

Сравнительные оценки качества воды в Новосибирском водохранилище на основе лимнологических MERIS-моделей и данных высокого разрешения Worldview-2

Н.М. Ковалевская, В.В. Кириллов, Т.В. Кириллова, О.В. Ловцкая

Институт водных и экологических проблем СО РАН
656038 Барнаул, Молодежная, 1
E-mail: knt@iwep.ru

На примере Новосибирского водохранилища развивается подход, позволяющий дистанционно оценивать качество воды на двух уровнях пространственной детальности – на уровне всего лимнологического объекта (с помощью MERIS-данных и нейросетевых лимнологических моделей) и на уровне отдельных ключевых участков (с помощью данных сверхвысокого пространственного разрешения Worldview-2 и эвристических моделей). Для мониторинга распределения фитопланктона использовались три лимнологические модели: эвтрофная, boreальная и прибрежная. Исследования в 2008–2010 выявили согласие результатов эвтрофного MERIS-моделирования с данными *in situ* в основной части акватории (диапазон концентраций 1–10 мг/м³) и на мелководных участках (10–35 мг/м³). Нейросетевое MERIS-моделирование подтвердило эвтрофный статус водохранилища на исследованных участках. Согласие с эвторфной MERIS-моделью было положено в основу исследования сезонной динамики и возможностей данных Worldview-2 для оценки состояния фитопланктона на важных ключевых участках относительно небольшого размера.

Ключевые слова: оценка качества воды, лимнологические алгоритмы, многоспектральные данные, сверхвысокое пространственное разрешение.

Введение

В последние десятилетия антропогенное воздействие оказывает громадное влияние не только на состояние экосистем, но и на качество жизни человека. Чистота природной воды оказалась самой важной составляющей здорового уровня жизни, поскольку реки, озера, моря и океаны являются самыми большими экосистемами. Традиционные программы мониторинга качества воды обеспечивают достаточно точные результаты, но являются весьма дорогостоящими. Начиная с 70-х годов прошлого столетия активно разрабатываются технологические подходы, основанные на дистанционном оптическом зондировании океанических и морских акваторий, но распространение таких подходов на внутренние водоемы натолкнулось на их чрезвычайную гидрооптическую сложность. Поэтому дистанционная оценка качества воды лимнологических объектов оказалась самостоятельной задачей, включающей использование адекватных биооптических алгоритмов, которые должны быть чувствительны к флористической принадлежности фитопланктона (ФП) и обладать высокой точностью для водоёмов со значительными концентрациями желтого вещества (ЖВ) и минеральной взвеси (Prieur *et al.*, 1981).

Во многих исследованиях, связанных с дистанционной оценкой качества воды, используются данные четырех спектрометров (Heim, 2005; Eleveld *et al.*, 2007; Ruddick K. *et al.*, 2010), среди которых MERIS/ENVISAT особенно важен с точки зрения возможностей наблюдения за лимнологическими объектами (табл. 1).

Таблица 1

Спектрометр	Космическое агентство	Спутник	Дата запуска – дата окончания	Разрешение (м)	Число каналов	Спектральный диапазон (нм)
SeaWiFS	NASA (USA)	OrbView-2 (USA)	01.08.1997 – 11.12.2010	1100	8	402-885
MODIS/Terra	NASA (USA)	Terra (USA)	18.12.1999 – до наст. времени	1000	36	405-14385
MERIS	ESA (Europe)	ENVISAT-1 (Europe)	01.03.2002 – до наст. времени	300/1200	15	412-1050
MODIS/Aqua	NASA (USA)	Aqua (EOS-PM1)	04.05.2002 – до наст. времени	1000	36	405-14385

В последние годы развивается тенденция появления спутников со сверхвысоким пространственным разрешением с числом спектральных каналов более четырех традиционных: одной из возможностей является использование данных спутника Worldview-2 (табл. 2) в биооптическом анализе лимнологических объектов, поскольку пространственные вариации распределения основных компонентов, определяющих биопродуктивность и качество природных вод, могут меняться в объеме от нескольких cm^3 до m^3 (Ковалевская и др., 2009).

Таблица 2

Оптическая камера	Космическое агентство	Спутник	Дата запуска – дата окончания	Разрешение (м)	Число каналов	Спектральный диапазон (нм)
Eastman Kodak	DigitalGlobe (USA)	Worldview-2	18.09.2007 – до наст.времени	1.8	8	450–1050

Объектом нашего исследования стало Новосибирское водохранилище, в частности, анализ состояния и динамики изменений ФП. Целью исследования был ответ на вопрос: какие оптические данные могут быть эффективно использованы для мониторинга распределения ФП в акватории водохранилища площадью более $1000 km^2$, которое имеет многоцелевое использование, в том числе является источником питьевой воды для жителей г. Новосибирска.

Представляемая работа проводилась в течение 2008–2011 гг. и является первым исследованием состояния водохранилища, проведенном на основе использования данных видимого оптического диапазона с различным пространственным разрешением.

Биооптическая классификация (Case-1 и Case-2)

Наибольшее распространение получила классификация (Prieur *et al.*, 1981), в соответствии с которой природные воды могут быть разделены на шесть основных классов (рис. 1): **Chl** – с преобладанием поглощения пигментами ФП; **Y** – с преобладанием поглощения ЖВ; **S** – с преобладанием поглощения гидрозолем; **Y+Chl** – с преобладанием поглощения пигментами ФП и ЖВ; **Chl+S** – с преобладанием поглощения гидрозолем и пигментами ФП; **Y+S** – с преобладанием поглощения ЖВ и гидрозолем.

В соответствии с этой классификацией были определены два основных типа:

‘Case-1’ – это воды, которые встречаются в большинстве областей мирового океана и в которых единственным оптически значимым компонентом является ФП (Morel *et al.*, 1977; Gordon *et al.*, 1983).

‘Case-2’ – это прибрежные и внутренние воды со сложным биооптическим взаимодействием, когда различные группы оптически видимых водных компонент не взаимодействуют друг с другом (Jerlov, 1978).

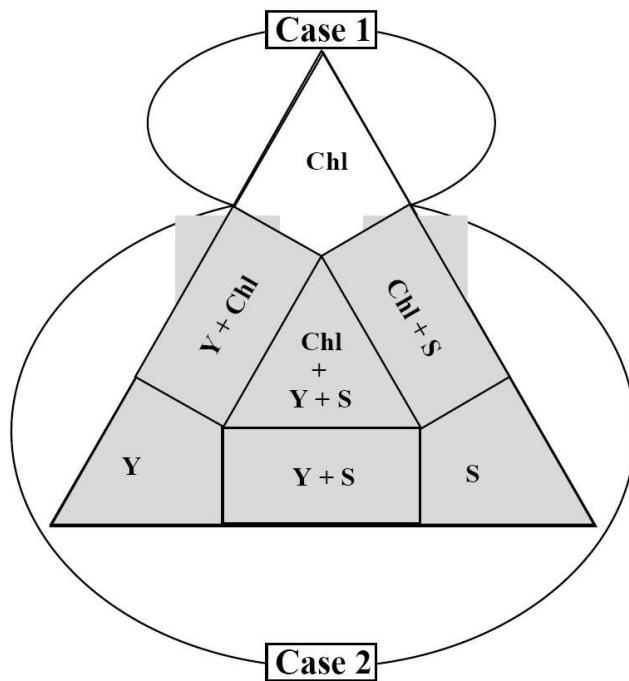


Рис.1. Триангулярная диаграмма, описывающая классификацию типов 'Case-1' и 'Case-2'

Для получения информации о ФП были разработаны алгоритмы определения состояния его главного пигмента хлорофилла «а» (*Chl-a*) в случае олиготрофных пелагиальных вод (Morel *et al.*, 1980). Затем был определен общий подход к сбору натурных данных для определения состояния *Chl-a* в океане (Firestone *et al.*, 1998), что послужило основой создания двух алгоритмов определения концентраций *Chl-a*, использующих разное количество каналов между максимумом и минимумом поглощения хлорофилла: OC2 и OC4 (O'Reilly *et al.*, 1998).

В то же время для многих прибрежных областей океанов и морей, озерных и речных вод ('Case-2') для описания изменчивости воды требуется больше составляющих, чем только один ФП. Такие оптически более сложные воды характеризуются состояниями трех оптически значимых водных компонент – *Chl-a*, взвеси и ЖВ, которые появляются из различных, не обязательно связанных, источников, что определяет нелинейность функциональных взаимоотношений значений концентраций с исходящим излучением. В этом случае гидрооптические характеристики требуют использования более сложного вычислительного аппарата, реализующего «обучение» многопараметрической системы со сложными внутренними связями.

И хотя для некоторых объектов эвристические алгоритмы вычисления концентраций *Chl-a* и взвеси могут быть основаны на линейной регрессии спектральных признаков (Froidefond *et al.*, 2002), для вод 'Case-2' был также определен общий нейросетевой алгоритм переноса излучения (Fell *et al.*, 2001), который в дальнейшем был специфицирован для трех типов объектов: эвтрофных, boreальных и прибрежных (Doerffer *et al.*, 2008).

Лимнологические алгоритмы определения качества воды на основе MERIS-данных

Для получения результатов пространственного распределения *Chl-a* Новосибирского водохранилища в 2008–2010 гг использовались три модели, в основе которых лежит использование многоспектральных данных MERIS/ENVISAT (табл. 3) и различные диапазоны изменения биооптических характеристик (Pedrero, 2009).

Таблица 3. Спектральные диапазоны спутника MERIS/ENVISAT

Канал	Длина волны (нм)	Применение
1	402.5–422.5	Желтое вещество и пигменты детрита
2	432.5–452.5	Максимум поглощение хлорофилла
3	480–500	Хлорофилл и другие пигменты
4	500–520	Взвешенное вещество
5	550–570	Минимум поглощения хлорофилла
6	610–630	Взвешенное вещество
7	655–675	Поглощение хлорофилла
8	673.75–688.75	Максимум флуоресценция хлорофилла
9	698.75–718.75	Флуоресценция (fluorescence reference)
10	746.25–761.25	Растительность
11	756.875–764.375	Поглощение кислорода
12	763.75–793.75	Поправки на влияние атмосферы
13	845–885	Растительность
14	875–895	Поправки на влияние атмосферы
15	890–910	Водяной пар, земная поверхность

Концептуально каждый лимнологический алгоритм включает атмосферную коррекцию (Mobley, 1994) и последующее вычисление первичных гидрооптических характеристик водной среды. В основу алгоритмов положено использование трех биооптических нейронных сетей со схожей архитектурой. Каждая нейронная сеть включает корректировку смеси сигналов соседних элементов раstra, появившуюся в результате атмосферного рассеяния, и соотносит яркостные сигналы, поступающие от поверхности воды, с переменными концентрации *Chl-a* или другой характеристики (табл. 4).

Для обучения нейросетевых моделей использовались многочисленные биооптические данные, полученные на озерах Испании, Финляндии, на Балтийском море, на Средиземном море и в Северной Атлантике (Pedrero, 2009). В результате получены диапазоны концентрации *Chl-a* и гидрозоля, а также показателя поглощения ЖВ (табл. 5).

Таблица 4. Нейронные сети в основе лимнологических алгоритмов

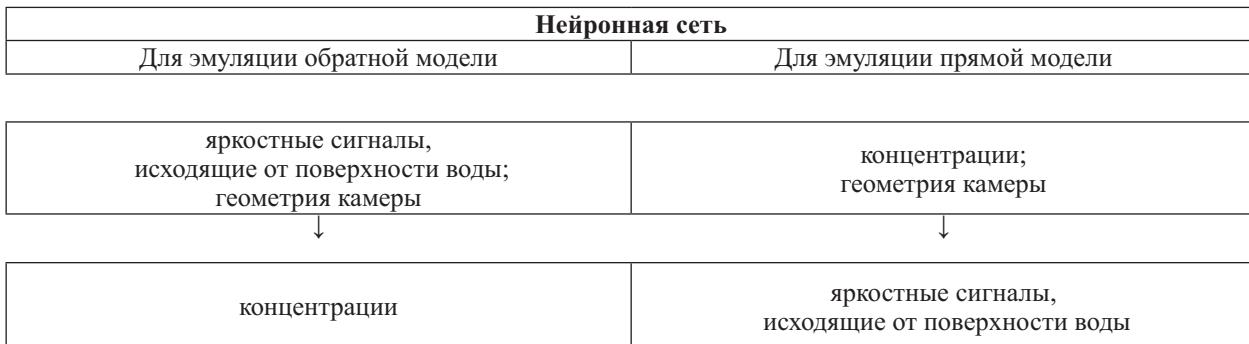


Таблица 5. Диапазоны характеристик, используемые в различных алгоритмах

Характеристики	Эвтрофный алгоритм	Бореальный алгоритм	Алгоритм для прибрежных областей
<i>Chl-a</i> [mg/m ³]	1.0 – 120	0.5 – 50	0.016 – 43.18
гидрозоль [g/m ³]	0.005 – 5	0.1 – 20	0.0086 – 51.6
ЖВ [1/m]	0.1 – 3.0	0.25 – 10	0.005 – 5

В нашей работе мы сравниваем эффективность использования различных лимнологических алгоритмов по отношению к исследуемому объекту – Новосибирскому водо-

хранилищу. Для алгоритмической обработки использовалась среда BEAM (Basic ERS & ENVISAT (A)ATST and MERIS Toolbox), работающая внутри графического интерфейса *VISAT*.

Эвристические алгоритмы определения качества воды на основе Worldview-2

Очевидно, что оптическая сложность лимнологических объектов нуждается в многоспектральных данных. Однако пространственное разрешение 300 м может быть недостаточным для оценки качества воды во внутренних водоемах. Поэтому следующей задачей исследования являлось изучение возможностей данных, полученных со спутника Worldview-2 (1.84 м), который также предоставляет новые каналы (табл. 7).

Таблица 7. Спектральные диапазоны спутника Worldview-2

Канал	Длина волны (нм)	Пояснение
1. Coastal	400-450	крайний синий (новый)
2. Blue	450-510	синий
3. Green	510-580	зеленый
4. Yellow	585-625	желтый (новый)
5. Red	630-690	красный
6. Red-Edge	705-745	крайний красный (новый)
7. NIR1	770-895	ближний ИК1
8. NIR2	860-1040	ближний ИК2 (новый)

Поскольку спектральный диапазон, связанный с изменением основных свойств *Chl-a*, находится между 400 nm и 720 nm (табл. 3), каналы Worldview-2 позволяют проводить расширенный мультиспектральный анализ на основе уже выработанного эмпирического подхода, который устанавливает соотношения между мультиспектральными спутниковыми данными и искомыми концентрациями на основе априорного предположения $Y = \alpha * Fit(X(Ri, Rj, Rk)) + \beta$, где Y – искомые оценки концентраций *Chl-a*; Ri, Rj, Rk – яркости, соответствующие точке измерения в различных спектральных каналах снимка, $X(Ri, Rj, Rk)$ – функция, задаваемая эмпирическим алгоритмом (табл. 8): *Fit* – функция, определяющая порядок полиномиальной регрессии, α, β – коэффициенты, определяемые из регрессионных соотношений.

Хотя такой эмпирический подход имеет очевидные недостатки, он широко используется благодаря простоте выполнения и тестирования, возможностям реализации даже для малого числа наблюдений, низким вычислительным затратам, стабильным результатам в рамках выбранных сезонных и региональных условий.

Таблица 8. Эмпирические алгоритмы концентраций Chl-a, использованные для данных Worldview-2

Алгоритм	$X(Ri, Rj, Rk), \{i,j,k\} \in \{\text{Coastal, Blue, Green, Yellow, Red, Red-Edge, NIR1}\}$
I	<i>Blue/Green</i> (Heim et al. 2005)
II	<i>Coastal/Green</i> (Heim et al. 2005)
III	<i>Green /Blue</i> (Копелевич и др., 2008)
IV	<i>Green /Red</i> (Heim et al. 2005)
V	<i>Red-Edge/Red</i> (Heim et al. 2005)
VI	<i>(1/Red – 1/Red-Edge)NIR1</i> (Матишов и др. 2010)
VII	$\log_{10}(\text{Blue}/\text{Green})$ (O'Reilly et al. 1998)
VIII	$\log_{10}(\text{Coastal}/\text{Green})$ (Heim et al. 2005)
IX	$\log_{10}(\max\{(\text{Coastal}/\text{Green}), (\text{Blue}/\text{Green})\})$ (Heim et al. 2005)
X	Yellow

В экспериментах с данными высокого разрешения использовались:

- Снимки Worldview-2 с предварительной атмосферной коррекцией на основе модуля ACM (**Atmospheric Correction Module**), реализованного в двух различных подмодулях: *FLAASH* и *QUAC*.
- Сетка с шагом в 1500 м для получения тестовых точек в озерной части водохранилища.
- Результаты MERIS-моделирования для озерной части водохранилища в качестве искомых оценок концентраций *Chl-a* : $Y=Global-Chl-a$, где в качестве *Global-Chl-a* была выбрана та модель, которая наиболее соответствовала условиям Новосибирского водохранилища (см. раздел Сравнение результатов).
-

Сравнение результатов

Первые подспутниковые эксперименты проводились в августе 2008 г. в мелководной части водохранилища (Крутихинское мелководье) и показали хорошее согласие результатов использования эвтрофных MERIS-алгоритмов и данных *in situ* (Ковалевская и др., 2009).

Для озерной части водохранилища исследование - сравнение концентраций *Chl-a*, полученных с помощью различных лимнологических алгоритмов, с данными *in situ* - было продолжено в 2010 г. Поскольку полученные результаты являются особенно важными для изучения динамики гидробиологических процессов, далее были выбраны несколько дат весеннего, летнего и осеннеого сезонов.

На рис. 2а представлен результат получения оценок концентраций *Chl-a* с помощью эвтрофной модели:

- в диапазоне 4–6 mg/m³ наблюдается некоторое занижение полученных оценок;
- в диапазонах 0–4 mg/m³ и 6–10 mg/m³ относительная погрешность оценки невысокая, тренд определяется достаточно корректно;
- большинство полученных значений близки к реальным концентрациям с довольно высокой точностью оценки.

Результат получения оценок концентраций *Chl-a* с помощью модели прибрежных вод показал, что (рис. 2б):

- наблюдается тенденция к завышенным и чрезмерно высоким оценкам концентраций в диапазонах 0–4 mg/m³ и 8–10 mg/m³;
- в диапазоне 4–8 mg/m³ произошло занижение полученных оценок.

Таким образом, эвтрофный и прибрежный алгоритмы в диапазоне 0–10 mg/m³ обнаруживают три интервала, в которых демонстрируют схожие результаты (табл. 9). Также, углы наклона их регрессионных графиков практически совпадают, а смещение в случае эвтрофного алгоритма существенно ниже. При этом эвтрофный алгоритм дает лучшие результаты согласования (*bias*, *RMSE*, *R*²) по сравнению с прибрежным алгоритмом.

На рис. 2в представлен результат бореального алгоритма:

- аналогично предыдущим алгоритмам, происходит завышение оценки для низких (0–3 mg/m³) и для высоких (7–10 mg/m³) значений анализируемого диапазона;
- одна треть общего числа выборок имеет ошибки, близкие к нулевым;
- в диапазонах 2–3 mg/m³, 3.5–5.5 mg/m³, 6.5–10 mg/m³ выборки имеют весьма высокие ошибки;
- результаты согласования (*bias*=15.48, *RMSE*=1.54, *R*²=0.39) оказались самыми низкими (табл. 9).

На рис. 2г оценки всех трех алгоритмов сравниваются с данными *in situ*. В общем, наблюдается некоторое завышение оценок во всех трех случаях, но самые завышенные оценки получаются на основе бореального алгоритма (рис. 3). Эвтрофный и прибрежный алгоритмы демонстрируют большую эффективность, но у прибрежного алгоритма оказывается несколько смещенный результат. Эвтрофный алгоритм показывает наиболее высокую характеристику связи между MERIS-оценками и данными *in situ* (*R*²=0.75).

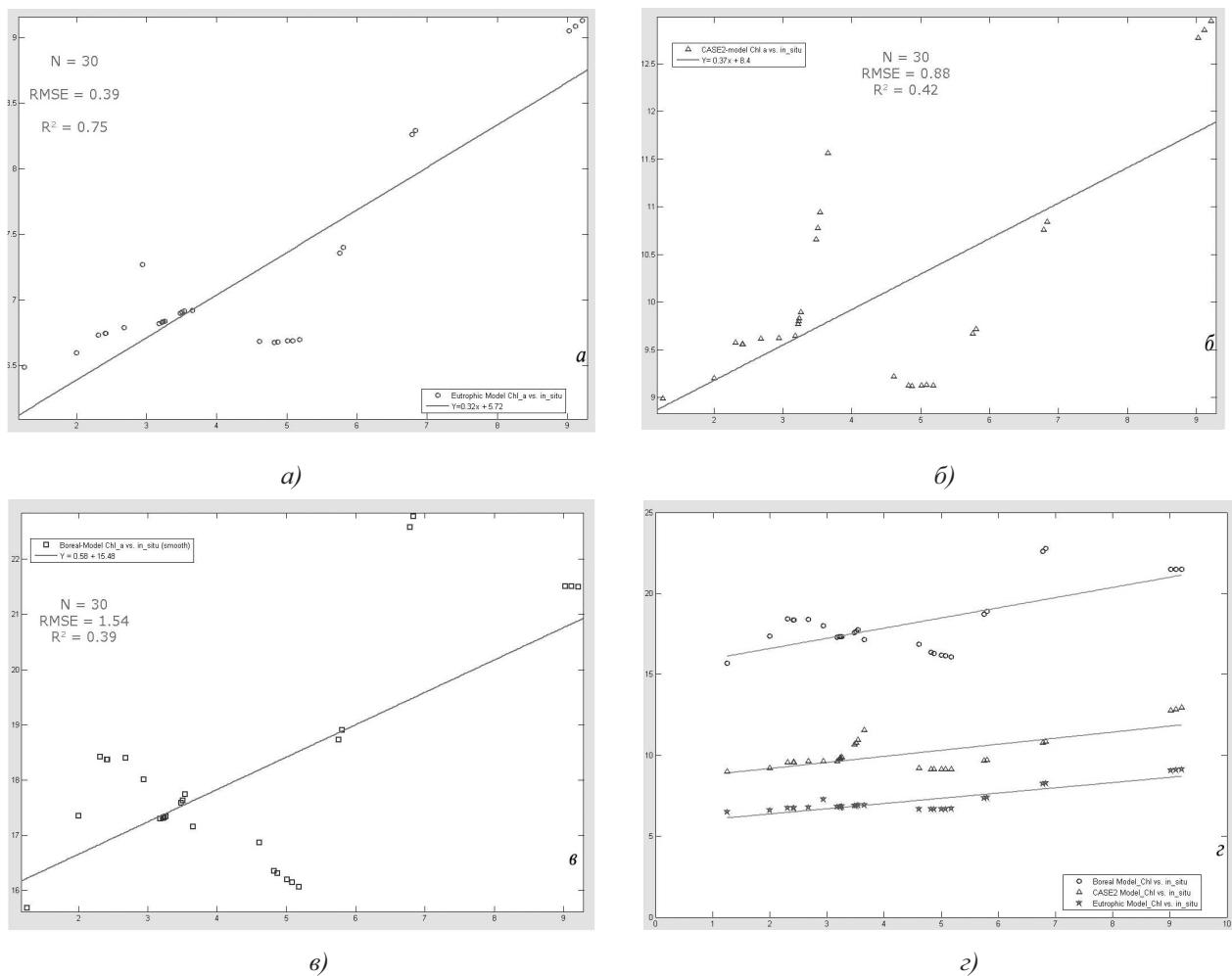


Рис. 2. Графики сравнения данных *in situ* с MERIS-концентрацией *Chl-a* в Новосибирском водохранилище
 а – эвтрофные оценки, линия тренда $Y = 0.32X + 5.72$, N- число выборок;
 б – прибрежные оценки, линия тренда $Y = 0.37X + 8.4$, N- число выборок;
 в – boreальные оценки, линия тренда $Y = 0.58X + 15.48$, N- число выборок;
 г – эвтрофные (верхний график), прибрежные (средний график) и boreальные (нижний график) оценки

Таблица 9

Параметры сравнения алгоритмов	Алгоритмы		
	Эвтрофный	Прибрежный	Бореальный
завышение оценки в диапазоне [mg/m ³]	0.0 - B1	B1=3	B1=3
занизжение оценки в диапазоне [mg/m ³]	B1 - B2	B1=3, B2=6	B1=3, B2=7
завышение оценки в диапазоне [mg/m ³]	B2 - 10	B2=6	B2=7
угол наклона прямой (slope)	0.32	0.37	0.58
смещение прямой (bias)	5.72	8.40	15.48
среднеквадратичная ошибка (RMSE)	0.39	0.88	1.54
квадрат коэффициента детерминации (R^2)	0.75	0.42	0.39

В результате исследований (2008–2010) было выявлено согласие результатов эвтрофного MERIS-моделирования концентраций *Chl-a* с данными *in situ*:

1. В основной части акватории: диапазон концентраций 1–10 [мг/м³].
2. На отдельных участках водохранилища - Крутихинском мелководье, заливе р. Мильтюш: диапазон концентраций 10–35 [мг/м³].

Такое согласие с эвторфной MERIS-моделью было положено в основу исследования сезонной динамики (рис. 4) и исследования возможностей использования многоспектральных данных Worldview-2 (рис. 5).

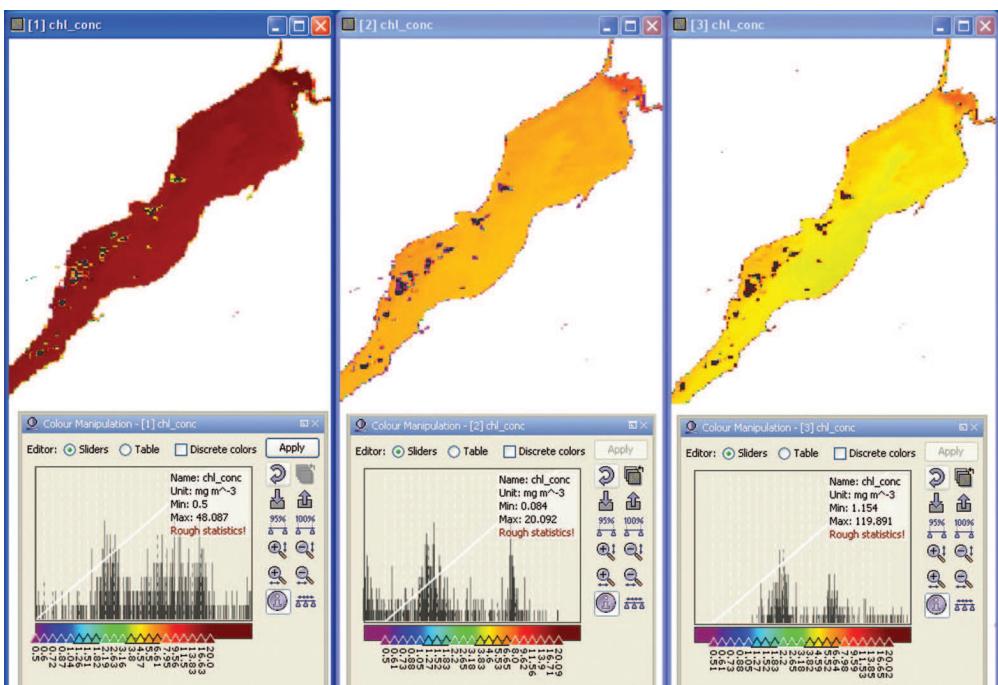


Рис. 3. Карты концентрации хлорофилла, полученные с помощью boreального (слева), прибрежного (в центре) и эвтрофного (справа) алгоритмов (20-06-2009)

Для изучения сезонной динамики *Chl-a* были получены данные *in situ* в июле–октябре (рис. 4). В нижней озеровидной части количество ФП с начала лета нарастало, достигая максимума в июле–августе, далее следовал спад в сентябре–октябре. Наличие MERIS-информации позволяет сделать предположение, что в мае наблюдался весенний максимум ФП (характерен для озер умеренной зоны и обусловлен высоким содержанием биогенных веществ, накопленных в воде в зимний период).

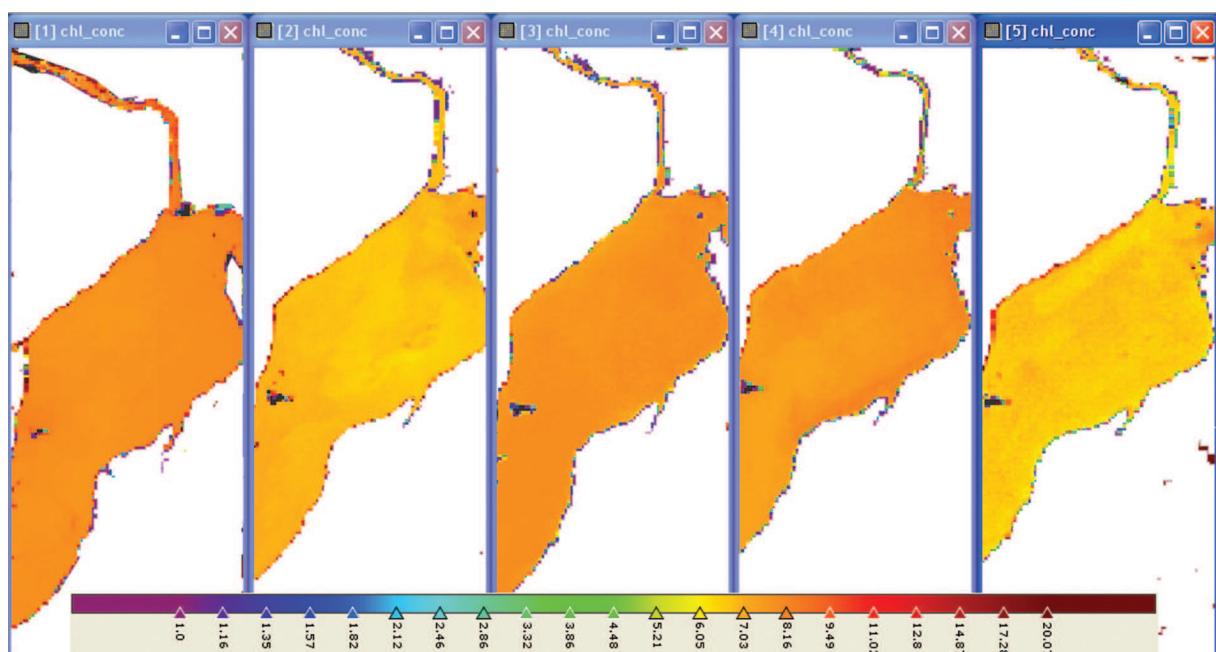


Рис. 4. Карты концентрации хлорофилла, полученные с помощью эвтрофного алгоритма, для следующих дат (слева направо): 25-05-2010, 17-06-2010, 15-07-2010, 20-08-2010, 21-09-2010

Численный анализ и интерпретация результатов, выполненные на основе гидрологических и гидробиологических данных, показали, что самыми эффективными эвристическими алгоритмами для данных Worldview–2 являются следующие (рис. 5):

$$\log_{10}(\text{Coastal/Green}) \text{ (VIII)}, \quad \log_{10}(\max\{\text{Coastal/Green}, \text{Blue/Green}\}) \text{ (IX)}, \\ \log_{10}(\text{Blue/Green}) \text{ (VII)}, \quad \text{Coastal/Green (II)}, \quad \text{Blue/Green (I)}.$$

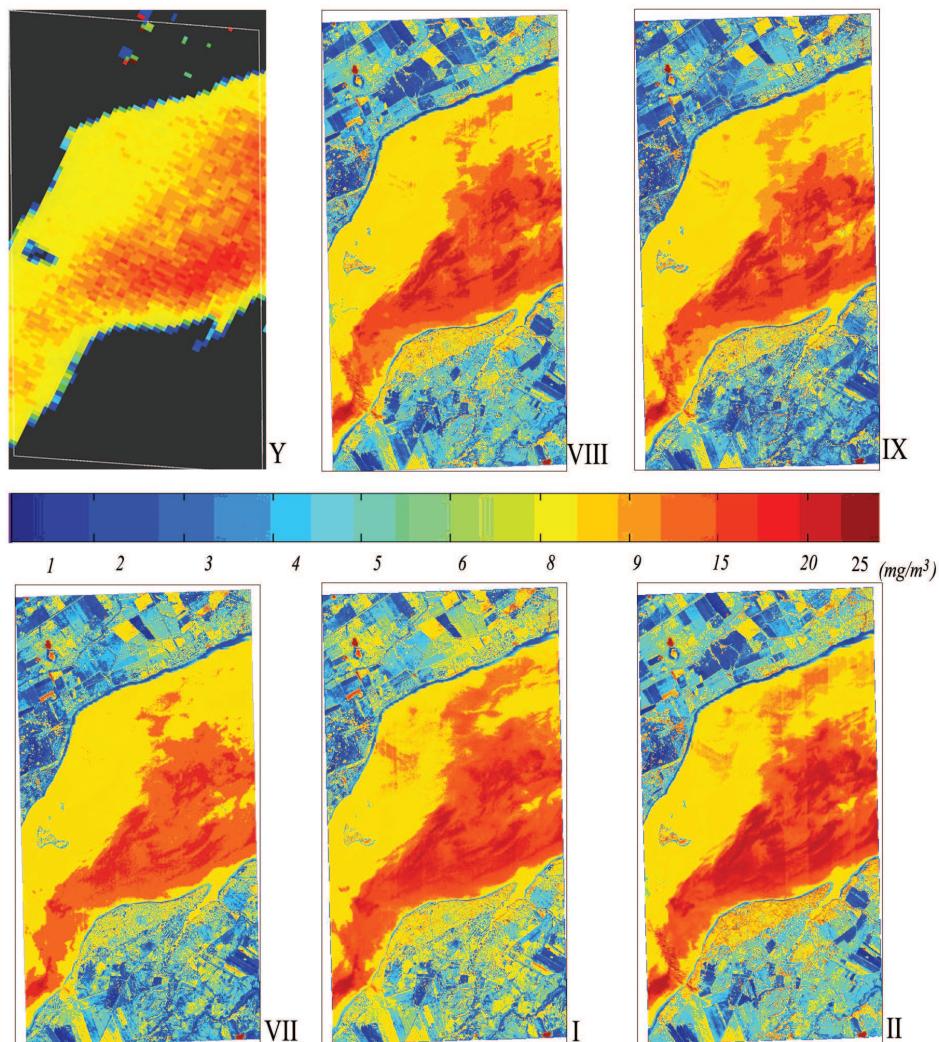


Рис. 5. Карты концентрации хлорофилла, полученные на основе Worldview-2 (27.08.2010) с помощью эвристических алгоритмов VIII, IX, VII, II, I., в сравнении результатом эвтрофного MERIS-моделирования (Y=Global Chl-a)

Наблюдаемая на рис. 5 пространственная неоднородность подтверждается данными *in situ*, показывающими повышенное содержание хлорофилла ближе к правому берегу в нижней озеровидной части водохранилища, что объясняется гидрологическими особенностями: русло Оби и основное течение проходит вдоль правого берега. Большая смена вод вдоль правого берега способствует более интенсивному развитию водорослей планктона в результате поступления речной воды, содержащей больше питательных (биогенных) веществ, чем в более «застойной» левобережной пойменной части. Кроме этого, концентрация ФП ближе к правому берегу может быть обусловлена преобладанием западных ветров, сгоняющих водоросли поверхности слоя к востоку, особенно в период цветения синезелеными водорослями (август 2010 г.).

Заключение

На примере Новосибирского водохранилища развивается подход, позволяющий дистанционно оценивать качество воды на двух уровнях пространственной детальности – на уровне всего лимнологического объекта (на основе многоспектральных данных среднего пространственного разрешения и нейросетевых лимнологических моделей) и на уровне отдельных ключевых участков (на основе многоспектральных данных сверхвысокого пространственного разрешения и эвристических моделей). Нейросетевое MERIS-моделирование подтвердило эвтрофный статус водохранилища на исследованных участках. Использование данных Worldview-2 показало дополнительные возможности оценивать состояние фитопланктона на важных ключевых участках относительно небольшого размера.

Литература

1. Копелевич О.В. и др. Учет отражения солнечного излучения от дна на мелководье при обработке данных спутниковых сканеров цвета // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2008. Т.2. №1. С. 117–127.
2. Ковалевская Н.М. и др. Компьютерное моделирование полей концентраций хлорофилла для лимнологических объектов на основе спутниковых MERIS-данных (на примере Новосибирского водохранилища) // Отдельный выпуск Горного информационно-аналитического бюллетеня. 2009. №OB17. М.: издательство «Горная книга», С. 175–179.
3. Матишиов Г.Г. и др. Оценки концентрации хлорофилла а и первичной продукции в Азовском море с использованием спутниковых данных // Доклады академии наук. 2010. №432(4), С. 563–566.
4. Morel A. et al. Analysis of Variations in Ocean Color// Limnol.Oceanogr.1977. v. 22, p. 709–722.
5. Jerlov N.G. A transparency-meter for ocean water // Tellus. 1978. v. 9, p. 229–233.
6. Morel A. et al. Report of the working group on water color // Boundary-Layer Meteorol. 1980. v.18, p. 343–355.
7. Prieur L. et al. An optical classification of coastal and oceanic waters based on the specific spectral absorption curves of phytoplankton pigments, dissolved organic matter, and other particulate materials // Limnol. Oceanogr: 1981. №26. p. 671–689.
8. Gordon H. et al. Remote Assessment of ocean color for interpretation of satellite visible imagery. Lecture Notes in Coastal and Estuarine Studies. New York: Springer, 1983. 114 pp.
9. Firestone E. et al. SeaWiFS Prelaunch, Final Cumulative Index // NASA Technical Report Series, NASA 1998. Goddard Space Flight Center, p. 4–8.
10. O'Reilly et al. Ocean colour chlorophyll algorithms for SeaWiFS // J.Geophys.Res.1998. v.103(11), p. 24937– 24953.
11. Fell F. et al. Numerical simulation of the light field in the atmosphere-ocean system using the matrix-operator: JQSRT. 2001. v.69, p. 351–388.
12. Froidefond J. et al. SeaWiFS data interpretation in a coastal area in the bay of Biscay// Int. J. Remote Sens. 2002. v. 23, p. 881–904.
13. Heim B. Qualitative and quantitative analyses of Lake Baikal's surface-waters using ocean colour satellite data (SeaWiFS). Diss...geosciences: Potsdam, 2005. 142 pp.
14. Eleveld M.A. et al. WATeRS: An open Web Map Service with near-real time MODIS Level-2 standard chlorophyll products of the North Sea // International Journal of Remote Sensing. 2007. №28 (16). С. 3693–3699.
15. Doerffer R. et al. MERIS Lake Water Algorithm for BEAM // ATBD Version 1.0. GKSS. 2008. Mobley C. Light and water: radiative transfer in natural waters: Academic Press, San Diego.
16. Pedrero J. A. Evaluation of MERIS Case-II Water. Processors in the Baltic Sea. Thesis ... radio science: Helsinki, 2009. 120 pp.
17. Ruddick K. et al. The Coastcolour project regional algorithm round robin exercise // Remote Sensing of the Coastal Ocean, Land and Atmosphere Environment. 2010. v.7858. 1994.

Comparative assessment of water quality in the Novosibirsk Reservoir based on limnological MERIS-models and high resolution data of Worldview-2

N. Kovalevskaya, V. Kirillov, T. Kirillova, O. Lovtskaya

*Institute of Water and Environmental Problems SB RAS
656038 Barnaul, 1 Molodezhnaya str.
E-mail: knm@iwep.ru*

An approach is developed on the example of the Novosibirsk reservoir, allowing remotely assess the water quality at two levels of spatial detail – at a level of a whole limnological object (using the MERIS-data and neural network models) and at a level of pilot areas (using ultra-high spatial resolution data of Worldview-2 and heuristic models). Three limnological models – eutrophic, boreal and coastal - are used to monitor phytoplankton distribution. Studies of 2008-2010 showed satisfactory fit of eutrophic MERIS-modeling and *in situ* data in the lake area (concentration range 1–10 [mg/m³]) and in shallow areas (10–35 [mg/m³]). Neural network MERIS-modeling confirmed the eutrophic status of the Novosibirsk reservoir. The eutrophic-model fit was a basis of seasonal dynamics research and the Worldview-2-assess of phytoplankton state in pilot area of relatively small size

Keywords: assessment of water quality, limnological algorithms, multispectral data, ultra-high spatial resolution.