

Е.Н. Сутырина¹

ИЗУЧЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЛЕДОВО-ТЕРМИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕРА БАЙКАЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИСТАНЦИОННЫХ МЕТОДОВ

АННОТАЦИЯ

Температура поверхности воды и характеристики ледяного покрова являются значимыми параметрами состояния экосистемы озера и одними из важнейших индикаторов, позволяющими выявить климатические изменения. Размеры оз. Байкал с площадью акватории в 31,7 тыс. км² делают обоснованным использование для изучения характеристик его ледово-термического режима данных дистанционного спутникового зондирования. Целью данного исследования являлось изучение особенностей пространственно-временного распределения параметров ледово-термического режима оз. Байкал с применением данных радиометра AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) за 1998-2016 гг.

В статье даётся описание разработанной методики картирования стадий стаивания и разрушения снежно-ледяного покрова на оз. Байкал в весенний период и подхода к картированию температуры поверхности воды озера в безледоставный период по данным AVHRR. Приводятся образцы составленных карт-схем ледовой обстановки и распределения температуры на поверхности. По полученным материалам была изучена специфика очищения ото льда акваторий Южной, Центральной и Северной котловин оз. Байкал и было установлено, что межгодовые колебания сроков очищения ото льда указанных акваторий находятся в противофазе с межгодовыми колебаниями величины индекса Арктической осцилляции. По полученным полям температуры воды изучена внутригодовая и межгодовая изменчивость в распределении температуры поверхности оз. Байкал и выявлено, что наибольшая межгодовая изменчивость температуры на его поверхности наблюдается в августе, который характеризуется наибольшим прогревом поверхности данного водоёма. Дана оценка вклада ряда значимых факторов в формирование температурных полей на поверхности оз. Байкал.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

озеро Байкал, радиометр AVHRR, температура поверхности воды, ледяной покров, внутригодовая и межгодовая изменчивость

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Байкал расположено в центральной части Евразийского материка между 51°28' и 55°47' северной широты и между 103°43' и 109°58' восточной долготы и является самым глубоким и самым большим по объёму пресноводным озером в мире.

По современным данным, при уровне воды в озере 455,5 м над уровнем моря длина озера по тальвегу составляет 672 км, максимальная ширина – 79 км, площадь акватории – 31,7 тыс. км² [Troitskaia *et al.*, 2015]. При изучении оз. Байкал, имеющего столь значительные размеры акватории, данные дистанционного зондирования предоставляют возможность следить за состоянием всего водоёма и получать пространственно-временную информацию о происходящих в озере процессах, которую невозможно обеспечить с применением только судовых и экспедиционных исследований. Диагностика состояния водоёмов с использованием дистанционных методов основана на возможности регистрации дистанционным оборудо-

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет», географический факультет; 664003, Россия, Иркутск, ул. К. Маркса, 1; e-mail: ensut78@gmail.com

ванием широкого спектра значимых параметров водной среды. В рамках данного исследования производились картирование и анализ пространственно-временного распределения температуры поверхности воды оз. Байкал и ледовой обстановки в период разрушения снежно-ледяного покрова с использованием спутниковых данных.

Температура воды является важной характеристикой состояния экосистемы озера, которая оказывает влияние на протекающие в водоёме физические, химические и биологические процессы и от которой в значительной мере зависит интенсивность процессов самоочищения водных объектов и т. д. Температура воды является одним из важнейших показателей биологической продуктивности акватории, на которую она оказывает как прямое, так и косвенное влияние. По полям температуры поверхности воды можно косвенно анализировать такие явления, как термический барьер, вихревые структуры, апвеллинг и др. [Troitskaya *et al.*, 2015]. Информация о температуре поверхности воды необходима для оценки накопления и расходования тепла водной массой в результате её теплообмена с атмосферой и ложем озера, для расчёта теплового баланса, разработки методов прогноза сроков вскрытия и замерзания водоёма.

Таблица 1. Характеристика состояния снежно-ледяной поверхности при различных степенях ее стаивания и разрушения
Table 1. Characteristics of the state of the snow-ice surface at various stages of its melting and destruction

| Степень стаивания и разрушения | Характеристика состояния снежно-ледяной поверхности |
|--------------------------------|--|
| I | Снег чистый, плотный, мелко- и среднезернистый, сухой |
| II | Снег чистый, слабо увлажнённый (начало таяния), плотный; местами появляются отдельные серые пятна (более увлажнённые участки) |
| III | Снег чистый, днём местами появляется вода; количество серых пятен составляет 10–20 % видимой поверхности |
| IV | Снег чистый, влажный, начинает оседать, переходит в крупнозернистый; на поверхности около 30 % серых и тёмных пятен |
| V | Снег влажный, местами загрязнён, на льду под снегом вода; количество белых (чистый снег), серых и тёмных пятен одинаково |
| VI | Снег интенсивно тает, на льду вода, снежная каша. Сплочённость после вскрытия составляет от 7 до 10 баллов |
| VII | Снег крупнозернистый, сохраняется на отдельных местах; ледяная поверхность шероховатая, серых или тёмных оттенков. Сплочённость после вскрытия составляет 7 баллов |
| VIII | Снежная каша, лёд тёмный, шероховатый, отдельные участки серого цвета. Сплочённость после вскрытия составляет от 5 до 7 баллов |
| IX | Лёд тёмный, распадается на вертикальные столбики, вода на льду. Сплочённость после вскрытия составляет менее 5 баллов |

Исследование ледяного покрова на оз. Байкал также имеет научное и практическое значение. Ледяной покров оказывает существенное влияние на условия формирования энергетических потоков в системе «водоём-атмосфера», препятствует ветровому перемешиванию и определяет своеобразие всех элементов режима изучаемого водоёма. С практической точки зрения информация о ледовой обстановке необходима для планомерного проведения навигации и перевозки грузов по льду.

Характеристики ледово-термического режима чувствительны к климатическим изменениям и являются одними из важнейших индикаторов, позволяющими выявить климатические изменения, поэтому получение информации о динамике ледяного покрова и температу-

ре поверхности воды важно для изучения изменений регионального и локального климата [Нелепо и др., 1985].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках данного исследования для изучения особенностей пространственно-временного распределения прозрачности воды в поверхностном слое оз. Байкал в период открытого водоёма были использованы данные радиометра AVHRR за период с 1998 по 2016 г.

В весенний период использование данных AVHRR об отражательной способности поверхности позволяет определять стадии разрушения снежно-ледяного покрова и чистую воду. В данной работе при оценке стадий таяния и разрушения снежно-ледяного покрова на исследуемых водоёмах за основу была принята классификация, приведённая В.М. Мишоном [Мишон, 1979] (таблица 1) и доработанная на основании ряда исследований оптических свойств разрушающегося льда и снега, основными из которых являются работы [Petrov *et al.*, 2004, Матвеев, 1976, Arst, Sipelgas, 2004; Singh, Singh, 2001], а также совместного анализа мелкомасштабных снимков AVHRR с находящимися в открытом доступе квазисинхронными снимками высокого и сверхвысокого разрешения, дающими частичное покрытие акватории озера в отдельные даты. В результате для каждого типа, приведённого в таблице 1, был установлен диапазон значений альбедо, используемый для дальнейшего составления карт-схем по спутниковым изображениям.

Таблица 2. Матрица точности классификации состояния снежно-ледяной поверхности оз. Байкал при различных степенях её стаивания и разрушения

Table 2. Confusion matrix for classification of the state of snow-ice surface of Lake Baikal at various stages of melting and destruction

| | | Опорный источник | | | | | | | | | Сумма |
|--------------------------|-------|------------------|-----|----|----|----|-----|------|-----|-------|-------|
| | | I, II | III | IV | V | VI | VII | VIII | IX | Чисто | |
| Результаты классификации | I, II | 66 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 70 |
| | III | 2 | 62 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 66 |
| | IV | 1 | 2 | 59 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 64 |
| | V | 0 | 1 | 1 | 55 | 3 | 0 | 1 | 0 | 0 | 61 |
| | VI | 1 | 1 | 1 | 1 | 70 | 3 | 1 | 0 | 0 | 78 |
| | VII | 0 | 0 | 1 | 2 | 2 | 54 | 4 | 1 | 0 | 64 |
| | VIII | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 78 | 6 | 2 | 88 |
| | IX | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 114 | 7 | 124 |
| | Чисто | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 120 | 124 |
| Сумма | | 70 | 70 | 65 | 59 | 75 | 60 | 87 | 124 | 129 | 739 |

Для анализа точности предложенной методики классификации в качестве опорного источника использовались не применявшиеся при разработке классификации крупномасштабные космофотокарты с метровым и субметровым разрешением, также обеспечивающие фрагментарное покрытие исследуемых акваторий в отдельные даты, а также данные наземных экспедиционных исследований на оз. Байкал в апреле 2015 г. Ввиду сложности распознавания первых двух стадий стаивания и разрушения по опорным материалам – при классификации и при дальнейшем анализе точности классификации они объединены в один класс. Далее были составлены матрицы точности классификации (таблица 2). Сумма значений диагональных элементов показывает общее количество правильно классифицированных пикселей, а отношение этого количества к общему количеству пикселей в матрице показыва-

ет общую точность, которая для разработанной классификации состояния снежно-ледяной поверхности по оз. Байкал составила 91,7 %.

Для составления карт-схем распределения температуры поверхности воды оз. Байкал использовались региональные алгоритмы тематической обработки данных AVHRR, полученные на основе сопоставления массивов квазисинхронных спутниковых и судовых измерений и подробно описанные в [Сутырина, 2014]. Данные алгоритмы основаны на дифференцированном определении температуры в различное время суток (день, ночь) и в различные месяцы (июнь-июль, август-сентябрь, октябрь-декабрь), применении квадратичной модификации [Barton, 1995] метода «расщеплённого окна прозрачности» и дополнительном привлечении информации видимого и ближнего инфракрасного каналов в дневное время суток [Сутырина, 2014]. Применение разработанных автором региональных алгоритмов позволяет увеличить точность определения температуры поверхности воды до 0,4 К в ночное время и до 0,3 К в дневное время суток.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для картирования ледовой обстановки в период разрушения льда в работе применяются картознаки качественного фона, для картографического отображения температуры поверхности воды используются картознаки количественного грид-отображения на основе разработанных автором палитр.

Ниже в качестве примера приведены полученные в результате анализа спутниковых изображений AVHRR карты-схемы, на которых отображено состояние снежно-ледяного покрова по степени его стаивания и разрушения на оз. Байкал в мае 2010 и 2012 гг. (рисунок 1). Данные изображения позволяют отчётливо проследить динамику разрушения ледяного покрова в указанные годы. В 2010 г. наблюдался наиболее поздний сход льда за период исследования 1998–2016 гг. 2012 г. характеризуется значительно более ранним сходом льда по сравнению с 2010 г. и относится к числу лет с наиболее ранним очищением ото льда за исследуемый период для оз. Байкал.

При рассмотрении указанной серии карт-схем видно, что ледовая обстановка на водоёмах от года к году может существенно отличаться даже в схожие сроки. Например, 25 мая в 2010 г. лёд еще не вскрылся на большей части акватории Северной котловины оз. Байкала, в 2012 г. на ту же дату оз. Байкал полностью очистилось ото льда (см. рисунок 1).

При этом от года к году на данном водоёме наблюдается схожая последовательность разрушения льда и очищения от него исследуемых акваторий. Так, на оз. Байкал взлом льда начинается вдоль западного побережья Южной котловины несколько севернее устья р. Анггары, как правило, во второй половине апреля. Очищается ото льда в первую очередь северная часть Южной котловины и южная часть Центральной котловины озера. В последнюю очередь очищается ото льда акватория Северной котловины оз. Байкал, что происходит в третьей декаде мая – первой половине июня (см. рисунок 1).

В рамках исследования по спутниковым данным были изучена межгодовая изменчивость сроков очищения ото льда акваторий Южной, Центральной и Северной котловин оз. Байкал. На рисунке 2 приведён межгодовой ход сроков очищения ото льда исследуемых акваторий за период с 1998 по 2016 г., определённых по данным AVHRR.

Межгодовые колебания интенсивности ледовых процессов на исследуемом водоёме в основном связаны с Сибирским антициклоном, влияние которого зависит от общей атмосферной циркуляции в Северном полушарии. В ходе исследования проанализирована связь сроков очищения водоёмов ото льда по данным AVHRR как с рядом индексов атмосферной циркуляции, так и со значениями отдельных метеоэлементов, осреднёнными за различные периоды времени, частично или полностью включающие осеннее и предледоставное охлаждение, ледостав, период таяния и разрушения льда.

Наиболее выраженная связь сроков очищения ото льда всех котловин оз. Байкал наблюдается с индексом Арктической осцилляции АО (Arctic Oscillation), осреднённым за

период с ноября по апрель или по май, со значениями коэффициента корреляции, достигающими $-0,89$ – $-0,91$. Арктическая осцилляция – важнейший крупномасштабный атмосферный процесс, определяющий межгодовую изменчивость погодных и климатических условий в высоких и средних широтах Северного полушария в холодное время года. Когда индекс АО находится в положительной фазе, кольцо сильных ветров, циркулирующих вокруг Северного полюса, ограничивает поступление более холодного воздуха из полярных регионов. В отрицательной фазе индекса АО этот пояс ветров становится слабее и больше искажается, что способствует более лёгкому проникновению на юг холодных арктических воздушных масс и увеличению штормов в средних широтах. Влияние на ледовый режим характера атмосферного переноса, отражённого в значениях АО, обусловлено формированием полей давления, температуры воздуха, ветра, влажности и т.д. [Сизова и др., 2013].

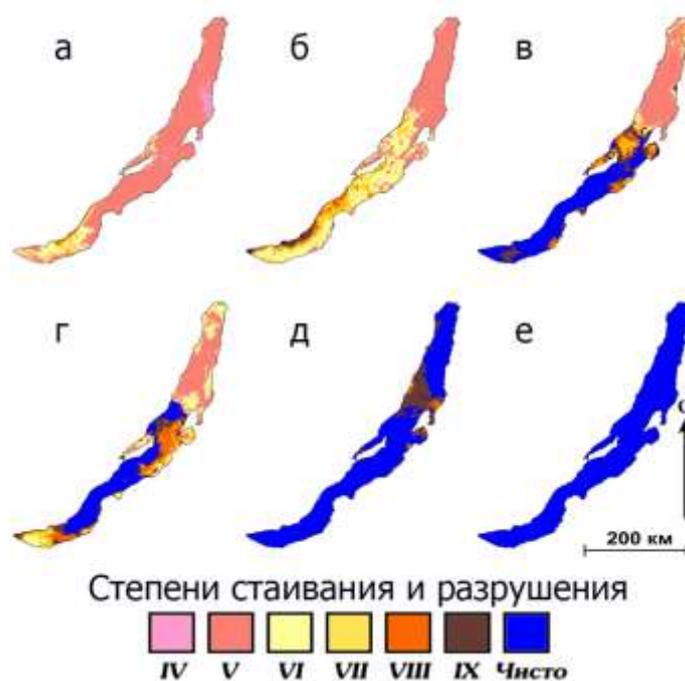


Рисунок 1. Состояние снежно-ледяного покрова оз. Байкал по степени стаивания и разрушения:

а – 10.05.2010 г., б – 17.05.2010 г., в – 25.05.2010 г.,
г – 4.05.2012 г., д – 14.05.2012 г., е – 21.05.2012 г.
(IV-IX см. таблицу 1)

Figure 1. The state of the snow-ice cover of Lake Baikal according to the degree of melting and destruction:

а – 10.05.2010, б – 17.05.2010, в – 25.05.2010,
г – 4.05.2012, д – 14.05.2012, е – 21.05.2012
(IV-IX see Table 1)

На рисунке 2 можно видеть, что межгодовые колебания сроков очищения ото льда изучаемых акваторий в целом находятся в противофазе к межгодовым колебаниям осреднённых за период с ноября по апрель значений индекса АО.

Кроме того, установлена заметная или тесная связь сроков очищения данных акваторий с индексами NAO (North Atlantic Oscillation) и SCAND (Scandinavia), осреднённых за период с ноября или с декабря по май, с корреляцией, достигающей $-0,68$ – $-0,82$ и $0,62$ – $0,75$ соответственно. С индексами EATL/WRUS (East Atlantic/ West Russia), Polar/Eurasia связь сроков очищения слабая или умеренная.

Величина коэффициента корреляции сроков очищения ото льда со значениями приземной температуры воздуха, по данным реанализа NCEP/NCAR (The National Centers for Environmental Prediction/The National Center of Atmospheric Research), осреднённой за период с октября по май, достигает $-0,74$ для Южной котловины и $-0,72$ для Центральной котловины оз. Байкал, характеризуя связь как тесную. Для Северной котловины оз. Байкал связь сроков очищения ото льда со средней за октябрь–май приземной температурой воздуха заметная, с коэффициентом корреляции $-0,61$. Связь сроков очищения с осреднёнными за ноябрь–апрель или декабрь–апрель значениями высоты изобарической поверхности 500 ГПа в районе действия Сибирского антициклона соответствует тесной связи для всех котловин оз. Байкал со значениями коэффициента корреляции $-0,73$ – $-0,81$.

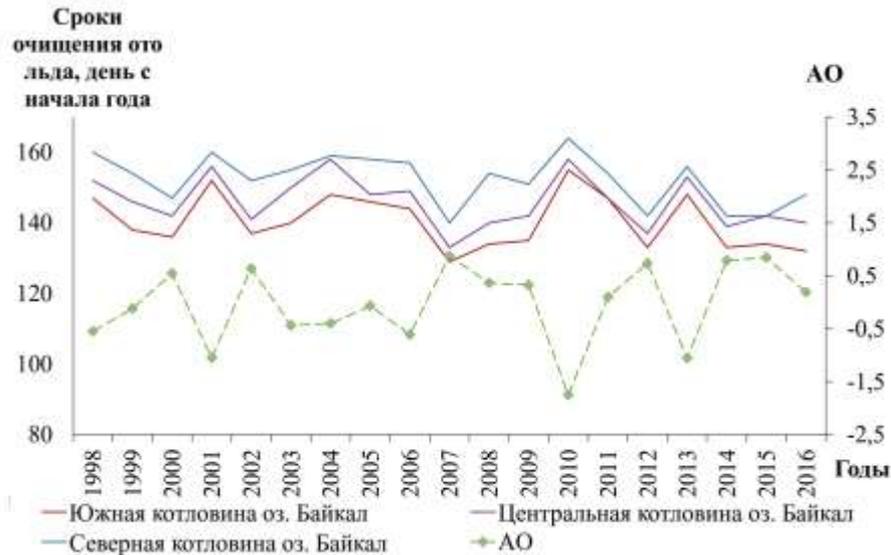


Рисунок 2. Межгодовой ход сроков очищения ото льда исследуемых акваторий по данным радиометра AVHRR в сопоставлении с ходом значений индекса АО, осреднённых за период с ноября по апрель

Figure 2. Interannual variability of the timing of the final disappearance of all ice on the investigated water areas according to AVHRR data in comparison with variability of AO index averaged for the period from November to April

В работе установлено, что связь сроков полного очищения ото льда на всех исследуемых акваториях, имеющих значительные размеры, с показателем атмосферной циркуляции АО оказывается значительно более выраженной, чем при использовании информации о ледовых явлениях, собранной на отдельных гидрометеостанциях, как, например, в работе [Сизова и др., 2013]. Это можно объяснить более выраженным вкладом локальных факторов в специфику ледового режима на непосредственно прилегающих к постам участках акватории. В свою очередь это показывает необходимость использования спутниковой информации о ледовых условиях на всей акватории для адекватной оценки связи параметров ледового режима с параметрами атмосферной циркуляции.

Кроме того, в результате проделанной работы были составлены серии электронных карт-схем температуры поверхности воды оз. Байкал с 1998 по 2015 г. для периодов открытой воды. Ниже в качестве примера приведена серия тематических карт-схем температуры поверхности воды оз. Байкал в близкие сроки в 2010 и 2012 гг. (рисунок 3), иллюстрирующая внутригодовую и межгодовую изменчивость в распределении температуры воды на поверхности оз. Байкал.

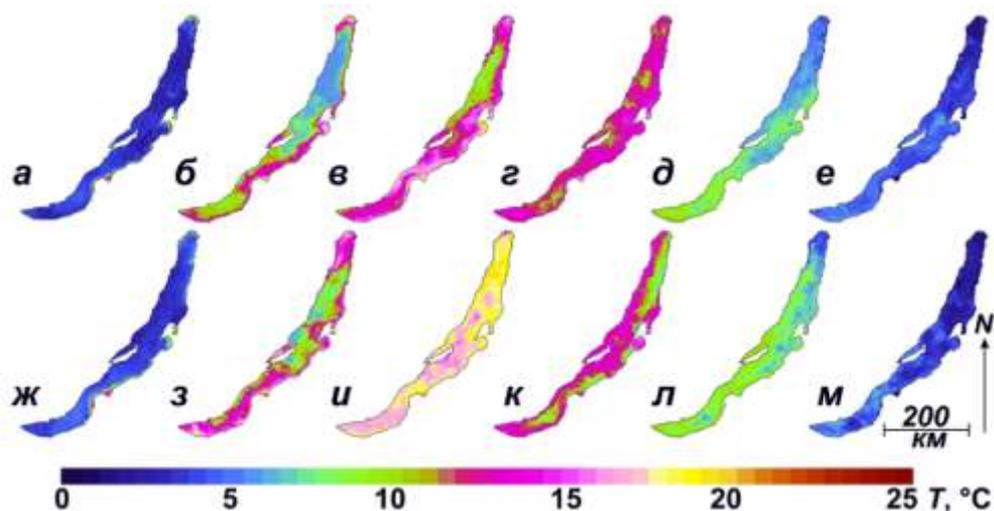


Рисунок 3. Распределение температуры поверхности воды оз. Байкал в 2010 г.: а – 10 июня, б – 18 июля, в – 8 августа, г – 1 сентября, д – 2 октября, е – 7 ноября и в 2012 г.: ж – 10 июня, з – 14 июля, и – 11 августа, к – 4 сентября, л – 4 октября, м – 3 ноября

Figure 3. Distribution of water surface temperature of Lake Baikal in 2010: а – June 10, б – July 18, в – August 8, г – September 1, д – October 2, е – November 7 and in 2012: ж – June 10, з – July 14, и – August 11, к – September 4, л – October 4, м – November 3

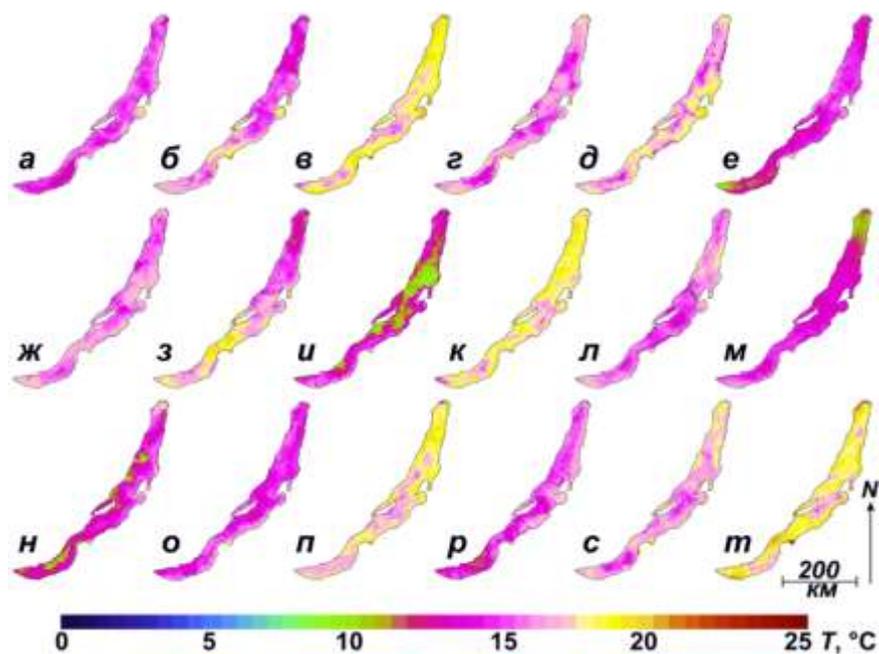


Рисунок 4. Распределение температуры поверхности воды в оз. Байкал: 30.08.1998 (а), 2.08.1999 (б), 8.08.2000 (в), 12.08.2001 (г), 8.08.2002 (д), 28.08.2003 (е), 18.08.2004 (ж), 3.08.2005 (з), 15.08.2006 (и), 15.08.2007 (к), 13.08.2008 (л), 1.09.2009 (м), 23.08.2010 (н), 17.08.2011 (о), 11.08.2012 (п), 30.08.2013 (р), 29.7.2014 (с), 21.08.2015 (т)

Figure 4. The distribution of the water surface temperature of Lake Baikal: 30.08.1998 (а), 2.08.1999 (б), 8.08.2000 (в), 12.08.2001 (г), 8.08.2002 (д), 28.08.2003 (е), 18.08.2004 (ж), 3.08.2005 (з), 15.08.2006 (и), 15.08.2007 (к), 13.08.2008 (л), 1.09.2009 (м), 23.08.2010 (н), 17.08.2011 (о), 11.08.2012 (п), 30.08.2013 (р), 29.7.2014 (с), 21.08.2015 (т)

При анализе распределения температуры на поверхности оз. Байкал на картах-схемах за 12 июня 2010 г. и 10 июня 2012 г. практически на всей акватории озера (за исключением мелководных участков, заливов и проливов) наблюдается гомотермия. Эта ситуация является характерной для этого периода и наблюдается ежегодно. Наибольшая пространственная изменчивость в распределении температуры на поверхности в открытой части озера, в том числе за счёт неравномерного прогрева и перераспределения речных вод, как правило, наблюдается в июле. Наибольшего прогрева вода на поверхности оз. Байкал, как правило, достигает в августе. Начиная со второй половины октября до ледостава температура в центральных частях озера в связи со значительной тепловой инерцией больших объёмов воды превышает температуру в мелководных заливах и проливах. В первой декаде ноября на преобладающей части акватории озера (за исключением мелководных частей озера, где температура близка к 0 С) наблюдается осенняя гомотермия.

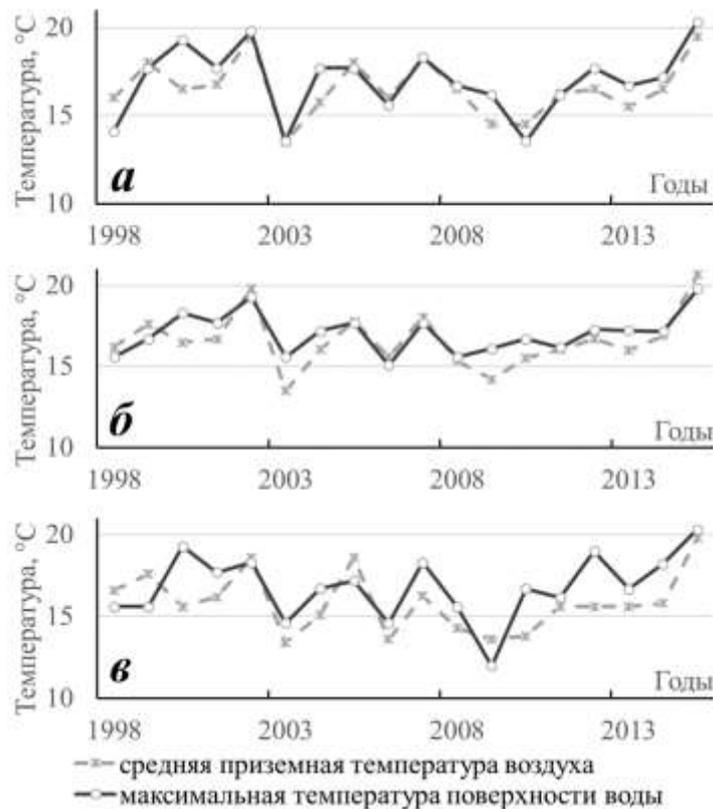


Рисунок 5. Изменчивость максимальных значений температуры поверхности воды в открытых частях Южной (а), Центральной (б), Северной (в) котловин оз. Байкал и средней приземной температуры воздуха за месяц, предшествующий наблюдаемому максимуму температуры воды
Figure 5. Variability of the maximum values of water surface temperature in the open parts of South (а), Central (б), Northern (в) basins of Lake Baikal and the average surface air temperature for the month preceding the observed maximum water temperature

Данные серии карт-схем наглядно иллюстрируют, что наибольшие межгодовые различия в распределении температуры на поверхности оз. Байкал приурочены к периодам наибольшего прогрева, поэтому для анализа межгодовой изменчивости температурного режима данного водоёма наиболее оправдано изучение вариаций температуры воды на поверхности именно в указанные периоды. Ниже приведены карты-схемы распределения температуры, соответствующие наибольшему прогреву воды на поверхности оз. Байкал (рисунок 4),

отобранные для каждого года за период с 1998 по 2015 г. и иллюстрирующие существенную межгодовую изменчивость в распределении температуры.

Максимальные значения температуры на поверхности в открытых частях изучаемых акваторий существенно изменяются от года к году. За период исследования её значения изменялись в Южной котловине оз. Байкал от 13,5 (в 2010 г.) до 20,3° С (в 2015 г.), в Центральной котловине оз. Байкал – от 15,1 (в 2006 г.) до 19,8 °С (в 2015 г.), в Северной котловине оз. Байкал – от 12,0 (в 2009 г.) до 20,3 °С (в 2015 г.).

С привлечением данных реанализа NCEP/NCAR проведён анализ связи величины приземной температуры воздуха и максимальных значений температуры на поверхности открытых частей данных акваторий оз. Байкал. Ниже на рисунке 5 приведён межгодовой ход максимальных значений температуры поверхности воды в открытых частях изучаемых акваторий и приземной температуры воздуха, осреднённой за месяц, предшествующий наблюдаемому максимуму температуры воды, в целом показывающий наличие синхронности изменения этих параметров в указанных акваториях, что соответствует наличию заметной линейной связи между данными параметрами в Северной котловине с коэффициентом корреляции, равным 0,65, и тесной линейной связи с коэффициентами корреляции 0,79 и 0,83 в Южной и Центральной котловинах соответственно.

В ходе исследования также определены значения парных коэффициентов корреляции максимальных значений температуры поверхности воды в открытых частях акваторий со сроками очищения ото льда. Выявлено, что связь максимальных значений температуры воды со сроками очищения ото льда в Южной и Северной котловинах оз. Байкал характеризуется как заметная и умеренная с коэффициентами корреляции -0,52 и -0,44 соответственно, в Центральной котловине – как слабая с коэффициентом корреляции, равным -0,22.

ВЫВОДЫ

В рамках проведённого исследования с применением данных AVHRR были составлены электронные карты-схемы температуры поверхности воды оз. Байкал в безледоставный период, а также карты-схемы состояния снежно-ледяного покрова озера в весенний период. По полученным материалам изучены региональные особенности очищения ото льда акваторий Южной, Центральной и Северной котловин оз. Байкал. Исследованы связи сроков полного очищения котловин оз. Байкал ото льда со значениями индексов атмосферной циркуляции и установлено, что межгодовые колебания сроков очищения ото льда указанных акваторий находятся в противофазе к межгодовым колебаниям значений индекса АО.

Также результаты данного исследования, проведённого с применением данных радиометра AVHRR, позволили более детально изучить особенности распределения температуры воды на поверхности оз. Байкал и оценить вклад ряда значимых факторов в формирование температурных полей и углубить знания об особенностях температурного режима данного водоёма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Матвеев Л.Т.* Курс общей метеорологии. Физика атмосферы. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 640 с.
2. *Мишон В.М.* Гидрофизика. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1979. – 308 с.
3. *Нелепо Б.А., Коротаев Г.К., Суетин В.С., Терехин Ю.В.* Исследование океана из космоса. – Киев: Наукова думка, 1985. – 168 с.
4. *Сизова Л.Н., Куимова Л.Н., Шимараев М.Н.* Влияние циркуляции атмосферы на ледово-термические процессы на Байкале в 1950–2010 годы // География и природные ресурсы. – 2013, № 2. – С. 74–82.
5. *Сутырина Е.Н.* Изучение внутренних водоёмов и водосборов с применением данных дистанционного зондирования Земли. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. – 133 с.

6. *Arst H., Sipelgas L.* In situ and satellite investigations of optical properties of the ice cover in the Baltic Sea region // Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol. – 2004. – Vol. 53 (1). – Pp. 25–36.
7. *Barton I.J.* Satellite-derived sea surface temperatures: Current status // J. Geoph. Res. – 1995. – Vol. 100. – Pp. 8777–8790.
8. *Petrov M., Zdorovenov R., Palshin N., Terzhevik A.* Solar radiation and albedo regime in ice-covered lakes: Early spring // Proc. 8th Workshop on Physical Processes in Natural Waters. – Lund, 2004. – Pp. 31–38.
9. *Singh P., Singh V.P.* Snow and Glacier Hydrology. – Dordrecht, Boston, London: Kluwer academic publishers, 2001. – 756 p.
10. *Troitskaya E., Blinov V., Ivanov V., Zhdanov A., Gnatovsky R., Sutyryna E., Shimaraev M.* Cyclonic circulation and upwelling in Lake Baikal // Aquatic Sciences, 2015. – Vol. 77, Issue 2. – Pp. 171–182.

Ekaterina N. Sutyryna¹

STUDY OF PARAMETERS OF THE ICE-THERMAL REGIME OF LAKE BAIKAL USING REMOTE METHODS

ABSTRACT

The surface temperature of the water and the characteristics of the ice cover are important parameters of the state of the ecosystem of the lake and one of the most important indicators that allow us to identify climate change. Dimensions of Lake Baikal with an area of 31.7 thousand sq. kilometers make it reasonable to use the data of satellite remote sensing to study the characteristics of its ice-thermal regime. The purpose of this investigation was to study the features of the spatio-temporal distribution of the parameters of the ice-thermal regime of Lake Baikal using AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) radiometer data for the period of 1998-2016.

The paper describes the developed approach to mapping the stages of melting and destruction of the snow-ice cover on Baikal Lake in the spring and the method for mapping the surface temperature of the lake in an ice-free period according to AVHRR data. Samples of compiled schematic maps of the ice situation and of temperature distribution on the lake surface are given. Based on the obtained cartographic materials, the specificity of ice disappearance of the water areas of the Southern, Central and Northern basins of Lake Baikal has been studied. And it was found that the interannual fluctuations in the timing of the ice disappearance on the given water areas are in anti-phase with the interannual fluctuations in the value of the Arctic Oscillation Index. Schematic temperature maps were used to study the intra-annual and interannual variability in the temperature distribution of Lake Baikal's surface and it was revealed that the greatest interannual variability of temperature on its surface is observed in August, which is characterized by the maximum warming of the surface of the water body. Also, the contribution of several significant factors to the formation of temperature fields on the surface of Lake Baikal was estimated.

KEYWORDS:

Lake Baikal, AVHRR radiometer, water surface temperature, ice cover, intra-annual and interannual variability

¹ Irkutsk State University; 664003, Karl Marx st, 1, Irkutsk, Russia; e-mail: ensut78@gmail.com

REFERENCES

1. Matveev L.T. Kurs obshchej meteorologii. Fizika atmosfery [Course of general meteorology. Atmospheric Physics], Leningrad: Hydrometeoizdat, 1976, 640 p. (in Russian).
2. Mishon V.M. Gidrofizika [Hydrophysics], Voronezh: VGU, 1979, 308 p. (in Russian).
3. Nelepo B.A., Korotaev G.K. Suetin V.S., Terehin Ju.V. Issledovanie okeana iz kosmosa [The study of the ocean from space], Kiev: Naukova dumka, 1985, 168 p. (in Russian).
4. Sizova L.N., Kuimova L.N., Shimaraev M.N. Vlijanie cirkuljacji atmosfery na ledovotermicheskie processy na Bajkale v 1950–2010 gody [The Influence of atmospheric circulation on ice-thermal processes in Lake Baikal in 1950–2010 years], Geografija i prirodnye resursy, 2013, No. 2, pp. 74–82 (in Russian).
5. Sutyryna E.N. Izuchenie vnutrennikh vodoemov i vodosborov s primeneniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya Zemli [The study of inland water bodies and watersheds using remote sensing data of the Earth], Irkutsk: Izd-vo IGU, 2014, 133 p. (in Russian).
6. Arst H., Sipelgas L. In situ and satellite investigations of optical properties of the ice cover in the Baltic Sea region, Proc. Estonian Acad. Sci. Biol. Ecol., 2004, Vol. 53 (1), pp. 25–36.
7. Barton I.J. Satellite-derived sea surface temperatures: Current status, J. Geoph. Res., 1995, Vol. 100, pp. 8777–8790.
8. Petrov M., Zdorovenov R., Palshin N., Terzhevik A. Solar radiation and albedo regime in ice-covered lakes: Early spring. Proc. 8th Workshop on Physical Processes in Natural Waters, Lund, 2004, pp. 31–38.
9. Singh P., Singh V.P. Snow and Glacier Hydrology, Dordrecht, Boston, London, Kluwer academic publishers, 2001, 756 p.
10. Troitskaya E., Blinov V., Ivanov V., Zhdanov A., Gnatovsky R., Sutyryna E., Shimaraev M. Cyclonic circulation and upwelling in Lake Baikal, Aquatic Sciences, 2015, Vol. 77, Issue 2, pp. 171–182.

УДК 630*583

DOI: 10.24057/2414-9179-2017-3-23-62-70

А.В. Каверин¹, Е.С. Вдовин²

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ LANDSAT ДЛЯ ОЦЕНКИ
ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ЛЕСНОМУ ХОЗЯЙСТВУ ВСЛЕДСТВИЕ
ВЕТРОВАЛА (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ)**

АННОТАЦИЯ

Ущерб от опасных метеорологических явлений в отдельные годы превышает объём заготовки леса даже в районах интенсивного лесопользования. Так, на примере изучаемого объекта, на территории которого образовался ветровал вследствие шквалистого ветра, показано, как оперативное выявление и оценка состояния повреждённых участков леса позволяют провести эффективные мероприятия по защите лесов и/или их восстановлению. В свою очередь несвоевременное получение информации о негативных изменениях в лесах может привести к снижению эффективности санитарно-оздоровительных мероприятий

¹ Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва, географический факультет, кафедра экологии и природопользования; Саранск, ул. Большевикская, 68б 430005, Россия; e-mail: kaverinav@yandex.ru

² Государственное казённое учреждение Республики Мордовия «Саранское территориальное лесничество»; Саранск, пер. Чернышевского, 10, 430005, Россия; e-mail: vdovin_evgenii@inbox.ru