

Розглянуто питання застосування засобів геоінформаційних технологій для дослідження просторово-часової динаміки "цвітіння" води в дніпровських водоймищах по знімках, які отримані при дистанційному зондуванні Землі із супутника. Запропоновано методику оперативної оцінки трофічного стану води у водоймищах залежно від кольорів водоростей і площі "цвітіння" води

Ключові слова: дніпровські водосховища, водорості, космічні знімки, "цвітіння" води, супутник, дистанційне зондування, евтрофування, картосхема

Рассмотрены вопросы применения средств геоинформационных технологий для исследования пространственно-временной динамики "цветения" воды в днепро-вских водохранилищах по снимкам, которые получены при дистанционном зондировании Земли со спутника. Предложена методика оперативной оценки трофического состояния воды в водохранилищах в зависимости от цвета водорослей и площади "цветения" воды

Ключевые слова: днепро-вские водохранилища, водоросли, космические снимки, "цветения" воды, спутник, дистанционное зондирование, евтрофирование, картосхема

Issue of application of GIS technology for study the spatial-temporal dynamics of bloom water Dnieper reservoirs with the help of the images obtained with remote sensing satellite has been presented. The technique of rapid assessment of the trophic state of water in reservoirs depending upon the color of algae and the area of «blooming» of water has been mentioned

Keywords: Dnepr water basins, seaweed, space pictures, water «flowerings», the companion, remote sounding, eutrophic the kartoscheme

МОНІТОРИНГ ДНЕПРОВСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ СО СПУТНИКА LANDSAT

В. А. Толстохатко

Кандидат технических наук, профессор*

Контактный тел. (057) 707-31-04

E-mail: tolstochatko@rambler.ru

Л. А. Антоненко*

Ф. Т. Шумаков

Старший преподаватель*

E-mail: shumakov@ksame.kharkov.ua

*Кафедра геоинформационных систем и геодезии

Харьковская национальная академия городского

хозяйства

ул. Революции 12, г. Харьков, Украина, 61002

Введение

Изучение "цветения" воды континентальных водоемов синезелеными водорослями является одной из самых актуальных задач пресноводной гидробиологии. "Цветением" воды считают массовое развитие одного или двух-трех планктонных видов, сопровождающееся значительным ухудшением качества воды, представляющее опасность для здоровья человека и животных и затрудняющее рекреационное использование водоема. В период "цветения" повышается мутность воды, уменьшается содержание кислорода, создаются благоприятные условия для развития патогенной микрофлоры. Многие виды синезеленых водо-

рослей являются источником токсических веществ [1-3].

Основной причиной антропогенного евтрофирования является вынос фосфора и азота с суши в водоемы. Это приводит к «цветению» воды и формированию высших водных растений на мелководьях, например, синезеленых водорослей. Источниками антропогенного евтрофирования водоемов являются: возрастание использования в сельскохозяйственном производстве удобрений, содержащих фосфор и азот, а также сброс сточных вод в реки и озера.

Проблема евтрофирования водоемов характерна для днепро-вских водохранилищ. Большие города загрязняют водохранилища неочищенными или не пол-

ностью очищенными сточными водами, которые содержат, как коммунальные отходы, так и стоки разных предприятий. Все это обуславливает токсификацию водохранилищ, массовое развитие планктонных водорослей и приводит к значительному снижению прозрачности воды [4].

Прозрачность воды является одной из важных характеристик трофического состояния водоемов, поскольку она зависит от растворенных веществ и веществ, находящихся во взвешенном состоянии. Эффективным и достоверным методом мониторинга прозрачности воды является спутниковое дистанционное зондирование [5]. Дистанционное зондирование – это получение информации о земной поверхности путем регистрации приходящего от нее электромагнитного излучения. Зависимость между прозрачностью воды и изображением дистанционного зондирования стабильна.

Различия в длинах волн электромагнитного излучения, светопоглощающие и светорассеивающие характеристики природных вод могут быть использованы для оценки трофического состояния водоемов. Например, отражательная способность воды изменяется с концентрацией хлорофилла-а. Увеличение концентрации хлорофилла-а имеет тенденцию уменьшать отражательную способность воды в синих длинах волн и увеличивать в зеленых длинах волн [6]. Эти данные перспективно использовать для выбора технологии и мест сбора биомассы синезеленых водорослей, для разработки методов борьбы с «цветением» и антропогенным евтрофированием.

В статье рассматривается методика анализа трофического состояния днепровских водохранилищ по космическим снимкам, которые получены по каналам съемки ТМ 321 спутника Landsat-7. Выбор этих каналов обусловлен тем, что в них используются «естественные цвета» видимого диапазона и объекты земной поверхности выглядят так, как воспринимаются они человеческим глазом.

Методика анализа трофического состояния водоема

Методика основана на тематической классификации снимков. Для обработки космических снимков используется программный пакет ERDAS IMAGINE 9.2 (сокращенно – ERDAS IMAGINE).

Методика обработки и анализа снимков включает следующие этапы:

1. Создание мозаики изображений.
2. Синтез изображения.
3. Классификация изображения и построение картосхемы.
4. Анализ трофического состояния водоема.

Этап 1. Создание мозаики изображений

Создание карт полного покрытия исследуемой территории производится по нескольким перекрываю-

щимся снимкам. При создании мозаики осуществляется объединение отдельных изображений в единое изображение. Принцип и порядок создания мозаики показаны на рис. 1.

Процесс создания мозаики включает следующие действия:

1). Добавление изображений в мозаику (рис. 1, а) и определение базового изображения, которое будет определяющим в процессе выравнивания цветных гистограмм остальных изображений.

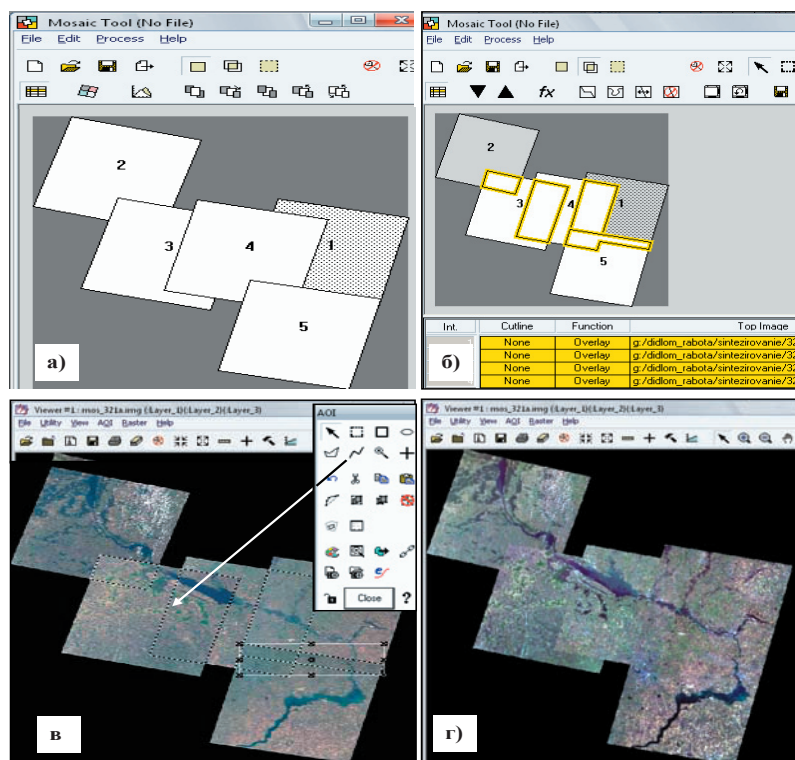



Рис. 1. Создание мозаики в окне Mosaic Tool ERDAS IMAGINE: а) добавление изображений в мозаику; б) определение линии сшивки; в) построение линии резки; г) результирующее изображение

2). Выравнивание контрастности и яркости изображений путем коррекции цветных гистограмм каждого изображения с помощью функции Image Matching программы ERDAS IMAGINE. Если в изображениях имеются аномальные области, обусловленные типом земной поверхности, то они исключаются из процесса выравнивания гистограмм с помощью функции Set Exclude Areas.

3). Определение линии сшивки в области перекрытия двух соседних изображений (рис. 1, б);

4). Построение линии резки. Линия резки строится в окне вьюера (Viewer) в режиме пересечения выбранных изображений. Для построения линии резки используется инструмент рисования линии , расположенный на панели инструментов АОИ (рис. 2, в).

5). Создание результирующего изображения (рис. 2, г). Результирующее изображение формируется в режиме создания выходного изображения.

Этап 2. Синтез изображения

Синтез изображения – это процесс получения цветного снимка путем «наложения» изображений,

полученных в нескольких каналах многозональной съемки. Метод “наложения” улучшает качество изображения для визуального дешифрирования. Практика показывает, что совмещение одного из каналов изображения высокого разрешения с каждым каналом снимка среднего разрешения позволяет практически вдвое повысить информативность синтезированного изображения, которое обладает высоким пространственным разрешением и цветовой основой от снимка среднего разрешения.

Принцип синтезирования снимков иллюстрирует рис. 2, а, на котором показано, что цветной снимок создается путем синтеза трех слоев изображений.

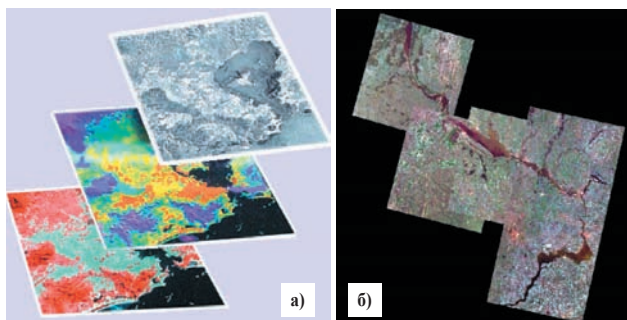


Рис. 2. Синтез снимка в ERDAS IMAGINE: а) принцип синтеза; б) синтезированное изображение

На рис. 2, б приведен синтезированный в ERDAS IMAGINE снимок днепровских водохранилищ. Для синтеза изображения использована полученная мозаика. На снимке четко выделена структура водоемов.

Этап 3. Классификация трофического состояния водоема

На данном этапе производится автоматизированная классификация космического изображения методом кластерного анализа ISODATA (Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques). Это итеративный самоорганизующийся метод анализа данных. Выбор такого метода анализа обусловлен следующими причинами.

Во-первых, кластерный анализ относится к цифровым автоматизированным методам обработки космических изображений и по спектральной яркости позволяет выделять контуры с неконтрастной структурой, например, растительность, воду и другие объекты. Используя спектральные характеристики прозрачности воды, можно по снимкам оценить трофическое состояние водохранилища и выделить области водоема, имеющие олиготрофный, мезотрофный, евтрофный и гипертрофный характер.

Во-вторых, алгоритм кластеризации ISODATA реализован в ERDAS IMAGINE и нашел широкое практическое применение для классификации объектов по результатам дистанционного зондирования.

Кластерный анализ выполняется в таком порядке.

1. Выделение класса воды с помощью утилиты маскирования. Перед началом автоматической классификации изображения методом кластерного анализа, необходимо в полученном изображении отделить воду от суши. Класс воды отделяется от классов ландшафтов суши (рис. 3, а), а затем с помощью утилиты маскирования выделяется класс воды (рис. 3, б).

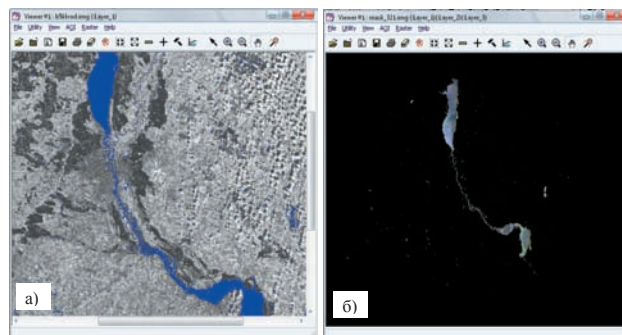


Рис. 3. Отделение класса воды от классов ландшафтов суши: а) отделение класса воды; б) маскирование суши

2. Установка начальных параметров алгоритма ISODATA. Алгоритм ISODATA работает с набором данных $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$, включающим N элементов (пикселей). Результат работы алгоритма во многом зависит от заданных начальных параметров процесса кластеризации. К числу таких параметров относятся:

K – необходимое число классов (кластеров);

Q_N – порог сходимости (относительное количество пикселей, которые не изменяют своей принадлежности к классу при переходе к следующей итерации).

Q_S – параметр, характеризующий среднее квадратическое отклонение;

Q_c – параметр компактности кластеров;

L – количество пар центров кластеров, которые можно объединить;

I – допустимое число циклов итерации – 15.

На данном этапе заданы такие значения параметров: $K = 7$, $Q_N = 0.95$, $Q_S = 2$, $I = 15$. Кроме того, выбрана цветовая схема для раскраски классов в градациях серого тона, близких к исходному черно-белому изображению (см. рис. 4).

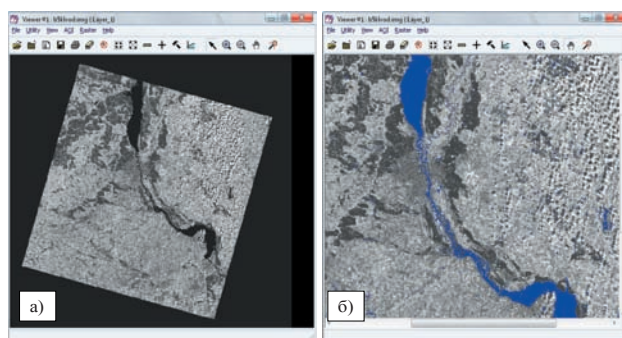


Рис. 4. Раскраска изображения в градациях серого тона

3. Классификация изображения. Алгоритм кластеризации ISODATA имеет эвристический характер. В него включены эвристические процедуры, осуществляющие удаление кластеров, попарное объединение кластеров в один кластер и разделение одного кластера на два кластера. Указанные процедуры реализуются следующим образом.

Удаление кластеров. Если кластер содержит мало элементов $X_i < L$, то он удаляется, т.е. его элементы распределяются по другим кластерам, а центр кластера c_i удаляется из списка центров кластеров.

Разделение кластеров. Если разброс элементов от центра кластера достаточно большой, или, другими

словами, если дисперсия i -го кластера $D_i > Q_s$, то i -й кластер разделяется на два кластера. Для разделения кластера вычисляются покомпонентные дисперсии:

$$D_{ik} = \frac{1}{|X_i|} \sum_{x_j \in X_i} \|x_{jk} - c_{jk}\|^2, \quad k = 1, \dots, n. \quad (1)$$

Далее выбирается та l -я компонента, для которой $D_{il} > D_{is}$ для всех $s \neq l$ и осуществляется разделение i -го кластера по l -й компоненте. При этом пересчитываются новые центры кластеров c' и c'' .

Слияние кластеров. Если расстояние между двумя какими-то центрами кластеров достаточно мало, то эти кластеры следует объединить в один кластер. Для реализации этой процедуры вычисляется расстояние между двумя центрами кластеров:

$$l_{ij} = \|c_i - c_j\|, \quad \text{для всех } i \neq j \quad (2)$$

Если $l_{ij} < Q_c$, то кластеры X_i и X_j следует объединить. Новый центр кластера вычисляется по формуле

$$c = \frac{c_i |X_i| + c_j |X_j|}{|X_i| + |X_j|}. \quad (3)$$

Принцип выполнения классификации.

Классификация изображения осуществляется методом итераций с использованием установленных начальных значений параметров и рассмотренных эвристических процедур. На экране отображаются номер выполняемой итерации и достигнутый порог сходимости.

Для распределения пикселей по классам используются минимальные спектральные расстояния. На каждой итерации переопределяются критерии для каждого класса и классифицируются снова таким образом, чтобы спектральные расстояния исходных данных постепенно уточнялись. Также пересчитывается статистика.

Процесс начинается с назначения случайного (приближенного) среднего значения кластера и повторяется до тех пор, пока это значение достигнет величины среднего для каждого кластера исходных данных. Начальные средние значения кластеров распределяются равномерно вдоль цен-

трального вектора спектрального пространства. Пространство равномерно разбивается на области, центром каждой из которых являются средние значения кластеров. Пикселя анализируются с левого верхнего угла изображения к нижнему правому, блок за блоком. Вычисляется спектральное расстояние между пикселем и средним значением кластера. Пикселя назначаются в тот кластер, где это расстояние минимально. При этом назначенные центры кластеров смещаются, т. к. их средние значения меняются в зависимости от преобладающей яркости попавших в них пикселей. Для того, чтобы определить расположение новых центров, производится второй пересчет. В процессе второй итерации снова определяются минимальные спектральные расстояния между точками и новыми средними значениями кластеров. В результате этого пикселя снова перераспределяются. Такие пересчеты повторяются до тех пор, пока все точки с 95%-й вероятностью не попадут в какой-либо кластер.

В результате кластеризации методом ISODATA формируется тематический растровый слой и набор статистик. В этот набор входят: средние значения кла-

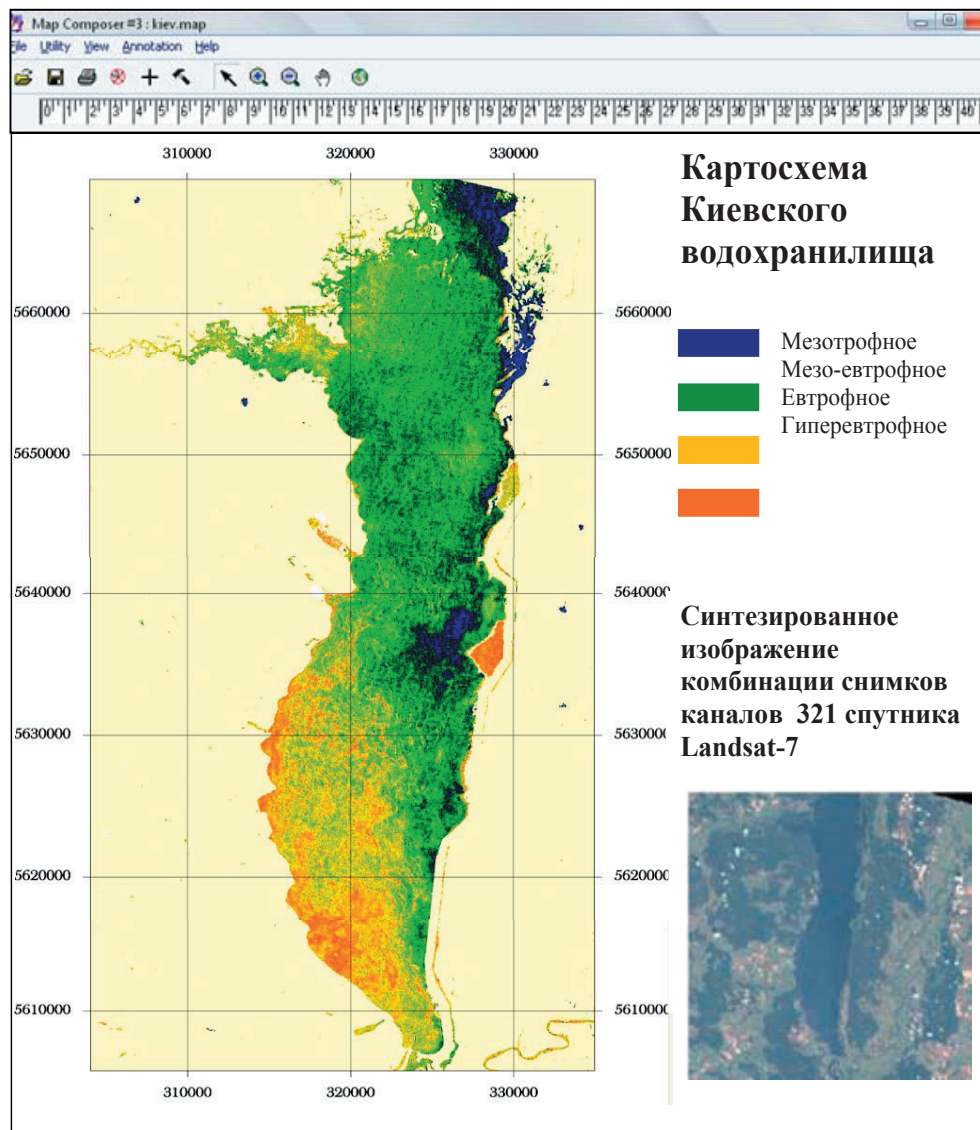


Рис. 5. Картограмма трофического состояния Киевского водохранилища

стеров, минимальные и максимальные значения яркости пикселей, среднее квадратическое отклонение и ковариационная матрица между спектральными каналами. Кроме того, рассчитываются пространственные характеристики различных объектов, например, площадь объектов.

Таким образом, благодаря самоорганизации алгоритма обеспечивается автоматическое распределение кластеров.

На основании результатов классификации получены картосхемы “цветения” днепровских водохранилищ и пространственное распределение фитопланктона синезеленых водорослей. Картосхемы создавались в модулях экспертной классификации ERDAS IMAGINE (Knowledge Engineer и Knowledge Classifier). В качестве примера на рис. 5 приведена картосхема Киевского водохранилища.

На картосхеме четко видны мезотрофная, мезо-евтрофная, евтрофная и гиперевтрофная области водохранилища. Картосхема является основой для оценки трофического состояния днепровских водохранилищ.

4. Анализ трофического состояния водоема

Таблица 1

Характеристики областей евтрофирования

Водохранилище	Трофическое состояние	Цвет на карте, каналы ТМ 321	Площадь, тыс. га
Днепропетровское, общая площадь: 56,7 тыс.га.	Мезотрофное	Синий	14,9
	Мезо-евтрофное	Зеленый	19,4
	Евтрофное	Желтый	10,6
	Гиперевтрофное	Оранжевый	5,3
Каневское, общая площадь: 58,1 тыс. га.	Мезотрофное	Синий	6,1
	Мезо-евтрофное	Зеленый	21,9
	Евтрофное	Желтый	6,0
	Гиперевтрофное	Оранжевый	4,4
Киевское, общая площадь: 92,2 тыс. га.	Мезотрофное	Синий	12,2
	Мезо-евтрофное	Зеленый	45,8
	Евтрофное	Желтый	18,1
	Гиперевтрофное	Оранжевый	8,8
Кременчугское, общая площадь: 225,2 тыс.га.	Мезотрофное	Синий	23,
	Мезо-евтрофное	Зеленый	52,6
	Евтрофное	Желтый	54,4
	Гиперевтрофное	Оранжевый	58,1

На рис. 6 приведены диаграммы евтрофного состояния участков водохранилищ Днепровского каскада.

Анализ полученных результатов показывает, что во всех водохранилищах имеются достаточно большие по площади участки, которые находятся в евтрофном и гиперевтрофном состоянии. Суммарно они занимают

от 27 до 43 процентов площади водоемов. Более всего подвержено евтрофированию Кременчугское водохранилище, а меньше всего – Каневское водохранилище.

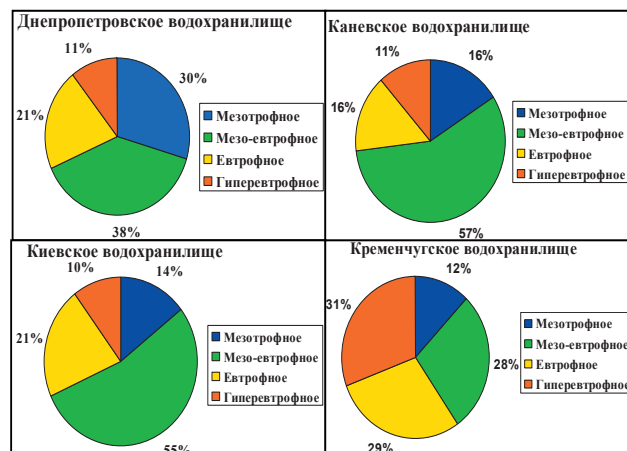


Рис. 6. Диаграммы трофического состояния водохранилищ Днепровского каскада

Одной из причин интенсивного роста синезеленых водорослей на этих участках может быть накопление в водохранилищах больших количеств фосфора и азота. Экспериментально показано, что синезеленые водоросли имеют тенденцию к доминированию в водоемах, в которых соотношение среднегодовых концентраций общего азота к общему фосфору менее 29:1 по массе.

Следовательно, по результатам дистанционного зондирования можно определить степень и причины евтрофирования водохранилищ, что важно для оперативного мониторинга водоемов.

Для исследования причин евтрофирования может быть применен метод линейной регрессии, позволяющий установить корреляционную связь между концентрацией хлорофилла-а и площадью, занимаемой синезелеными водорослями в водохранилище.

Выводы

1. Метод “наложения” позволяет повысить качество изображения синтезированного снимка и точность классификации, практически до 50 процентов.

2. При высоком качестве снимков метод кластеризации ISODATA позволяет по спектральной яркости достаточно точно выделять области “цветения” и трофического состояния водоемов. Благодаря этому, построена картосхема днепровских водохранилищ, на которой четко видны участки водохранилищ, имеющие мезотрофное, мезо-евтрофное, евтрофное и гиперевтрофное состояния.

3. Цифровые методы обработки многозональных космических изображений позволяют повысить оперативность мониторинга водохранилищ, а также выявить динамику и направленность развития процесса евтрофирования водоемов.

4. По результатам исследования можно отметить, что мониторинг водохранилищ может найти применение в коммунальном хозяйстве городов для улучшения качества их водоснабжения.

Литература

- 1 Серенко Л.А., Гавриленко М.Я. «Цветение» воды и евтрофирование. – К.: Наукова думка, 1978. – 232 с.
- 2 Хендерсон-Селерс Б. Инженерная лимнология : Пер. с англ. / Под ред. К.Я.Кондратьева. – Л. Гидрометеиздат, 1987. – 336 с.
- 3 Хендерсон-Селерс Б., Маркленд Х.Р. Умирающие озера. Причины и контроль антропогенного эвтрофирования: Пер. с англ. / Под ред. К.Я.Кондратьева и Н.Н.Филатова. – Л.: Гидрометеиздат, 1990. – 290 с.
- 4 Кондратьев К.Я., Шумаков Ф.Т. Дистанционный мониторинг эвтрофирования водоемов. // Водные ресурсы. -1990. - N 5.- С. 152-160.
- 5 Кондратьев К.Я., Брук В.В., Дружинин Г.В., Егоров Л.К., Малыхина И.И., Шумаков Ф.Т. Возможности использования космической информации для изучения процессов загрязнения и эвтрофирования озерных систем.//Исследование Земли из космоса - 1988. - N 4. - С. 49-57.
- 6 Кондратьев К.Я., Шумаков Ф.Т. Дистанционный мониторинг эвтрофирования водоемов // Водные ресурсы. – 1990. – №5. – С.152-160.

Розглянуто питання застосування засобів геоінформаційних технологій для створення цифрових карт лісового господарства по знімках, які отримані при дистанційному зондуванні Землі із супутника. Наведено приклад створення карти лісового господарства Малиновського лісництва Чугуєво-Бабчанського лісгоспу

Ключові слова: цифрова карта, космічні знімки, супутник, дистанційне зондування, лісництво

Рассмотрены вопросы применения средств геоинформационных технологий для создания цифровых карт лесного хозяйства по снимкам, которые получены при дистанционном зондировании Земли со спутника. Приведен пример создания карты лесного хозяйства Малиновского лесничества Чугуево-Бабчанского лесхоза

Ключевые слова: цифровая карта, космические снимки, спутник, дистанционное зондирование, лесничество

The questions of application of facilities of geoinformation technologies are considered for creation of digital maps of forestry on pictures which are got at the remote sensing of Earth from sputnika. The example of creation of map of forestry of Malinovskogo of forest district of Chuguevo-babchanskogo of leskhoza is resulted

Keywords: digital map, space pictures, sputnik, remote sensing, forest district

УДК 528:061.3

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ЛЕСНЫХ УГОДИЙ СРЕДСТВАМИ ГИС

В.А. Толстохатко

Кандидат технических наук, профессор*

Контактный тел. (057) 707-31-04

E-mail: tolstochatko@rambler.ru

Т.И. Литвин*

*Кафедра геоинформационных систем и геодезии

Харьковская национальная академия городского хозяйства

ул. Революции 12, г. Харьков, Украина, 61002

В настоящее время автоматизированные геоинформационные технологии применяются в городском планировании, коммунальном хозяйстве, управлении лесными и сельскохозяйственными ресурсами, то-

пографическом картографировании, создании карт различного назначения, а также для интерпретации результатов дистанционного зондирования. Использование в лесном хозяйстве позволяет объединять