



УДК 528.88; 556.555.4

Особенности распределения температуры воды на поверхности оз. Хубсугул по данным дистанционного спутникового зондирования

Е. Н. Сутырина

Иркутский государственный университет

Аннотация. Температура поверхности водоёма является значимой характеристикой состояния экосистемы озера и одним из важнейших параметров, позволяющим выявить климатические изменения. Целью данного исследования являлось изучение особенностей пространственного и временного распределения температуры на поверхности оз. Хубсугул с применением материалов дистанционного зондирования со спутников, так как дистанционное зондирование является незаменимым инструментом в изучении крупных внутренних водоёмов, включая оз. Хубсугул с площадью акватории в 2,67 тыс. км². В ходе настоящего исследования была составлена серия карт температуры поверхности воды оз. Хубсугул за период открытой воды по данным радиометра AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) за 1998–2015 гг., изучена внутрigoдовая и межгодовая изменчивость в распределении температуры на поверхности данного водоёма и выявлено, что максимальная межгодовая изменчивость температуры наблюдается в августе, который характеризуется наибольшим прогревом поверхности изучаемого водоёма. Проведён анализ вклада наиболее значимых факторов в формирование максимальных значений температуры на поверхности в открытой части оз. Хубсугул. С привлечением данных реанализа NCEP/NCAR (The National Centers for Environmental Prediction / The National Center of Atmospheric Research) показано, что связь максимальных значений температуры поверхности воды в открытых частях акваторий с приземной температурой воздуха, осредненной за месяц, предшествующий наблюдаемому максимуму температуры воды, характеризуется как заметная с коэффициентом корреляции, равным 0,61. Связь наибольших значений температуры воды со сроками очищения ото льда, определенными по спутниковым данным, характеризуется как умеренная отрицательная со значением коэффициента корреляции -0,47. По картам распределения температуры поверхности воды также определены локализация и характеристики термического бара и пелагического апвеллинга в оз. Хубсугул и их межгодовая изменчивость за период с 1998 по 2015 г., изучены факторы, влияющие на характер протекания данных динамических явлений.

Ключевые слова: оз. Хубсугул, данные радиометра AVHRR, температура поверхности воды, межгодовая изменчивость, апвеллинг, термобар.

Введение

Оз. Хубсугул – пресноводное озеро, расположенное на севере Монголии между 50°25' и 51°37' с. ш. и между 100°09' и 100°48' в. д. примерно в 200 км к юго-западу от оз. Байкал на высоте 1645 м над уровнем моря и почти на 1190 м над уровнем Байкала. Оз. Хубсугул связано с оз. Байкал через речную систему Эгийн-Гол – Селенга протяженностью около 1000 км. Котло-

вина оз. Хубсугул также имеет тектоническое происхождение и является южным элементом Байкальской рифтовой зоны. Оз. Хубсугул достигает 136 км в длину и 35 км в ширину. Длина береговой линии составляет около 431 км. Средняя глубина озера равна 139 м, максимальная глубина – 262 м. Площадь водной поверхности – 2,76 тыс. км². Объем воды в оз. Хубсугул составляет около 383,3 км³ [1; 6].

Температура воды является важной характеристикой состояния экосистемы озера, которая оказывает влияние на протекающие в водоёме физические, химические, биохимические и биологические процессы и от которой в значительной мере зависит интенсивность процессов самоочищения и т. д. По картам распределения температуры поверхности воды можно косвенно анализировать такие явления, как термический барьер, вихревые структуры, апвеллинг и др. [4; 6; 10]. Температура воды является важнейшим параметром, позволяющим выявить климатические изменения [5].

Для исследования особенностей температурного режима оз. Хубсугул, имеющего значительную протяженность и площадь акватории, применение данных дистанционного спутникового зондирования позволяет наблюдать за состоянием всего водоёма и получать качественно новую пространственно-временную информацию о происходящих в озере процессах, что невозможно сделать с использованием только судовых наблюдений.

Материалы и методы исследования

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 (Advanced Very High Resolution Radiometer) за период с 1998 по 2015 г., отобранные из архива Центра космического мониторинга Института солнечно-земной физики СО РАН. Радиометр AVHRR установлен на борту полярно-орбитальных метеорологических спутников серии NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Линейный размер элемента разрешения на местности радиометра AVHRR составляет около 1,1 км в надире. Полоса обзора радиометра AVHRR в 2700 км позволяет охватить всю акваторию оз. Хубсугул за один пролет. Для оценки и картографического отображения температуры поверхности воды оз. Хубсугул ввиду отсутствия обширных массивов синхронных наземных и спутниковых наблюдений для данного водного объекта использовались региональные алгоритмы тематической обработки данных AVHRR, основанные на дифференцированном определении температуры в различное время года, использовании нелинейных зависимостей и дополнительном привлечении информации видимого и ближнего инфракрасного каналов в дневное время суток и разработанные для оз. Байкал [6]. Проверка данных алгоритмов для условий оз. Хубсугул осуществлялась по 56 точечным измерениям температуры поверхности воды (рис. 1, а), производимых в 1998, 2005, 2009 гг. в ходе выполнения различных гидробиологических исследований [2; 11; 12], и показала среднеквадратическую ошибку определения температуры оз. Хубсугул не более 0,7 °С.

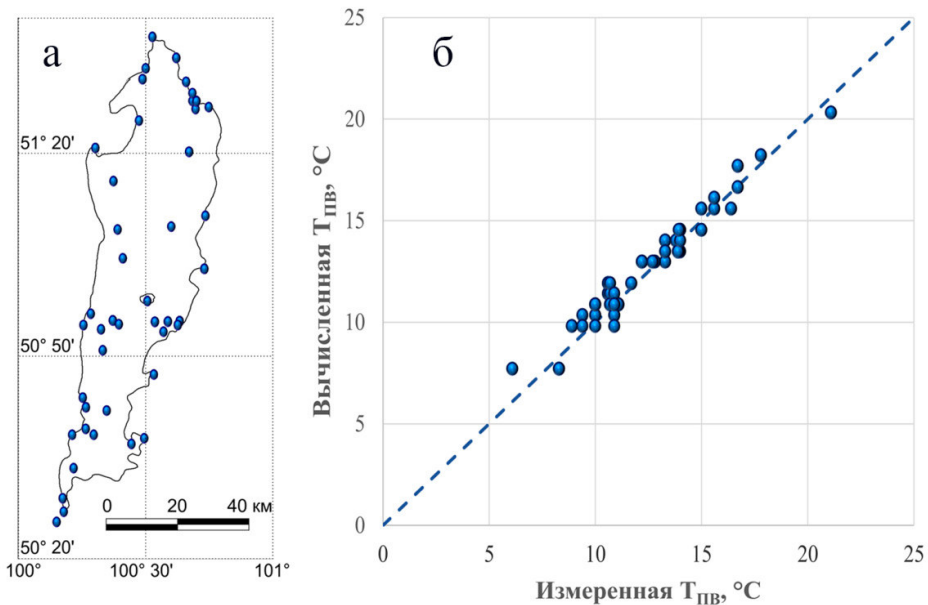


Рис. 1. Пространственное распределение точек подспутниковых измерений температуры поверхности воды оз. Хубсугул (а) и соотношение измеренных значений температуры поверхности воды оз. Хубсугул и значений, вычисленных по алгоритмам, разработанным для оз. Байкал (б)

На рисунке 1, б приведено соотношение измеренных значений температуры поверхности воды оз. Хубсугул с вычисленными по алгоритмам, разработанным для оз. Байкал, которое показывает расположение точек или на биссектрисе первой четверти координатной плоскости, или в незначительном удалении от нее. В целом по результатам данной проверки показано, что до разработки региональных алгоритмов непосредственно для условий оз. Хубсугул по обширному массиву синхронной судовой и спутниковой информации, для оценки температуры на его поверхности могут быть использованы алгоритмы, разработанные для условий оз. Байкал.

Основные результаты

В результате проделанной работы для условий открытого водоёма были составлены серии электронных и анимационных карт температуры поверхности воды оз. Хубсугул за период с 1998 по 2015 г. На основе указанной серии спутниковых карт была исследована внутригодовая и межгодовая изменчивость в распределении температуры на поверхности оз. Хубсугул и установлено, что максимальные межгодовые различия значений температуры приурочены к периоду наибольшего прогрева воды на поверхности оз. Хубсугул, который, как правило, приходится на август. Ниже приведены карты распределения температуры, отобранные для каждого года за период с 1998 по 2015 г., соответствующие наибольшему прогреву воды на поверхности оз. Хубсугул (рис. 2).

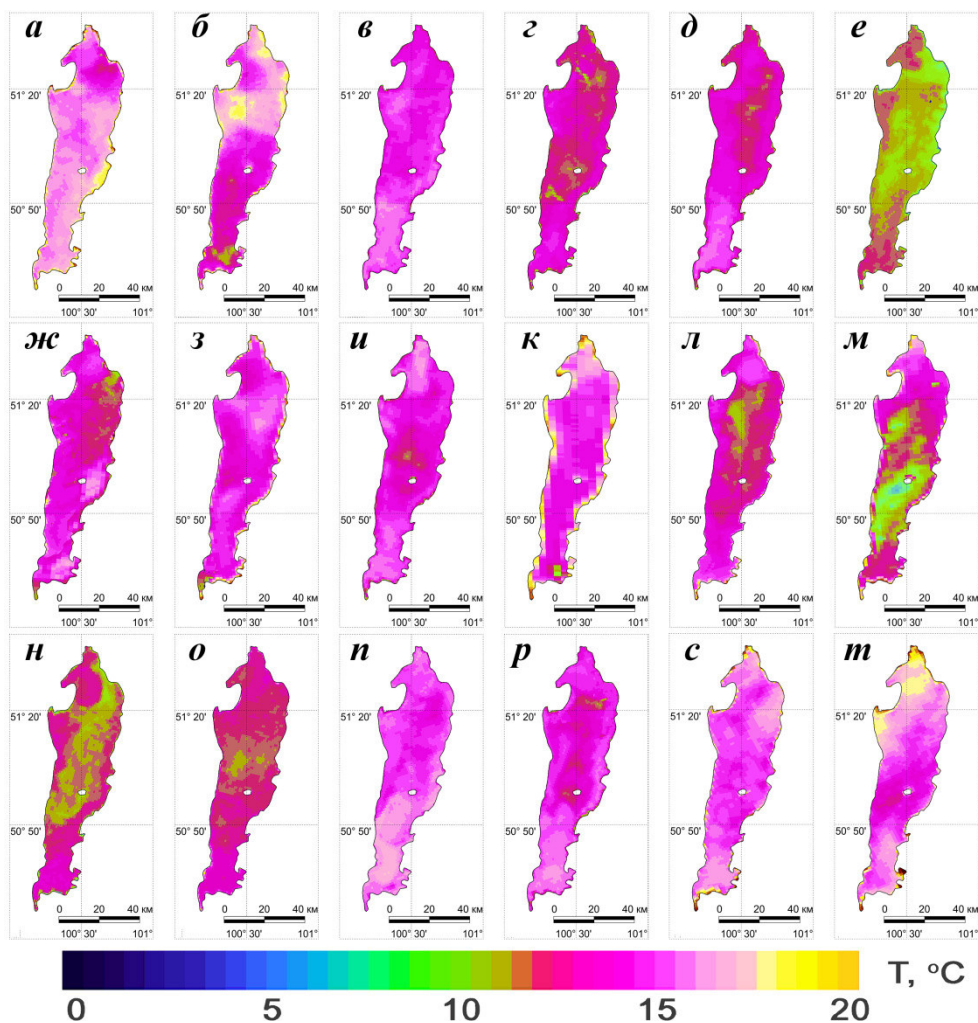


Рис. 2. Распределение температуры поверхности воды в оз. Хубсугул: 7.08.1998 (а), 18.07.1999 (б), 9.08.2000 (в), 13.08.2001 (г), 8.08.2002 (д), 23.08.2003 (е), 31.07.2004 (ж), 3.08.2005 (з), 05.08.2006 (и), 29.07.2007 (к), 9.08.2008 (л), 24.07.2009 (м), 30.08.2010 (н), 19.08.2011 (о), 8.08.2012 (п), 21.08.2013 (р), 5.08.2014 (с), 6.08.2015 (т)

Данные серии карт иллюстрируют значительную межгодовую изменчивость в распределении температуры на поверхности указанных водоёмов в периоды их максимального прогрева. Максимальные значения температуры на поверхности в открытых частях изучаемых акваторий существенно изменяются от года к году. За период исследования её значения изменялись в оз. Хубсугул от 12,1 (в 2003 г.) до 18,3 °С (в 1999 г.).

Кроме изменения самих максимальных значений температуры воды на поверхности в открытых частях акваторий, от года к году также варьируют

и сроки, когда эти значения наблюдались. За период исследования в оз. Хубсугул они менялись с 18 июля (в 1999 г.) до 30 августа (в 2010 г.), в среднем приходится на 7 августа. В ходе настоящего исследования изучено наличие корреляционных связей между сроками, когда на поверхности в открытой части озёр наблюдались максимальные значения температуры, и самими максимальными значениями температуры, а также указанными сроками и сроками очищения изучаемых акваторий ото льда. Из рисунка 3 видно, что в оз. Хубсугул связь между сроками, когда наблюдалась максимальная температура в открытой части акватории, тесная отрицательная с коэффициентом корреляции, равным $-0,75$.

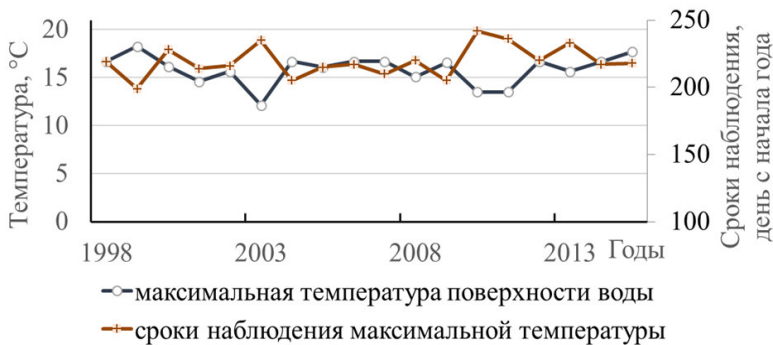


Рис. 3. Межгодовая изменчивость максимальных значений температуры поверхности воды в открытых частях оз. Хубсугул и сроков её наблюдения

Сами сроки, когда наблюдалась максимальная температура в открытой части оз. Хубсугул, имеют тесную положительную связь со сроками очищения озера ото льда, определенными по спутниковым данным в ходе другого исследования [7], со значением коэффициента корреляции, равным $0,79$, и рис. 4 демонстрирует, что межгодовые колебания данных сроков совпадают по фазе.



Рис. 4. Межгодовая изменчивость сроков, когда наблюдались максимальные значения температуры поверхности воды в открытых частях оз. Хубсугул, и сроков очищения данных акваторий ото льда

Это в свою очередь может объясняться тем, что наибольшему прогреву озера может способствовать более ранний сход льда на водоёме, который влечет и более ранний прогрев воды. Поэтому в работе также изучалось наличие связи между максимальными значениями температуры поверхности воды и сроками очищения ото льда соответствующих акваторий, оценёнными по спутниковым данным [7]. Рисунок 5 показывает, что для оз. Хубсугул межгодовые колебания данных величин находятся в противофазе.



Рис. 5. Межгодовая изменчивость максимальных значений температуры поверхности воды в открытых частях оз. Хубсугул

В качестве другого наиболее вероятного фактора, участвующего в формировании максимальных значений температуры на поверхности в открытой части оз. Хубсугул, могут выступать погодные условия. С привлечением данных реанализа NCEP/NCAR (The National Centers for Environmental Prediction / The National Center of Atmospheric Research) проведён анализ связи величины приземной температуры воздуха и максимальных значений температуры на поверхности в открытой части оз. Хубсугул. Ниже на рис. 6 приведена межгодовая изменчивость максимальных значений температуры поверхности воды в открытой части изучаемого водоёма и приземной температуры воздуха, осредненной за месяц, предшествующий наблюдаемому максимуму температуры воды. График показывает наличие синхронности изменения этих параметров.

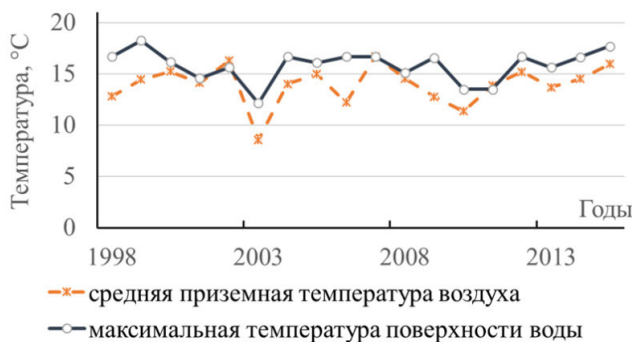


Рис. 6. Межгодовая изменчивость максимальных значений температуры поверхности воды в открытых частях оз. Хубсугул

Исследование показало, что в оз. Хубсугул более значимым фактором, оказывающим влияние на формирование максимальных значений температуры воды на поверхности в открытых частях акваторий, являются погодные условия, отражающиеся в связи максимальных значений температуры поверхности воды в открытой части акватории оз. Хубсугул со средней приземной температурой воздуха за предшествующий месяц. Связь данных параметров характеризуется для оз. Хубсугул как заметная, со значением коэффициента корреляции, равным 0,61. Кроме этого, наблюдается умеренная связь максимальных значений температуры воды со сроками очищения ото льда оз. Хубсугул со значением коэффициента корреляции, равным $-0,47$. Величина множественного коэффициента корреляции максимальных значений температуры поверхности воды в открытой части озера со сроками очищения и средней приземной температурой воздуха за месяц, предшествующий наблюдаемому максимуму температуры воды, составляет 0,67, что предполагает значительное влияние указанных факторов на формирование максимальных значений температуры воды на поверхности, но не исключает возможное воздействие разного рода динамических явлений (течений, апвеллинга, ветрового перемешивания и т. д.).

Температура поверхности воды является одним из косвенных показателей динамических явлений в водоёме. На картах распределения температуры поверхности воды зоны апвеллинга проявляются в виде пятен и полос более холодных вод, при этом внешний край зоны апвеллинга представляет собой гидрологический фронт, формируемый большими горизонтальными градиентами температуры [4; 6; 10]. Кроме того, само явление апвеллинга вносит существенный вклад в формирование полей температуры на поверхности изучаемого водоёма. Явление апвеллинга играет очень большую роль в процессе обмена поверхностных и глубинных вод водоёма. В зоне действия апвеллинга возникает водная масса со свойствами, не соответствующими условиям формирования поверхностных вод. Обычно это холодные и менее насыщенные кислородом воды. Поэтому выход вод на поверхность сопровождается незамедлительными изменениями характеристик глубинных вод применительно к условиям их существования на поверхности: происходит интенсивный массо- и теплообмен с атмосферой; вследствие возникающего перепада плотности на поверхности образуются местные расходящиеся течения [9].

В оз. Хубсугул по картам распределения температуры поверхности воды прослеживаются зоны подъема глубинных вод в пелагиали (зоны пелагического апвеллинга), где они представляют собой замкнутые квазиколецевые образования с минимальной температурой в центре. На рисунке 7 представлена межгодовая изменчивость наблюдаемых по данным AVHRR площадей наиболее обширных зон апвеллинга в Хубсугуле, которые за период исследования составляли от 30 (в 2004 г.) до 81 % (в 2011 г.) от общей площади акватории озера, и также приведен межгодовой ход наибольших значений разности температуры поверхности воды на границе и в центре зон пелагического апвеллинга, который в свою очередь за период с 1998 по

2013 г. изменялся от 2,6 (в 2004 г.) до 8,4 °С (в 2011 г.). В оз. Хубсугул в период с 1998 по 2015 г. наблюдается тесная связь между размерами зон апвеллинга и контрастами температуры в их пределах со значением коэффициента корреляции, равным 0,74.

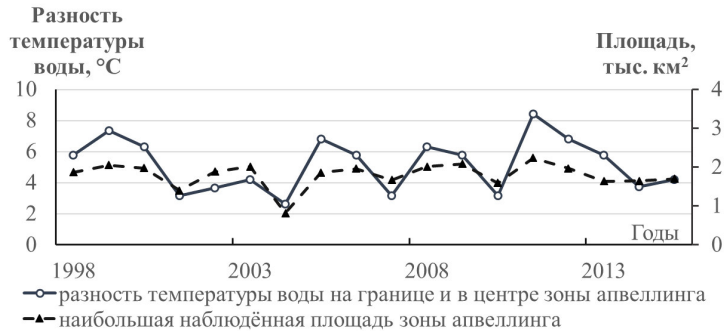


Рис. 7. Межгодовая изменчивость параметров наиболее обширной зоны апвеллинга в оз. Хубсугул

По материалам исследований пелагического апвеллинга в оз. Байкал известно, что зоны апвеллинга близки к центрам горизонтальных циклонических вихрей, где в поле этих вихрей происходит перенос теплых вод верхних слоев к берегам и их опускание с компенсирующим подъемом холодных глубинных вод в пелагиали [10]. В оз. Хубсугул явление пелагического апвеллинга менее изучено. Однако по материалам данного исследования можно предположить, что имеет место образование апвеллинга в пелагиали оз. Хубсугул как компенсационного подъема глубинных вод к поверхности при дивергенции поверхностных течений, возникшего вследствие воздействия больших циклонических вихрей. При этом, как известно, центробежные силы стоняют воду с поверхности от центра к периферии, а ее место в центре занимают поднимающиеся из глубины холодные воды. Такие зоны пелагического апвеллинга, согласно [9], появляются после прохождения глубоких циклонов и сопутствующих им сильных штормов. Наличие циклонических вихрей или их совокупностей прекрасно читается по характерной структуре на большинстве карт распределения температуры поверхности воды в оз. Хубсугул в периоды наибольшего развития пелагического апвеллинга. Наличие циркуляций циклонического характера, расположение которых прекрасно соотносится с локализацией зон пелагического апвеллинга, подтверждается схемой течений в оз. Хубсугул, полученной по результатам численного моделирования [8].

Обусловленность циклонических вихрей и вызываемого ими явления пелагического апвеллинга прохождением глубоких циклонов косвенно подтверждается наличием связи со значением коэффициента корреляции, равным 0,67, между разностью максимальных и минимальных значений температуры на поверхности в пределах зоны пелагического апвеллинга и сред-

ним давлением у поверхности за август (месяц выбран в связи с тем, что наибольшее развитие зоны апвеллинга в Хубсугуле наблюдается, как правило, в августе или в первых числах сентября). На рисунке 8 отчетливо видно наличие межгодовых колебаний в противофазе, что свидетельствует о более выраженном проявлении пелагического апвеллинга на фоне более низкого атмосферного давления, возможно ассоциированного с прохождением более глубокого циклона в августе.

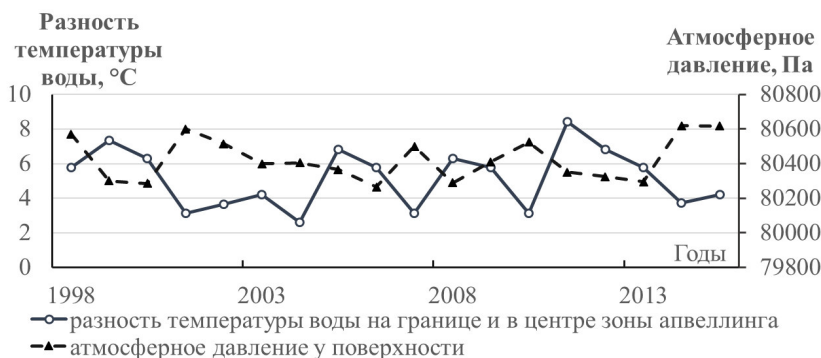


Рис. 8. Межгодовая изменчивость разности максимальных и минимальных значений температуры на поверхности в пределах наиболее обширной зоны пелагического апвеллинга в оз. Хубсугул и среднего давления у поверхности

Вопрос об оценке параметров прибрежного апвеллинга в оз. Хубсугул остается открытым ввиду недостатка наземных исследований, так как почти все наблюдаемые зоны пониженной температуры тяготеют к устьям притоков Хубсугула и могут относиться к процессам распространения и распределения речных вод в озере, а не к подъему глубинных вод на поверхность.

По классификации Д. Хатчинсона оз. Хубсугул так же, как и оз. Байкал, относится к димиктическим озёрам. В нем также дважды в год происходит изменение вертикальной термической структуры. Летом наблюдается прямая (температура воды понижается с увеличением глубины), а зимой обратная (температура воды с глубиной повышается) термические стратификации. Переход от одного типа стратификации к другому также осуществляется весной и осенью [1]. В глубоких димиктических водоёмах умеренной зоны в период их очищения ото льда весной и в период становления ледяного покрова осенью образуется термобар, который разделяет водоём на две области: теплоактивную область (ТАО), которая весной расположена в прибрежье, а осенью – в открытой части озера, и теплоинертную область (ТИО), расположенную весной в открытой части озера, а осенью – в прибрежье. Между этими областями находится слой с максимальной плотностью воды – термобар, который ограничивает обмен веществом между ТАО и ТИО, и поэтому они имеют разные гидрофизические, гидрохимические и гидробиологические показатели.

По спутниковым снимкам для условий оз. Хубсугул наиболее оправданно изучение именно весеннего термобара, который хорошо проявляется в поле температур на поверхности. С одной стороны, это обусловлено наличием больших температурных контрастов во время протекания весеннего термобара, облегчающих его выявление, с другой стороны – затрудненными условиями наблюдения со спутника в осенне-зимний период ввиду наличия туманов испарения высокой повторяемости над водоёмом. По картам распределения температуры поверхности воды можно отчетливо различить локализацию весеннего термобара, характеристики ТАО, ТИО и фронтального раздела, изучать их динамику. Термобар возникает в указанный период из-за больших различий в прогреве прибрежных и озерных вод на отдельных участках и является границей между теплыми прибрежными и холодными водами открытого озера [3; 4].

Ниже для примера приведены схемы изменения во времени положения термического фронта при термобаре, полученные на основании анализа спутниковых карт распределения температуры поверхности воды в 2010–2012 гг. Локализация термического фронта, ассоциированного с термобаром, в ходе работы определялась в поле поверхностных температур по положению изотермы 4 °С. Согласно приведённым схемам характер перемещения термического фронта во многом обуславливается особенностями донного рельефа указанных акваторий. По схемам видно, что термический фронт, зарождаясь вблизи берега, постепенно продвигается в сторону больших глубин.

В оз. Хубсугул скорости перемещения термического фронта существенно отличаются в зависимости от направления. Средняя скорость смещения термического фронта от северной оконечности оз. Хубсугул к югу составляет 3,5 км/сут., максимальная скорость в этом направлении, наблюдаемая по спутниковым данным, достигает до 9 км/сут. От южной оконечности Хубсугула к северу термический фронт смещается со средней скоростью 2,7 км/сут., достигая максимального наблюдаемого значения в 8 км/сут.

Существенно более низкая скорость смещения термического фронта от восточного побережья на запад: среднее значение ее составляет 1,6 км/сут., максимальное наблюдаемое по спутниковым снимкам за период исследования достигает до 4,6 км/сут. И, наконец, самая низкая скорость перемещения термического фронта отмечается при его перемещении от западного побережья на восток и составляет в среднем около 0,9 км/сут., при максимальном наблюдаемом значении в 2,2 км/сут., в том числе это может объясняться влиянием распределения глубин и действием ветров зонального (в первую очередь западного) направления.

Продолжительность весеннего термобара за период исследования существенно варьирует в зависимости от сроков схода льда на водоёме от 15 до 40 дней. При этом в зависимости от сроков полного очищения водоёма ото льда значительно изменяются и сроки возникновения весеннего термобара на оз. Хубсугул (рис. 9, з), размах которых может достигать более 20 дней и смещаться с первой декады июня на конец июня. На рисунке 9

видно, насколько существенно различается протекание термического бара и по срокам возникновения, и по его продолжительности в годы с более поздним очищением озера (см. рис. 9, а), с более ранним очищением (см. рис. 9, в) и с промежуточными сроками очищения (см. рис. 9, б).

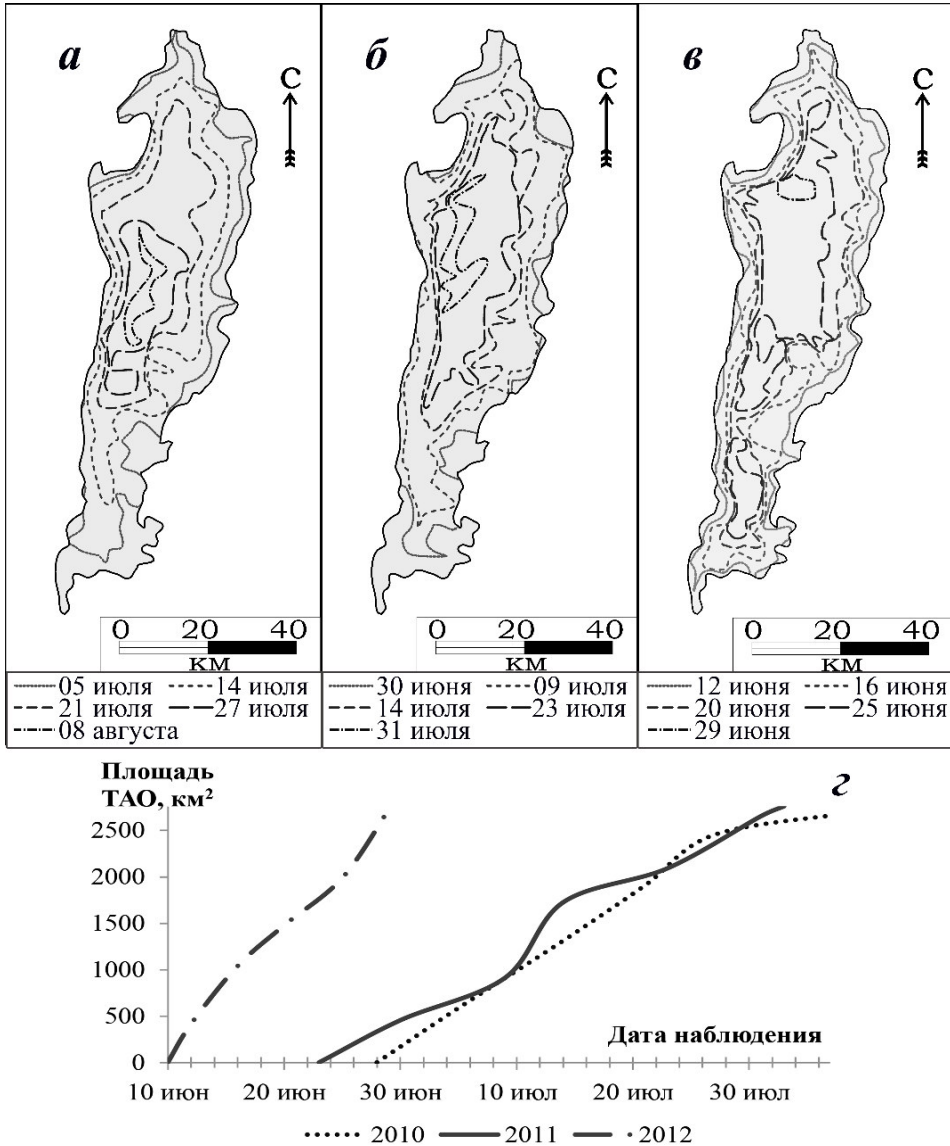


Рис. 9. Последовательные положения термического фронта в оз. Хубсугул в 2010 (а), 2011 (б) и 2012 (в) гг., изменение площади ТАО в оз. Хубсугул (г)

Выводы

В ходе настоящего исследования составлены карты распределения температуры на поверхности оз. Хубсугул за безледоставный период по данным AVHRR 1998–2015 гг. В целом полученные карты распределения температуры поверхности воды хорошо согласуются с результатами проводимых ранее многолетних исследований других авторов [1].

Выполненные с применением спутниковой информации исследования позволили более детально изучить особенности и закономерности пространственно-временного распределения температуры воды и оценить вклад ряда значимых факторов в формирование температурных полей на поверхности оз. Хубсугул. В процессе работы с применением данных прибора AVHRR впервые дана оценка параметров пелагического апвеллинга в оз. Хубсугул и их межгодовая изменчивость, а также исследованы возможные факторы формирования апвеллинга в озере. Впервые изучено влияние сроков очищения оз. Хубсугул ото льда на динамику развития весеннего термобара в водоёме и на последующий прогрев озера.

Список литературы

1. *Атлас озера Хубсугул* [Карты]. – М. : ГУГК, 1989. – 119 с.
2. Дрюккер В. В. Вириопланктон и бактериопланктон высокогорного озера Хубсугул (Монголия) / В. В. Дрюккер, Н. В. Дутова, А. С. Ковадло // Докл. Акад. наук. – 2011. – Т. 440, № 2. – С. 282–285.
3. *Использование спутниковых наблюдений для исследования термических фронтов озера Байкал* / С. В. Семовский [и др.] // Исследование земли из космоса. – 1998. – № 5. – С. 65–76.
4. *Науменко М. А.* Термический режим Ладожского озера / М. А. Науменко, В. А. Гузиватый, С. Г. Каретников // Ладога. – СПб. : Ин-т озероведения РАН, 2013. – С. 137–151.
5. *Опτικο-электронные системы экологического мониторинга природной среды* : учеб. пособие / В. И. Козинцев [и др.] ; под ред. В. Н. Рождествина. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 528 с.
6. *Сутырина Е. Н.* Изучение внутренних водоёмов и водосборов с применением данных дистанционного зондирования Земли / Е. Н. Сутырина. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. – 133 с.
7. *Сутырина Е. Н.* Прогнозирование сроков очищения ото льда крупных внутренних водоёмов на территории бассейна р. Ангары с использованием телеконнекционных индексов / Е. Н. Сутырина // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2016. – Т. 15. – С. 114–124.
8. *Численное моделирование течений и переноса примесей в оз. Хубсугул* / В. К. Аргучинцев [и др.] // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. – 2014. – Т. 7. – С. 2–13.
9. *Шлыгин И. А.* Популярная гидрометеорология и судовождение / И. А. Шлыгин. – М. : Транспорт, 1987. – 192 с.
10. *Cyclonic circulation and upwelling in Lake Baikal* / E. Troitskaya [et al.] // Aquatic Sciences. – 2015. – Vol. 77, Issue 2. – P. 171–182.
11. *Jersabek C. D.* Mongolian rotifers (Rotifera, Monogononta) – a check-list with annotations on global distribution and autecology / C. D. Jersabek, E. Bolortsetseg // Pro-

ceedings of The Academy of Natural Sciences of Philadelphia. – 2010. – Vol. 159. – P. 119–168.

12. *Morales E. A.* Studies in selected fragilarioid diatoms (Bacillariophyceae) from Lake Hovsgol, Mongolia / E. A. Morales, M. B. Edlund // *Phycological Research*. – 2003. – Vol. 51. – P. 225–239.

Features of the Water Temperature Distribution on the Surface of Lake Hovsgol According to Remote Sensing Data from Satellites

E. N. Sutyryna

Ikutsk State University

Abstract. The surface temperature of the reservoir is a significant characteristic of the state of the lake ecosystem and one of the most important parameters, allowing to identify climatic changes. The purpose of this research was to study the peculiarities of spatial-temporal distribution of the temperature on the surface of Lake Hovsgol using remote sensing data from satellites so as remote sensing is an indispensable tool to study large inland water bodies, including Lake Hovsgol with water area of 2, 67 thousand square kilometres. In the course of the present study a series of maps of water surface temperature of Lake Hovsgol during the open water period according to AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) data from 1998 till 2015 was composed, intra-annual and interannual variability in temperature distribution on the surface of the lake was studied and it was found that the highest interannual variability of Lake Hovsgol surface temperature was observed in August, when the maximum warming of the surface of the lake was occurred. The impact of the most significant factors on the formation of the maximum temperature values on the surface in exposed parts of Lake Hovsgol was analyzed. With the use of reanalysis data of NCEP/NCAR (The National Centers for Environmental Prediction / The National Center of Atmospheric Research) it was shown that the relationship of maximum temperatures of water surface in the exposed parts of the water bodies with surface air temperature averaged for the month preceding the observed maximum temperature of the water surfaces for Lake Hovsgol was determined as high with the correlation coefficient of 0,61. The relationship of maximum water temperatures with the timing of the final disappearance of all ice on Lake Hovsgol was described as moderate negative with the value of the correlation coefficient of -0,47. Using the water surface temperature distribution maps of Lake Hovsgol the localization and characteristics of the thermal bar and pelagic upwelling in the lake and their interannual variability for the period 1998–2015 were also defined, the factors affecting the character of these dynamic phenomena were studied.

Keywords: Lake Hovsgol, AVHRR data, water surface temperature, interannual variability, upwelling, thermal bar.

References

1. *Atlas ozera Hubsugul* (Lake Hubsugul atlas). Moscow, 1989. 119 p.
2. Drjukker V.V., Dutova N.V., Kovadlo A.S. Virioplankton and bacterioplankton in an Alpine lake Hovsgol (Mongolia) [Virioplankton i bakterioplankton vysokogornogo

озера Hubsugul (Mongolija)]. *Reports of the Academy of Sciences – Doklady Akademii Nauk*, 2011, vol. 440, no 2, pp. 282-285.

3. Semovskij S.V. [et al.] The use of satellite observations to study the thermal lake Baikal fronts [Ispol'zovanie sputnikovyh nabljudenij dlja issledovanija termicheskikh frontov ozera Bajkal]. *Earth observation and remote sensing – Issledovanie Zemli iz Kosmosa*, 1998, no 5, pp. 65-76.

4. Naumenko M.A., Guzivatyj V.A., Karetnikov S.G. The thermal regime of Lake Ladoga [Termicheskij rezhim Ladozhskogo ozera]. *Ladoga (Ladoga)*. Saint Petersburg, 2013, pp. 137-151.

5. Kozincev V.I. [et al.] *Optiko-jelektronnye sistemy jekologicheskogo monitoringa prirodnoj sredy* (Optoelectronic system of ecological monitoring of the environment). Moscow, 2002. 528 p.

6. Sutyryna E.N. *Izuchenie vnutrennih vodojmov i vodosborov s primeneniem dannyh distancionnogo zondirovanija Zemli* (The study of inland water-bodies and watersheds using remote sensing data). Irkutsk, 2014. 133 p.

7. Sutyryna E.N. Predicting the Timing of the Final Disappearance of all Ice on Large Inland Water Bodies in the Angara River Watershed Using Teleconnection Indices [Prognozirovanie srokov ochishhenija oto l'da krupnyh vnutrennih vodojmov na territorii bassejna r. Angary s ispol'zovaniem telekonekcionnyh indeksov]. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series “Earth Sciences” – Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya “Nauki o Zemle”*. 2016, vol. 15, pp. 114-124.

8. Arguchincev V.K. [et al.] Numerical Modeling of Currents and Transfer of Impurities in Lake Khubsugul (Hovsgol) [Chislennoe modelirovanie techenij i perenosa primesej v oz. Hubsugul]. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series “Earth Sciences” – Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya “Nauki o Zemle”*. 2014, vol. 7, pp. 2-13.

9. Shlygin I.A. *Populjarnaja gidrometeorologija i sudovozhdenie* (Popular hydro-meteorology and navigation). Moscow, 1987. 192 p.

10. Troitskaya E. [et al.] Cyclonic circulation and upwelling in Lake Baikal. *Aquatic Sciences*, 2015, vol. 77, issue 2, pp. 171-182.

11. Jersabek C.D., Bolortsetseg E. Mongolian rotifers (Rotifera, Monogononta) – a check-list with annotations on global distribution and autecology. *Proceedings of The Academy of Natural Sciences of Philadelphia*. 2010, vol. 159, pp. 119-168.

12. Morales E.A., Edlund M.B. Studies in selected fragilarioid diatoms (Bacillariophyceae) from Lake Hovsgol, Mongolia. *Phycological Research*, 2003, vol. 51, pp. 225-239.

Сутырина Екатерина Николаевна
кандидат географических наук, доцент
Иркутский государственный университет
664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
тел.: (3952) 52-10-72
e-mail: ensut78@gmail.com

Sutyryna Ekaterina Nikolaevna
Candidate of Sciences (Geography),
Associate Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003
tel.: (3952) 52-10-72
e-mail: ensut78@gmail.com