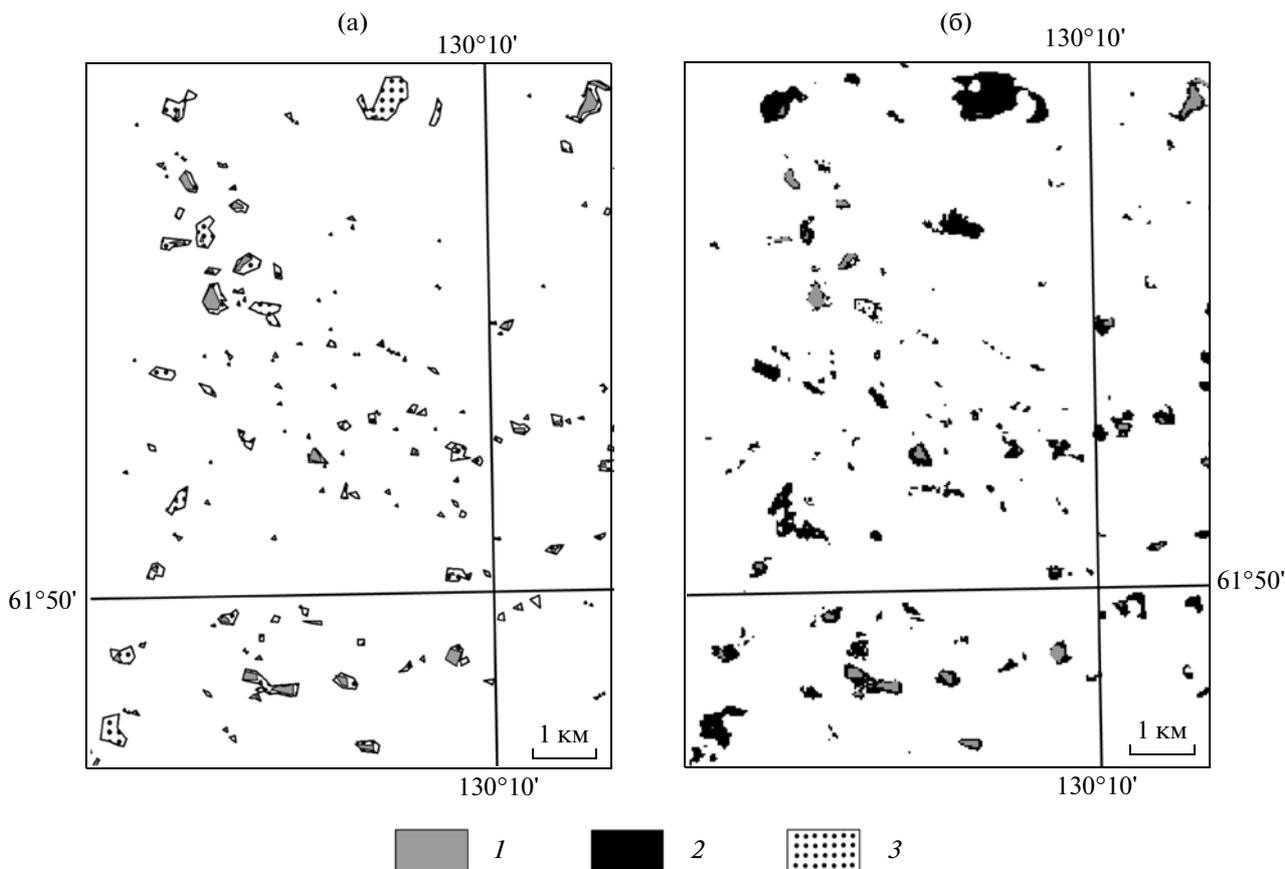


Рис. 6. Годовые изменения площадей термокарстовых озер на эталонном участке “Лена” (фрагмент 2е) за 2000–2002 гг. (а) и 2002–2007 гг. (б): 1 – не изменившаяся площадь водной поверхности озер, 2 – увеличение площади водной поверхности и появление озер, 3 – уменьшение площади и исчезновение озер.

графике годовых сумм осадков по м/с Якутск (рис. 9б), помимо максимума 2006 г., читается локальный минимум в 2004 г. Этот минимум не отразился на изменении площадей рассматриваемых озер. Вероятно, отдельные маловодные годы не накладывают отпечаток на характер изменения площадей.

Во всех рассмотренных случаях колебание площадей озер следовало за колебанием суммы атмосферных осадков. Наблюдается прямая взаимосвязь: увеличение суммы атмосферных осадков влечет за собой увеличение площадей озер, а уменьшение суммы атмосферных осадков – уменьшение площадей. Однако уменьшение сумм осадков всего за один год при достаточно многоводном предшествующем году не сказывается на изменении площадей озер (уменьшение осадков в 2004 г. не отразилось на изменении площади озер), в то время как изменение сумм осадков, по крайней мере за два года (их уменьшение в 2001 и

2002 гг., увеличение в 2005 и 2006 гг.), ведет к изменению площадей.

При сопоставлении результатов настоящего исследования с результатами исследований якутских ученых [2, 6, 7] проявляется существенное сходство: зафиксирована зависимость колебания площадей аласных озер Центральной Якутии от атмосферных осадков. В настоящее время, так же как и в XX в., наблюдается колебание площадей озер под влиянием атмосферных осадков. Космические снимки при этом значительно облегчают процесс фиксации изменений площадей озер.

Значительное увеличение площадей термокарстовых озер с 1976 по 2000 г. на территории Центральной Якутии в пределах участка 1 было зафиксировано в предшествующем исследовании [4]. Согласно нормированной разностной интегральной кривой для м/с Вилюйск с 1948 по 1973 г. характерна маловодная фаза, с 1974 по 1996 г. – относительная стабильность, а с 1997 по 2008 г. – многоводная фаза с небольшим локальным мало-

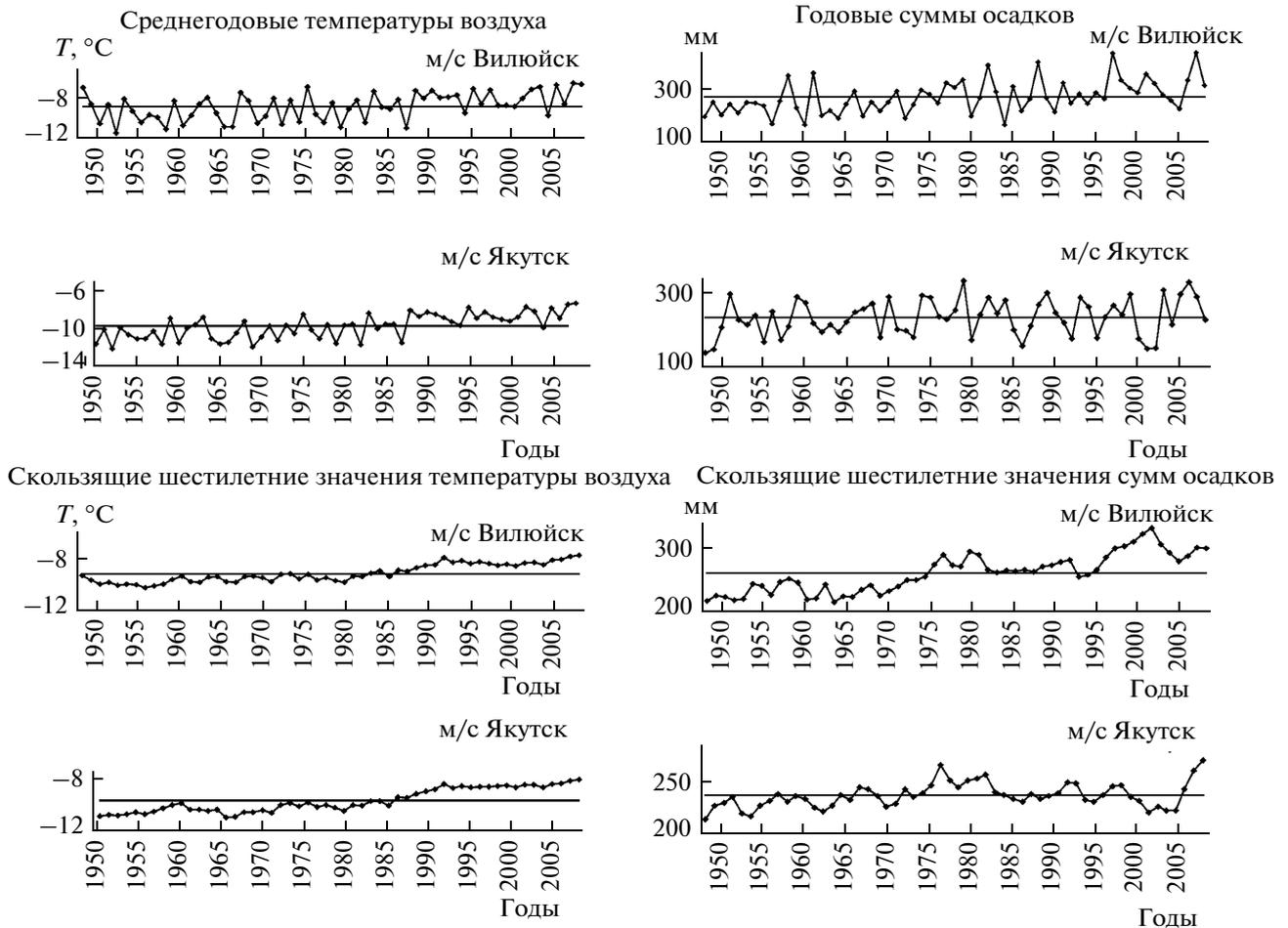


Рис. 7. Графики хода температуры воздуха и осадков за 1948–2008 гг. Горизонтальная линия – среднее значение за рассмотренный период.

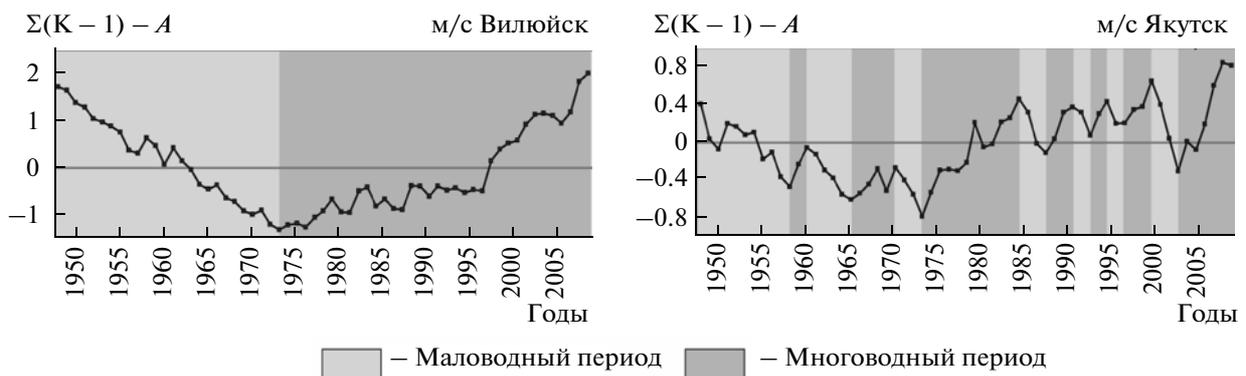


Рис. 8. Нормированные разностные интегральные кривые годовых сумм осадков.

водьем с 2003 по 2005 г. Таким образом, 1970-е гг. попадают на конец маловодной фазы, а 2000-е гг. – на период многоводной фазы, что и объясняет увеличение площадей озера. Атмосферные осадки в данном случае представляют собой главный фактор наблюдаемых изменений.

ВЫВОДЫ

В результате анализа изменений площадей озера в течение летнего сезона, учет которых важен при выборе космических снимков за разные даты, было установлено некоторое уменьшение площадей термокарстовых озера от июня к августу. Во из-

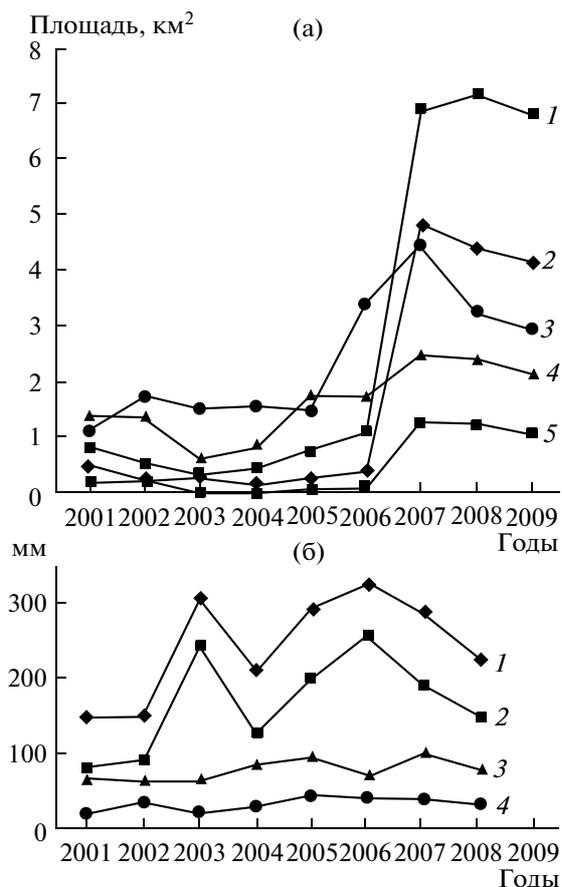


Рис. 9. Графики годовых изменений площадей отдельных крупных озер (1 – Тунгюлю, 2 – Сегелей, 3 – Нал-Тунгюлю, 4 – Абалах, 5 – Майя) (а) и хода метеорологических характеристик (1 – годовая сумма осадков, 2 – летние осадки, 3 – зимние осадки, 4 – высота снежного покрова, см) (б).

бежание принятия этих изменений за межгодовые необходимо использовать в исследованиях снимки за близкие даты, полученные в конце летнего – начале осеннего периода (августе–сентябре).

На основе проведенных исследований установлено, что осадки накладывают существенный отпечаток на изменения площадей термокарстовых озер. Во всех рассмотренных случаях установлена прямая взаимосвязь между колебанием площадей озер и колебанием суммы атмосферных осадков: увеличение суммы атмосферных осадков влечет за собой увеличение площадей озер, а уменьшение суммы атмосферных осадков – уменьшение их площадей. Наиболее сильно при этом сказывается увеличение осадков за два года

подряд (в год съемки и предшествующий), вызывающее повсеместное увеличение площади термокарстовых озер. Не оказывают влияния лишь отдельные единичные многоводные или маловодные годы. Космические снимки значительно облегчают процесс фиксации изменений площадей озер и позволяют делать более надежные выводы.

При анализе увеличения площадей термокарстовых озер с 1976 по 2000 г. на территории Центральной Якутии установлено, что 1976 г. попадает на конец маловодной фазы, а 2000 г. – на период многоводной фазы, что и объясняет увеличение площадей озер. Атмосферные осадки в данном случае представляют собой главный фактор наблюдаемых изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Батталов Ф.З.* Многолетние колебания атмосферных осадков и вычисление норм осадков. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. 183 с.
2. *Босиков Н.П.* Эволюция аласов Центральной Якутии. Якутск, 1991. 127 с.
3. *Кирпотин С.Н., Полищук Ю.М., Брыксина Н.А.* Динамика площадей термокарстовых озер в сплошной и прерывистой криолитозонах Западной Сибири в условиях глобального потепления // Вест. Томск. гос. ун-та. 2008. № 311. С. 185–189.
4. *Кравцова В.И., Быстрова А.Г.* Изучение изменений распространения термокарстовых озер России по разновременным космическим снимкам // Криосфера Земли. 2009. Т. 15. № 2. С. 16–26.
5. *Кравцова В.И., Тарасенко Т.В.* Изучение и картографирование динамики термокарстовых озер на территории Западной Сибири по разновременным космическим снимкам // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2010. Т. 1. С. 88–93.
6. *Немчинов А.Г.* О периодических колебаниях уровня озер Центральной Якутии // Науч. сообщ. Якутского фил. АН СССР. Вып. 1. Якутск, 1958. С. 30–37.
7. *Соловьев П.А.* Циклические изменения водообильности аласных озер Центральной Якутии в связи с колебаниями элементов климата // Вопр. географии Якутии. Вып. 1. Якутск, 1961. С. 48–54.
8. *Fitzgerald D., Riordan B.A.* Permafrost and ponds. Remote sensing and GIS used to monitor Alaska wetlands at the landscape level // Agroborealis. 2003. V. 35. № 1. P. 30–35.
9. *Smith L.C., Sheng Y., Macdonald G.M., Hinzman L.D.* Disappearing Arctic Lakes // Science. 2005. V. 308. № 5727. P. 1429.