

Распределение хлорофилла «а» в разные сезоны года на участках акватории Телецкого озера по данным спутниковых и экспедиционных измерений

Суторихин Игорь Анатольевич
Донцов Александр Андреевич
Кириллов Владимир Викторович
Литвиненко Светлана Александровна

Институт водных и экологических проблем Сибирского отделения Российской академии наук

Введение

Для разработки системы оперативного экологического мониторинга Телецкого озера проведены комплексные междисциплинарные исследования пространственного распределения хлорофилла «а» в поверхностном слое воды южной оконечности Телецкого озера, входящей в границы Алтайского биосферного заповедника, в различные периоды годового лимнологического цикла – 29 мая, 31 июля и 21 сентября 2021 года. Исследования включали экспедиционные локальные контактные измерения концентрации хлорофилла и анализ данных дистанционного зондирования из космоса. Показана возможность оценки пространственного распределения концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое воды внутриконтинентальных олиготрофных водоемов по данным космических аппаратов Sentinel-2. Малая амплитуда изменения пигментных характеристик фитопланктона в многолетнем аспекте отражает устойчивость функционирования автотрофного звена экосистемы олиготрофного Телецкого озера, входящего в границы Алтайского биосферного заповедника.

Введение

Цель данной работы – исследование пространственной неоднородности и сезонной динамики фотосинтетических пигментов фитопланктона для разработки системы оперативного экологического мониторинга Телецкого озера. Задачи исследования включали экспедиционные локальные контактные измерения концентрации хлорофилла «а» и анализ данных дистанционного зондирования.



Данные

1. Данные космических аппаратов Sentinel-2, уровень обработки L1.
2. Экспедиционные измерения. Измерения проводили на спектрофотометре ПЭ-5400УФ, концентрацию хлорофилла рассчитывали по общепринятой методике в соответствии с ГОСТ 17.1.4.02-90.

Этапы обработки спутниковых данных

1. Атмосферная коррекция с учетом микрофизических параметров приводного аэрозоля, шкалой ветра и волнения водной поверхности, а также функции ремиссии обратной отражательной способности воды Кубелки – Мунка.
2. Вычисление концентрации содержания хлорофилла «а» в поверхностном слое.
3. Вычисление спектрального индекса NDCI, данная процедура является опциональным этапом и предназначена для экспресс оценки, так как не занимает много времени и вычислительных ресурсов.
4. Географическая привязка и экспорт, полученных результатов в растровый формат Geotiff.

ACOLITE

ACOLITE - программный пакет, который содержит алгоритмы атмосферной коррекции и набор алгоритмов для определения концентрации хлорофилла “a” в поверхностном слое водных объектов.

ACOLITE реализован на языке программирования Python (с расширениями на C\C++).

Для определения концентрации хлорофилла “a” на основе компонентов ACOLITE был реализован вычислительный модуль, который дополняет процедуры вычислений следующими этапами:

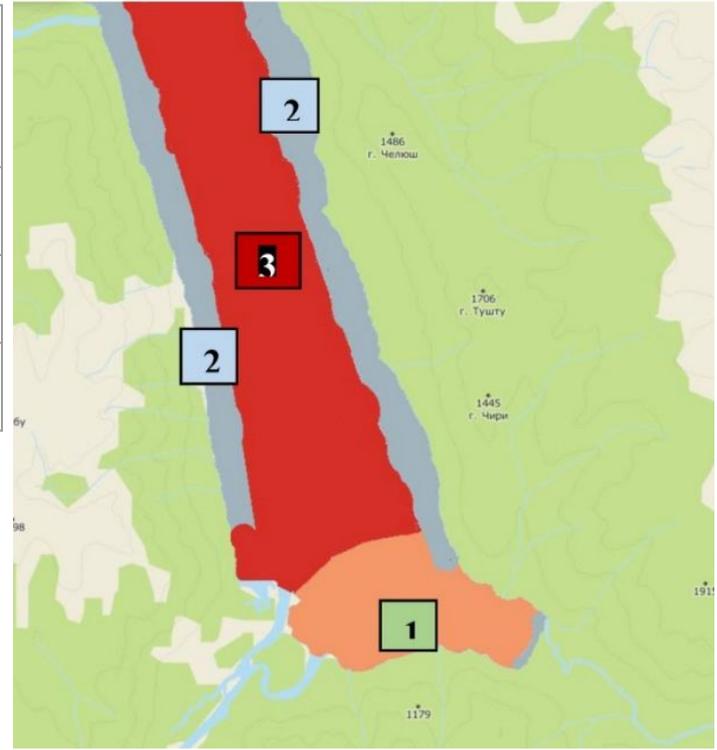
1. Аэрозольная коррекция по алгоритму Dark spectrum fitting (DSF).
2. Учет рельефа местности.
3. Учёт метеопараметров.

Была сделана оптимизация программного кода, которая позволила сократить время вычислений.

Результаты

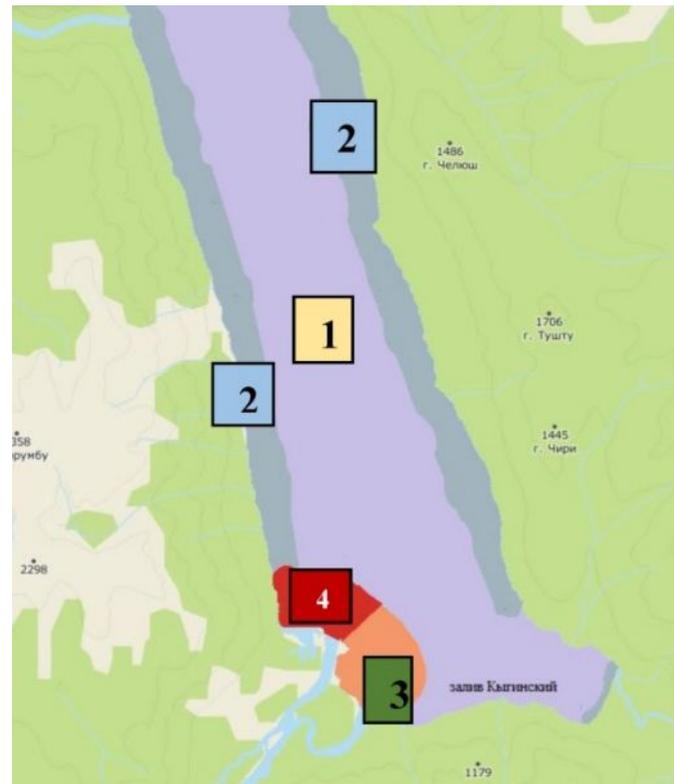
Концентрация хлорофилла «а» ($\text{мг}/\text{м}^3$) в поверхностном слое воды в районе устья реки Чулышман и залива Кыга по экспедиционным и спутниковым данным от 29 мая 2021 г.

Участок	Экспедиционные измерения	Sentinel-2	Sentinel-2 с дополнительной коррекцией
1	$0,5 \pm 0,1$	0,8	0,6
2	$0,8 \pm 0,1$	1,2	1,0
3	$1,2 \pm 0,1$	1,6	1,1



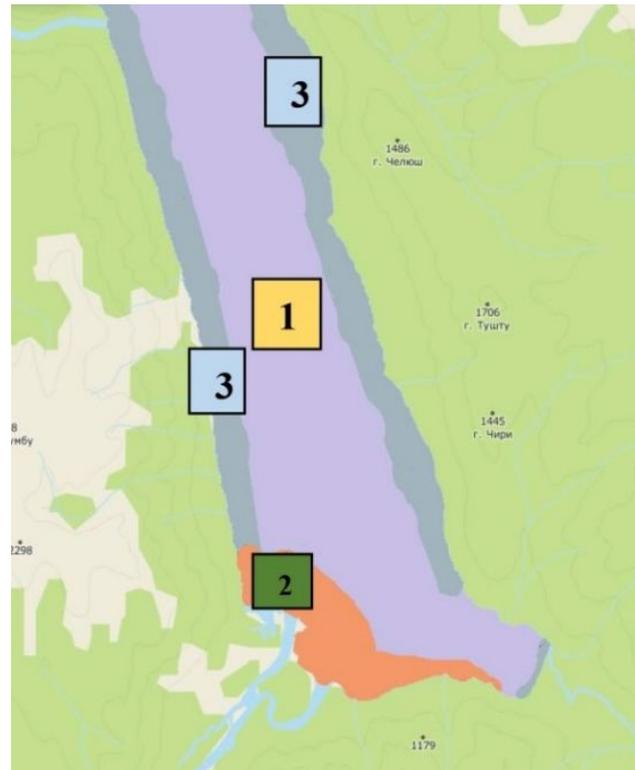
Концентрация хлорофилла «а» ($\text{мг}/\text{м}^3$) в поверхностном слое воды в районе устья реки Чулышман и залива Кыга по экспедиционным и спутниковым данным от 31 июля 2021 г.

Участок	Экспедиционные измерения	Sentinel-2	Sentinel-2 с дополнительной коррекцией
1	$1,5 \pm 0,1$	0,9	1,3
2	$1,8 \pm 0,1$	0,7	1,5
3	$2,1 \pm 0,1$	1,0	2,0
4	$2,9 \pm 0,1$	2,0	3,2



Концентрация хлорофилла «а» (мг/м^3) в поверхностном слое воды в районе устья реки Чулышман и залива Кыга по экспедиционным и спутниковым данным от 21 сентября 2021 г.

Участок	Экспедиционные измерения	Sentinel-2	Sentinel-2 с дополнительной коррекцией
1	$0,8 \pm 0,1$	0,5	1,0
2	$1,5 \pm 0,1$	1,0	1,5
3	$2,4 \pm 0,1$	2,0	2,8



Интервалы концентрации хлорофилла «а» (мг/м^3) в поверхностном слое воды в районе устья реки Чулышман и залива Кыга по экспедиционным и спутниковым данным в различные периоды исследований в 2021 г.

Дата	Экспедиционные измерения	Sentinel-2	Sentinel-2 с дополнительной коррекцией
29 мая	0,5 – 1,2	0,8 – 1,6	0,6 – 1,1
31 июля	1,5 – 2,9	0,7 – 2,0	1,3 – 3,0
21 сентября	0,8 – 2,4	0,5 – 2,0	1,0 – 2,8

Выводы

1. Проведенные исследования показали возможность оперативной оценки пространственного распределения концентрации хлорофилла «а» в поверхностном слое воды внутриконтинентальных олиготрофных водоемов по данным дистанционного спутникового зондирования.
2. Полученные результаты обработки данных экспедиций и дистанционного спутникового зондирования показали, что учет микрофизических параметров приводного аэрозоля, метеопараметров, скорости ветра, балла волнения и введенная поправка к принятой атмосферной коррекции по алгоритму Dark spectrum fitting повышают точность определения пространственного распределения концентрации хлорофилла «а».
3. Малая амплитуда изменения пигментных характеристик фитопланктона в многолетнем аспекте отражает устойчивость функционирования автотрофного звена экосистемы олиготрофного Телецкого озера, входящего в границы Алтайского биосферного заповедника.

Исследования проведены в рамках Государственного задания ИВЭП СО РАН при финансовой поддержке Российского Центра освоения Арктики (г. Салехард, Россия).

Спасибо за внимание!