

Физическая география и геоэкология

УДК 528.8: 556

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МУТНОСТИ ВОДЫ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

О.А. Тихомиров, А.В. Бочаров

ФГБОУ ВО «Тверской государственный университет», г. Тверь

В работе представлены алгоритмы обработки данных дистанционного зондирования Земли, обеспечивающие получение информации о пространственно-временной изменчивости показателей мутности воды в водных объектах. Суть исследования состоит в разработке моделей, основанных на статистическом анализе зависимостей данных натурных измерений и спектральных характеристик многоканальных спутниковых изображений Landsat-8, с последующим распространением полученных алгоритмов на весь водоем.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, Landsat, Ивановское водохранилище, мутность, качество воды.

Исследование пространственно-временной изменчивости свойств водных масс – важная как в научном, так и практическом отношении задача. При изучении качества воды проводятся регулярные натурные измерения показателей. Это довольно трудоемкий и экономически затратный процесс, который часто не охватывает всю площадь водного объекта. Кроме того, наблюдения имеют дискретный характер и, при интерполяции получаемых данных, результаты оказываются лишёнными пространственной точности. Совместное использование, наряду с натурными измерениями, многоканальных спутниковых снимков может быть полезным для оптимизации производимых исследований. Это позволит при помощи бесконтактного определения показателей расширить массив получаемых данных за счет приобретения пространственной картины распределения изучаемых свойств. В течение последних десятилетий одним из наиболее значительных направлений в области дистанционного зондирования была разработка гиперспектральных датчиков и необходимого программного обеспечения для анализа получаемых материалов. Появление многоканальных данных позволило использовать многомерное спектральное пространство. Для решения задач стали использовать отношения значений пикселя в двух и более спек-

тральных диапазонах [8]. Использование многоканальной спутниковой информации позволяет решать обширный круг задач по исследованию особенностей Земной поверхности.

Цель работы – апробация использования алгоритмов обработки данных дистанционного зондирования Земли, обеспечивающих получение информации о свойствах вод внутренних водоемов средней полосы Европейской части России. Известно, что некоторые «индексные изображения», получаемые путем простых преобразований снимков на основе арифметических операций со значениями яркости в различных спектральных зонах [7], показывают существенную корреляцию с оптическими показателями состояния водных масс. Суть работы состоит в разработке моделей, основанных на статистической зависимости данных натурных измерений и количественных спектральных показателей спутниковых изображений, с последующим распространением полученных алгоритмов на весь водоем или группу однотипных водных объектов. В исследовании использовались космические снимки на район Иваньковского водохранилища, полученные сенсором Landsat-8 (табл. 1).

Таблица 1

Использованные сцены сенсора Landsat-8

Дата	Сцена Landsat-8
2 июня 2015 г.	LC81800202015153LGN00
4 июля 2015 г.	LC81800202015185LGN00
5 августа 2015 г.	LC81800202015217LGN00

Для выявления возможности использования данных дистанционного зондирования, применительно к исследованию состояния Иваньковского водохранилища, были проведены полевые экспедиции в течение трех летних месяцев 2015 г. Сбор подспутниковых образцов воды производился в 9 пунктах (рис. 1) в течение 2–3 дней после пролета спутника для последующего анализа в лаборатории.



Р и с . 1. Схема расположения пунктов отбора проб воды в Ивановском водохранилище

Мутность воды — показатель, характеризующий уменьшение прозрачности воды, в связи с наличием неорганических и органических взвесей. Мутность воды в пунктах отбора проб определялась фотометрическим методом, путем сравнения образцов исследуемой воды со стандартной суспензией каолина [2].

Ивановское водохранилище – мелководный водоем, что определяет широкое развитие гидробионтов. Показатель мутности тесно связан с условиями формирования высшей водной растительности, развитием фитопланктона, содержанием хлорофилла в воде и др. Пространственное распределение хлорофилла в водоеме указывает на его повышенные значения в Шошинском плесе, крупных заливах и в приплотинной области Ивановского плеса. Преимущественно, это участки с замедленным водообменом. Например, на Шошинский плес, несмотря на его значительную площадь, приходится не более 17% объема стока водохранилища [5]. Высокие показатели концентрации хлорофилла «а» свидетельствуют об обильном развитии фитопланктона, что зачастую является главной причиной повышенной мутности и цветности водных масс водоема. Исследования показали, что наиболее высокие значения мутности воды характерны для тех же областей, что и для показателей содержания хлорофилла, вероятно, в виду повышенного количества взвесей органических веществ.

Использование уравнения регрессии (1) позволило получить значения мутности для всей акватории Ивановского водохранилища с пространственным разрешением 30 м, что, примерно, соответствует карте масштабом 1:100 000.

Исследования, проведенные Рекка Нарма [11] в поверхностных водах озер Финляндии и прибрежных водах Балтийского моря, показали зависимость отношения спектральных характеристик 1-го канала к сумме 1-го, 2-го и 3-го каналов $b1/(b1+b2+b3)$ спутника Landsat-7 и по-

казателя мутности воды с коэффициентом корреляции 0,85. Для моделирования значений показателя мутности в акватории Иваньковского водохранилища, по данным сенсора Landsat-8, было использовано несколько модернизированное нами выражение $b3/(b2+b3+b4)$, показавшее, в ходе экспериментальной части исследования, более высокие результаты, с коэффициентом корреляции до 0,95. Взаимная связь натуральных измерений мутности и данной комбинации спектральных каналов сенсора Landsat-8 (по усредненным данным за июль-август 2015), описывается следующим уравнение регрессии:

$$\text{Мутность} = 1037,14 * x - 335,33 \quad (1),$$

где $x = b3/(b2+b3+b4)$, а $b2$, $b3$, $b4$ – 2-й, 3-й и 4-й каналы сенсора Landsat-8 соответственно.

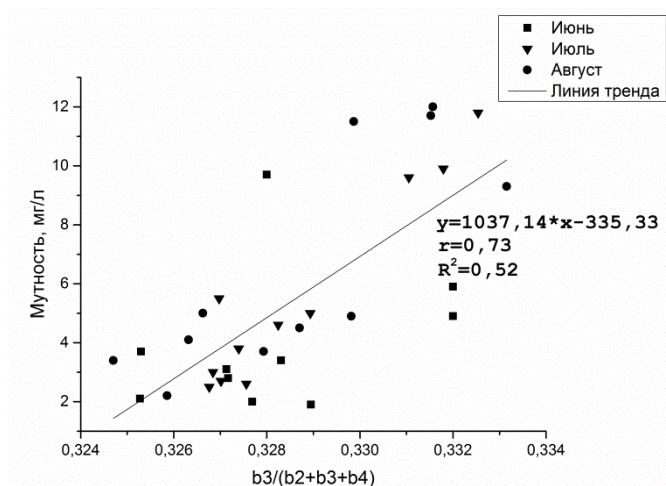
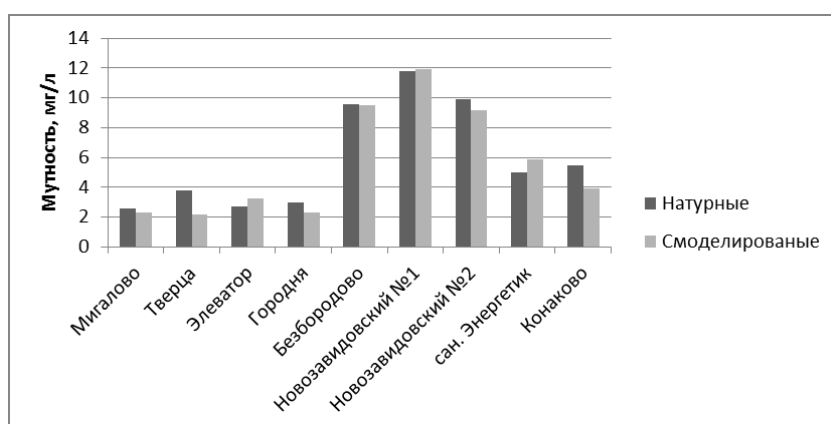


Рис. 2. Зависимость между показателями мутности воды и значениями индексных изображений $b3/(b2+b3+b4)$ (по данным Landsat-8, июль-август 2015 г.)

Использование уравнения регрессии позволило получить значения показателя мутности для всей поверхности Иваньковского водохранилища (рис. 3). Высокие значения мутности характерны для сильно эвтрофированного Шошинского плеса, крупных заливов и приплотинной области водоема. Причинами повышенной мутности воды могут быть как присутствие тонкодисперсных неорганических взвесей и соединений, так и наличие органических примесей или живых организмов. Также повышенные значения показателя возможны по причине окисление соединений железа и марганца, что приводит к образованию коллоидов. Для проверки точности полученных результатов было произведено сравнение натуральных и смоделированных значений показателя мутности (рис. 4).



Р и с . 3. Растр полученных значений показателя мутности воды Иваньковского водохранилища, по снимку Landsat-8 (4 июля 2015 г.)



Р и с . 4. Натурные и смоделированные значения показателя мутности воды для условий Иваньковского водохранилища

Содержание проведенных исследований состоит в попытке использования информации об изменчивости спектральных свойств многоканальных космических снимков, в качестве критерия при первичной оценке тех или иных параметров водных объектов. В ходе работы нами установлена тесная зависимость между индексными изображениями, получаемыми на основе многоканальных данных с сенсора Landsat и отобранными образцами воды. Взаимная связь спектральных свойств пикселей индексных изображений и натуральных измерений в точках отбора проб описывалась уравнениями регрессии. На основании пространственно-непрерывных данных спутниковой съемки, используя полученные уравнения регрессии, были построены карты распределения показателей по всей акватории.

По результатам анализа подспутниковых натуральных измерений выявлено, что с достаточно высокой степенью точности возможно определение некоторых оптических показателей состояния водоема. Определенные комбинации спектральных характеристик каналов Landsat, имеют высокие и устойчивые зависимости со значениями мутности (до 0,95), содержанием хлорофилла «а» (до 0,86) и цветностью (до 0,8).

По результатам исследования установлено, что в летний период 2015 г. прослеживается тенденция увеличения показателей цветности и мутности от верхней части водоема к плотине, что связано с большей проточностью Волжского плеса и более благоприятными условиями для развития фитопланктона в приплотинном участке. При этом, максимальные значения отмечены в более застойном по режиму, мелководном, озеровидном Шошинском плесе. В течение всего летнего периода 2015 г. водохранилище имеет, преимущественно, эвтрофный статус, и, частично, мезотрофный в некоторых районах Волжского плеса. Биомасса фитопланктона находится в пределах от 3 до 8,5 г/м³, а первичная продукция составляет от 80 до 210 г С/м² год.

Проведенная попытка оценки некоторых характеристик водных объектов, на основе материалов дистанционного зондирования Земли подтверждает возможность использования данной методики. Следует отметить два прикладных аспекта ее применения: 1) полученные уравнения регрессии могут быть в последствии использованы для определения показателей качества воды водохранилища без отбора образцов; 2) предлагаемая методика имеет перспективы применения для оценки пространственного распределения показателей физико-химических свойств воды в сочетании с натурными измерениями.

Список литературы

1. ГОСТ 17.1.4.02-90. Вода. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла – а. Изд-во стандартов. М., 1990. 12 с.
2. ГОСТ 3351-74. Вода питьевая. Методы определения вкуса, запаха, цветности и мутности. Изд-во стандартов. М., 1974. 8 с.
3. ГОСТ Р 52769-2007. Вода. Методы определения цветности. Изд-во «Стандартинформ». М., 2007. 6 с.
4. Даценко Ю.С. Эвтрофирование водохранилищ. Гидролого-гидрохимические аспекты. Изд-во «ГЕОС». М., 2007. 252 с.
5. Ивановское водохранилище. Современное состояние и проблемы охраны. Изд-во «Наука». М., 2000. 344 с.
6. Китаев С.П. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. Изд-во «Наука». М., 1984. 207 с.
7. Книжников Ю.Ф. Аэрокосмические методы географических исследований. Изд-во «Академия». М., 2004. 336 с.

8. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений. Изд-во «Техносфера». М., 2010. 560 с.
9. Brivio P. A., Giardino C. *Determination of Chlorophyll Concentration Changes in Lake Garda using an Image-Based Radiative Transfer Code for Landsat TM Images* // Int. J. Rem. Sens., 2001. Vol. 22(2&3), P 487-502.
10. Gitelson A., Garbuzov G. Quantitative remote sensing methods for real-time monitoring of inland water quality // International Journal of Remote Sensing, 1993. Vol. 14, P 1269–1295.
11. Harma P., Vepsalainen J. Detection of water quality using simulated satellite data and semi-empirical algorithms in Finland // Sci Total Environ., 2001. Vol. 268. P 107–121.

USE OF SENSOR FOR EVALUATION OF INDICATORS TURBIDITY CONTENT IN WATER RESERVOIR

О.А. Tikhomirov, A.V. Bocharov

*Tver State University, Tver

The paper presents algorithms for processing of remote sensing data, provides information about the spatial and temporal variability in turbidity, color, concentration of chlorophyll "a". The essence of the research is to develop models based on the statistical analysis of data dependencies in-situ measurements and spectral characteristics of the multi-channel satellite images Landsat-8, and then disseminate the algorithm on the entire body of water.

Keywords: remote sensing, Landsat, Ivankovskoe Reservoir, turbidity water quality.

Об авторах:

ТИХОМИРОВ Олег Алексеевич - доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой физической географии и экологии Тверского государственного университета, e-mail: tikhomirovoa@mail.ru

ТИХОМИРОВ Oleg A. – Doctor of Geographical Sciences, Professor, Head of Department of Physical Geography and Ecology FGBOU VPO "Tver State University." E-mail: tikhomirovoa@mail.ru

БОЧАРОВ Александр Вячеславович – аспирант кафедры физической географии и экологии Тверского государственного университета, e-mail: bochalex@bk.ru

BOCHAROV Alexander V. – graduate student, Department of Physical Geography and Ecology FGBOU VPO "Tver State University." E-mail: bochalex@bk.ru