

# Изучение протекания динамических явлений в оз. Хубсугул по данным радиометра AVHRR



Сутырина Е.Н.,

канд. геогр. наук, доцент кафедры гидрологии и природопользования ФГБОУ ВО «ИГУ», г. Иркутск

ensut78@gmail.com

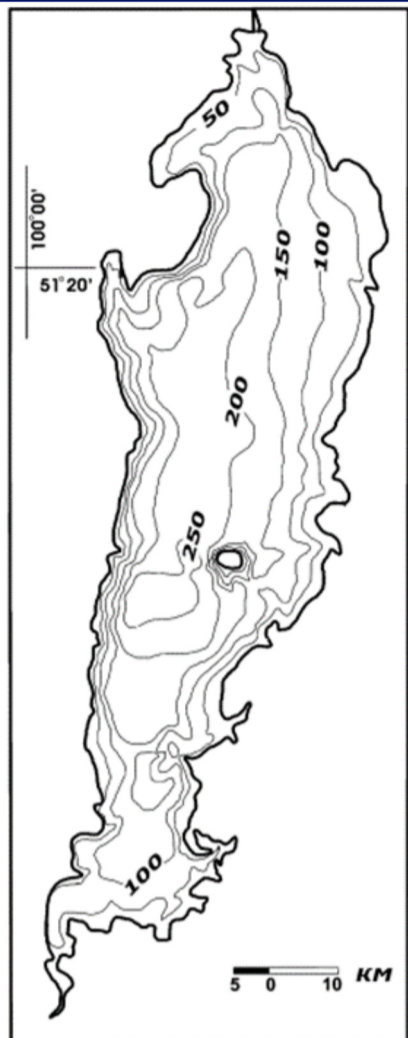


Рисунок 1 — Распределение глубин в оз. Хубсугула: изобаты проведены через 50 м.

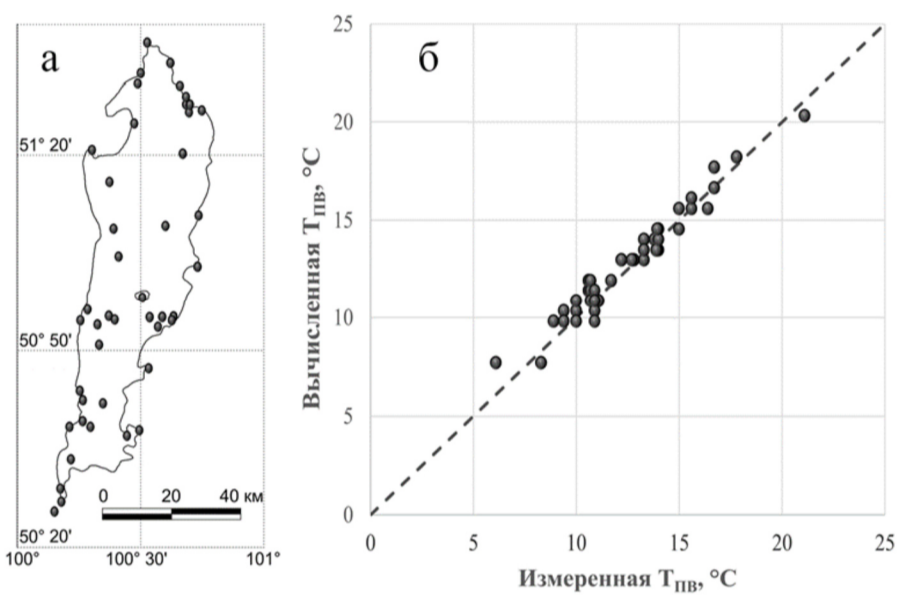


Рисунок 2 — Пространственное распределение точек подспутниковых измерений температуры поверхности воды оз. Хубсугула (а) и соотношение измеренных значений температуры поверхности воды оз. Хубсугула и значений, вычисленных по алгоритмам, разработанным для оз. Байкал (б).

Таблица 1 – Средние и максимальные характеристики зон пелагического апвеллинга в оз. Хубсугул по данным AVHRR в мае-ноябре 1998-2015 гг. (максимальная наблюдаемая величина дана в скобках)

Число наблюдённых явлений	Длина зоны апвеллинга, км	Ширина зоны апвеллинга, км	Площадь зоны апвеллинга, тыс. км <sup>2</sup>	Продолжительность, дни
22	81(109)	28(33)	1,81(2,23)	14(39)



Рисунок 3 – Межгодовая изменчивость параметров наиболее обширной зоны апвеллинга в оз. Хубсугул в период наибольшего развития

Оз. Хубсугул представляет собой 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 озера Байкал на высоте 1645 м над у.м. и почти на 1190 м над уровнем Байкала. Оз. Хубсугул связано с оз. Байкал через речную систему Эгийн-Гол–Селенга протяженностью около 1000 км. Котловина 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 (рис. 1). Длина береговой линии составляет около 431 км. Средняя глубина озера равна 139 м, максимальная глубина 262 м. Площадь водной поверхности – 2,76 тыс. км<sup>2</sup>. Объём воды в оз. Хубсугул составляет около 383,3 км<sup>3</sup> [1].

Применение данных дистанционного спутникового зондирования является незаменимым инструментом для исследования особенностей протекания динамических явлений в оз. Хубсугул, имеющего значительную протяженность и площадь акватории.

По картам распределения температуры поверхности воды можно косвенно анализировать такие явления, как термический барьер, вихревые структуры, апвеллинг и др. В рамках данного исследования были использованы данные радиометра AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) в безоблачный период в 1998-2015 гг. Для оценки и картографирования температуры поверхности воды оз. Хубсугул в виду отсутствия обширных массивов синхронных наземных и спутниковых наблюдений для данного водного объекта использовались региональные алгоритмы тематического картографирования температуры поверхности воды по данным прибора AVHRR, основанные на дифференцированном определении температуры в различное время суток (день, ночь) и в различные месяцы (июнь-июль, август-сентябрь, октябрь-декабрь), применении квадратичной модификации метода «расщепленного окна прозрачности» и дополнительного привлечение информации видимого и ближнего инфракрасного каналов в дневное время суток – разработанные для оз. Байкал [2]. Проверка данных алгоритмов для условий оз. Хубсугул осуществлялась по 56 точечным измерениям температуры поверхности воды (рис. 2а), производимых в 1998, 2005, 2009 гг. в ходе выполнения различных гидробиологических исследований [3; 4; 5], и показала среднеквадратическую ошибку определения температуры оз. Хубсугул не более 0,7 °С.

В оз. Хубсугул по картам распределения температуры поверхности воды также прослеживаются зоны подъема глубинных вод в пелагиали (зоны пелагического апвеллинга), где они представляют собой замкнутые квазиколецевые образования с минимальной температурой в центре. В табл.1 приведены полученные в ходе исследования средние и максимальные значения параметров зон пелагического апвеллинга в оз. Хубсугул. По данным AVHRR за период с 1998 по 2015 г. в оз. Хубсугуле значения площади наиболее обширных зон пелагического апвеллинга составляли от 30 (в 2004 г.) до 81 % (в 2011 г.) от общей площади акватории озера, разность температуры поверхности воды на границе и в центре зон пелагического апвеллинга менялась от 2,6 (в 2004 г.) до 8,4 °С (в 2011 г.) (рис. 3). Между размерами зон апвеллинга в оз. Хубсугул и контрастами температуры в их пределах наблюдалась тесная связь со значением коэффициента корреляции равным 0,74. При этом границы зон апвеллинга хорошо соотносятся с распределением глубин водоёма (см. рис. 1 и рис. 4).

В оз. Хубсугул протекание явление пелагического апвеллинга изучено недостаточно. Можно предположить, что имеет место образование пелагического апвеллинга в оз. Хубсугул как компенсационного подъема глубинных вод к поверхности при дивергенции поверхностных течений, возникшего вследствие воздействия больших циклонических вихрей и сопутствующих им сильных штормов при прохождении глубоких циклонов согласно [6]. Наличие циклонических вихрей или их совокупностей в оз. Хубсугул прекрасно читается по характерной структуре в поле распределения температуры поверхности воды в оз. Хубсугул при протекании пелагического апвеллинга (рис. 4). Обусловленность пелагического апвеллинга прохождением глубоких циклонов косвенно подтверждается наличием заметной связи со значением коэффициента корреляции равным -0,67 между контрастами температуры в пределах зон пелагического апвеллинга и средним давлением у поверхности за август (месяц выбран в связи с тем, что наибольшее развитие зон апвеллинга в Хубсугуле наблюдается, как правило, в августе или в первых числах сентября). Межгодовые колебания данных параметров происходят 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 конкретного года (рис. 5).

По картам распределения температуры поверхности воды в оз. Хубсугул по положению изотермы 4 °С можно отчетливо различить локализацию термического фронта, ассоциированного с весенним термобаром, и оценить его динамику. В оз. Хубсугул характер перемещения термического фронта во многом определяется особенностями донного рельефа (см. рис. 1 и рис. 6). Средняя скорость смещения ассоциированного с термобаром термического фронта от северной оконечности оз. Хубсугул к югу составляет 3,5 км/сут., максимальная скорость в этом направлении, наблюдаемая по спутниковым данным доходит 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. Более низкая скорость смещения термического фронта от восточного побережья на запад: среднее значение которой составляет 1,6 км/сут., максимальное наблюдаемое по спутниковым снимкам за период исследования доходит до 4,6 км/сут. И, наконец, самая низкая скорость перемещения термического фронта наблюдается 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, а также 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 (рис. 6, г). При этом в зависимости от сроков полного очищения водоёма ото льда существенно изменяются и сроки возникновения весеннего термобара в оз. Хубсугул, размах которых может достигать более 20 дней и смещаться с первой декады на конец июня.

#### Литература

1. Атлас озера Хубсугул [Карты]. - М.: ГУГК, 1989. - 119 с.
2. Сутырина, Е.Н. Изучение внутренних водоёмов и водосборов с применением данных дистанционного зондирования Земли [Текст] / Е.Н. Сутырина. - Иркутск: Изд-во ИГУ, 2014. - 133 с.
3. Jersabek, C.D. Mongolian rotifers (Rotifera, Monogononta) – a check-list with annotations on global distribution and autecology [Text] / C.D. Jersabek, E. Bolortsetseg // Proceedings of The Academy of Natural Sciences of Philadelphia, 2010. – Vol. 159. P. 119-168.
4. Morales, E.A. Studies in selected fragilarioid diatoms (Bacillariophyceae) from Lake Hovsgol, Mongolia [Text] / E.A. Morales, M.B. Edlund // Phycological Research, 2003. – Vol. 51. - P. 225-239.
5. Дрюккер, В.В. Виропланктон и бактериопланктон высокогорного озера Хубсугул (Монголия) [Текст] / В.В. Дрюккер, Н.В. Дутова, А.С. Ковалюк // Доклады Академии Наук, 2011. – Т. 440, № 2. - С. 282-285.
6. Шлыгин, И.А. Популярная гидрометеорология и судовождение [Текст] / И.А. Шлыгин. - М.: Транспорт, 1987. - 192 с.

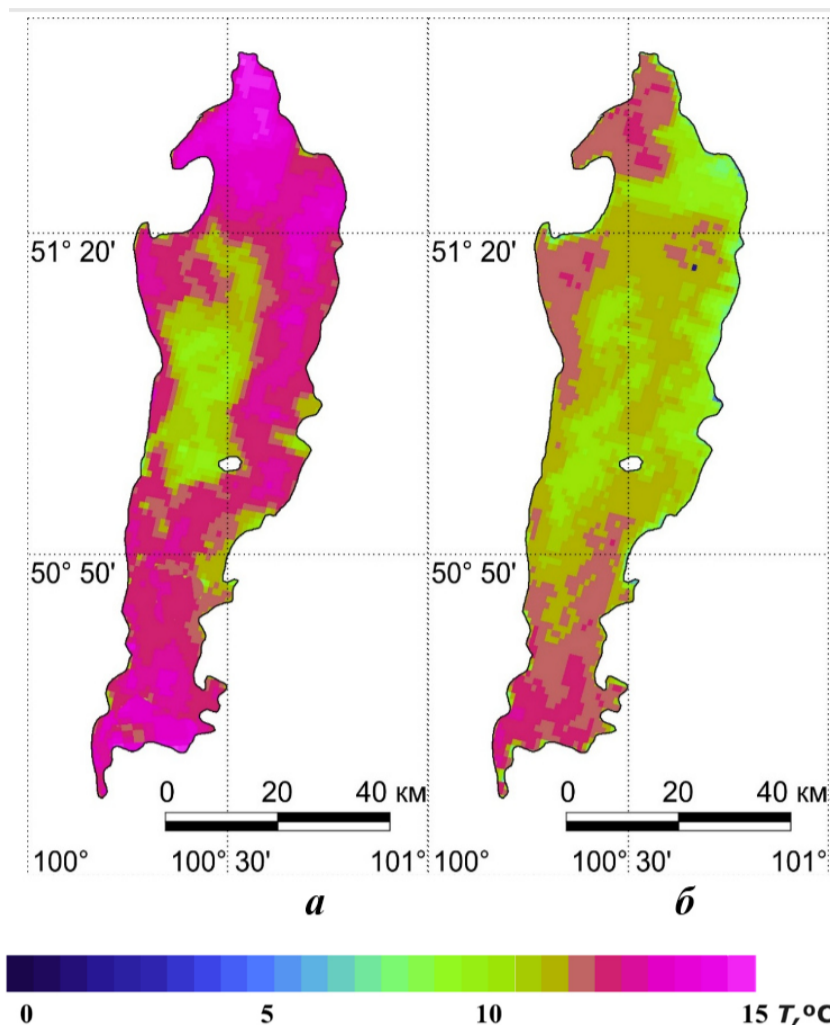


Рисунок 4 — Распределение температуры поверхности воды оз. Хубсугул по данным AVHRR за 17.07.2002 (а) и 23.08.2003 (б)

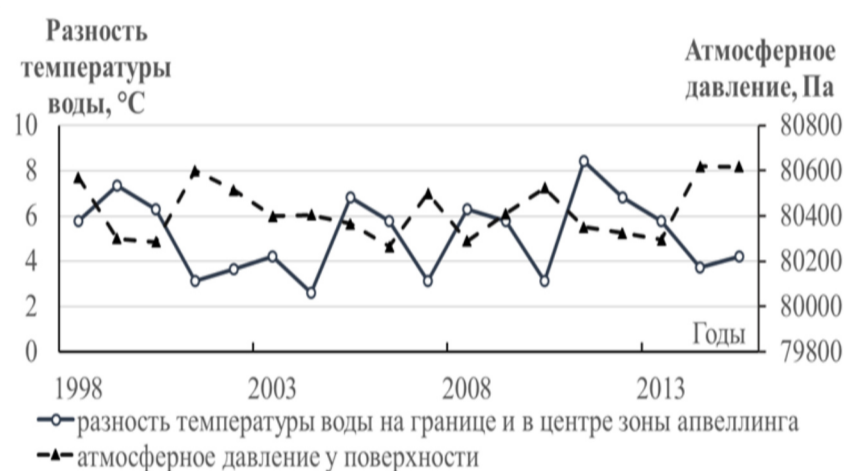


Рисунок 5 — Межгодовая изменчивость разности максимальных и минимальных значений температуры на поверхности в пределах наиболее обширной зоны пелагического апвеллинга в оз. Хубсугул и среднего давления у поверхности

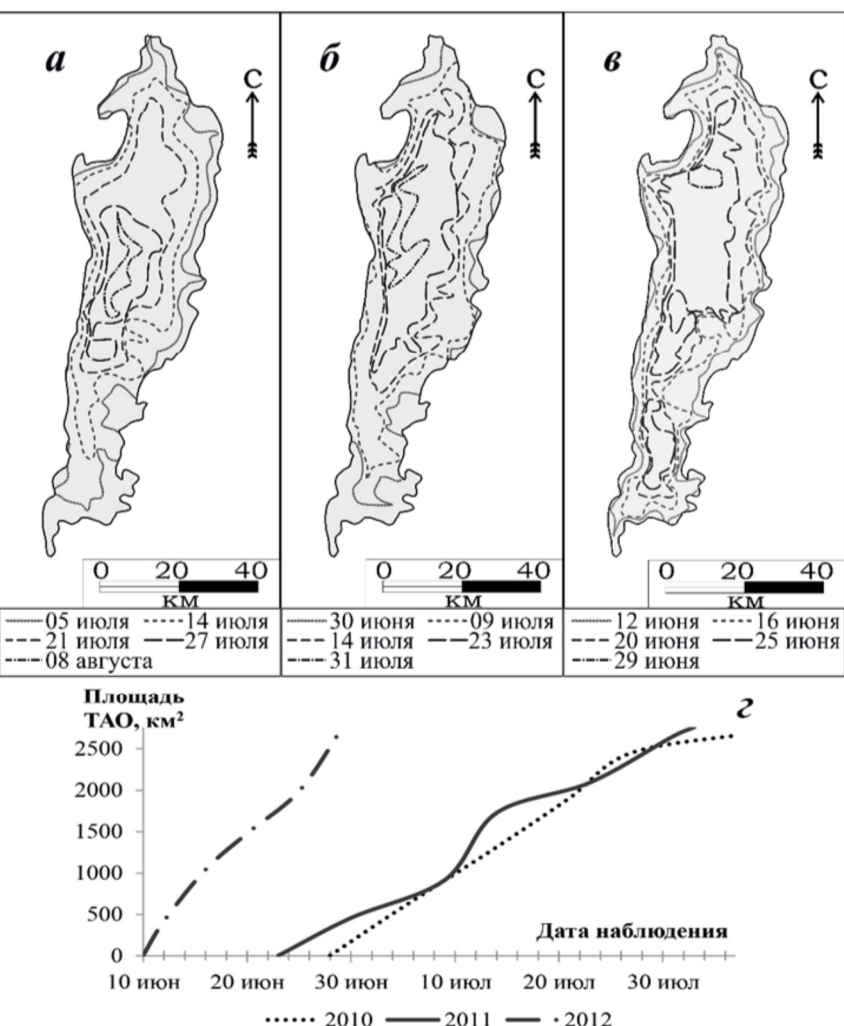


Рисунок 6 — Последовательное положение термического фронта в оз. Хубсугул в 2010 (а), 2011 (б) и 2012 (в) гг. и изменение площади теплоактивных областей (ТАО) в оз. Хубсугул (г).

Исследование выполнено при частичной поддержке грантов РФФИ №№ 12-05-31100; 17-29-05045; 17-29-05047