

УДК 528.9:911.52

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ В ИССЛЕДОВАНИИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ЛАНДШАФТОВ**Фролов А.А.***ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН, Иркутск, e-mail: f-v1984@mail.ru*

Раскрыто понятие «изменчивости» как сложного свойства географических систем, отражающего многообразие видов пространственно-временных изменений в ландшафтах, выраженных на территории в существовании коренных и переменных состояний геосистем. Показаны два подхода геоинформационного картографирования изменчивости геосистем. Первый подход заключается в разработке и реализации алгоритмов прогнозного геоинформационного моделирования и картографирования возможных изменений состояния геосистем под влиянием естественных или антропогенных факторов, например, при изменении климата или после пожаров. Информационной основой первого подхода являются различные ландшафтные карты, в том числе полученные при реализации второго подхода, отражающие современное состояние территории, данные ретроспективного изучения развития региона, а также сценарии изменения влияющих факторов, по отношению к которым будет осуществляться прогноз (например, сценарий изменения климата или информация о намечаемой хозяйственной деятельности). В итоге создаются прогнозные карты возможных изменений состояния геосистем, отражающих их временную изменчивость. Второй подход заключается в геоинформационном анализе и картографировании ландшафтной структуры территории в ее динамическом понимании, т.е. структуры коренных и переменных состояний, отражающих разные стороны пространственной изменчивости геосистем. Информационной основой этого подхода служат данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), материалы комплексных полевых исследований ландшафтов, картографические и литературные данные. С использованием методов геосистемного картографирования в сочетании с различными автоматизированными алгоритмами обработки данных дистанционного зондирования Земли создавались растровые и векторные ландшафтные карты, а также производные от них серии аналитических карт, отражающих разные стороны пространственной изменчивости геосистем.

Ключевые слова: ландшафтная структура, изменчивость геосистем, геоинформационное картографирование, ландшафт, данные дистанционного зондирования Земли

GIS-MAPPING IN THE STUDY OF LANDSCAPE CHANGEABLENESS**Frolov A.A.***V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: f-v1984@mail.ru*

The notion of «changeableness» as a complex property of geographical systems that reflects the diversity of the types of spatial-temporal changes in landscapes expressed on the territory in the existence of radical and variable states of geosystems is disclosed. Shown two approaches of geoinformation mapping of geosystem changeableness. The first approach is to develop and implement algorithms for prognosis geoinformation modeling and mapping of possible changes in the state of geosystems under the influence of natural or anthropogenic factors, for example, with climate change or after fires. The information basis for the first approach is various landscape maps, including those obtained with the implementation of the second approach, reflecting the current state of the territory, the retrospective study of the development of the region, and scenarios for changing the influencing factors to which the forecast will be implemented (for example, the scenario of change climate or information about planned economic activity). As a result, prognostic maps of possible changes in the state of geosystems reflecting their temporal variability are created. The second approach is geoinformation analysis and mapping of the landscape structure of the territory in its dynamic understanding, that is structures of radical and variable states, reflecting different aspects of geosystem changeableness. Information basis of this approach is data from the Earth remote sensing (ERS), the materials of field researches of landscapes, cartographic and literature data. Using the methods of geosystem mapping in combination with various automated algorithms for processing remote sensing data, raster and vector landscape maps were created, as well as derived from them series of analytical maps reflecting different aspects of spatial of geosystem changeableness.

Keywords: landscape structure, changeableness of geosystems, GIS mapping, landscape, remote sensing data

Изменчивость – сложное свойство ландшафтов (геосистем), отражающее многообразие видов пространственно-временных изменений состояния геосистем. Пространственно-временная изменчивость геосистем одновременно проявляется в резких и постепенных пространственных, сукцессионных, естественных и антропогенных, катастрофических, эволюционных и динамических преобразованиях. Основатель сибирской физико-географической школы

академик В.Б. Сочава разработал учение о геосистемах [1], в соответствии с которым геосистемы представлены разного рода коренными структурами и переменными состояниями, подчиненными определенному инварианту, изменение которого выражается в эволюции геосистемы. Все изменения, происходящие в рамках одного инварианта есть динамика геосистем, определяемая естественными и антропогенными причинами. Антропогенное воздействие на при-

родные ландшафты формирует высокое разнообразие переменных состояний геосистем, и чем сильнее это влияние, тем значительнее степень отклонения от коренного состояния (антропогенно-нарушенные, антропогенно-измененные геосистемы, геотехнические системы).

Изучение пространственно-временной изменчивости геосистем (ландшафтов), вызванной влиянием природных и антропогенных факторов, является одной из важнейших задач физической географии и геоэкологии. Заблаговременная оценка возможных трансформаций ландшафтов подразумевает разработку прогнозов изменений и оценку вероятного ущерба или выгоды. В настоящее время для изучения изменчивости геосистем и их компонентов широко применяют инструменты геоинформационного картографирования с использованием ГИС-технологий на основе материалов полевых исследований ландшафтов, картографической информации и данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [2–5]. Накопленный в этих исследованиях опыт показан в ряде работ на примере прогноза и геоинформационного картографирования изменчивости ландшафтов Прибайкалья.

Материалы и методы исследования

Цель исследования – освещение некоторых подходов геоинформационного картографирования изменчивости ландшафтов.

В качестве объекта исследования выбраны ландшафты территории Прибайкалья. Район исследования отличается неоднородной историей развития, контрастной физико-географической и ландшафтной обстановкой, с большим разнообразием видов антропогенно трансформированных комплексов, наличием уникальных и реликтовых природных геосистем. На территории Прибайкалья представлен широкий спектр ландшафтов: от степных, лесостепных, подтаежных и таежных равнинных до горно-таежных, подгольцовых и гольцовых горных ландшафтов [6, 7]. Данная территория несет в себе важную средозащитную функцию, препятствуя негативному влиянию на уникальный пресноводный объект – озеро Байкал.

Рассмотрим два подхода к геоинформационному картографированию пространственно-временной изменчивости ландшафтов:

1. Прогнозное ГИС-картографирование возможных трансформаций состояния геосистем при воздействии разных факторов.

2. ГИС-анализ ландшафтной структуры территории в ее динамическом понимании, т.е. структуры коренных и переменных состояний геосистем, показывающих различные аспекты пространственной изменчивости ландшафтов.

Первый подход отражает принципы изучения временной перспективной изменчивости ландшафтов с помощью построения прогнозных карт ожидаемых трансформаций геосистем. Данный подход реализуется методами эволюционного картографирования, в котором выделяются два основных способа изменения карт:

1) типологическое изменение ландшафтных выделов без трансформации сетки границ, что проявляется, например, в результате колебаний показателей регионального и глобального фона;

2) изменение границ ландшафтных выделов в результате трансформации рельефа, коренных пород и почв, катастрофических процессов и др.

Мы применяли первый способ эволюционного картографирования перспективных изменений на фоне колебаний климатических характеристик. Прогнозное картографирование климатогенных трансформаций ландшафтов производилось в разных масштабах:

1) картографирование изменений в геоморфной структуре (региональный уровень) территории Прибайкалья при климатических колебаниях [8];

2) проведение геоинформационно-картографического анализа трансформаций геосистем уровня групп фаций (локальный уровень) с использованием модели клеточного автомата (КА) [9].

Основой создания прогнозных карт является анализ площади распространения различных геомов и сопряженных с ними классов и групп фаций по высоте их местоположения, при этом строятся территориальные графы смежности, характеризующие пространственное соседство геосистем. Все исследования осуществляются с учетом высоты, которая рассматривается в качестве характеристики состояния геосистем, что оправдано на территориях с выраженным горным и горно-равнинным рельефом. Клеточный автомат (КА) как математико-картографическая модель трансформации состояния геосистем показывает пространственное распределение и локальные взаимодействия ландшафтных выделов друг с другом, моделирующие природные взаимосвязи, на

фоне климатических изменений. На основе такого подхода реализованы созданные алгоритмы прогнозного картографирования климатогенных изменений геосистем на региональном (геом) и локальном (группа фаций) масштабном уровне [8, 9].

Второй подход реализовывался по двум направлениям:

1) построение оперативных растровых карт ландшафтной структуры на базе космических снимков Landsat 5 TM, 8 OLI методом контролируемой классификации [10];

2) создание векторных карт ландшафтной структуры и производных от них инвентаризационных карт, отражающих разные стороны изменчивости ландшафтов [11].

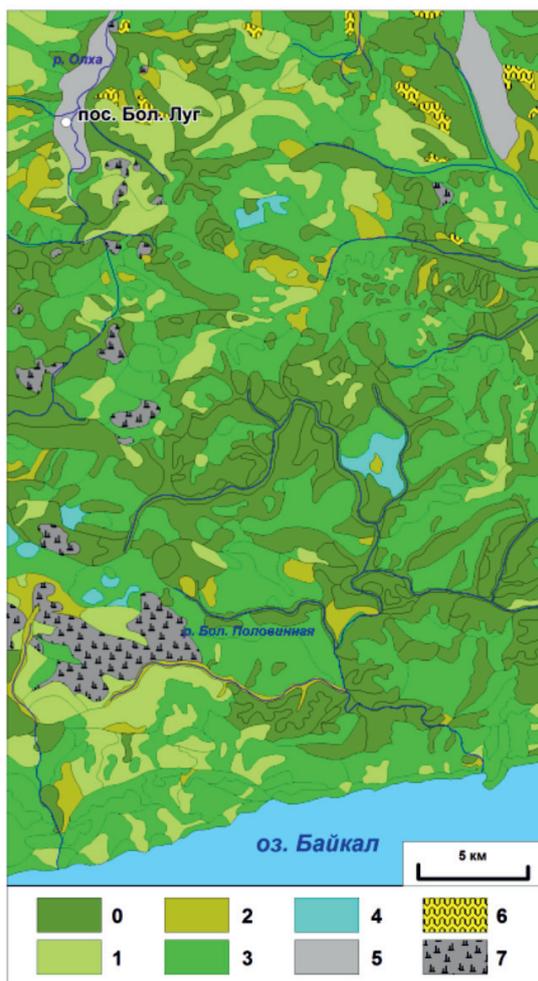
По первому направлению второго подхода в одной из работ [10] показана методология и результаты создания растровых карт ландшафтов Южного Прибайкалья на основе космических снимков Landsat 8 OLI. Эти данные определяют геосистемы как локального, так и регионального масштаба, но при этом покрывают значительную площадь территории. Применяя методы автоматизированной обработки космических снимков, основанные на яркостном анализе, созданы разновременные «индексные» изображения NDVI, по которым изучалось состояние геосистем, определялись коренные биогеоценозы и их переменные состояния. Эти изображения впоследствии использовались для верификации результатов автоматического дешифрирования данных ДЗЗ на территорию исследования. На основе космических снимков Landsat методом контролируемой классификации с обучением (способ спектрально-пространственной классификации ЕСНО) [12, 13] построена растровая ландшафтная карта на район Южного Прибайкалья. Автоматическая обработка данных Landsat дала возможность осуществить количественный анализ пространственной структуры ландшафтов, оперативно проанализировать долю присутствия тех или иных видов естественных и антропогенно-нарушенных геосистем на территории исследования, определить площади их распространения и приуроченность к определенным местоположениям [10].

Второе направление второго подхода связано с созданием векторных ландшафтно-типологических карт локального масштаба (уровня биогеоценозов), отражающих разные стороны изменчивости геосистем. Информационной основой данного подхода служат материалы комплекс-

ных полевых исследований ландшафтов, данные ДЗЗ, цифровая модель рельефа, картографические и литературные источники, совместное использование которых в сочетании с методами лабораторной обработки пространственной информации позволило сделать анализ ландшафтной структуры участка территории Южного Прибайкалья и создать векторную ландшафтную карту [11]. Карта и база данных ГИС является основой для дальнейшего геоинформационного анализа района исследования, в результате которого создаются серии оценочных карт, показывающих разные стороны изменчивости ландшафтов (структура геомов, факторально-динамические ряды (классы) фаций, динамические состояния геосистем (биогеоценозов) (рисунок), степень антропогенной нарушенности геосистем, серийность геосистем (группы фаций)).

Результаты исследования и их обсуждение

В качестве примера построена оценочная карта динамических состояний геосистем как одного из показателей изменчивости ландшафтов территории Южного Прибайкалья (рисунок). Динамические (переменные) состояния – состояния геосистемы локального уровня (фации), сменяющие друг друга в процессе восстановительной многолетней динамики (сукцессии) после определенного воздействия (вырубки леса, пожара и др.). Каждое динамическое состояние проявляется на местности в определенном биогеоценозе, которые сменяют друг друга в процессе сукцессии: от серийных биогеоценозов на начальных сукцессионных стадиях до коренных на конечных сукцессионных стадиях (климакс). А.А. Крауклис выделял три переменных состояния фации: активизация, стагнация, нормализация [14]. Активизация свойственна для начальных сукцессионных стадий, сопровождается увеличением продуцирования биомассы, что характерно для молодых травянистых, кустарниковых и лесных сообществ. Стагнация сопровождается уменьшением продуцирования биомассы, накоплением медленно гумусирующейся отмершей органики, что характерно, например, для темнохвойных и светлохвойных мелколесий. Состояние нормализации сочетает в себе черты и активизации и стагнации, но те и другие проявляются в умеренной степени (лиственные, светло- и темнохвойно-лиственные крупнолесья).



Динамические состояния геосистем участка территории Южного Прибайкалья

Легенда

0 – коренное состояние (ненарушенные сосновые, лиственнично-сосновые, пихтово-кедровые крупнолесья на приводораздельных участках и пологих склонах);

1 – активизация (нарушенные после пожаров и рубок молодые березовые, осиновые леса и кустарниковые сообщества на водоразделах, склонах и в долинах);

2 – стагнация (высокосомкнутые кедровые, пихтовые и сосновые мелколесья с примесью осины и березы, высокосомкнутый средневозрастный лиственный лес на водоразделах, склонах и в долинах);

3 – нормализация (сосново-, лиственнично-, кедрово-, пихтово-осиново-березовые крупнолесья на склоновых и приводораздельных местоположениях);

4 – стагнация и нормализация (пихтово-кедровые с примесью осины и березы крупнолесья с вкраплениями стагнирующих пятен (участков темнохвойного мелколесья).

Антропогенно-трансформированные территории:

5 – селитебные территории;

6 – земли сельскохозяйственного использования;

7 – свежие гари.

Дополнительно на территории исследования, где антропогенное влияние сведено к минимуму, выделены геосистемы в коренном неизменном состоянии с полноразвитыми почвами и естественными развитыми биоценозами, отвечающими внешним природным условиям (географическому фону), что характерно для состояния климакса.

На территории Южного Прибайкалья, где сосредоточены промышленные объекты и населенные пункты, распространены антропогенно-измененные биогеоценозы, которые в результате интенсивного антропогенного влияния не успевают пройти процесс стабилизирующей динамики. К таким биогеоценозам относятся луга в долинах рек, обустроенные под сенокосы и пастбища, а также ослабленные промышленным загрязнением и угнетаемые частыми пожарами изреженные сосново-березовые леса на склонах разной экспозиции.

Особо нужно отметить наличие на приводораздельных местоположениях горнотаежных ландшафтов темнохвойных лесов в стадии нормализации, в которых имеются вкрапления стагнирующих пятен (участков темнохвойного мелколесья), происхождение которых для нас остается не в полной мере ясным.

Заключение

Рассмотренные геоинформационно-картографические подходы к изучению изменчивости ландшафтов раскрывают ее сущность с разных сторон, дополняя друг друга. Один из подходов раскрывает пространственную изменчивость (изменение в пространстве), отображая на картах ландшафтную структуру территории, т.е. структуру коренных и переменных состояний геосистем в определенный момент времени. Важнейшей составляющей данного подхода является активное использование пространственной информации (данные дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) (космические снимки, цифровые модели рельефа), картографические произведения (топографические и тематические карты различного содержания и масштаба, материалы лесоустройства), базы данных ГИС. Построенные с использованием этого подхода ландшафтные карты, в свою очередь,

являются основой для реализации другого подхода, который направлен на изучение возможных изменений (прогнозирования) состояния геосистем во времени, отражая временную изменчивость ландшафтов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00462 «мол. а».

Список литературы

1. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 318 с.
2. Буренина Т.А., Назимова Д.И. Географические исследования лесов Сибири // География и природные ресурсы. – 2007. – № 3. – С. 165–172.
3. Корниенко С.Г. Оценка трансформаций природных ландшафтов Тазовского полуострова по данным космической съемки // География и природные ресурсы. – 2011. – № 1. – С. 67–73.
4. Остроухов А.В. Оценка динамики антропогенной трансформации темнохвойных лесов северного Сихотэ-Алиния на основе дистанционного зондирования // География и природные ресурсы. – 2014. – № 1. – С. 155–160.
5. Хромых В.В., Хромых О.В. Использование ГИС-технологий для изучения динамики долинных ландшафтов (на примере долины Нижней Томи) // Вестник Томского государственного университета. – 2007. – № 300–1. – С. 230–233.
6. Плюснин В.М., Сороковой А.А. Геоинформационный анализ ландшафтной структуры Байкальской природной территории. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2013. – 188 с.
7. Сочава В.Б., Ряшин В.А., Белов А.В. Главнейшие природные рубежи в южной части Восточной Сибири // Докл. Ин-та географии Сибири и Дальн. Востока. – 1963. – Вып.4. – С. 19–24.
8. Фролов А.А. Прогнозное картографирование изменений ландшафтной структуры Предбайкалья при потеплении климата // Геодезия и картография. – 2010. – № 9. – С. 27–32.
9. Фролов А.А., Черкашин А.К. Эволюционное геоинформационное моделирование и картографирование // Геодезия и картография. – 2009. – № 6. – С. 40–45.
10. Фролов А.А. Картографирование ландшафтов Южного Прибайкалья на основе спутниковых данных Landsat // Геодезия и картография. – 2016. – № 10. – С. 22–29.
11. Фролов А.А. Геоинформационное картографирование изменчивости ландшафтов (на примере Южного Прибайкалья) // География и природные ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 156–166.
12. Тутубалина О.В. Компьютерный практикум по курсу «Космические методы исследования почв»: учебное пособие. – М.: Географический факультет МГУ, 2009. – 112 с.
13. Landgrebe D., Biehl L. An Introduction and Reference for MultiSpec Version 9.2011. West Lafayette, Indiana USA. Purdue University. – 2011. – 189 p.
14. Крауклис А.А. Натурная модель // Природные режимы и топогеосистемы Приангарской тайги. – Новосибирск: Наука, 1975. – С. 28–49.

References

1. Sochava V.B. Vvedenie v uchenie o geosistemakh [Introduction to the theory of geosystems]. Novosibirsk, Nauka, 1978, 318.

2. Burenina T.A., Nazimova D.I. Geographical research of Siberian forests [Geograficheskie issledovaniia lesov Sibiri]. Geografia i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources, 2007, no. 3, pp. 165–172.

3. Kornienko S.G. Assessment of transformations of natural landscapes of the Taz Peninsula according to space survey data [Otsenka transformatsii prirodnykh landshaftov Tazovskogo poluostrova po dannym kosmicheskoi s'emki]. Geografia i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources, 2011, no. 1, pp. 67–73.

4. Ostroukhov A.V. Assessment of the dynamics of anthropogenic transformation of dark coniferous forests of the northern Sikhote-Alin on the basis of remote sensing [Otsenka dinamiki antropogennoi transformatsii temnokhvoynykh lesov severnogo Sikhote-Alinia na osnove distantsionnogo zondirovaniia]. Geografia i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources, 2014, no. 1, pp. 155–160.

5. Khromykh V.V., Khromykh O.V. The use of GIS-technologies for studying the dynamics of valley landscapes (on the example of the Lower Tom valley) [Ispol'zovanie GIS-tekhnologii dlia izucheniia dinamiki dolinnykh landshaftov (na primere doliny Nizhnei Tomi)]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta – Bulletin of Tomsk State University, 2007, no. 300, pp. 230–233.

6. Plusnin V.M., Sorokovoi A.A. Geoinformatsionnyi analiz landshaftnoi struktury Baikal'skoi prirodnoi territorii [Geoinformation analysis of the landscape structure of the Baikal natural territory]. Novosibirsk, Akademicheskoe izdatel'stvo «Geo», 2013, 188.

7. Sochava V.B., Riashin V.A., Belov A.V. The main natural boundaries in the southern part of Eastern Siberia [Glavneishie prirodnye rubezhi v iuzhnoi chasti Vostochnoi Sibiri]. Doklady Instituta geografii Sibiri i Dal'nego Vostoka – Reports of the Institute of Geography of Siberia and the Far East, 1963, no. 4, pp. 19–24.

8. Frolov A.A. Forecast mapping of changes in the landscape structure of the Baikal region under climate warming [Prognoznoe kartografirovanie izmeneniia landshaftnoi struktury Predbaikal'ia pri potepelenii klimata]. Geodeziia i kartografiia – Geodesy and cartography, 2010, no. 9, pp. 27–32.

9. Frolov A.A., Cherkashin A.K. Evolutionary geoinformation modeling and mapping [Evolutsionnoe geoinformatsionnoe modelirovanie i kartografirovanie]. Geodeziia i kartografiia – Geodesy and cartography, 2009, no. 6, pp. 40–45.

10. Frolov A.A. Mapping of landscapes of the Southern Baikal region based on Landsat satellite data [Kartografirovanie landshaftov Iuzhnogo Pribaikal'ia na osnove sputnikovyykh dannykh Landsat]. Geodeziia i kartografiia – Geodesy and cartography, 2016, no. 10, pp. 22–29.

11. Frolov A.A. Geoinformational mapping of landscape variability (Exemplified by Southern Cisbaikalia) [Geoinformatsionnoe kartografirovanie izmenchivosti landshaftov (na primere Iuzhnogo Pribaikal'ia)]. Geografia i prirodnye resursy – Geography and Natural Resources, 2015, no. 1, pp. 156–166.

12. Tutubalina O.V. Komp'yuternyi praktikum po kursu Kosmicheskie metody issledovaniia pochv: uchebnoe posobie [Computer workshop on the course «Space Methods of Soil Research»: a textbook]. Moscow, Geograficheskii fakul'tet MGU, 2009, 112.

13. Landgrebe D., Biehl L. An Introduction and Reference for MultiSpec Version 9.2011. West Lafayette, Indiana USA, Purdue University, 2011, 189 p.

14. Krauklis A.A. Naturnaia model' [Full-scale model]. Prirodnye rezhimy i topogeosistemy Priangarskoi taigi [Natural regimes and topogeosystems of the Angara taiga]. Novosibirsk, Nauka, 1975, pp. 28–49.