МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОСИСТЕМ БАЙКАЛЬСКОЙ ПРИРОДНОЙ ТЕРРИТОРИИ

Плюснин В.М., Сороковой А.А.

*Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия
plyusnin@irigs.irk.ru, geomer@irigs.irk.ru*

METHODS OF STUDY IN THE GEOSYSTEMS OF THE BAIKAL NATURAL TERRITORY

Plyusnin V.M., Sorokovoi A.A.

V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

Рассмотрены дистанционные методы, используемые в исследовании геосистем Байкальской природной территории. Авторами разработана методика изучения пространственной организации геосистем, основанная на получении и анализе регулярных сетей географических данных. Указаны особенности GRID-моделирования, его возможности для получения и обработки географической информации. Использование таких моделей в ГИС-проектах позволит оценивать факторы, влияющие на формирование ландшафтной структуры.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, моделирование, геосистемы

The paper considers remote sensing methods used in the study of the geosystems of the Baikal natural territory. The authors have developed a methodology for studying the spatial organization of geosystems, based on obtaining and analyzing regular networks of geographic data. They also described the features of GRID-modeling, its capabilities for obtaining and processing geographic information. The use of such models in GIS projects will make it possible to assess the factors influencing the formation of the landscape structure.

Keywords: Earth remote sensing, modeling, geosystems

Введение

Байкальская природная территория (БПТ), определена и утверждена с ее экологическими зонами – центральной, буферной и атмосферного влияния, общей площадью 386 тыс. км² [3; 4]. БПТ признается регионом особого природопользования, стратегической линией развития которой, является подчинение всей хозяйственной деятельности на этой территории – сохранению уникального водного ресурса оз. Байкал. Кроме того, особый правовой статус БПТ определяется включением оз. Байкал и его прибрежной территории в Список объектов Всемирного природного наследия ЮНЕСКО.

БПТ рассматривается как экотонная территория, находящаяся на границе таежной и степной ландшафтных зон, а также на трансконтинентальном долготном рубеже влияния основных генераторов климата Евразии – Атлантического и Тихого океанов. Здесь размещены Южно-Сибирские, Байкало-Джугджурские, Среднесибирские и Центрально-Азиатские геосистемы. Они вносят разнообразие в ландшафтную структуру, придают ей ярко выраженную природную специфику и контрастность.

Сложность структуры геосистем зависит от высоты местности, экспозиции склонов, расчлененности рельефа, мерзлотных условий, современных экзогенных процессов, густоты гидрологической сети, прихода и расхода солнечной энергии, антропогенных воздействий. Возникает необходимость изучения не только главных факторов формирования и устойчивости того или иного ландшафта, но и факторов, ведущих к изменению структуры каждого из них.

В исследованиях использовались космические снимки высокого разрешения – Landsat TM, ETM+, OLI, Terra ASTER, QuickBird, WorldView, Ресурс-О МСУ-Э, Ресурс-Ф, КФА-45, КФА-1000.

Дистанционные методы изучения геосистем БПТ

В настоящее время в сети Интернет имеется большой объем информации по космическим съемкам Земли – каталоги, позволяющие бесплатно получать информацию о наличии снимков определенного типа на конкретную территорию.

Landsat – давно (с 1972 г.) работающая программа исследования Земли. Спутники предназначены для изучения природных ресурсов Земли и решения различных проблем – наводнений, лесных пожа-

ров, извержений вулканов, последствий цунами, выпадения и таяния снега, вегетации растений, загрязнения почв и вод, динамики ледников и др.

Основные характеристики спектральных каналов отражены в табл. 1.

Таблица 1

Основные характеристики спектральных каналов Landsat-5 TM и Landsat-7 ETM+

№ канала	Название	Landsat-5 TM	Landsat-7 ETM+
		Диапазон спектра (мкм), разрешение (м)	Диапазон спектра (мкм), разрешение (м)
1	Голубой	0,45-0,52, 30	0,450-0,515, 30
2	Зеленый	0,52-0,60, 30	0,525-0,605, 30
3	Красный	0,63-0,69, 30	0,630-0,690, 30
4	Ближний инфракрасный	0,76-0,90, 30	0,775-0,900, 30
5	Средний коротковолновый инфракрасный	1,55-1,74, 30	1,550-1,750, 30
6	Длинноволновый инфракрасный тепловой	10,40-12,50, 120	10,40-12,50, 60
7	Средний коротковолновый инфракрасный	2,08-2,35, 30	2,090-2,350, 30
8	Панхроматический		0,525-0,900, 15

1 канал (голубой): наиболее чувствителен к атмосферным газам, имеет наибольшую водопроницаемость, оптимален для выявления подводной растительности, факелов газовых выбросов, мутности воды и водных осадков; хорошо отличает облака от снега.

2 канал (зеленый): чувствителен к различиям в мутности воды, охватывает пик отражательной способности поверхностей зеленых листьев, полезен для различения обширных классов растительности.

3 канал (красный): чувствителен в зоне сильного поглощения хлорофилла, хорошо распознает почвы и растительность.

4 канал (ближний инфракрасный): различает растительное многообразие, может быть использован для оконтуривания водных объектов и разделения сухих и влажных почв.

5 канал (средний или коротковолновый инфракрасный): чувствителен к изменению содержания воды в тканях листьев и почвах (отражательная способность уменьшается при возрастании содержания воды); особенно чувствителен к наличию/отсутствию трехвалентного железа в горных породах (отражательная способность возрастает при увеличении количества трехвалентного железа).

6 канал (длинноволновый инфракрасный или тепловой): датчики предназначены для измерения температуры излучающей поверхности от -100 до $+150$ °C, подходит для дневного и ночного использования; применяется для тепловой съемки: анализа влажности почв, выявление теплового загрязнения воды, бытового скопления тепла, источников городского производства тепла, инвентаризации живой природы, выявления геотермальных зон.

7 канал (средний, или коротковолновый инфракрасный): совпадает с полосой поглощения излучения гидроминералами (глинистые сланцы, некоторые оксиды и сульфаты), благодаря чему они выглядят темными (например, зоны метаморфического вытеснения глинистых сланцев в ассоциации с месторождениями меди); полезен для литологической съемки; как и 5-й канал, чувствителен к варьированию влаги в растительности и почвах [6].

Обработка спектрально-информационной информации может включать создание разнообразных комбинаций каналов съемки, подчеркивающих различные особенности территории.

Комбинации каналов данных Landsat TM/ETM+ для анализа природных и антропогенных процессов и явлений

Стандартная комбинация «искусственные цвета» – 4, 3, 2 очень популярна и используется главным образом для изучения состояния растительного покрова. Лиственный лес выглядит красным, сосновые – коричневыми, ивово-березово-тополевые леса по поймам рек отображаются розовым цветом (рис. 1).

Комбинация «естественные цвета» – 3, 2, 1 видимого диапазона выглядят похожими на то, как они воспринимаются человеческим глазом. Лесная растительность выглядит зеленой, убранные поля – светлыми, угнетенная растительность – коричневой и желтой, дороги – серыми. Эта комбинация дает возможность анализировать состояние водных объектов, оценивать глубины.

Рис. 1. Синтез 4, 3, 2 каналов LandsatETM+. Южное Приольхонье

Комбинация 7, 4, 2 дает великолепный результат при анализе опустыненных территорий, используется для изучения сельскохозяйственных земель и водно-болотных угодий. Сгоревшие участки лесов выглядят ярко-красными, используется для изучения динамики пожаров и пост-пожарного восстановления растительности. Используется при обнаружении и дифференциации инженерно-геологических процессов.

Комбинация 4, 5, 3 отображает лесную, луговую, кустарниковую растительность в различных оттенках коричневого, зеленого и оранжевого цветов. Дает возможность анализа влажности почв при изучении сельскохозяйственных земель и позволяет четко различить границу между водой и сушей.

Часто в географических исследованиях используется синтез 5, 4 и 3 каналов, который дает очень много информации и цветовых контрастов (рис. 2). Лесная растительность в зависимости от породного состава, кустарникового яруса и напочвенного покрова на снимках выглядит различными оттенками зеленого, коричневого и синего цвета. Отлично дешифрируются сельскохозяйственные угодья по выращиваемым культурам. Широко используется при анализе структуры лесных сообществ, их экологического состояния. Авторами эта комбинация использовалась также и при выделении гольцовых геосистем, их подразделения на альпинотипные, субальпинотипные, гольцово-курумовые, гольцово-задернованные и кустарниковые.

Рис. 2. Синтез 5, 4, 3 каналов LandsatETM+. Село Каменка Усть-Ордынский Бурятский округ

Методы обработки многозональных изображений представлены линейными комбинациями спектральных каналов с коэффициентами, полученными на основе полевых измерений и отношениями яркостей спектральных каналов, называемыми вегетационными индексами.

Расчет нормализованного разностного вегетационного индекса

Расчет нормализованного разностного вегетационного индекса (NDVI) – количественного показателя фотосинтетически активной биомассы, базируется на двух наиболее стабильных участках спектральной кривой отражения сосудистых растений: красной области спектра (0,6 – 0,7 мкм) – максимуме поглощения солнечной радиации хлорофиллом, и инфракрасной области (0,7 – 1,0 мкм) – максимальном отражении клеточных структур листьев. Высокая фотосинтетическая активность ведет к меньшему отражению в красной области спектра и большему в инфракрасной. NDVI вычисляется как отношение измеренных значений спектральной яркости в красной (red) и инфракрасной (nir) зонах спектра по формуле $NDVI = (nir - red) / (nir + red)$ [5]. Плотность растительности (NDVI) в определенной точке изображения равна разности интенсивностей отраженного света в красном и инфракрасном диапазонах, деленной на сумму их интенсивностей. Увеличение значения NDVI от 0 до 1 свидетельствует об увеличении фитомассы.

GRID-моделирование

Пространственное моделирование, модели рельефа и их анализ становятся неотъемлемой частью исследований в науках о Земле, экологии, земельном кадастре и инженерных проектах. Под *цифровой моделью географического объекта* понимается определенная форма представления исходных данных и способ их структурного описания, позволяющий восстанавливать объект путем интерполяции, аппроксимации или экстраполяции [1]. Относительно рельефа такая модель называется цифровой моделью рельефа (ЦМР). Получается она чаще всего путем интерполяции оцифрованных изолиний с топографических карт. Модель, представляющая собой регулярную матрицу значений высот, полученную при интерполяции исходных данных со значениями интерполированной величины в каждой ячейке матрицы, называется GRID-моделью.

На первом этапе работ по изучению геосистем БПТ проводилась подготовка электронной топографической основы. В MapInfo изолинии высот были перекодированы в точечные объекты. Все операции в этой программе осуществляют либо создание, либо анализ сетей. В каждой точке решетки, называемой узлом сети, величина признака рассчитывается по известным значениям ближайших исходных точек.

GRID-модель БПТ в масштабе 1:1 000000 представляет собой массив данных по точкам с регулярным шагом 2 км. Всего на БПТ было получено 81294 точки [2]. Информация, по факторам анализа содержится в 16 столбцах (высота местности, экспозиция склонов, сумма температур воздуха выше 0 и 10°C, годовая сумма осадков, мерзлотные условия и др.) и 81294 строках. Были подсчитаны количество ландшафтных контуров, средняя площадь контура, площадь геоба от общей площади БПТ, периметр ландшафтных контуров и др. (табл. 2).

Таблица 2

Количественные показатели геосистем и условий их распространения на БПТ

Геом	H cp	t cp	Ocp	n	S	S cp	S %	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гольцовые альпинотипные и субальпинотипные	1650	784	784	173	7222	42	2	5415
Гольцовые тундровые и кустарниковые	1531	856	703	325	23595	73	7	15770
Склоновые и долинные лиственничные редуцированного развития кедрово-стланиковые лишайниковые	1293	941	598	190	12067	64	4	8405
Склоновые лиственничные ограниченного развития мохово-багульниковые	1088	1188	409	215	31660	147	10	16062
Межгорных понижений и долин лиственничные ограниченного развития моховые	723	1103	400	33	3444	104	1	2188
Склоновые и межгорных понижений и долин лиственничные с березой и тополем оптимального развития кустарничково-моховые и травяные	1109	1248	385	370	55093	149	17	28849
Склоновые и долинные темнохвойные редуцированного развития	1273	938	601	171	10937	64	3	7572

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Склоновые темнохвойные ограниченного развития	1107	1161	507	136	26203	193	8	12094
Межгорных понижений и долин темнохвойные ограниченного развития	798	1247	537	103	17240	167	5	9191
Склоновые темнохвойные с тополем, березой и ольхой оптимального развития кустарничково- травяные	907	1127	561	46	6057	132	2	3169
Склоновые сосновые травяные с подлеском из рододендрона даурского	834	1407	347	283	49292	174	15	24061
Плакорные лиственничные ерниковые	632	1417	415	17	2850	168	1	1335
Склоновые возвышенностей темнохвойные мелкотравно-зеленомошные	916	1178	480	110	11040	100	3	6150
Подгорные наклонных равнин сосновые багульниково-брусничные и рододендровые	727	1439	348	74	11419	154	3	5793
Равнинные и днищ котловин сосновые и сосново-лиственничные травяно-кустарниковые	613	1501	358	68	11599	171	4	6185
Низинные лугово-болотные в сочетании сосново-березово-лиственничными лесами	760	1309	369	132	13072	99	4	7389
Подгорные лиственничные кустарничково-моховые	833	1353	319	25	4081	157	1	2124
Горные сухостепные литофильные	790	1626	277	70	8159	115	2	4447
Подгорные лугово-степные в сочетании с березовыми и лиственничными травяными лесами	646	1695	318	10	3972	397	1	1865
Котловинные сухо-степные мелкодерновинно-злаковые литофильные	745	1560	290	123	13693	111	4	7811
Низинные, долинные и дельтовые остепненно-луговые иногда с солончаками	708	1568	330	43	6078	141	2	3418

Примечание: Н ср – средняя абсолютная высота, м; t ср – среднее значение суммы температур за период с температурами выше 10°; О ср – среднее годовое количество осадков, мм; n – количество контуров; S – площадь, км², S_{ср} – средняя площадь контура, S% – площадь геоба от общей площади БПТ, %, Р – общий периметр ландшафтных контуров, км.

Методический прием, основанный на анализе регулярных сетей компонентов геосистем, природных факторов, формирующих геосистемы и самих геосистем, позволил создать базу данных для геоинформационной системы «Ландшафтно-типологическая структура Байкальской природной территории». База данных содержит количественные характеристики, сведенные в таблицы формата MapInfo и Excel.

GRID-моделирование является эффективным средством получения, обработки и хранения пространственных данных. Использование таких моделей в ГИС-проектах позволит по-новому оценивать и картографировать территории, легко переходить при ландшафтном анализе на разные уровни обобщения.

Список литературы

1. Мусин О. Р. Цифровые модели для ГИС // Информ. бюл. ГИС-Ассоциации. 1998. № 4 (16). С.30.
2. Плюснин В. М., Сороковой А. А. Геоинформационный анализ ландшафтной структуры Байкальской природной территории. Новосибирск : Гео, 2013. 187 с.
3. Распоряжение Правительства Российской Федерации №1641-р от 27.11.2006 г.
4. Федеральный закон «Об охране озера Байкал» № 94-ФЗ от 1 мая 1999 г.
5. Rouse J. W., Haas R. H., Schell J. A., Deering D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ETRIS. Proceedings of the Third ETRIS Symposium, NASA SP353, Washington, DC, 1973. pp. 309-317.
6. <http://gis-lab.info/qa/landsat-bandcomb.html>