

Исследование растительности Республики Хакасия на основе интеграции наземной информации и спутниковых данных

А.И. Шуркина

*Институт биофизики СО РАН
660036 Красноярск, Академгородок
E-mail: ashurkina@yandex.ru*

В работе представлены результаты исследований растительного покрова окрестностей оз. Красное Республики Хакасия. Интеграция наземных геоботанических исследований и технологий дистанционного зондирования дала возможность распределить исследованные сообщества в группы, определяющиеся условиями увлажнения и запасом наземной фитомассы. Комбинированное использование NDVI и NDWI позволило оценить особенности пространственного распределения доминирующих растительных сообществ и картировать современный растительный покров.

Введение

Территория республики характеризуется высоким природным потенциалом и степенью биоразнообразия и включает природные комплексы разного типа, в том числе и степные экосистемы, являющиеся одними из самых интересных островных степей АСЭР [1]. С другой стороны Хакасия является регионом, занимающим важное место в с/х производстве Сибири. Интенсивное использование природных ресурсов, развернувшееся с 50-х годов прошлого столетия, изменило состояние растительного покрова и его значение в структуре землепользования республики [2]. Созданная десятки лет назад карта растительного покрова Хакасии и ландшафтная карта агроприродного потенциала геосистем Минусинской котловины не отражают современное состояние растительных ресурсов, и тем более не дают возможность проследить основные тенденции в динамике биолого-экологических параметров растительного покрова. В то время как, карта современной растительности необходима для объективного и эффективного подхода к совершенствованию методологии рационального природопользования и повышения уровня и качества землепользования республики.

Современные технологии, основанные на использовании спутниковых данных, обладая рядом значительных преимуществ над наземными методами, позволяют решить многие представленные выше задачи. Признано, что космические снимки содержат материал исключительной ценности для изучения ландшафтной оболочки земли и ее отдельных компонентов, в том числе и растительности. Опыт геоботанических исследований с применением космических материалов показал, что прямое дешифрирование растительности только по отражательной способности затруднительно. Информация о растительности может быть извлечена из космического снимка путем анализа связи биолого-экологических параметров растительных сообществ и спектральных данных. Для адекватной интерпретации аэрокосмических данных необходимо привлечение большого объема тематической информации об объектах мониторинга, включающей картографические материалы (почвенные, геоботанические карты и т.д.), данные наземных съемок и многое другое. Следовательно, необходимо совмещение спутниковых и наземных исследований в единый комплекс.

Территория исследования входит в геоботаническую провинцию Минусинской котловины, Приабаканский (Центрально-Хакасский) степной округ, который занимает основное пространство Южно-Минусинской впадины и небольшой участок Сыдо-Ербинской впадины. Исследуемый участок находится в пяти километрах западнее с. Краснозёрное в окрестностях водохранилища "Красное" (оз. Красное) Усть-Абаканского района. Озеро расположено в плоском понижении между куэстовыми грядами. Степная зона, охватывающая территорию исследования, характеризуется континентальным климатом с большой амплитудой колебания средних месячных температур

(до 40° С). Зональные почвы – каштановые; на южных склонах каштановые неполноразвитые защебененные, с выходами горных пород; на северных склонах каштановые солонцеватые, солонцы. К окраинам озера приурочены лугово-болотные и луговые солончаковые почвы, а также луговые солончаки. Растительные ресурсы используются как пастбищные угодья [3].

Цель настоящей работы – практическая реализации подхода, позволяющего на основе экологического профилирования и многоспектральной космической информации среднего разрешения картографировать современный растительный покров Хакасии.

Материалы и методы

В пределах исследуемой территории были заложены 3 трансекты, ориентированные от озера в юго-восточном, северо-западном и южном направлениях, протяженностью 2,33, 0,76 и 1,7 км соответственно. Для определения типов растительных сообществ и их распределения на территории исследования использовались снимки Landsat 7 ETM+ за 4 сентября 2001 г. и 2 сентября 2006 г. Обработка и анализ изображений проводился с помощью ENVI 4.0. При выявлении экологических параметров фитоценозов использовались шкалы Л.Г. Раменского (1971) [4] и И.А. Цаценкина (1974) [5], скорректированные к условиям Хакасии (Зоркина, 1998-2005) [6].

Результаты и их обсуждение

Исследуемая территория характеризуется большой емкостью местообитаний, а, следовательно, и разнообразием растительных сообществ. Данные фитоценозы отличаются друг от друга большим числом признаков, а именно проективным покрытием, соотношением экологических групп, приуроченностью к формам рельефа, надземной фитомассой, сезонной динамикой и т.д. В каждом растительном сообществе присутствуют различные феноритмотипы, и их состав, а степень участия каждого из них влияют на ход сезонной динамики сообщества, а значит его аспект (внешний вид фитоценоза), надземную фитомассу, соотношение биологических групп (злаки, полыни и т.д.). Все это позволяет интерпретировать на космических изображениях если не растительные сообщества, то ассоциации их комплексы и сочетания.

Приведем краткую характеристику некоторых растительных сообществ отмеченных на профилях (рис. 1).

Разнотравно-злаково-ковыльное растительное сообщество с общим проективным покрытием (ПП) – 40-50 % Общее ПП довольно низкое – 50%. В травостое можно выделить два яруса. 1-й ярус высотой 40 см сложен *Stipa capillata*, *Koeleria cristata*, *Festuca valesiaca*. 2-ой ярус высотой 12-14 см представлен *Cymbaria daurica*, *Potentilla bifurca*, *Allium vodopjanovae*, *Convolvulus ammani* и др. видами. Видовая насыщенность фитоценоза составляет 14 видов на 100 м². Количество ярусов – 2. Данное сообщество подвержено большой пастбищной нагрузке в связи, с чем упрощается видовое разнообразие и структура травостоя, появляются сорные виды.

Злаково-разнотравное (опустыненное) приуроченное к крутым (40-45°) южным склонам с общим ПП - 30 – 35%. Общее количество видов на площадке 100 м² – 23. Основные виды: *Agropyron cristatum*, *Artemisia frigida*, *Ceratoides papposa*, *Potentilla acaulis*.

Данное сообщество еще полностью не сформировано, поскольку приурочено к сильно защебененным почвам.

Разнотравное растительное сообщество. Общее проективное покрытие (ПП) – 30-35 %. Высота травостоя 23-25 см. Наибольшее ПП характерно для *Orostachys spinosa*, *Carex pediformis*, *Potentilla sericea*, *Vupleurum scorzonrifolium*, *Aster alpinus*, *Youngia tenuifolia*, *Gentiana decumbens*. Видовая насыщенность на 100 м² – 21-23 вида.

Полынно-злаковое с чием растительное сообщество Общее проективное покрытие (ПП) – 80-90 %. Основные виды: *Achnatherum splendens*, *Puccinellia tenuissima*, *Heteropappus altaicus*, *Artemisia frigida*, *Leymus ramosum*.

Осочково-змеевково-злаковое растительное сообщество. Общее проективное покрытие (ПП) – 50-65 %. Количество ярусов - 2. Основные виды: *Cleistogenes squarrosa*, *Carex duriuscula*, *Koeleria cristata*, *Avenula schelliana*.

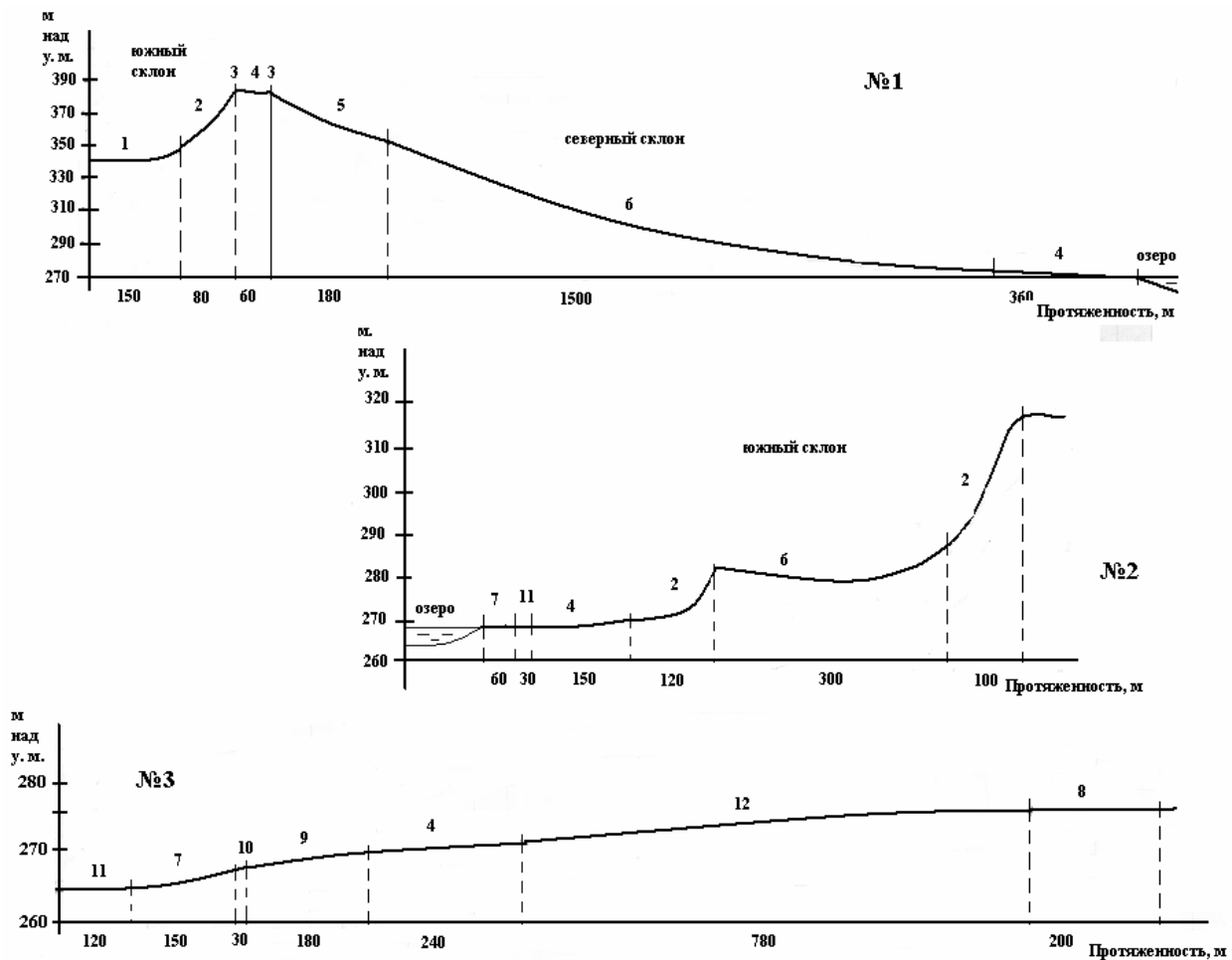


Рис. 1. Размещение растительных сообществ на профилях

в окрестностях оз. Красное. Растительные сообщества: 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 3 – разнотравное (нетрофитное), 4 – польнно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 9 – бескильницево-полевицевое; 10 – сведовое; 11 – тростниковое; 12 – бурьянистая залежь

Разнотравно-злаково-ковыльное с караганой на склоне северной экспозиции с общим ПП - 70-85%. Количество видов на 100 м² – 25. Травостой 4-х ярусный. 1-й ярус высотой 100-115 см представлен генеративными побегами *Achnatherum splendens* (7-8%). 2-ой ярус высотой 60-70 см. представлен *Stipa capillata*, *Phlomis tuberosa*. Высота третьего яруса 20-30 см. Наиболее обильны *Koeleria cristata*, *Festuca valesiaca*, *Allium strictum*, *Galium verum*, *Heteropappus altaicus*. 4-й ярус высотой 10-15 см сложен *Potentilla bifurca*, *Allium vodopjanovae*, *Cleistogenes squarrosa*. Описываемое растительное сообщество является типичным для солонцеватой Уйбатской степи и занимает большие площади. В настоящее время состояние сообщества оценивается как среднее, однако около населенных пунктов подвержено сильной антропогенной нагрузке.

Бескильницево-полевицевое растительное сообщество с общим проективным покрытием (ПП) – 90-95 % приурочено к засоленным почвам. Количество ярусов – 2. Основные виды: *Agrostis australis*, *Puccinellia tenuissima*. Надземная фитомасса исследуемых растительных сообществ варьирует от 11,5 ц/га в злаково-разнотравном сообществе до 56,4 ц/га в тростниковом фитоценозе. Для исследуемых растительных сообществ был высчитан вегетационный индекс

(NDVI) [7]. Из рис. 2. видно, что в основном значения NDVI перекрываются между собой. Наиболее различимы злаково-разнотравное и тростниковое сообщества, представляющие собой крайние противоположности как по запасу надземной фитомассы, так и по соотношению ботанических групп. С увеличением доли разнотравья и длительно вегетирующих злаков значения NDVI увеличиваются. Таким образом, на основе карт вегетационного индекса возможно выделение длительно вегетирующих, разнотравных растительных сообществ, являющихся высокоурожайными пастбищами и слабо трансформированными антропогенной деятельностью сообществами.

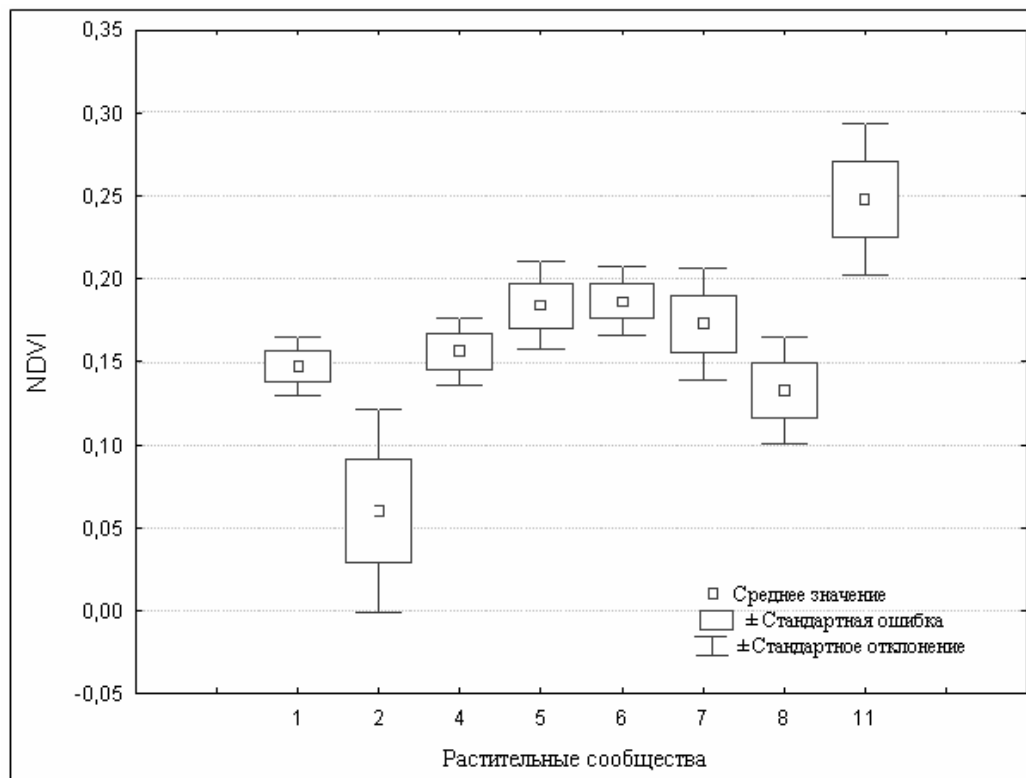


Рис. 2. Вегетационный индекс (NDVI) некоторых растительных сообществ в окрестностях оз. Красное (2 сентября 2006 г.). Растительные сообщества: 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеяково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 11 – тростниковое

Основным экологическим фактором, влияющим на распределение растительности в степной зоне, является увлажнение. Оводненность растений, находящихся в разных условиях увлажнения и принадлежащих к разным экологическим группам, неодинакова. Резко выделяется группа узколистных дерновинных злаков, содержащих наименьшее количество влаги. У представителей разнотравья оводненность тканей значительно выше [8]. Кроме того, отдельные экологические типы существенно различаются по продолжительности вегетации. Так группа мезофитов характеризуется медленными темпами развития и вегетируют в течение всего вегетационного периода вследствие того, что обитают в условиях достаточной влагообеспеченности. Ксерофиты являются самыми скороспелыми и быстрее других растений заканчивают вегетацию. Таким образом, по степени содержания воды растительные сообщества значительно различаются между собой и распределяются в пространстве в зависимости от увлажнения местообитания. Это, в свою очередь, отражается на соотношении экологических групп растений по отношению к фактору увлажнения, величине проективного покрытия, надземной фитомассе и отражательной способности, как отдельных растений, так и фитоценозов в целом.

Анализ растительных сообществ методом экологических шкал показал, что для сообществ приуроченных к южным склонам, таких как злаково-разнотравное (опустыненное), разнотравно-

злаково-ковыльное, характерно сухостепное увлажнение 37-39 (табл. 1). На южных склонах и в верхней части северных доминирует группа ксерофитов. В непосредственной близости к озеру начинает преобладать мезофитная растительность.

Таблица 1. Отношение растительных сообществ в окрестностях оз. Красное к фактору увлажнения

| Растительное сообщество | Увлажнение (У) |
|---|----------------|
| разнотравно-злаково-ковыльное | 39 |
| злаково-разнотравное (опустыненное) | 37 |
| разнотравное (петрофитное) | 38 |
| полынно-злаковое с чием | 42 |
| осочково-змеевково-злаковое | 44 |
| разнотравно-злаково-ковыльное с караганой | 47 |
| колосняковое | 41 |
| ячменное (солончаковое) | 49 |
| тростниковое | 90 |

Степень поглощения падающей солнечной энергии растительностью в среднем инфракрасном (ИК) диапазоне (1,5-3,0) является функцией общего количества воды, имеющейся в растении. При уменьшении содержания влаги отражательная способность в этом диапазоне заметно увеличивается. Нормализованный дифференциальный водный индекс NDWI (Normalized difference water index) основанный на отражательной способности растительности в этом диапазоне позволяет выявить вариации растительного покрова, связанные с условиями увлажнения [9]. Наиболее низкие значения водного индекса характерны для злаково-разнотравного фитоценоза (Ф2), характеризующегося низким проективным покрытием, урожайностью и преобладанием группы ксерофитов (растений, характеризующихся низкой оводненностью листьев) (рис. 3). По мере увеличения увлажнения и уменьшения доли ксерофитных злаков водный индекс увеличивается. Максимальные значения NDWI отмечаются в тростниковом сообществе (Ф8), приуроченном к приозерному понижению.

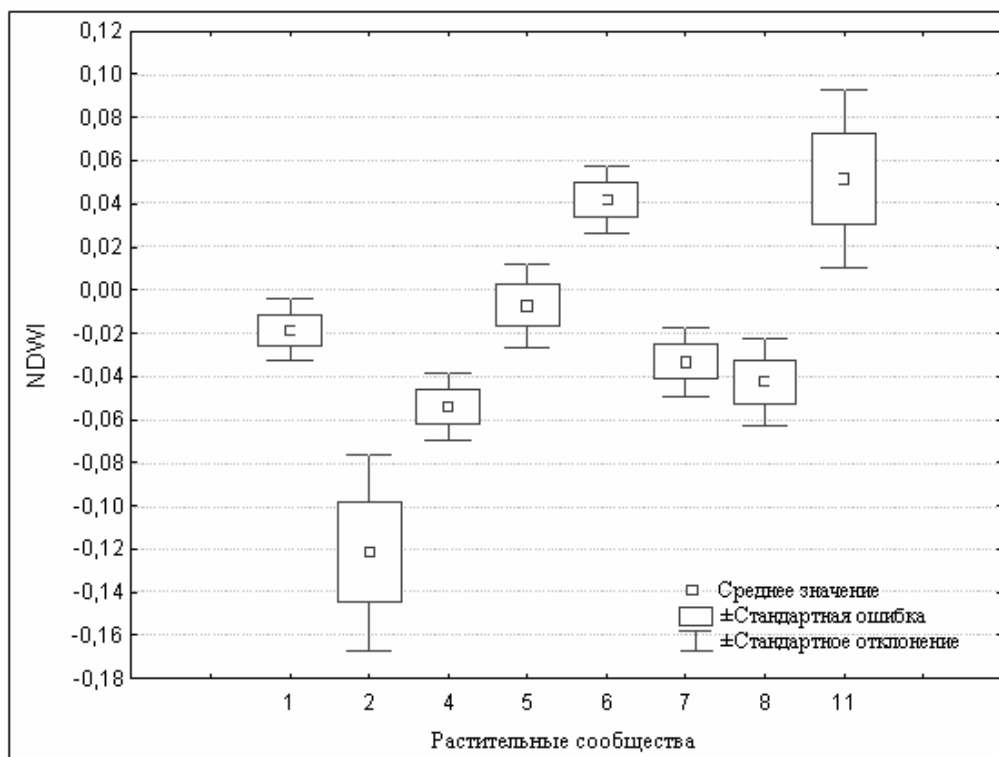


Рис. 3. Водный индекс (NDWI) некоторых растительных сообществ в окрестностях оз. Красное (2 сентября 2006 г.). Растительные сообщества: 1 – разнотравно-злаково-ковыльное, 2 – злаково-разнотравное (опустыненное), 4 – полынно-злаковое с чием; 5 – осочково-змеевково-злаковое, 6 – разнотравно-злаково-ковыльное с караганой, 7 – ячменное, 8 – колосняковое; 11 – тростниковое

Результаты проведенных нами исследований показывают, что использование зависимости между отношением растительных сообществ к фактору увлажнению и их спектральными характеристикам, позволяют путем интерполяции картировать территории неохваченные наземными исследованиями.

Такого рода исследования не только дают возможность создавать весьма богатые по содержанию тематические карты, но и позволяют улучшать достоверность интерпретации спутниковой информации.

Литература

1. *Бытотова С.В.* Эндемики-реликты флоры левобережной части Назаровско-Минусинской межгорной впадины. Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока. Чтения памяти Л.М. Черепнина: мат. Четвертой Российской конф. / Е.М. Антипова (отв. ред.); ред. кол.; Краснояр. гос. пед. ун-т. – Красноярск, 2006. 380 с.
2. *Волкова В.Г., Кочуров Б.И., Хакимзянова Ф.И.* Современное состояние степей Минусинской котловины. Новосибирск: Наука, 1979. 94 с.
3. Растительный покров Хакасии. Под ред. А. В. Куминовой. Новосибирск: Наука, 1976. 421 с.
4. *Раменский Л.Г.* Избранные работы: проблемы и методы изучения растительного покрова. Л., Наука, 1971. 333 с.
5. *Цаценкин И.А.* Методические указания по экологической оценке кормовых угодий лесостепной и степной зон Сибири по растительному покрову. М., 1974. 60 с.
6. *Фитоценология: Учебно-методическое пособие для студентов.* Сост. Т.М. Зоркина. Абакан: Изд-во ХГУ, 2003. 48 с.
7. *Paruelo Jose M., Lauenroth William K.* Regional patterns of normalized difference vegetation index in north American shrublands and grasslands // *Ecology*. 1995. 76(6). P.1888-1898.
8. *Горшкова А.А.* Биология степных пастбищных растений Забайкалья. Отв. ред. В.Н. Голубев. М.: Наука, 1966. 271 с.
9. *Airey R.S., Maktav D., Ellis G.P.* Using satellite data to monitor grassland drying for fire prevention purposes // *Исследования Земли из космоса*, 1996. №4. С.101-106.