

Список литературы

1. Мищенко А. Л., Суханова О. В. Динамика численности птиц в ходе сукцессионных изменений сельхозугодий центральной России // Динамика численности птиц в наземных ландшафтах. Мат-лы Российского науч. совещ. — М., 2007. — С. 133—142.
2. Соколов А. Ю. О влиянии изменения режима использования сельскохозяйственных земель на динамику населения птиц в условиях центральной части Воронежской области // Мат-лы междунар. науч. конф., посвященной 80-летию со дня рождения проф. А. П. Крапивного. — Харьков: ХНУ, 2009. — С. 93—98.
3. Соколов А. Ю., Венгеров П. Д. Зависимость плотности населения и видового состава птиц луговых комплексов от степени увлажненности местообитаний // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Сер. Ест. науки. — 2010. — № 21 (92), вып. 13. — С. 82—88.
4. Равкин Ю. С. К методике учета птиц в лесных ландшафтах // Природа очагов клещевого энцефалита на Алтае. — Новосибирск: Наука, 1967. — С. 66—75.
5. Марова И. М. Организационные, методические и социальные аспекты мониторинга лесных видов птиц в Западной Европе // Динамика численности птиц в наземных ландшафтах. Материалы Российского науч. совещ. — М., 2007. — С. 269—277.

УДК 338.439.223

МОНИТОРИНГ ДИНАМИКИ СОСТОЯНИЯ ЛИСТВЕННЫХ И ХВОЙНЫХ ЛЕСОВ В БАССЕЙНЕ Р. СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ ПО МАТЕРИАЛАМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Э. А. Терехин,

аспирант, Белгородский государственный университет, terekhin@bsu.edu.ru

На основе материалов дистанционного зондирования Земли проведен мониторинг изменений в лиственных и сосновых лесах береговой зоны Белгородского водохранилища за 15 лет. Показаны изменения вегетационного состояния древостоев.

Monitoring of changes for 15 years deciduous and foliage forest in the shore of the Belgorod water storage basin had been made on the basis of remote-sensed data. Changes of vegetation state of forest had been shown in the article.

Ключевые слова: мониторинг, дистанционное зондирование, хвойный лес, лиственный лес.

Keywords: monitoring, remote sensing, coniferous forest, foliage forest.

Лесистость Белгородской области составляет 9,2 %. Леса, находящиеся в ведении Управления лесами области, отнесены к защитным лесам и следующим категориям: противоэрозионные леса — 175,6 тыс. га — 81,4 %, леса зеленых зон — 38,9 тыс. га — 18,0 %, леса, имеющие научное или историческое значение, — 1,3 тыс. га — 0,6 %.

В составе лесов преобладают твердолиственные породы, которые занимают площадь 173,3 тыс. га или 85,0 % от покрытой лесом площади. Дуб черешчатый занимает 161,2 тыс. га — 79,0 %, хвойные насаждения — 19,2 тыс. га — 9,4 %, мягколиственные породы — 11,3 тыс. га — 5,5 % [1]. Белгородские леса почти на 80 % представлены ценными породами — дубравами, в то время как в России удельный вес дубрав составляет только 1,2 %. Таким образом, ввиду особой роли лесов в регионе, возникает необходимость в ведении всестороннего мониторинга. Этому может способствовать использование материалов многозональ-

ной космической съемки. В данной статье приводятся материалы анализа дистанционного мониторинга лесов Белгородской области, находящихся в береговой зоне Белгородского водохранилища.

Заполнение Белгородского водохранилища, расположенного на р. Северский Донец в юго-западной части области, произошло в 1987 г. Площадь водохранилища составляет 23 км², а длина при максимальном заполнении — 25 км. В береговой зоне по обоим берегам расположены достаточно крупные лесные массивы. Они представлены лиственными и хвойными (сосновыми) породами. Общая их площадь составляет свыше 4500 га. Лесные массивы относятся к Шебекинскому и Белгородскому лесничествам Управления лесами Белгородской области. На территории Белгородского лесничества расположено 1048,4 га сосновых лесов и 1649,5 га лиственных лесов, на территории Шебекинского — 953,9 га сосновых и 578,7 га лиственных лесов.

Анализ разновременных космических снимков показал, что с момента создания водохранилища и до настоящего времени произошли существенные изменения в лесах, расположенных на данной территории. Для более детальной оценки изменений состояния лесов нами проведена обработка многозональных космических снимков со спутников LANDSAT 5 TM и LANDSAT 7 ETM+ с пространственным разрешением 28,5 м (1—5,7 каналы) и 15 м (в 8-м панхроматическом канале, имеющемся только у сенсора ETM+). Снимки подобрали таким образом, чтобы сезоны съемки были максимально близки. Это необходимо для того, чтобы при тематической обработке (классификации или расчете вегетационных индексов) влияние сезонных различий в растительности было сведено к минимуму. Использовали августовские снимки 1985, 1986 и 2002 гг. Необходимо отметить, что из лиственных и сосновых лесов последние более интересны для детального изучения по следующим причинам.

Во-первых, сосновые леса расположены на левом низменном берегу водохранилища и часто выходят непосредственно к урезу воды. Вследствие этого, большие площади этих лесных массивов оказались в зоне подтопления. Поэтому сосновые леса должны были в связи с этим претерпеть серьезные изменения после заполнения водохранилища.

Во-вторых, в отличие от лиственных лесов, значения спектральных индексов для хвойных лесов могут выступать в качестве достаточно чувствительного индикатора их состояния в силу того, что смена хвои происходит не каждый год и изменения, произошедшие в ней за несколько лет более заметны, чем в листве, которая сменяется ежегодно.

Первоочередная оценка изменений состояния лесов заключалась в анализе динамики лесных площадей. Для этого по космическим снимкам необходимо создать векторные слои (маски) на лесные массивы и произвести их анализ в геоинформационной системе. Обработку исходных снимков производили в пакете ERDAS Imagine, а ГИС-анализ векторных слоев и создание базы данных по лесам — в программе ArcGIS 9.2. Для создания достоверных векторных масок по материалам спутниковой съемки необходима предварительная обработка космических снимков, заключающаяся в серии улучшающих преобразований.

1. Повышение разрешающей способности многозонального изображения, по которому создается векторный слой с помощью панхроматического канала. Такая возможность имеется для снимков, сделанных аппаратурой ETM+. В результате разрешение 1—5 и 7 каналов повышается с 28,5 до 15 м.

2. Улучшающие яркостные преобразования, включающие контрастирование и эквализацию (выравнивание) гистограммы изображения.

Процесс выравнивания гистограммы — это процедура нелинейной коррекции изображения, при которой происходит перераспределение значений пикселей внутри гистограммы с целью ее приблизительного выравнивания.

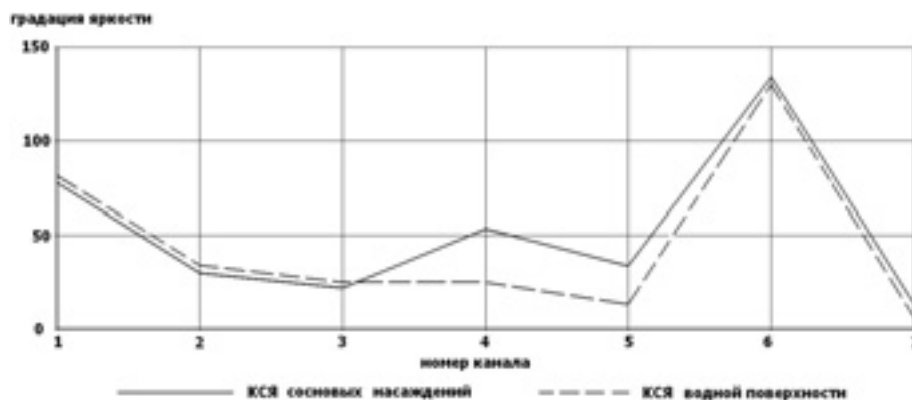


Рис. 1. Кривые спектральных яркостей сосновых насаждений и водоемов

Гистограмма приобретает более полную форму, хотя общий вид ее сохраняется, причем контраст изображения возрастает в пиковых участках и падает на ее краях. Эквиализация гистограммы может оказать существенную помощь при осуществлении визуального дешифрирования границы лесных массивов на космическом снимке. При создании векторных масок для лесов путем визуального дешифрирования даже по изображению, прошедшему улучшающие преобразования, возникает ряд трудностей с распознаванием границ лесных массивов. Граница лиственного леса может сливаться с прилегающей пойменной растительностью, а спектральные отражательные свойства сосновых лесов близки к отражательным свойствам некоторых водоемов. Указанные проблемы можно устранить, рассчитав главные компоненты снимка и синтезировав из них RGB-растр, провести по нему векторизацию лесных массивов. Распознать, является ли объект водоемом или сосновым лесом мож-

но, оценив его кривую спектральных яркостей (КСЯ). На рис. 1 приведены КСЯ сосновых насаждений и водных объектов. Четко видно различие в 4 и 5-м (ближнем и среднем инфракрасном) каналах снимка, в которых отражение спектра сосны значительно выше, чем у водной поверхности.

В результате по снимкам создали четыре векторных слоя: сосновые насаждения в 1985 г. и сосновые насаждения в 2002 г., а также слои для лиственных лесов на те же даты. По векторным маскам рассчитали площади обоих типов леса на 1985 и 2002 гг. Кроме того, выполнили оценку динамики и расположения лесных массивов. Результаты представлены в таблице.

Особенно существенные изменения произошли в средней части береговой зоны водохранилища. Изменение площадей сосновых лесов в этой части береговой зоны отражено на рис. 2.

Расширение площадей лиственных лесов произошло во многом за счет за-растания пространства между отдельны-

Показатели динамики сосновых и широколиственных лесов

Тип леса	Показатель	1985	2002	Динамика	
				Площади, га	Числа массивов
Хвойный	Площадь, га S	2092,43	2002,35	-90,08	-5
	Количество массивов N	43	38		
Лиственный	Площадь, га S	2123,12	2228,2	+105,08	-6
	Количество массивов N	29	23		

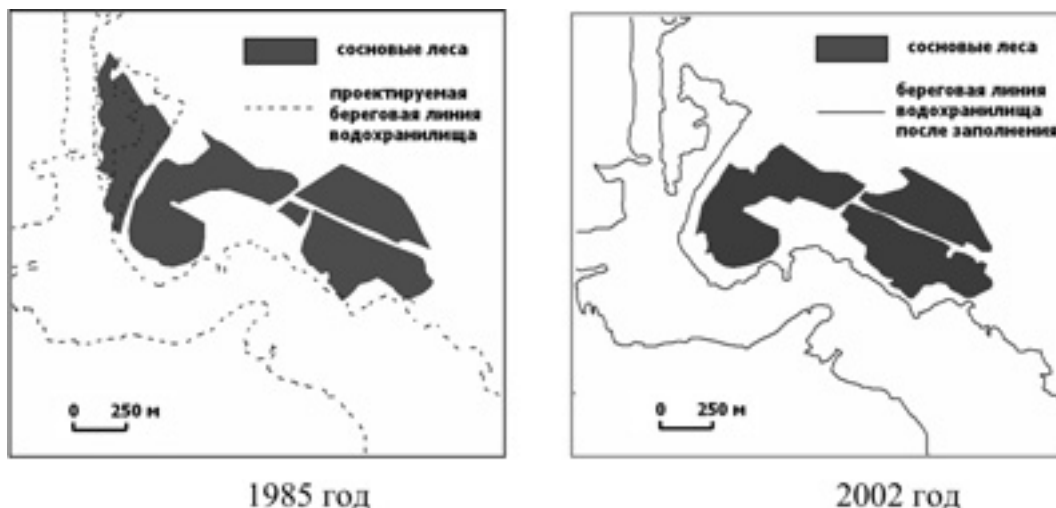


Рис. 2. Изменение площади сосновых лесов

ми лесными массивами. Вследствие этого, число лиственных лесных массивов сократилось с 29 в 1985—1986 гг. до 23 в 2002 г.

Другой важной составляющей динамики состояния лесов, помимо оценки изменения площадей, является оценка их вегетативного состояния. Решить эту задачу можно путем расчета вегетационных индексов, одним из которых является NDVI. Этот индекс представляет собой разницу интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазоне, деленную на их сумму.

NDVI показывает определенную корреляцию с некоторыми параметрами состояния насаждения, такими как индекс листовой пластинки [2, 3], продуктивность, фитомасса, угнетенность. Зависимость между этими параметрами и NDVI, как правило, не прямая и связана с особенностями исследуемой территории, ее климатическими и экологическими характеристиками. Однако, используя разность значений NDVI, полученных в разные годы, но для одного сезона, можно оценить количественную динамику изменения состояния растительности.

Необходимо отметить, что при проведении любых математических операций с разновременными изображениями, в том числе и расчете вегетационных индексов, необходимо выполнить

атмосферные радиометрические улучшающие преобразования, целью которых является корректировка влияния атмосферы, а также погрешностей, связанных с работой сенсора. Указанная задача была решена с помощью модели атмосферной коррекции, разработанной Р. S. Chavez в 1988 г. (COST метод) и усовершенствованной им в 1996 г. [4, 5]. Модель была разработана специально для атмосферной коррекции данных со спутника Landsat TM. Данный алгоритм учитывает поправки на высоту Солнца над горизонтом в момент съемки (условия освещенности), расстояние от Земли до Солнца и минимальные значения пикселей каналов изображения.

Используя векторные слои для сосновых и лиственных лесов и картосхему динамики NDVI можно рассчитать статистику для каждого отдельного лесного массива, т. е. создать базу данных интенсивности изменений, произошедших в лесах. Для каждого массива рассчитали среднее значение NDVI, максимальное и минимальное его значение, динамику NDVI, размах варьирования и стандартное отклонение. Из данных NDVI, полученных по сосновым лесам за 1985 г., вычли аналогичные показатели на 2002 г. Такие же расчеты были проведены для лиственных лесов. Картосхема изменений в со-

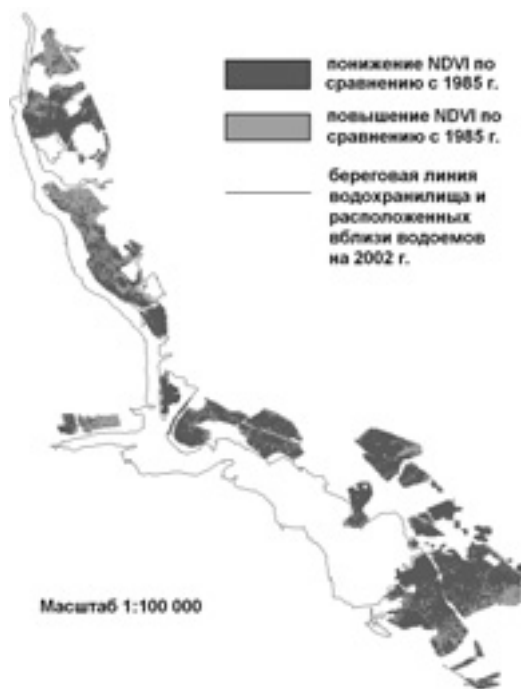


Рис. 3. Изменение величины NDVI сосновых лесов с 1985 по 2002 гг.

сных лесах показана на рис. 3. Следует отметить, что некоторые сосновые и лиственные лесные массивы были закрыты на космическом снимке густой облачностью, поэтому оценка NDVI по ним была невозможна. Картограммы, приведенные на рис. 3 и 4, не включают эти территории.

Оценка распределения изменений NDVI такова: на площади 1668,9 га значения NDVI стали ниже по сравнению со значениями в 1985 г. На территории 698,5 га значения NDVI по сравнению с 1985 г. стали выше. Необходимо отметить, что судить об изменении состояния лесов можно достоверно, если руководствоваться не просто повышением или понижением величины NDVI, а изменением его на определенную величину. За такую величину приняли значение 0,1 (по шкале NDVI от -1 до 1). Это связано с тем, что небольшие колебания NDVI могут быть вызваны рядом погрешностей, указанных выше, влияние которых, несмотря на радиометрическую коррекцию, не может быть полностью устранено. С учетом этой поправки понижение величин

ны NDVI сосновых лесов произошло на территории 1501,74 га, а повышение — на 579,15 га. На площади сосновых лесов 286,56 га изменения произошли на величину меньшую, чем 0,1. То есть, судя по показаниям динамики NDVI, на данной площади состояние лесов существенно не изменилось. Повышение значений индекса соответствует улучшению состояния древостоев, понижение — ухудшению.

Улучшилось состояние сосняков, в основном в северной части береговой зоны водохранилища (здесь интенсивность подтопления в силу геоморфологических условий значительно ниже, либо пренебрежимо мала) и на его правом берегу, где на сравнительно небольшой территории произрастают молодые сосны вне зоны подтопления. На остальной территории в подавляющем большинстве состояние сосновых лесов ухудшилось. Изменение величины NDVI лиственных лесов представлено на рис. 4.

Оценка распределения динамики NDVI лиственных лесов показала, что повышение его значений произошло на территории 1202,31 га, а понижение — на 1150,02 га. С учетом регистрации изменений на величину не меньшую, чем 0,1, картина динамики выглядит следующим образом: повышение — на

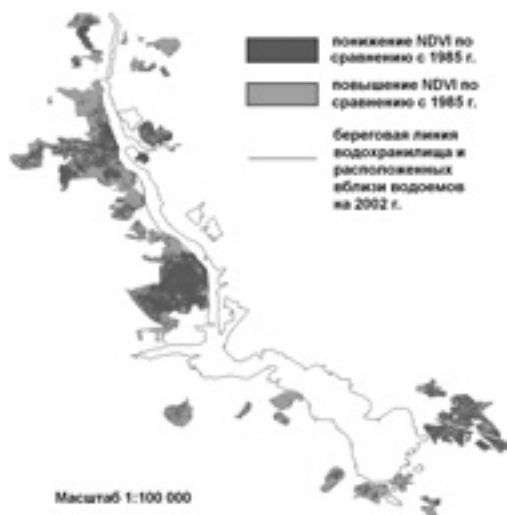


Рис. 4. Изменение величины NDVI лиственных лесов с 1985 по 2002 гг.

893,79 га, понижение — на 762,57 га. Т. е. состояние лиственных лесов, согласно динамике NDVI, улучшилось на большей площади. На остальной территории (694,64 га) состояние лиственных лесов не изменилось.

Важно отметить, что для получения достоверных результатов динамики состояния древостоев по NDVI необходима верификация данных по эталонным участкам. Т. е. по контрольным участкам проверяется соответствие понижению/повышению NDVI ухудшение/улучшение состояния насаждений. Эталонные участки выбираются в тех местах, где по снимку достоверно можно визуально определить динамику состояния древостоев. Такие участки выбрали на территории лесных массивов, прилегающих к плотине водохранилища, а также на его правом и левом берегах. По результатам оценки эталон-

ных участков понижение NDVI в сосновых лесах произошло по следующим причинам: усыхание древостоя и изреживание первого яруса в результате гибели деревьев, полное исчезновение лесных массивов. В случае усыхания древостоя уменьшение величины NDVI составило от 0,268 до 0,305. На территориях сведения лесных массивов — от 0,7 до 0,85.

Таким образом, проведенная количественная оценка динамики состояния древостоев показала, что за 15 лет после создания водохранилища ухудшилось состояние 75 % (1501,74 из 2002,35 га) сосновых лесов, находящихся в береговой зоне Белгородского водохранилища. Это произошло на фоне незначительного снижения площадей сосновых лесов. Лиственные леса претерпели меньшие изменения, чем сосновые леса.

Библиографический список

1. Природные ресурсы и окружающая среда Белгородской области / П. М. Авраменко, П. Г. Акулов, Ю. Г. Атанов и др.; под. ред. С. В. Лукина. — Белгород, 2007. — 556 с.
2. McDermid G. J. Mapping the distribution of whitebark pine (*Pinus albicaulis*) in Waterton Lakes National Park using logistic regression and classification tree analysis / G. J. McDermid, I. U. Smith // *Can. J. Remote Sensing*. — 2008. — V. 34. № 4. — P. 330—340.
3. Pontailier J. Estimation of leaf area index using ground-based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques / J. Pontailier, G. J. Hymus, B. G. Drake // *Can. J. Remote Sensing*. — 2003. — V. 29. № 3. — P. 381—387.
4. Chavez P. S. An Improved Dark-Object Subtraction Technique for Atmospheric Scattering Correction of Multispectral Data / P. S. Chavez // *Remote Sensing of Environment*. — 1988. — V. 24. — P. 459—479.
5. Chavez P. S. Image-Based Atmospheric Corrections — Revisited and Improved / P. S. Chavez // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. — 1996. — V. 62. № 9. — P. 1025—1036.