



УДК 910.1:528.77

Методика оценки нарушенности растительности Южного Прибайкалья с использованием космических снимков и ландшафтной карты

Е. А. Истомина

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН

Аннотация. При мониторинге и оценке состояния растительности и ландшафтов в целом часто не берется в рассмотрение информация об их коренном (потенциальном, ненарушенном) состоянии. В данном исследовании разработан и проиллюстрирован метод экспресс-оценки нарушенности растительности покрова с использованием космических снимков и ландшафтной карты. Ландшафтная карта применяется как инвариантная основа мониторинга, так как на ней отображается информация о коренном состоянии компонентов ландшафта (в том числе растительности), т. е. том состоянии, в которое вернется геосистема при отсутствии антропогенных и природных нарушений. Для геосистем Южного Прибайкалья выделяются их основные переменные состояния: участки без растительности или со скудной растительностью (гольцы, свежие гари, пастбища и сенокосы), травяные и травяно-кустарниковые сообщества, лиственные леса, светлохвойные леса, темнохвойные леса. Для каждого типа (группы фаций) ландшафтной карты юга Восточной Сибири (М 1 : 1 500 000) определяются возможные стадии восстановительных сукцессий и коренное состояние, в результате чего получена карта коренного (потенциального, восстановленного) состояния ландшафтов территории. Производится необучаемая классификация космического снимка Landsat MrSID методом ISODATA с выделением вышеперечисленных классов. Получена карта современного состояния ландшафтов. По разнице этих двух геоизображений определяется степень нарушенности растительного покрова территории, строится карта нарушенности. Из представленного на карте можно сделать вывод, что по состоянию на 2000 г. преобладающая часть территории является ненарушенной. Участки с разной степенью нарушенности приурочены в основном к побережью оз. Байкал, а также выположенным котловинным территориям.

Ключевые слова: обработка космоснимков, геоэкологический мониторинг, аэрокосмический мониторинг, инвариант, ландшафтная карта.

Введение

Проблема регулярной оценки состояния растительного покрова и ландшафтов в целом является одной из задач геоэкологического мониторинга. В последние десятилетия активно развиваются методы мониторинга окружающей среды и, в частности, растительности и лесов с использованием космических снимков. Большое количество исследований посвящено

изучению влияния засухи на лесные экосистемы [9], мониторингу тропических [10] и бореальных [8] лесов, глобальному мониторингу лесов [7]. В большинстве таких работ с использованием NDVI (нормализованный относительный индекс растительности – простой количественный показатель количества фотосинтетически активной биомассы), других индексов и метрик, а также методов автоматической классификации снимков производится оценка состояния растительности, создаются карты изменения растительного покрова (выделяются участки, где лес перешел в нелес и наоборот, и т. д.). Однако в исследованиях редко принимается во внимание коренное состояние геосистем.

При оперативном мониторинге трансформации (отклонения от ненарушенного состояния) геосистем необходимо владеть информацией об их коренном (ненарушенном, потенциальном) состоянии. Такое положение требует введения в систему мониторинга дополнительной информации, в качестве которой может использоваться ландшафтная карта территории как инвариантная основа мониторинга. Традиционно на ландшафтных картах отображается не только информация о современном состоянии компонентов ландшафта (в том числе растительности), но и об их коренном состоянии, т. е. том состоянии, в которое вернется геосистема при отсутствии антропогенных и природных нарушений.

В качестве такой основы для мониторинга могут также использоваться карты потенциальной растительности, восстановленной растительности и т. д. Вопросам мониторинга на ландшафтной основе, ландшафтному мониторингу, использованию ландшафтных карт для геоэкологического мониторинга и др. [1; 3–6] уделяется внимание в основном в русскоязычной литературе, по-видимому, ввиду сильных российских ландшафтных традиций. Это также может быть обусловлено наличием на территории России (в отличие от европейских государств с длительной историей хозяйственного освоения) природных (естественных) ландшафтов.

В данной работе ставится задача разработки метода экспресс-оценки современного состояния растительности Южного Прибайкалья с использованием материалов дешифрирования космических снимков и ландшафтной карты территории, который может быть применен при мониторинге состояния растительности и ландшафтов.

Объект, материалы и методы исследования

В качестве объекта исследования выбрана территория Южного Прибайкалья. Основной особенностью Прибайкалья, как и других горных территорий, является контрастность природных условий, большое разнообразие ландшафтных комплексов. Здесь соприкасаются два крупных региона субконтинентов Северной Азии – Байкало-Джугджурская и Южно-Сибирская физико-географические области; сочетаются три типа природной среды – тундровый, таежный и степной; представлен широкий спектр ландшафтов – гольцовые, подгольцовые, горно-таежные, горно-лесные, горно-лесостепные (подтаежные), горно-степные, горно-сухостепные и опустыненно-степные

[2]. На рассматриваемой территории Южного Прибайкалья представлены гольцовые, горно-таежные темнохвойные (кедровые и кедрово-пихтовые), горно-таежные и подтаежные светлохвойные (сосновые и лиственничные), а также степные геосистемы [2]. Территория подвергается воздействию пожаров, рубок, а также сельскохозяйственной трансформации (пашни, пастбища, сенокосы). Все это позволяет на сравнительно небольшой площади исследовать большое разнообразие ландшафтов, а также их переменных состояний и стадий восстановительной сукцессии.

Систему мониторинга составляют три основных блока: исходная информация в виде одновременных многоканальных космоснимков; ландшафтно-типологическая карта территории; база данных карты, содержащая набор переменных состояний для каждого типа геосистем.

На снимках неразличимы переменные состояния одних геосистем и коренные состояния других – например, естественные степные участки и остепненные в результате антропогенной трансформации зоны; коренные светлохвойные леса и светлохвойные стадии восстановления темнохвойной тайги. Эта проблема решается с использованием ландшафтной карты: ландшафтная принадлежность контуров задает набор состояний, в которых они могут находиться, и степень отклонения каждого состояния от коренного.

Для определения коренного состояния ландшафтов использовалась Карта ландшафтов юга Восточной Сибири, которая является ландшафтно-типологической картой и составлена в масштабе 1 : 1 500 000 на уровне групп фаций. Классификация геосистем при картографировании осуществлена на основе разработанной в Институте географии СО РАН таксономической системы иерархических подразделений природной среды [2], которая включает следующие классификационные единицы: класс геомов, группа геомов, геом, класс фаций, группа фаций. Под классами фаций понимаются варианты геомов, находящиеся под влиянием определенного ландшафтообразующего фактора. Группы фаций отражают факторальную динамику, т. е. изменение геосистемы по значению этого фактора. Группа коренных фаций в меньшей степени находится под влиянием изменяющего фактора уровня класса фаций (сублитоморфного, субгидроморфного и т. д.) и в большей степени проявляет свойства класса фаций, тогда как группа серийных фаций находится под гипертрофированным воздействием видоизменяющего фактора и почти не сохраняет свойств класса фаций.

В простейшем варианте для ландшафтов Прибайкалья выделялись следующие переменные состояния геосистем: участки без растительности или со скудной растительностью (гольцы, свежие гари, пастбища и сенокосы) (1), травяные и травяно-кустарниковые сообщества (2), лиственные леса (3), светлохвойные леса (4), темнохвойные леса (5). Ненарушенное состояние (1–5) определялось для каждой группы фаций, однако за редким исключением оно совпадало для всех групп фаций одного геома.

Современное состояние ландшафтов определялось по космическому снимку после его классификации. Для анализа использовался снимок Landsat в формате MrSID. Снимок в данном формате представляет собой трехка-

нальную (комбинация каналов 7-4-2) мозаику из нескольких сцен Landsat 7 ETM+ за летние периоды 2000–2002 гг. Удобство данного формата состоит в том, что одно изображение покрывает всю исследуемую территорию и содержит наиболее информативные для дешифрирования растительности каналы.

Для классификации снимка в данной работе используется метод ISODATA (итерационная самоорганизующаяся методика анализа данных – Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique). Данный метод основан на кластерном анализе и применяется для классификации без обучения (безэталонной классификации). Для формирования кластеров используется формула минимального спектрального расстояния.

Алгоритм обработки содержит следующие этапы: а) для каждой типологической единицы ландшафтной карты определяется коренное (потенциальное, восстановленное) состояние k (1–5); б) на снимок накладывается ландшафтная карта и для каждого ее контура методом необучаемой классификации по снимку определяется современное состояние p (1–5); в) для каждого контура карты вычисляется степень отклонения его современного состояния от коренного $o = r(k - p)$, где r – коэффициент, индивидуальный для каждой типологической единицы карты, который обратно пропорционален длине ряда восстановительной сукцессии.

Таким образом, создается карта отклонения современного состояния ландшафтов территории от коренного (карта нарушенности геосистем).

Результаты исследования

Предложенный алгоритм реализован для территории юга Прибайкалья с использованием карты ландшафтов юга Восточной Сибири [2] и космического снимка Landsat в формате MrSID.

В соответствии с картой ландшафтов юга Восточной Сибири для каждой группы фаций определялись возможные стадии восстановительных сукцессий и коренное состояние k (1–5) (табл. 1), в результате чего получена карта коренного состояния ландшафтов территории (рис. 1, а). Как видно из рисунка и таблицы, на исследуемой территории в коренном состоянии должны преобладать светлохвойные леса, в меньшей степени темнохвойные леса и геосистемы без растительности и незначительные площади участков с травяно-кустарниковой растительностью.

На следующем этапе произведена обучаемая классификация указанного снимка методом ISODATA с выделением пяти классов p (1–5) и получена карта современного состояния ландшафтов (рис. 1, б).

По результатам классификации видно, что большие территории покрыты мелколиственными лесами. Однако в ненарушенном состоянии мелколиственных лесов на территории быть не должно, за редким исключением. Отсутствие или уменьшение по площади некоторых классов связано с неточностями классификации. Так, некоторые светлохвойные леса с участием темнохвойных пород по результатам классификации снимка отнесены к классу темнохвойных лесов. Эта ошибка не приводит к искажениям на карте нарушенности, так как в этом случае отклонение от коренного состояния

составляет «-1» и исправляется на «0». Также некоторые участки травяно-кустарниковых сообществ (особенно с разреженным растительным покровом) по результатам классификации относятся к участкам без растительности. Эти неточности могут быть преодолены улучшением классификации, привлечением дополнительных данных и методов их обработки, что не является целью данного исследования.

Таблица 1

Группы геомов и геомы (в соответствии с Картой ландшафтов юга Восточной Сибири), представленные на территории исследования, и их коренное состояние (1–5)

Номер геома	Геом (группа геомов)	Коренное состояние
	Гольцовые (горно-тундровые) и подгольцовые байкало-джугджурские и восточноаянские	
1	Гольцовые альпинотипные	1
2	Гольцовые тундровые	1
3	Подгольцовые кустарниковые	2
5	Подгольцовые темнохвойно-редколесные	1
	Горно-таежные байкало-джугджурские	
6	Горно-таежные лиственничные редуцированного развития	4
7	Межгорных понижений и долин таежные лиственничные	2
9	Горно-таежные лиственничные оптимального развития	4
12	Подгорные и межгорных понижений лиственнично-таежные оптимального развития	2, 4
13	Подгорные подтаежные лиственничные	4
	Горно-таежные южносибирские	
14	Горно-таежные темнохвойные редуцированного развития	5
16	Подгорные и межгорных понижений таежные темнохвойные ограниченного развития	5
18	Горно-таежные темнохвойные оптимального развития	5
19	Подгорные и межгорных понижений таежные темнохвойные оптимального развития	5
20	Горно-таежные сосновые	4
21	Подгорные подтаежные сосновые	4
31	Сосновые боровые равнин и долин олиготрофно-ксеро-мезофитного режима	4
	Горные западнобайкальские даурского типа	1
	Высоких равнин и денудационных останцов олон-аргунские гемикриофильные	1

На следующем этапе по вышеуказанной методике для каждого пиксела снимка определялась степень отклонения современного состояния от коренного. Получена карта степени нарушенности геосистем на время съемки (рис. 1, в). Из представленного на карте можно сделать вывод, что по состоянию на 2000–2002 гг. преобладающая часть территории являлась ненарушенной. Участки с разной степенью нарушенности приурочены в основном к побережью оз. Байкал, а также выположенным котловинным территориям.

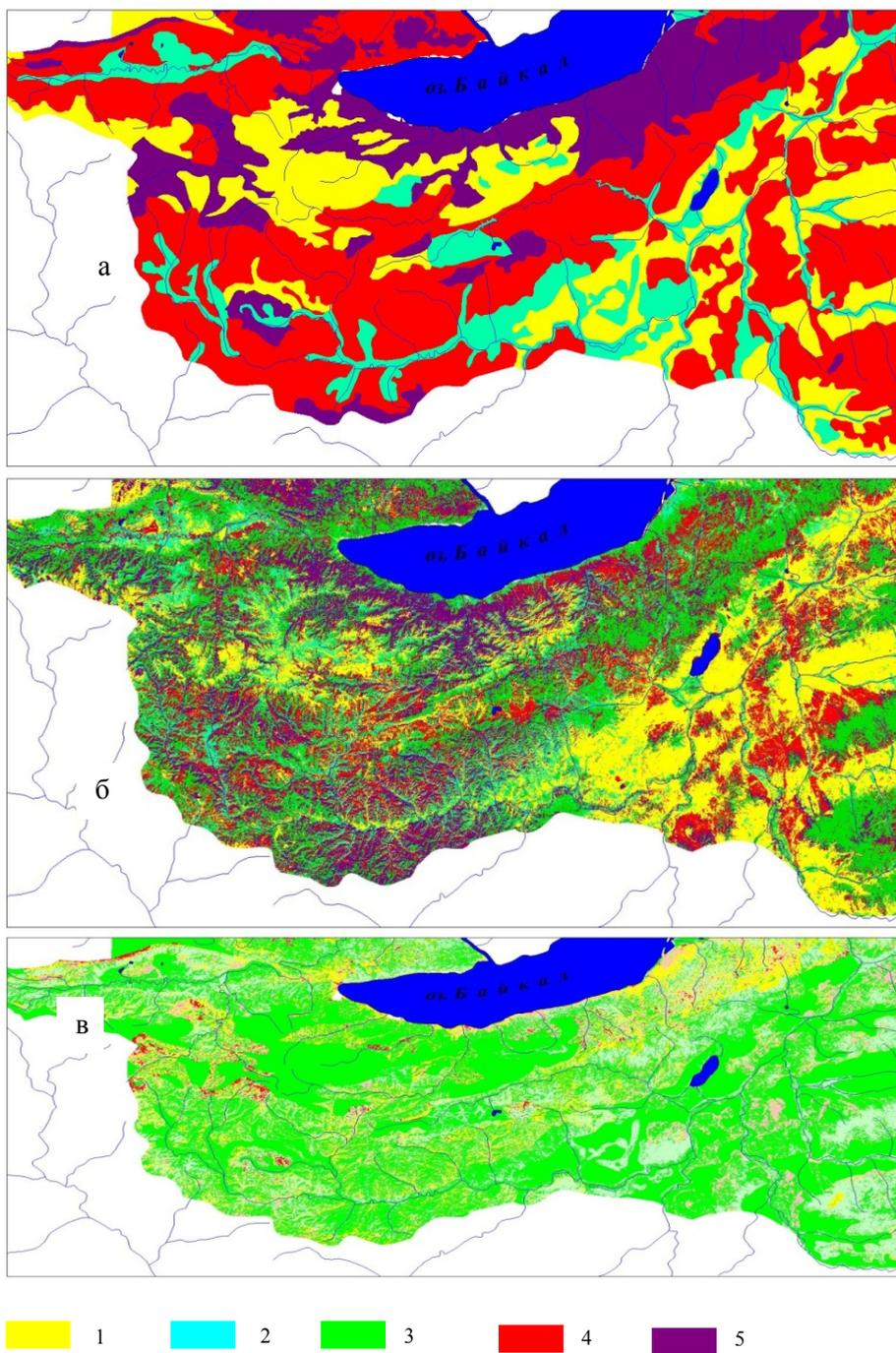


Рис. 1. *а* – карта коренного состояния геосистем,
б – карта современного состояния геосистем: категории 1–5 – пояснения в тексте,
в – карта нарушенности геосистем: 0–4 – стадии нарушенности,
 где 0 – ненарушенные, 4 – сильно нарушенные

Заключение

В данном исследовании продемонстрирован метод оценки нарушенности растительности с применением космических снимков Landsat и ландшафтной карты территории, который может быть использован при оперативном мониторинге состояния растительного покрова. Картографические результаты, полученные в работе, не претендуют на высокую детальность и точность, а приведены в основном для иллюстрации разработанной методики. В исследовании подчеркивается важность учета данных и знаний о коренном состоянии геосистем при оценке степени их нарушенности. Перспективы исследования в этом направлении связаны с созданием и сравнительным анализом карт нарушенности геосистем за разные периоды времени, в результате чего появится возможность оценки динамичности различных групп фаций.

Исследования выполнены при поддержке гранта РФФИ (№ 16-05-00902).

Список литературы

1. *Ландшафтно-интерпретационное картографирование* / И. Н. Владимиров [и др.]; под ред. А. К. Черкашина, Е. А. Истоминой. – Новосибирск : Наука, 2005. – 424 с.
2. *Ландшафты юга Восточной Сибири* : карта. – М. : ГУГК, 1977. – 4 л.
3. *Лесных С. И.* Модельный анализ взаимодействия разных групп пород в процессе сукцессионных изменений горной тайги / С. И. Лесных, А. К. Черкашин // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Биология. Экология. – 2016. – Т. 15. – С. 11–24.
4. *Семенов Ю. М.* Роль ландшафтно-оценочных карт в региональном анализе экологических рисков / Ю. М. Семенов // Проблемы анализа риска. – 2016. – Т. 13, № 3. – С. 60–67.
5. *Фролов А. А.* Геоинформационное картографирование изменчивости ландшафтов (на примере Южного Прибайкалья) / А. А. Фролов // География и природ. ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 156–166.
6. *Ямашкин А. А.* Электронная ландшафтная карта как основа для геоэкологического анализа и ландшафтного планирования территории / А. А. Ямашкин // Культурный ландшафт Мордовии (геоэкологические проблемы и ландшафтное планирование). – Саранск : Изд-во Мордов. ун-та, 2003. – С. 17–28.
7. High-resolution global maps of 21-st-century forest cover change / M. C. Hansen, P. V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S. A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S. V. Stehman, S. J. Goetz, T. R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C. O. Justice, J. R. G. Townshend // *Science*. – 2013. – Vol. 342. – P. 850–853.
8. Monitoring boreal forest biomass and carbon storage change by integrating airborne laser scanning, biometry and eddy covariance data / C. Hopkinson, A. G. Barr, N. Kljun, T. A. Black, J. H. McCaughey // *Remote Sensing of Environment*. – 2016. – Vol. 181. – P. 82–95.
9. *Norman S. P.* Review of broad-scale drought monitoring of forests: Toward an integrated data mining approach / S. P. Norman, F. H. Koch, W. W. Hargrove // *Forest Ecology and Management*. – 2016. – Vol. 380. – P. 346–358.
10. Assessing change in national forest monitoring capacities of 99 tropical countries / E. Romijn, C. B. Lantican, M. Herold, E. Lindquist, R. Ochieng, A. Wijaya, D. Murdiyarso, L. Verchot // *Forest Ecology and Management*. – 2015. – Vol. 352. – P. 109–123.

Technique of Disturbance of the Vegetation of South of Pribaikalye Using Space Images and Landscape Map

E. A. Istomina

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS

Abstract. In monitoring and assessing the state of the vegetation and the landscape in general often not taken into consideration the information on their root (potential, undisturbed) state. Designed and illustrated a method of rapid assessment of vegetation cover disturbance using satellite images and landscape maps, where landscape map display potential state of the vegetation. There are the following geosystems states: areas without vegetation or with sparse vegetation (goltsy, fresh fairs, pastures and hayfields), herbal and grass-shrub communities, deciduous woods, light coniferous forests, dark coniferous forests. For each type (group facies) of landscape map of the south of Eastern Siberia (1: 1 500 000) possible stage of regenerative successions and root state were identified, as a result a map of the indigenous (potential, recovered) landscapes was made. ISODATA classification of satellite image Landsat MrSID with the release of the same five classes was made and a map of the current state of landscapes was created. Calculation of the difference in these two geoimages allows to determine the degree of disturbance of vegetation and to make a map of disturbance. From the map it can be concluded that as in 2000 the prevailing part of the territory is relatively undisturbed. Areas with varying degrees of disturbance are confined mostly to the coast of the lake Baikal and the flat basins sites.

Keywords: space image processing, ecological monitoring, remote sensing monitoring, invariant, landscape map

References

1. Vladimirov I.N., Konovalova T.I., Bessolicina E.P. *Landshaftno-interpretacionnoe kartografirovaniye* [Landscape-interpretative mapping]. Novosibirsk, 2005. 424 p.
2. *Landshafty juga Vostochnoj Sibiri* [The landscapes of the south of Eastern Siberia]. Moscow, 1977. 4 p.
3. Lesnykh S.I., Cherkashin A.K. Model analysis of the interaction of different groups of species in the successional changes of the mountain taiga. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Biologiya"* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series "Biology"], 2016, vol. 15, pp. 11-24 (in Russian).
4. Semenov Yu.M. The role of landscape-assessment maps in the regional analysis of environmental risks. *Problemy analiza riska* [Risk Analysis Problems], 2016, vol. 13, no 3, pp. 60-67 (in Russian).
5. Frolov A.A. Geoinformation mapping of landscape variability (for example, the Southern Baikal region). *Geografija i prirodnye resursy* [Geography and natural resources], 2015, no 1, pp. 156-166 (in Russian).
6. Yamashkin A. A. Electronic landscape map as a basis for the geoecological analysis and landscape planning of a territory. *Kul'turnyj landshaft Mordovii (geojekologicheskie problemy i landshaftnoe planirovaniye)* [Cultural Landscape of Mordovia (geoecological problems and landscape planning)]. Saransk, 2003, pp. 17-28 (in Russian).
7. Hansen M.C., Potapov P. V., Moore R., Hancher M., Turubanova S. A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S. J., Loveland T. R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C. O., Townshend J.R.G. High-resolution global maps of 21-st-century forest cover change. *Science*, 2013, vol. 342, pp. 850-853.

8. Hopkinson C., Barr A. G., Kljun N., Black T. A., McCaughey J. H. Monitoring boreal forest biomass and carbon storage change by integrating airborne laser scanning, biometry and eddy covariance data. *Remote Sensing of Environment*, 2016, vol. 181, pp. 82-95.
9. Norman S.P., Koch F. H., Hargrove W. W. Review of broad-scale drought monitoring of forests: Toward an integrated data mining approach. *Forest Ecology and Management*, 2016, vol. 380, pp. 346-358.
10. Romijn E., Lantican C. B., Herold M., Lindquist E., Ochieng R., Wijaya A., Muryarso D., Verchot L. Assessing change in national forest monitoring capacities of 99 tropical countries. *Forest Ecology and Management*, 2015, vol. 352, pp. 109-123.

Истомина Елена Александровна
кандидат географических наук,
старший научный сотрудник
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1
тел.: (3952) 42-67-95
e-mail: elenaistoma@gmail.com

Istomina Elena Alexandrovna
Candidate of Sciences (Geography),
Senior Researcher
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033
tel.: (3952) 42-67-95
e-mail: elenaistoma@gmail.com