

А.И. Сахацкий (ЦАКИЗ ИГН НАН Украины)

В 1977 г. окончил Киевский государственный университет им. Т.Г. Шевченко, геологический факультет. В настоящее время — заведующий лабораторией Научного центра аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины (ЦАКИЗ ИГН НАН Украины). Доктор геологических наук.

С.А. Станкевич (ЦАКИЗ ИГН НАН Украины)

В 1986 г. окончил Киевский институт ВВС. В настоящее время — главный научный сотрудник ЦАКИЗ ИГН НАН Украины. Доктор геологических наук.

А.А. Козлова (ЦАКИЗ ИГН НАН Украины)

В 2004 г. окончила Национальный университет «Киево-Могилянская академия», факультет естественных наук. В настоящее время — научный сотрудник ЦАКИЗ ИГН НАН Украины. Кандидат технических наук.

Р. Грисбах (RapidEye AG, Германия)

В 1996 г. окончил Сибирскую государственную геодезическую академию, факультет аэрофотогеодезии. В настоящее время — старший менеджер проектов научно-исследовательской группы компании RapidEye AG. Кандидат технических наук.

Спутниковые технологии в охране биоразнообразия природно-заповедных территорий

Изменения климата, наблюдаемые в мире, отражаются на состоянии природно-заповедных территорий, в частности их биоразнообразия [1]. Поэтому странами Евросоюза всевозрастающее внимание уделяется мониторингу природно-заповедных территорий с разработкой мероприятий, способствующих адаптации среды к климатическим изменениям. Одним из наиболее системных и объемных исследований последних лет в этом направлении является международный проект HABIT-CHANGE (Adaptive Management of Climate-induced Changes of Habitat Diversity in Protected Areas), инициированный Институтом экологии и регионального развития им. Лейбница, г. Дрезден, Германия (Leibniz Institute of Ecological and Regional Development (IOER)). В проекте задействовано 17 научных институтов и других организаций (национальных природных парков, биорезерватов, научных институтов, природоохранных учреждений, и т. д.) из 9 европейских стран — Германии, Австрии, Чехии, Венгрии, Италии, Польши, Словакии, Словении и Украины.

Основная задача проекта HABIT-CHANGE заключается в выявлении механизма изменений, которые происходят с биотопами под воздействием меняющихся климатических условий, с целью адаптации существующих стратегий управления природно-заповедными территориями. При этом акцент делается на изучение биотопов, наиболее чувствительных к изменениям климата, а именно тех, которые относятся к водно-болотным комплексам, лугопастбищным угодьям, а также лесам горных районов [2].

Важной особенностью проекта является широкое использование методов дистанционного зондирования Земли и спутниковых технологий [3]. На основе материалов космической съемки и данных наземных наблюдений создается набор индикаторов, отображающих результат влияния климатических изменений на биоразнообразии природно-заповедных территорий.

Для каждой территории в качестве таких индикаторов выбраны характерные для нее чувствительные биотопы, которые достаточно достоверно рас-

познаются на спутниковых снимках. В связи с этим разработка подходов для наиболее точного определения биотопов и некоторых их параметров дистанционными методами приобретает ключевое значение. Отслеживаемые на временной серии снимков изменения в размерах или формах выбранных биотопов, фиксация смен их состояний, видимого состава или же несвоевременности сезонных проявлений позволяют судить о причинах и процессах, которыми они вызваны, их интенсивности и масштабе.

ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследований в рамках проекта НАВІТ-CHANGE на территории Украины был выбран биосферный резерват «Шацкий» общей площадью 48 977 га, который является также украинской частью трансграничного биосферного резервата «Западное Полесье». Исследования проводились учеными Научного центра аэрокосмических исследований Земли Института геологических наук НАН Украины (ЦАКИЗ) совместно со специалистами Шацкого национального природного парка (ШНПП), а также учеными Физико-механического института им. Г.В. Карпенко НАН Украины. Основную часть информационного обеспечения дистанционными данными взяла на себя компания RapidEye AG (Германия).

На территории Шацкого резервата охраняется уникальное сочетание в сложной экологической системе лесных, озерных и дюнных комплексов. Озера, которых тут насчитывается 23, площадью 6,4 тыс. га и около 1,4 тыс. га болот формируют водно-болотный комплекс, который выступает индикатором всей природной среды региона и определяет его экологическое состояние. Сами же водно-болотные экосистемы, где видовое биологическое разнообразие сохранилось на достаточном уровне, выступают регуляторами микроклимата трансграничного региона и обеспечивают стабильность природных процессов сформированных природно-территориальных комплексов [4].

Характерный для всего Западного Полесья растительный покров территории биосферного резервата отличается значительной мозаичностью биотопов, обусловленной особенностями геоморфоло-

гического строения территории, спецификой почвенного покрова и гидрологического режима. Наиболее распространенными на территории являются биотопы сосновых лесов, которые формируют в рельефе классический боровый комплекс: от сухих лишайниковых сосняков до заболоченных сфагновых сосновых лесов. В целом же леса региона играют важную роль в формировании климата региона, охране вод и почв. Болота резервата разнообразны по своим типам и растительному покрову. Преобладают здесь лесные и травяные эвтрофные болота, несколько меньшие площади занимают мезотрофные; олиготрофные болота встречаются очень редко [4].

Биотопы водно-болотного комплекса Шацкого биосферного резервата наиболее чувствительны к изменениям климата. При дополнительном воздействии осушения происходит быстрая трансформация осоковых болот в «торфянистые луга – луга – пустошные луга», что соответственно приводит к ухудшению состояния всего комплекса, снижению биоразнообразия и уменьшению природоохранной ценности. Повышение средней температуры воздуха летних месяцев, длительные периоды жаркой сухой погоды приводят к опустыниванию песчаных дюн – мест обитания редких ксерофитов и, как следствие, к увеличению площади открытых незадернованных песков. Такие условия также способствуют возрастанию пожароопасности в хвойных лесах, произрастающих на сухих песчаных почвах.

КЛАССИФИКАЦИЯ БИОТОПОВ

В качестве основной информационной основы дистанционных исследований использовались многоспектральные космические снимки Landsat ETM+ (17.07.2007) и RapidEye (22.05.2011). Обработка и классификация снимков RapidEye проводились совместно специалистами ЦАКИЗ и компании RapidEye AG.

В результате классификации снимков проведена оценка площади распространения основных классов растительного покрова в пределах Шацкого биосферного резервата. Рассматривались различные варианты проведения классификации земных покровов с интерактивным обучением. В качестве

наземных данных для создания эталонных сигнатур привлекались результаты маршрутных наблюдений и лесотаксационная информация. Сигнатуры для проведения всех вариантов классификации оценивались по одинаковым участкам обучения.

Для снимков RapidEye был рассчитан полный набор нормализованных межканальных индексов [5], что позволило обеспечить практически полную инвариантность спектральных признаков классов к аддитивным и мультипликативным искажениям регистрируемых оптических спектров, например вследствие вариаций спектральных характеристик объектов, состояния атмосферы, изменения условий освещенности и т. д.

Наиболее приемлемые результаты при классификации снимка RapidEye обеспечил алгоритм минимального расстояния от среднего (рис. 1, табл. 1) на полном наборе нормализованных межканальных индексов. Другие варианты, хотя они в целом и отличаются незначительно, содержат явные погрешности. Например, при классификации снимка RapidEye по исходным спектральным каналам некоторые участки водной поверхности классифицировались как тени от облаков или даже другие классы земных покровов (рис. 2, табл. 2).

При использовании алгоритма максимального правдоподобия на полном наборе нормализованных межканальных индексов возникала иная погрешность – класс разреженной растительности занимал значительные площади, что характерно

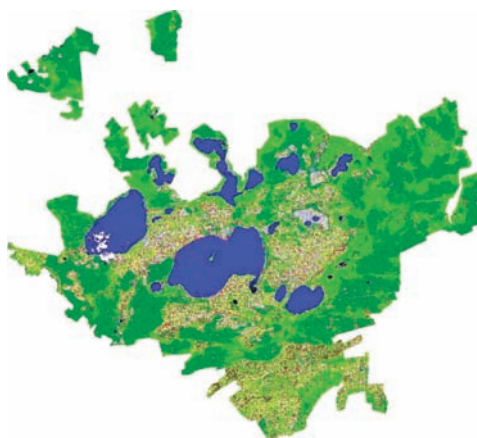


Рис. 1. Результаты классификации снимка RapidEye (22.05.2011) в пределах Шацкого биосферного резервата методом минимального расстояния от среднего на полном наборе нормализованных межканальных индексов

Таблица 1

Результаты классификации земных покровов по снимку RapidEye (22.05.2011) в пределах Шацкого биосферного резервата (использовался полный набор нормализованных индексов, 10 слоев)

№ п/п	Класс земного покрова	Площадь класса в пределах резервата (км ²)	% от общей площади
1	Хвойный лес	119,2073	24,1769
2	Смешанный лес	41,6553	8,44827
3	Лиственный лес	118,0904	23,9504

>Продолжение

4	Луга	29,58838	6,00093
5	Болотная растительность	36,4688	7,39638
6	Торфяники	22,82568	4,62936
7	Кустарники, пустоши	2,822275	0,5724
8	Залежные земли	5,595425	1,13483
9	Агроценозы, многолетние травы	31,29653	6,34737
10	Разреженная растительность	1,2889	0,26141
11	Населенные пункты (иногда разреженная растительность)	6,899675	1,39935
12	Водная поверхность	55,17478	11,1902
13	Другие классы (постиндустриальные объекты, дороги, свалки, открытый песчаный грунт и т.п.)	17,72833	3,59555
14	Облака и тени	4,42125	0,89669
Всего		493,063	—

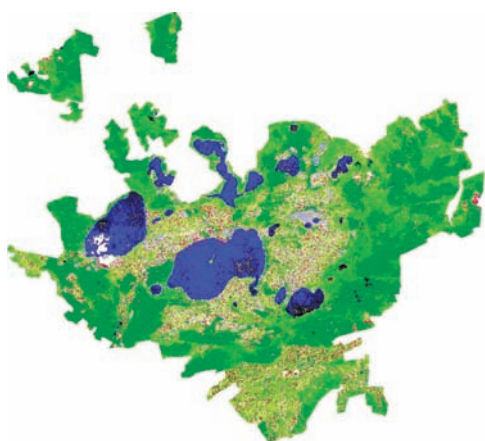


Рис. 2. Результаты классификации снимка RapidEye (22.05.2011) в пределах Шацкого биосферного резервата методом минимального расстояния от среднего на 5 исходных каналах снимка. Условные обозначения те же, что и на рис. 1

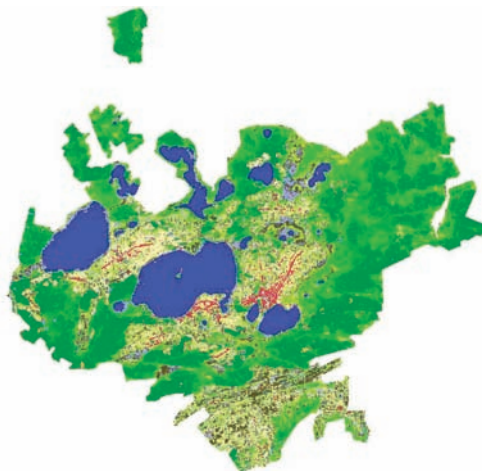


Рис. 3. Результаты классификации снимка Landsat ETM+ (17.07.2007) в пределах Шацкого биосферного резервата методом максимального правдоподобия. Условные обозначения те же, что и на рис. 1

Таблица 2

Результаты классификации земных покровов по снимку RapidEye (22.05.2011) в пределах Шацкого биосферного резервата (использовались 5 каналов снимка)

№ п/п	Класс земного покрова	Площадь класса в пределах резервата (км ²)	% от общей площади
1	Хвойный лес	127,51	25,8608
2	Смешанный лес	44,6516	9,055963
3	Лиственный лес	104,5999	21,21431
4	Луга	36,06453	7,314386
5	Болотная растительность	33,07683	6,708439
6	Торфяники	17,53223	3,555778
7	Кустарники, пустоши	2,3215	0,470832
8	Залежные земли	8,611225	1,746476
9	Агроценозы, многолетние травы	33,7218	6,839248
10	Разреженная растительность	4,09625	0,830776
11	Населенные пункты (иногда разреженная растительность)	7,124425	1,444932
12	Водная поверхность	48,00198	9,735466
13	Другие классы (постиндустриальные объекты, дороги, свалки, открытый песчаный грунт и т.п.)	15,1048	3,063463
14	Облака и тени	10,64585	2,159126
Всего		493,063	—

для данной территории. При использовании полного набора межканальных индексов более корректно классифицировались водная поверхность, облака и тени от них. Результаты классификации снимка RapidEye сопоставлялись с данными обработ-

ки Landsat ETM+ (17.07.2007) для Шацкого биосферного резервата (рис. 3, табл. 3). При классификации снимка Landsat ETM+ использовались, кроме 7 спектральных каналов самого снимка, дополнительные слои данных, а именно цифровая модель рельефа,

Таблица 3

**Результаты классификации земных покровов по снимку Landsat-7 (17.07.2007) в пределах
Шацкого биосферного резервата**

№ п/п	Класс земного покрова	Площадь класса в пределах резервата (км ²)	% от общей площади
1	Хвойный лес	94,7709	20,15
2	Смешанный лес	53,6409	11,41
3	Лиственный лес	99,3879	21,13
4	Луга	44,5149	9,466
5	Болотная растительность	31,8969	6,783
6	Торфяники	28,2231	6,001
7	Кустарники, пустоши	6,3549	1,351
8	Залежные земли	3,3084	0,703
9	Агроценозы, многолетние травы	31,7421	6,75
10	Разреженная растительность	4,6935	0,998
11	Населенные пункты (иногда разреженная растительность)	5,607	1,192
12	Водная поверхность	55,8144	11,87
13	Другие классы (постиндустриальные объекты, дороги, свалки, открытый песчаный грунт и т.п.)	10,3257	2,196
Всего		470,2806	—

нормализованный вегетационный индекс NDVI и нормализованный водный индекс NWI. Индексы NDVI и NWI вычислялись по спектральным яркостям каналов снимка Landsat ETM+:

$$NDVI = \frac{L_{NIR} - L_{Red}}{L_{NIR} + L_{Red}}$$

$$NWI = \frac{L_{Green} - L_{SWIR}}{L_{Green} + L_{SWIR}}$$

Участки обучения для создания сигнатуры при классификации были идентичными классификации снимка RapidEye.

В целом классификация по снимкам RapidEye и Landsat дают близкие суммарные значения распределения площадей основных классов растительного покрова (табл. 1–3). Некоторые различия в площадях классов RapidEye и Landsat объясняются тем, что сцена Landsat ETM (17.07.2007) не полностью охватывала территорию Шацкого биосферного резервата в северо-западной его части. Поэтому для сопоставления необходимо использовались процентные соотношения выделенных классов.

ВЫВОДЫ

Сравнительно близкие результаты классификации территории по космическим снимкам Landsat и RapidEye позволяют говорить о достаточной надежности выделения большинства биотопов.

В пределах резервата значительные площади занимают хвойные леса (около 20% по данным Landsat и 25% – по данным RapidEye), а также лиственные леса, которые охватывают более 20 % территории. Около 10% занимают смешанные леса. Таким образом, лесная растительность в пределах парка в целом охватывает более 50% площади.

Значительные часть занимают луга, а также торфяники, болотная растительность и посевы сельхозкультур (табл. 1–3).

Классификацию снимков RapidEye в дальнейшем предлагается проводить с применением полного набора нормализованных межканальных индексов и метода минимального расстояния от среднего.

Будущие исследования планируется направить на

углубленное изучение характеристик разных типов болотных, лесных и луговых растительных сообществ, проведение дополнительных заверочных работ для более детальной классификации мозаичных биотопов Шацкого биосферного резервата. Основным источником данных для классификации следует определить спутниковые снимки RapidEye благодаря их высокому пространственному и спектральному разрешению.

Данное исследование выполнено в рамках международного проекта “Adaptive Management of Climate-induced Changes of Habitat Diversity in Protected Areas” (HABIT-CHANGE) при финансовой поддержке INTERREG IV В Central Europe Programme.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дидух Я.П. Экологические аспекты глобальных изменений климата: причины, следствия, действия // Вестник Национальной академии наук Украины. – М: Академперіодика. 2009. – №2. – С.36–44.
2. HABIT-CHANGE Adaptive Management for Protected Areas. General information // <http://www.habit-change.eu/>
3. Многоспектральные методы ДЗЗ в задачах природопользования // Под ред. В.И. Лялько и М.А. Попова. – Киев: Наукова думка, 2006. - 360 с. (на украинском языке)
4. Юрчук П.В., Юрчук Л.П. Биосферный резерват «Шацкий» – составляющая международной экологической сети Западного Полесья // Состояние и биоразнообразии экосистем Шацкого национального природного парка. Материалы научной конференции (2–5 сентября 2010 г., Шацк). – Львов: СПОЛОМ, 2010. – С. 6–10 (на украинском языке)
5. Попов М.А., Станкевич С.А., Сахацкий А.И., Козлова А.А. Использование полного набора нормализованных межканальных индексов многоспектральных космических изображений при классификации покрытий ландшафта // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского, 2007. – Т. 20 (59). – № 1. – С. 175–182.