

DOI:10.17308/978-5-9273-3692-0-2023-72-75

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННЫХ ИНВАРИАНТНЫХ СОСТОЯНИЙ ЛАНДШАФТНОГО ПОКРОВА (НА ПРИМЕРЕ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА И ПРИЛЕГАЮЩЕЙ ТЕРРИТОРИИ)

DETERMINATION OF SPATIO-TEMPORAL INVARIANT STATES OF LANDSCAPE COVER
(ON EXAMPLE OF THE CENTRAL FOREST RESERVE AND THE ADJACENT TERRITORY)

Байбар А.С.^{1,2}, Пузаченко М.Ю.¹, Сандлерский Р.Б.², Кренке А.Н.^{1,2}

Baibar A.S.^{1,2}, Puzachenko M.Yu.¹, Sandlersky R.B.², Krenke A.N.^{1,2}

e-mail: baybar@igras.ru

¹Институт географии РАН, Москва

²Национальный исследовательский университет Высшая школа экономики, Москва

¹Institute of Geography RAS, Moscow, Russia

²National Research University Higher School of Economics, Moscow, Russia

Аннотация Использование серии ДДЗ позволяет выделить устойчивые состояния отражения геосистем за рассматриваемый временной промежуток, инварианты. Результатом их совместного обобщения с параметрами порядка (инвариантами) морфометрических характеристик рельефа, рассчитанных с учётом его иерархической организации, являются ландшафтные инварианты. Их автоматическая сегментация выделяет однородные относительно инвариантов отражения и рельефа пространственно-временные комплексы, таким образом, отображая ландшафтную организацию территории.

Abstract Using of a remote sensing data series makes it possible to identify stable reflection states of geosystems over the time period. The result of their joint generalization with order parameters (invariants) of relief morphometric characteristics, calculated considering its hierarchical organization, are landscape invariants. Their automatic segmentation singles out spatio-temporal complexes homogeneous with respect to reflection and relief invariants, thus displaying the landscape organization of the territory.

Ключевые слова: инвариант, параметры порядка, Landsat, МДЗ, ЦЛГПБЗ, метод главных компонент, морфометрические характеристики рельефа, полевые описания растительности и почвы

Keywords: invariant, order parameters, Landsat, MRSD, CFGNBR, principal component method, morphometric characteristics of the relief, field descriptions of vegetation and soil

Введение. Ландшафтное картографирование почти не изменилось за последние 40-50 лет, специалисты используют хорошо отработанные методы, предложенные еще Исаченко А.Г., Николаевым В.А., Солнцевым Н.А., Видиной А.А. и др. Как правило, до сих пор на практике ландшафтные карты создаются на основе экспертного подхода по ограниченному объему данных, что определяет такие основные минусы его реализации, как субъективность и, соответственно, невоспроизводимость, и значительные трудо- и времязатраты, тогда как современные прикладные задачи требуют от ландшафтных картографов оперативности, быстрого построения ландшафтной карты и серии тематических на ее основе, что невозможно при существующем подходе.

В данном сообщении предлагается принципиально новый подход, который является оригинальным и даёт возможность построения не ситуативной ландшафтной карты, а охватывающей значительный период времени. Выделение инвариантов на основе временных серий мультиспектральных данных дистанционного зондирования и цифровой модели рельефа, полевых данных рассматривается как основа для построения ландшафтной карты, полученной количественными методами, следовательно, исключается субъективность при ее создании. Также данный подход позволяет создавать серии актуальных карт с охватом меньшего периода времени для оценки пространственной динамики ландшафтного покрова.

Материалы и методы исследований. В работе использованы 19 безоблачных сцен Landsat 4-9 с 1987 по 2022 год, выполненных преимущественно в феврале, апреле и июне. Инварианты отражения были получены методом главных компонент, путем уменьшения признакового пространства, от обобщения каналов каждой сцены, до интегральных инвариантов по всем каналам и срокам наблюдений [1]. Аналогичная методология была применена к морфометрическим характеристикам рельефа на разных иерархических уровнях (уклон, освещённость с запада и юга, профильная, плановая, продольная и кросс-секционная выпуклость, минимальная и максимальная кривизна, оператор Лапласа). Ландшафтные инварианты получены путем обобщения инвариантов дистанционной информации и рельефа [2]. На их основе была выполнена дихотомическая классификация по метрике Евклида в программе Fracdim.

Оценка качества проведенной классификации производилась при помощи дискриминантного анализа. Для верификации полученных пространственно-временных инвариантов и построения легенды были использованы геоботанические (3079 шт.) и почвенные (1870 шт.) описания, полученные в 1993-2019 годы сотрудниками и студентами кафедры физической географии и ландшафтоведения географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, ИПЭЭ им. А.Н. Северцова РАН, ИГ РАН (табл. 1).

Так же для верификации были использованы данные длинноволнового канала Landsat, так как температура приземных слоев атмосферы важный показатель функционирования геосистемы, определяет скорость протекания таких процессов как фотосинтез, транспирация и т.д.

Результаты исследования. На основе ландшафтных инвариантов выполнена дихотомическая классификация на 6 уровне (максимум 64 класса), в которой был выделен 41 класс (рис.) за счёт объединения малых классов, приуроченных к зарастающим с/х землям, залежам и лугам.

Таблица 1. Используемые характеристики растительного и почвенного покрова

Характеристики растительности	Характеристики почвы
проективные покрытия ярусов растительности (%), BSA древостоя ($m^2/га$), частные BSA пород древостоя ($m^2/га$), проективное покрытие подлеска (%), проективное покрытие трав по видам (%), проективное покрытие мхов (%), проективное покрытие мхов по группам (%)	мощности почвенных генетических горизонтов и почвы в целом, целое число почвенно-грунтовых горизонтов, гранулометрический состав горизонтов, глубина оглеения, глубина вскипания

При помощи пошагового дискриминантного анализа было показано, что классы распознаются дистанционными данными на 31,3%, от характеристик рельефа - на 26,5%, а совместно – на 67.5%. Данные теплового канала слабо описывают классы, а их совместное использование с данными МДДЗ и рельефа даже ухудшает распознавание точек (табл. 2). При дискриминантном анализе классов от характеристик полевых описаний наибольший вклад в разделение классов дают характеристики травянистого яруса (34,3%) и древостоя (16,6%), а характеристики почв и отложений верно определяют принадлежность к классу в 16 % случаев. Качество дискриминантного анализа классов от всех источников данных составило более 87%.

Таблица 2. Результаты пошагового дискриминантного анализа классов

Пошаговый дискриминантный анализ классов от	Доля (%) верно определённых точек
<i>внутренних данных</i>	
компонент отражения снимков	31.3 (1546752)
Длинноволновое излучение (ДИ)	21.9 (1546752)
характеристик рельефа	26.5 (1546752)
компонент отражения снимков и характеристик рельефа	67.5 (1546752)
компонент отражения снимков, ДИ и характеристик рельефа	66.5 (1546752)
<i>внешних данных</i>	
характеристик наземного покрова	34.3 (2013)
характеристик древостоя	16.6 (2891)
характеристик растительности	43.0 (1878)
характеристик почв	11.5 (1864)
характеристик отложений	9.5 (1870)
характеристик почв и отложений	16.0 (1863)
характеристик растительности и почв	50.2 (1433)
<i>внешних и внутренних данных</i>	
Всех переменные без ДИ	88.6 (1433)
Всех характеристик с ДИ	87.8 (1433)

На основе полевых данных и морфометрических характеристик рельефа была составлена легенда к выделенным классам, отражающая состояние растительности, почв и позицию в рельефе. Пример описания классов приведен в таблице 2.

Таким образом, в целом, выделяются основные группы классов, мелколиственно-еловые и еловые леса, елово-мелколиственные леса, мелколиственные леса, верховые болота, залежи и луга. Сильносомкнутые средневесистые хвойно-мелколиственные леса, приурочены к моренным грядам южной экспозиции, для которых, на наиболее дренированных слабовыпуклых поверхностях, характерны средне- и высокополнотные ельники неморальные, так же они встречаются на вогнутых позициях на границе между моренной грядой и флювиогляциальной котловиной из-за выхода минеральных грунтовых вод. Мелколиственно-еловые и еловые леса различной степени переувлажнения приурочены к озерно-ледниковой равнине. Классификация хорошо отражает дифференциацию внутри верховых болот, выделяя наиболее переувлажненные зоны, территории, покрытые сосновым мелколесьем, а также окраины болотных массивов на болотных глеевых почвах. Выделяется участок мелиорации, проведённой в середине 70-х годов прошлого века в пределах болотного массива «Катин Мох», в настоящее время представленный еловым лесом.

Отдельно выделяются геосистемы, претерпевшие антропогенное воздействие: вторичные мелколистственные леса на месте с/х земель и вырубок, залежи, суходольные и мезотрофные луга, населенные пункты. Перечисленные классы относятся к хорошо дренированным позициям, с преимущественно теплой экспозицией, в основном приуроченным к моренным грядам и отдельным локальным возвышенностям.

Сравнение с данными теплового канала Landsat показало, что зимой наиболее холодные открытые участки: классы лугов, сенокосов, населенных пунктов и болот, а наиболее теплые мелколиственно-хвойные и хвойные леса. Обратная зависимость наблюдается в летний период. Однако, можно выделить 12 класс – окраина болот с выходом грунтовых вод, в бесснежный период это оказывает охлаждающий эффект, в зимний – обогревающий. Так же летом значительно теплее в заболоченных разреженных осоково-сфагновых сосняках.

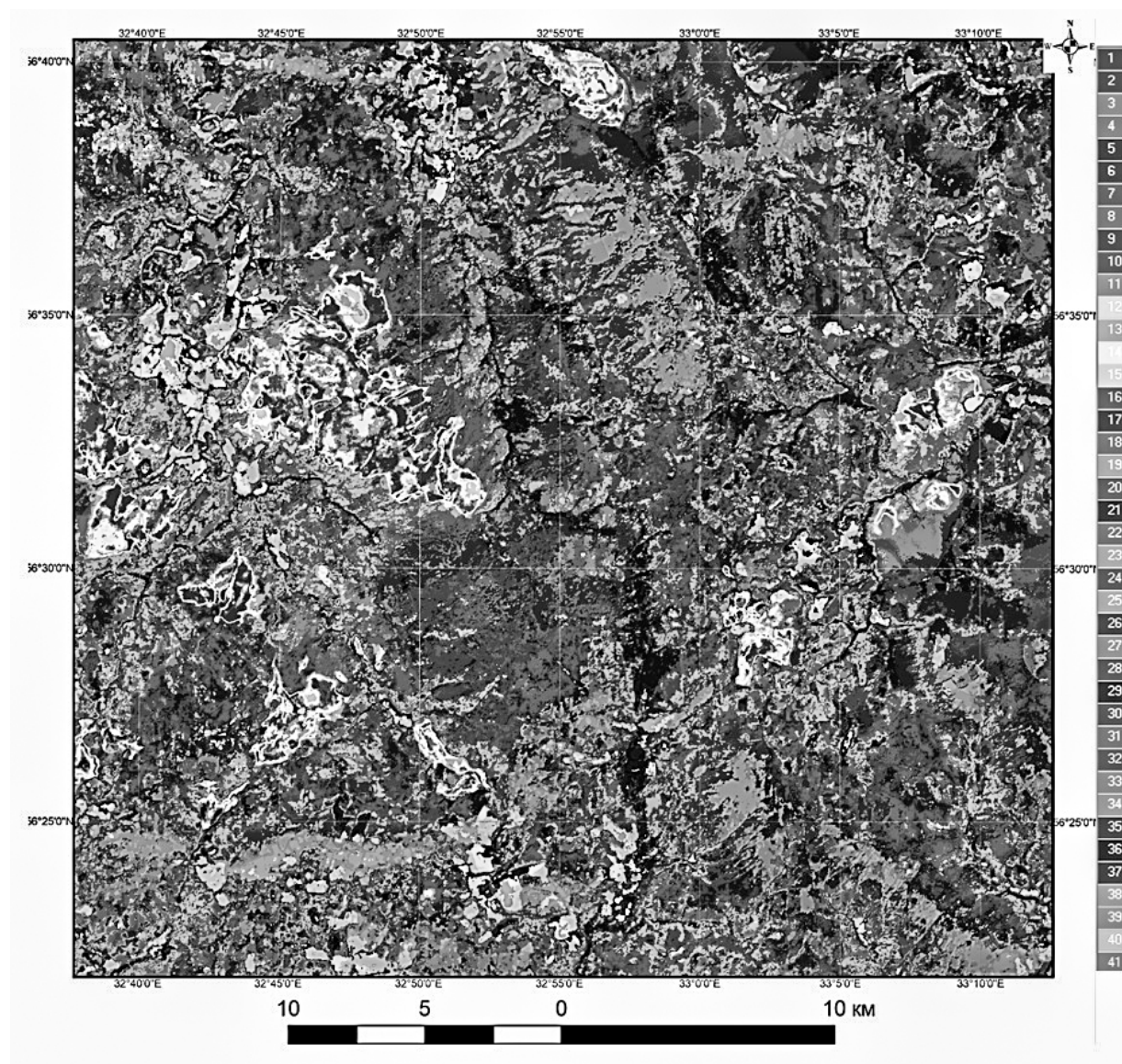


Рис. Классификация ландшафтных инвариантов (1 - 8 класс – хвойно-мелколистственные леса, 9 - 15 класс – верховые болота, 16 - 29 класс – мелколиственно-хвойные и хвойные леса, 30 – 39 класс – мелколистственные леса, 39 – 41 класс – луга, сенокосы, селитебные земли)

Заключение. При помощи дихотомической классификации на основе инвариантов ДДЗ и морфометрических характеристик рельефа была получена ландшафтная карта на уровне урочищ, для которой выделен 41 класс. На основе дискриминантного анализа показана высокая достоверность выделенных классов относительно исходных данных и данных полевых описаний. На основе характеристик полевых данных и рельефа получено семантическое значение выделенных классов и построена легенда, отражающая основные характеристики классов.

Таким образом, показано, что на основе ограниченного количества безоблачных снимков Landsat можно выделить квазиустойчивые в пространстве и времени состояния, которые преимущественно зависят от особенностей функционирования растительности, а также рельефа как перераспределителя

тепла и влаги в ландшафте. На полученной карте инвариантных состояний маркируются мелколиственные и елово-мелколиственные леса, приуроченные к относительно возвышенным участкам (моренным грядам), преимущественно Ю экспозиции, мелколиственно-еловые и еловые леса, произрастающие на относительно пониженных слабодренированных местообитаниях (верховые болота), а так же отдельно выделяются участки, претерпевшие антропогенное воздействие: населенные пункты, луга, вырубки (свежие и зарастающие), мелколиственные вторичные леса.

Таблица 3. Примеры описания основных групп классов

№	Описания
2	Сильносомкнутые средневысокие елово-мелколиственные неморально-бореальные леса на дерново-слабоподзолистых почвах на легкосуглинистых отложениях на средневысоких слабовыпуклых формах рельефа преимущественно Ю и ЮЗ экспозиции
11	Болота травяно-осоково-сфагновые на верховых торфах на относительно пониженных плоских формах рельефа преимущественно С и СЗ экспозиции
22	Среднесомкнутые средневысокие ельники кустарничково-сфагновые на торфяно-глеевых почвах на среднесуглинистых отложениях на пониженных очень плоских формах рельефа преимущественно С экспозиции
38	Сильно разреженные невысокие березняки разнотравные на постагродерновых почвах на легкосуглинистых отложениях на относительно пониженных выпуклых поверхностях преимущественно Ю экспозиции
41	Луг (богатовлажнотравный) на агродерновых почвах на среднесуглинистых отложениях на относительно пониженных крутых выпуклых поверхностях преимущественно С экспозиции

Данная методология нашла свое применение при принятии управленческого решения в лесном и, особенно, в сельском хозяйстве, ввиду значительной изменчивости агроландшафтов в силу ведущего в них антропогенного фактора. В целом, относительно инвариантов можно выделить динамические составляющие, которые являются предметом дальнейших исследований.

Финансирование: Исследование выполнено в рамках темы государственного задания Института географии РАН АААА-А19-119021990093-8 (FMGE-2019-0007)