

УДК 911.5

DOI 10.52575/2712-7443-2024-48-1-77-90

Концепция наземного покрова (Land Cover) как основа дистанционного мониторинга земель

¹Савин И.Ю., ²Березуцкая Э.Р.

¹Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер. 7, стр. 2

²Российский университет дружбы народов,
Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6
E-mail: savigory@gmail.com, ebigildina@gmail.com

Аннотация. На основе анализа литературных первоисточников сделан обзор наиболее часто используемых определений и подходов к классификации объектов наземного покрова (Land Cover). Установлено, что часто авторы смешивают понятия наземного покрова с понятиями «растительность» и «земельные угодья». Наиболее логичным выглядит понимание наземного покрова как (био)физического состояния земной поверхности. Смешение объектов наземного покрова с растительностью и земельными угодьями приводит к тому, что используемые в мире классификации наземного покрова также часто включают в себя объекты из классификаций растительности, почв, ландшафтов, землепользования. Наиболее логичной и детальной является классификация наземного покрова мира, разработанная под эгидой ФАО в 2000 году. На основе данной классификации предложена классификация наземного покрова с учетом специфики территории России. Установлено, что комбинации классов наземного покрова закономерно повторяются в пространстве. Предложены новые подходы к классификации пространственных комбинаций наземного покрова, основанные на анализе контрастности и соподчиненности классов наземного покрова.

Ключевые слова: наземный покров, мониторинг земель, классификация наземного покрова, дистанционное зондирование, Landsat, Sentinel-2

Благодарности: Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Для цитирования: Савин И.Ю., Березуцкая Э.Р. 2024. Концепция наземного покрова (Land Cover) как основа дистанционного мониторинга земель. Региональные геосистемы, 48(1): 77–90. DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-77-90

The Concept of Land Cover as a Basis for Remote Sensing Monitoring of Land

¹Igor Yu. Savin, ²Elina R. Berezutskaya

¹V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
2 p., 7 Pyzhevsky Lane, Moscow 119017, Russia

²Peoples' Friendship University of Russia,
6 Miklukho-Maklaya St, Moscow 117198, Russia
E-mail: savigory@gmail.com, ebigildina@gmail.com

Abstract. Based on the analysis of literature primary sources, a review of the most frequently used definitions and approaches to the classification of land cover objects (Land Cover) is made. It was found



that authors often mix the concepts of land cover with the concepts of "vegetation" and "land". The most logical understanding of land cover as a (bio)physical state of the earth's surface. The mixing of land cover objects with vegetation and land use leads to the fact that land cover classifications used in the world also often include objects from the classifications of vegetation, soils, landscapes, and land use. The most logical and detailed is the classification of the world land cover developed under the auspices of FAO in 2000. On the basis of this classification the classification of land cover is proposed taking into account the specifics of the territory of Russia. It is found that combinations of land cover classes are regularly repeated in space. New approaches to the classification of spatial combinations of land cover based on the analysis of contrast and spatial subordination of land cover classes are proposed.

Keywords: Land Cover, land monitoring, land cover classification, remote sensing, Landsat, Sentinel-2

Acknowledgements: The work was carried out within the framework of realization of the most important innovative project of state importance "Development of the system of ground and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas fluxes on the territory of the Russian Federation, provision of creation of the system of accounting data on the fluxes of climatically active substances and carbon budget in forests and other ground ecological systems" (reg. № 123030300031-6).

For citation: Savin I.Yu., Berezutskaya E.R. 2024. The Concept of Land Cover as a Basis for Remote Sensing Monitoring of Land. Regional geosystems, 48(1): 77–90 (in Russian). DOI: 10.52575/2712-7443-2024-48-1-77-90

Введение

Данные дистанционного зондирования очень широко используются для картографирования и мониторинга природных ресурсов. Уже более 50 лет успешно эксплуатируются специально созданные природно-ресурсные спутники, которые позволяют получать информацию о различных природных ресурсах (*Landsat*, *Sentinel*, *MODIS*, *SPOT*, *NOAA AVHRR*, *Kosmos* и многие другие). Появление таких спутников положило начало развитию отдельных научных направлений, целью которых явилось развитие методов и технологий прикладного анализа получаемой спутниковой информации. Так, появились направления спутникового картографирования и мониторинга атмосферы и океана [Вельтишев, Семенченко, 2005], растительности [Xie et al., 2008], геологических объектов [Asadzadeh, de Souza Filho, 2016], почв [Dharumarajan et al., 2023], водных объектов [Schmugge et al., 2002], земель сельскохозяйственного и лесохозяйственного назначения [Лупян и др., 2011], промышленных и селитебных объектов [Kaur, Pandey, 2022].

В основе всех разрабатываемых систем спутникового мониторинга природных ресурсов лежит анализ специфики взаимодействия солнечной энергии (или электромагнитных волн, специально генерируемых спутниковой аппаратурой) с земной поверхностью, которая интерпретируется с точки зрения возможности детектирования и дистанционного мониторинга конкретного объекта (ресурса) [Vincent, 1997]. В свою очередь, специфика взаимодействия солнечной энергии с земной поверхностью предопределяется состоянием этой поверхности и отражательной способностью объектов, которые находятся на поверхности Земли. Таким образом, объекты на земной поверхности образуют в комплексе тот отраженный сигнал, который и фиксируется аппаратурой, установленной на борту спутниковой платформы и который в виде изображений получают пользователи спутниковых данных.

Это означает, что специфика изображений земной поверхности на спутниковых данных определяется тем, какие объекты на ней расположены и каковы их спектральные отражательные свойства. А это, в свою очередь, предопределяет возможности детектирования и мониторинга объектов на земной поверхности по спутниковым данным, а также детектирование по изображению объектов на земной поверхности и специфики компонентов природных объектов, находящихся под поверхностью Земли (например, геологических или почвенных).

Кроме того, отражательные свойства земной поверхности участвуют в регулировании радиационного баланса биосферы Земли [Stephens et al., 2015]. Изменение альбедо земной поверхности также является одной из причин изменений климата [Stephens et al., 2015].

Все это привело к повышенному интересу к изучению состояния земной поверхности как самостоятельного объекта, что наиболее успешно развивалось в зарубежных странах в виде концепции Land Cover (LC) (здесь и далее в тексте используется термин «наземный покров» (НП)).

Таким образом, изучение наземного покрова является важной задачей не только для понимания природных процессов, но и для разработки стратегий устойчивого развития и охраны окружающей среды.

Но, несмотря на высокую значимость, это научное направление до сих пор недостаточно научно обосновано. Отсутствует общепринятая терминология и классификация наземного покрова. Целью настоящей статьи является обзор основных понятий и классификаций наземного покрова для выработки подходов, которые наиболее полно отражали бы суть этого природного объекта и облегчали его использование для создания новых методов картографирования и мониторинга земельных ресурсов.

Объекты и методы исследования

Несмотря на несколько десятилетий развития учения о НП, до сих пор отсутствует общепринятое определение этого объекта. В табл. приведены наиболее часто используемые определения.

Определения понятия НП
Definitions of the concept of Land cover

№	Оригинальное определение	В переводе на русский язык	Ссылка
1	Landcover is used to describe the physical material at the surface of the earth. Land covers include grass, asphalt, trees, bare ground, water, etc.	Понятие «наземный покров» используется для описания физического состояния земной поверхности. Оно включает в себя травянистый покров, асфальт, деревья, открытую поверхность почвы, водную поверхность и др.	Fuller et al., 2000
2	Land cover (LC) is the physical material at the surface of the Earth. It is the result of both natural and human forces	Наземный покров – это физический материал на поверхности Земли. Он является результатом как природных, так и антропогенных воздействий.	Yang, Xin, 2021
3	Land cover is defined as a collection of objects present on or above the surface of the Earth, including vegetation, buildings, water, rocks and soil	Наземный покров определяется как совокупность объектов, присутствующих на поверхности Земли или над ней, включая растительность, объекты застройки, воду, горные породы и почву.	Bartholomé et al., 2002
4	Landcover is used to describe the physical material at the surface of the earth. Land covers include grass, asphalt, trees, bare ground, water, etc.	Наземный покров – это биофизическая оболочка, наблюдаемая на земной поверхности, которая включает в себя как природные объекты, так и антропогенные.	Land cover..., 2024

Окончание таблицы
End of the table

5	Land cover (LC) is defined as the biophysical material over the surface of the Earth and immediate subsurfaces including, among others, grass, shrubs, forests, croplands, barren, waterbodies (including groundwater), and man-made structures	Наземный покров можно рассматривать как проекцию измеримых и наблюдаемых свойств ландшафтной оболочки на земной поверхности в разных масштабах, которые определяются пространственным разрешением данных дистанционного зондирования.	Global land ..., 2024
6	Land cover refers to the surface cover on the ground like vegetation, urban infrastructure, water, bare soil etc.	Наземный покров – это термин, который можно отнести к физическому покрову земной поверхности, включающий в себя разные типы земельных участков и их характеристики. Например, леса, пастбища, горы, города, сельскохозяйственные угодья, водные объекты и т. д.	What is a land ..., 2024
7	Land cover is the observed (bio)physical cover on the earth's surface.	Наземный покров – наблюдаемый (био)физический покров на поверхности Земли.	Jansen, Di Gregorio, 2000
8	Наземный покров (или почвенный покров) используется для описания материала, покрывающего поверхность Земли. К наземному покрову относятся трава, асфальт, деревья, голая земля, вода и т. д.	—	Макарова, Владимирова, 2020
9	Land cover is the observed (bio)physical cover on the earth's surface. Land cover refers to the surface cover on the ground, whether vegetation, urban infrastructure, water, bare soil or other.	Наземный покров – это физический материал на поверхности Земли. Наземный покров относится к земной поверхности с растительностью, селитебной инфраструктурой, водными объектами, открытой поверхностью почв и др.	What does land..., 2024
10	Land cover data documents how much of a region is covered by forests, wetlands, impervious surfaces, agriculture, and other land and water types.	Наземный покров описывает покрытие территории лесами, болотами, искусственными поверхностями, сельскохозяйственной деятельностью и другими типами поверхности суши и воды.	Ocean service..., 2024

Анализ приведенных в табл. 1 определений показывает, что многие авторы определяют НП как (био)физическое состояние поверхности, что является вполне логичным. Именно (био)физическое состояние предопределяет отражательные свойства поверхности

Земли, энергетический баланс и специфику ее изображения на данных дистанционного зондирования. Попытка включения в определение НП терминов использования земель (Land Use) (селитебные территории, пашня и т. п.) вряд ли выглядит логичным (см., например, определения номер 1, 6, 9, 10), так как наземные объекты одного (био)физического типа могут иметь разное использование и попадать в разные классы. Так, например, (био)физический объект «древесная растительность» может иметь разное использование (лесная плантация, неуправляемый лес, плодовые насаждения, парковая зона и т. д.). То есть, с точки зрения НП это один и тот же объект, а с точки зрения землепользования – совершенно разные объекты.

Определение 5 жестко связывает НП с пространственным разрешением данных дистанционного зондирования, что также вряд ли логично. Наземный покров существует вне зависимости от данных дистанционного зондирования, которые могут лишь служить инструментом для его мониторинга. Поэтому связывать определение понятия НП с генерализованностью спутниковых данных вряд ли правильно.

Наиболее логичным нам представляется определение НП как (био)физического состояния поверхности Земли. Исходя из этого определения и должны строиться классификации наземного покрова.

Классификации наземного покрова

Классификации наземного покрова на начальном этапе возникали в виде легенд (списков классов) к тем картам, которые строились на основе спутниковых данных. В большинстве случаев в прошлом веке эти карты строились в мелком масштабе (с размером пикселя в несколько километров или 1 км). С появлением данных *MODIS* подобные продукты появились и с более высоким пространственным разрешением (250–500 м). Количество классов наземного покрова на подобных картах обычно составляло около 10–20 и они во многом повторяют друг друга.

Одной из наиболее известных и распространенных является классификация НП, созданная под эгидой Международной геосферно-биосферной программы ООН (IGBP) [Loveland et al., 2000]. Она была предложена для глобальной карты наземного покрова, созданной на основе данных NOAA-AVHRR с пространственным разрешением 1 км в 1993 году. Легенда карты включает 17 классов наземного покрова, что позволяет решать поставленные перед программой задачи:

- водная поверхность;
- вечнозеленые хвойные леса;
- вечнозеленые лиственные леса;
- опадающие хвойные леса;
- листопадные лиственные леса;
- смешанные леса;
- сомкнутые кустарниковые сообщества;
- разреженные кустарниковые сообщества;
- древесные саванны;
- саванны;
- травянистая растительность;
- болота;
- пашня;
- городские и застроенные территории;
- смесь пашни с естественной растительностью;
- ледники и снежники;
- лишенная растительности поверхность.

Как видно из этого перечня, он содержит классы не только НП, но и классы землепользования (пашня, городские территории). Кроме того, в данной классификации очень

слабо отражены смешанные классы наземного покрова, которые в большинстве случаев являются преобладающими на земной поверхности.

Более детальная версия глобальной карты НП была построена Бостонским университетом под эгидой NASA [2024] на основе данных MODIS за 2000–2001 годы. Пространственное разрешение этой карты также составляет 1 км, и она использует ту же легенду (классификацию НП), но с обновленными алгоритмами картографирования.

Похожий продукт создается ежегодно и Институтом космических исследований РАН в России на основе данных MODIS с пространственным разрешением 250 м на местности [Лупян и др., 2011]. Несмотря на то, что он позиционируется авторами как карта растительности, по своему содержанию (используемой классификации) он очень близок к картам наземного покрова, рассмотренным выше.

Серия спутниковых карт НП была издана университетом Мэриленд (США). Последняя, наиболее детальная, из них – в 2019 году. Она построена на основе спутниковых данных *Landsat* с пространственным разрешением 30 м на местности, но позиционируется авторами как «карта наземного покрова – землепользований» [Hansen et al., 2022].

В качестве легенды для этих карт была использована специально разработанная классификация, включающая 20 классов:

- пустыни;
- полупустынные территории;
- густая невысокая растительность;
- разреженная древесная растительность;
- сомкнутая древесная растительность;
- вновь возникшая древесная растительность;
- уничтоженная древесная растительность (не пожары);
- солончаки и соры;
- болота с редкой растительностью;
- болота с густой низкой растительностью;
- болота с разреженной древесной растительностью;
- болота с сомкнутой древесной растительностью;
- болота, заросшие древесной растительностью;
- болота с уничтоженной древесной растительностью (не пожары);
- ледники;
- водная поверхность;
- пахотные угодья;
- застроенные территории;
- океан;
- нет данных.

Основные из этих классов показаны на карте в процентах (например, застроенная территория на 60–70 %, или с показом высоты деревьев, или с показом проективного покрытия низкой растительности).

В отличие от классификации IGBP, эта классификация НП более детальна с точки зрения именно (био)физического состояния поверхности и менее близка к обычной классификации растительности. В ней задействованы классы НП, многие из которых действительно характеризуют (био)физическое состояние поверхности, а не просто классы растительности или ландшафтов.

Оригинальные подходы к классификации НП были разработаны Институтом прикладного системного анализа в Австрии (IIASA) в рамках проекта *Land Use Land Cover Changes* [van Minnen et al., 1996]. В рамках этих подходов в классификацию было введено разделение всех объектов НП на естественные, искусственные и полустественные. Которые на следующем уровне делились на покрытые растительностью и непокрытые

растительностью. А далее шло разделение на более дробные классы, которые во многом повторяли классы классификации IGBP, но на более детальном и иногда количественном уровне (высота, плотность растительного покрова). Всего было выделено 40 классов НП. Но в большинстве случаев наименования классов совпадают с классами растительности или природных зон (например, тундра, пустыни и т. п.), а не непосредственно классами НП.

Последующие работы ИААСА в области картографирования и классификации НП были направлены на использование более детальных спутниковых данных или данных, собираемых в рамках краудсорсинговых технологий, и не внесли существенных изменений в классификацию НП.

Существенным вкладом в развитие классификации НП является создание классификационной системы, разработанной специалистами ФАО [Di Gregorio, Jansen, 2000], которая была представлена в виде компьютерной иерархичной системы. Она аккумулировала опыт многих предыдущих подходов [Anderson et al., 1976; CEC, 1993; UNEP/FAO, 1994; UNEP, 2024], а также многочисленных классификаций растительности. На самом высоком уровне в ней выделяются два класса: под растительностью и без растительности. На следующем уровне эти классы делятся на наземные и водные. На третьем уровне эти классы разделяются на естественные, искусственные и полустественные. Дальнейшее разделение на классы НП идет с использованием специально разработанных классификаторов, отличных для разных классов более высоких уровней классификации. По ним выделяется еще до 4 иерархических уровней классификации. Дополнительно полученные классы НП характеризуются показателями окружающей среды (климат, рельеф, почвы...), которые не влияют на классификационное положение НП. В классификации не предусмотрено выделение смешанных классов НП, но считается, что при переходе от классификации к легенде карты вполне могут возникать смешанные классы НП, отображаемые на картах. При этом рекомендовано указывать не более 3 классов НП в картографическом выделе.

Данная классификация на сегодняшний момент является наиболее полной и действительно опирается именно на (био)физические характеристики наземного покрова.

Результаты и их обсуждение

В идеале классификация наземного покрова должна быть базовой и систематизировать в себе все накопленные научные знания об объекте исследований. Классификация должна основываться на базовом понимании «наземного покрова» как (био)физическом состоянии земной поверхности. Наземный покров должен рассматриваться как особый объект земной поверхности, который имеет свои специфические свойства, изменяется во времени и имеет специфику размещения в пространстве. Таким образом, классификация наземного покрова должна быть уникальной и не содержать в себе элементов классификации растительности, климата, почв, рельефа, созданных человеком искусственных объектов.

Помимо этого, необходимо разделить пространственный и типологический аспекты рассмотрения наземного покрова. Существует типологическая единица наземного покрова – «тип наземного покрова», которая обладает на земной поверхности своей географией. Отсюда следует, что классификация типов наземного покрова не должна касаться их пространственного размещения. Последнее может быть объектом отдельного классифицирования. Только при таком подходе можно достичь независимости типологической классификации наземного покрова от масштаба исследования и разрешить проблему унификации подходов к инвентаризации и картографированию наземного покрова. Этот принцип хорошо выдержан в классификации НП ФАО [Di Gregorio, Jansen, 2000].

Но в этой классификации почти не проработан вопрос классификации пространственных объектов НП.

Для решения задачи картографирования и мониторинга НП на уровне России и субъектов РФ оптимальным выглядит адаптация классификации ФАО (2000) (как наиболее проработанной и логичной) в следующем виде.

На самом высоком уровне выглядит логичным выделение 3 классов:

- земная поверхность с растительностью;
- земная поверхность без растительности;
- водные поверхности.

Эти 3 класса в свою очередь подразделяются на:

- естественные;
- искусственные.

Следовательно, базовыми на первом уровне классификации являются 6 классов НП, каждый из которых делится на втором, третьем и четвертом уровнях следующим образом:

1. земная поверхность с естественной растительностью
 - 1.1. древесная
 - 1.1.1. хвойная
 - 1.1.2. широколиственная
 - 1.1.3. мелколиственная
 - 1.1.4. смешанная
 - 1.2. кустарниковая
 - 1.2.1. хвойная
 - 1.2.2. лиственная
 - 1.3. травянистая
 - 1.4. моховая и лишайниковая
2. земная поверхность с искусственной растительностью
 - 2.1. древесная
 - 2.1.1. хвойная
 - 2.1.2. лиственная
 - 2.2. кустарниковая
 - 2.3. травянистая
3. естественная земная поверхность без растительности
 - 3.1. обнаженные почвы
 - 3.2. обнажения горных пород
 - 3.3. ледники и снежники
4. искусственная земная поверхность без растительности
 - 4.1. здания и строения
 - 4.2. автодороги
 - 4.3. железные дороги
 - 4.4. асфальтовые покрытия
 - 4.5. карьеры
 - 4.6. насыпи и отвалы
5. естественные водные объекты
 - 5.1. озера
 - 5.2. реки и ручьи
6. искусственные водные объекты
 - 6.1. водохранилища, запруды, искусственные озера
 - 6.2. каналы

Каждый из этих классов НП может характеризоваться дополнительными (био)физическими показателями. Например, растительность может характеризоваться разреженностью и высотой, дороги – типом покрытия и шириной, открытая поверхность почв и горных пород – их цветом (или отражательной способностью) и т. п. Эти показатели, по сути, аналогичны классификаторам в классификации ФАО [Di Gregorio, Jansen, 2000], но качественно отличаются от них для каждого типа НП.

Данная классификация характеризует (био)физическое состояние объектов в среднем, а не в конкретный момент времени. Так, например, зимой многие объекты НП покрыты снегом, но это не является основанием для отнесения этих объектов к классу 3.3.

Классификация имеет большое фундаментальное значение, но ее практическая значимость зависит от пространственного размещения классов НП и от их визуализации в виде карт. Использование классификации НП при картографировании имеет ряд особенностей.

Во-первых, это пространственная неоднородность НП, а во-вторых, – генерализованность карт. Большинство карт НП создается на основе анализа спутниковой информации, и степень генерализованности карты предопределяется как особенностями пространственной неоднородности НП, так и размером пикселя как элементарной единицы анализа. Путь показа преобладающего типа НП на картах, принятый почти на всех глобальных картах, является самым простым, но одновременно и самым неточным с точки зрения отражения географии НП. Улучшить качество карт можно путем отражения многокомпонентности НП на карте (например, показывать не только преобладающий класс НП, а до 3 классов, включая и сопутствующие классы НП, как предлагают [Di Gregorio, Jansen, 2000].

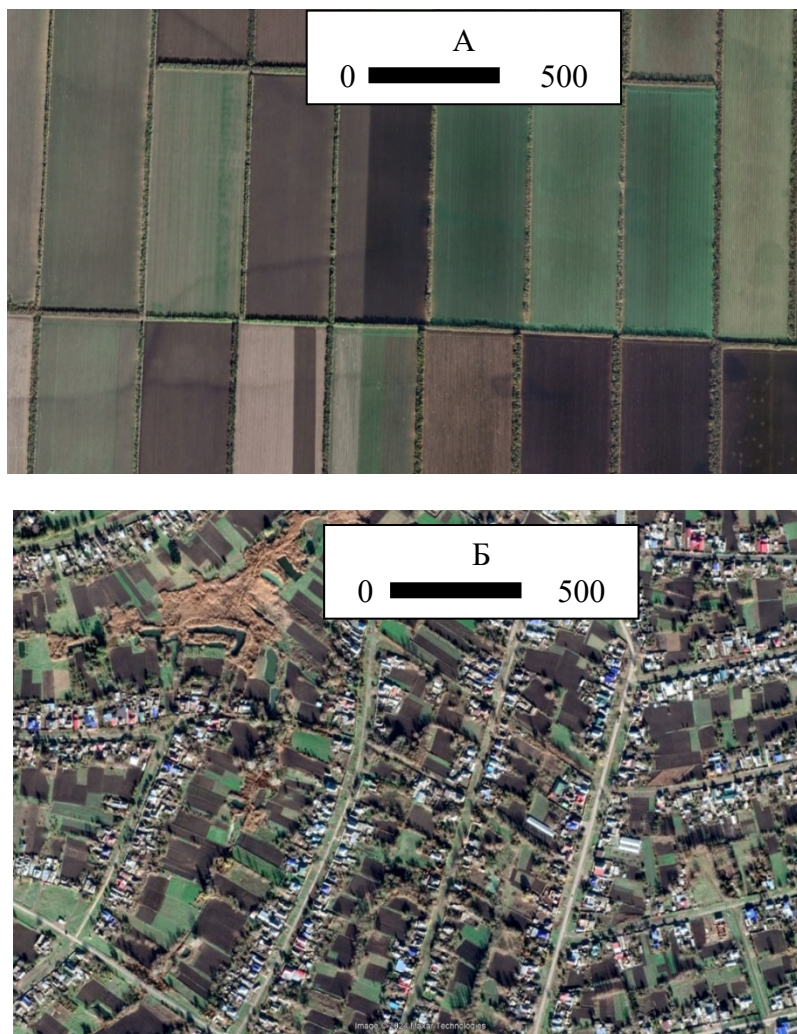
С нашей точки зрения, на картах НП в идеальном случае следует отражать закономерные пространственные комбинации НП. Наличие подобных закономерных пространственных комбинаций НП предопределяется как природными условиями территории (рельеф, почвы, растительность, климат), так и спецификой хозяйственной деятельности. На рис. представлены примеры подобных комбинаций в виде их изображений на спутниковых данных.

Данные закономерные пространственные комбинации можно классифицировать по подобию классификации структур почвенного покрова [Фридланд, 1972]. То есть, в качестве классификаторов можно использовать информацию о взаимосвязи компонентов НП и о контрастности входящих в комбинацию классов НП. В результате могут быть выделены:

1. Сочетания НП. Комбинации с контрастными компонентами НП и с выраженной односторонней связью между ними.
2. Вариации НП. Комбинации с неконтрастными компонентами НП и с выраженной односторонней связью между ними.
3. Мозаики НП. Комбинации с контрастными компонентами НП и без выраженной связи между ними.
4. Ташеты НП. Комбинации с неконтрастными компонентами НП и без выраженной связи между ними.

У В.М. Фридланда [1972] еще выделяются комплексы и пятнистости, которые характеризуются не просто связью между компонентами, а их взаимным влиянием друг на друга. В отличие от почвенного покрова выделять такие комбинации в случае НП вряд ли целесообразно.

Контрастность комбинации НП может определяться на основе Коэффициента спектральной контрастности (КСК), который представляет собой среднюю арифметическую для всех каналов и сроков съемки величину градиентов спектральной яркости для выдела НП.



Примеры закономерных пространственных комбинаций НП черноземной зоны
(А – комбинация в районе интенсивного сельскохозяйственного использования территории, состоящая из искусственной травянистой растительности, искусственной древесной растительности и грунтовых дорог; Б – комбинация в районе населенных пунктов, состоящая из строений, автодорог, асфальтовых покрытий, искусственной древесной и травянистой растительности, открытой поверхности почвы)

Examples of regular spatial combinations of Land cover in Chernozemic zone
(А – a combination, in an area of intensive agricultural use of the territory, consisting of artificial grassy vegetation, artificial woody vegetation and dirt roads; Б – in the area of settlements, consisting of buildings, highways, asphalt pavements, artificial woody and grassy vegetation, open soil surface)

Введение в классификацию структур наземного покрова информации о связях между классами обусловлено тем, что в некоторых комбинациях от присутствия одного класса может зависеть присутствие другого класса. Так, например, при интенсивном сельскохозяйственном использовании земель (см. рис.) наличие полей с посевами культур ведет за собой присутствие дорог для подъезда к ним, а также местами лесополос между полями. В зависимости от площади дорог эта комбинация может быть классифицирована как вариация НП (при небольшой площади дорог) или как сочетание НП (при большой площади дорог). В качестве другого примера приведем следующий. Комбинация травянистой растительности в балке с отдельными кустарниками. В этом примере присутствие кустарников никак не обусловлено присутствием травянистой растительности. Поэтому эта комбинация НП должна быть классифицирована как ташет НП.

Конечно же, приведенные предложения по классификации наземного покрова являются рабочими и нуждаются в дальнейшей апробации и валидации.

В качестве основного источника информации о наземном покрове выступают спутниковые данные [van Minnen et al., 1996; Loveland et al., 2000], что накладывает некоторые ограничения на использование предлагаемых подходов на практике. Например, при разделении на основе спектрально-отражательных свойств могут возникнуть сложности при распознавании близких по отражательным признакам классов, но находящихся в разных категориях по естественному или искусственному происхождению. Примерами таких классов выступает, например, «хвойная растительность», одновременно находящаяся в категориях 1.1 и 2.1.1, или такие классы, как «озера» и «искусственные озера». В настоящее время надежные алгоритмы автоматизированного распознавания такого признака наземных объектов как их искусственное или естественное происхождение отсутствуют. И это ограничивает отнесение отдельных объектов наземного покрова к классификационным выделениям (см. выше). Эта задача может быть решена привлечением приемов визуального (не автоматизированного) дешифрирования [Савин, Жоголев, Прудникова, 2019], в рамках которых эксперт-дешифровщик может установить визуально с каким объектом он имеет дело – с естественным или искусственным. Но, при использовании такого подхода теряется технологичность, оперативность картографирования и повышается его субъективность. С развитием и широким внедрением в процесс автоматизированной обработки спутниковых данных систем искусственного интеллекта уже в ближайшем будущем проблема полной формализации экспертных подходов будет решена и вышеуказанный недостаток будет устранен.

Заключение

Наземный покров является важным компонентом поверхности Земли, который предопределяет ее энергетический баланс и возможности картографирования и мониторинга других природных объектов (почв, растительности, водных объектов, специфики антропогенного воздействия) по данным дистанционного зондирования.

Классификация наземного покрова должна базироваться на (био)физических характеристиках земной поверхности.

Предложена классификация закономерно повторяющихся в пространстве компонентов наземного покрова, основанная на данных о контрастности компонентов комбинаций наземного покрова, а также о наличии компонентов, обуславливающих появление в комбинации других компонентов.

Предложенные классификации наземного покрова и его пространственных комбинаций нуждаются в дополнительной апробации и валидации.

Список источников

- Вельтищев Н.Ф., Семенченко Б.А. 2005. Дистанционные методы измерений в гидрометеорологии. М., МГУ, 129 с.
- CEC (Commission of the European Communities). 1993. CORINE Land Cover – Guide technique. Brussels.
- Global land products. Electronic resource. URL: https://www.aboutgis.com/Publications/Mountrakis_IIRS_2015_Global_land_products.pdf (date of the application 18.01.2024).
- Land cover map. Electronic resource. URL: <https://wiki.openstreetmap.org/wiki/Landcover> (date of the application 18.01.2024).
- NASA. Electronic resource. URL: https://neo.gsfc.nasa.gov/view.php?datasetId=MCD12C1_T1 (date of the application 12.01.2024).
- Ocean service. Electronic resource. URL: <https://oceanservice.noaa.gov/facts/lclu.html> (date of the application 12.01.2024).



- UNEP. Electronic resource. URL: https://www1.biology.uni-hamburg.de/bonline/afrika/afrika_forest/www.unep_wcmc.org/forest/global_map.htm (date of the application 12.01.2024).
- UNEP/FAO. 1994. Report of the UNEP/FAO Expert Meeting on Harmonizing Land Cover and Land Use Classifications. GEMS Report Series, 25 p.
- What does land cover. Electronic resource. URL: <https://ids-water.com/2020/05/06/what-does-land-cover-include/> (date of the application 12.01.2024).
- What is a land cover. Electronic resource. URL: <https://mv-organizing.com/what-is-a-land-cover-type/> (date of the application 17.01.2024).

Список литературы

- Лупян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толпин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е. 2011. Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («ВЕГА»). Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 8(1): 190–198.
- Макарова М.А., Владимирова Н.А. 2020. Обзор ресурсов открытых пространственных данных о растительном покрове земли в сети интернет. Ботанический журнал, 105(4): 387–407. <https://doi.org/10.31857/S0006813620040067>.
- Савин И.Ю., Жоголев А.В., Прудникова Е.Ю. 2019. Современные тренды и проблемы почвенной картографии. Почвоведение, 5: 517–528. <https://doi.org/10.1134/S0032180X19050101>.
- Фридланд В.М. 1972. Структура почвенного покрова. М., Мысль, 336 с.
- Anderson J.R., Hardy E.E., Roach J.T., Witmer R.E. 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. Washington, United States Government Printing Office, 28 p.
- Asadzadeh S., de Souza Filho C. R. 2016. A Review on Spectral Processing Methods for Geological Remote Sensing. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 47: 69–90. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.12.004>.
- Bartholomé E., Belward A., Frédéric A., Bartalev S., Carmona-Moreno C., Eva H., Fritz S., Grégoire J.M., Mayaux P., Stibig H.J.E.E. 2002. GLC 2000: Global Land Cover Mapping for the Year 2000: Project Status November 2002. Italy, Institute for Environment and Sustainability, 66 p.
- Dharumarajan S., Seenipandi K., Adhikari K., Manickam L., Kumar N. 2023. Remote Sensing of Soils. Mapping, Monitoring, and Measurement. Elsevier, 717. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-00254-3>.
- Di Gregorio A., Jansen L.J.M. 2006. Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual. Rome, CD-ROM. FAO, 179 p.
- Fuller R., Smith G., Sanderson J., Hill R., Thomson A., Clarke R. 2000. Countryside Survey 2000 Module 7: Land Cover Map 2000. NERC/Institute of Terrestrial Ecology, 99 p.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Pickens A.H., Tyukavina A., Hernandez-Serna A., Zalles V., Turubanova S., Kommareddy I., Stehman S.V., X-P Song. 2022. Global Land Use Extent and Dispersion within Natural Land Cover Using Landsat Data. Environmental Research Letters, 17(3): 034050. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac46ec>.
- Jansen L., Di Gregorio A. 2000. Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 190 p.
- Kaur R., Pandey P. 2022. A Review on Spectral Indices for Built-Up Area Extraction Using Remote Sensing Technology. Arabian Journal of Geosciences, 15: 391. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09688-x>.
- Loveland T.R., Reed B.C., Brown J.F., Ohlen D.O., Zhu Z., Yang L., Merchant J. W. 2000. Development of a Global Land Cover Characteristics Database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR Data. International Journal of Remote Sensing, 21(6–7): 1303–1330. <https://doi.org/10.1080/014311600210191>.
- Schmugge T.J., Kustas W.P., Ritchie J.C., Jackson T.J. 2002. Al Rango Remote Sensing in Hydrology. Advances in Water Resources, 25(8–12): 1367–1385. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00065-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00065-9).
- Stephens G.L., O'Brien D., Webster P.J., Pilewski P., Kato S., Li J. 2015. The Albedo of Earth. Reviews of Geophysics, 53(1): 141–163. <https://doi.org/10.1002/2014RG000449>.
- van Minnen J.G., Fischer G., Stolbovoi V. 1996. A Land-Cover Classification for Modeling Natural Land Cover within the IIASA LUC Project. Laxenburg, Austria: WP-96-026.

- Vincent R.K. 1997. *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 370 p.
- Yang J., Xin H. 2021. The 30 m Annual Land Cover Dataset and Its Dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, 13 (8): 3907–3925. <https://doi.org/10.5194/essd-13-3907-2021>.
- Xie Y., Sha Z., Yu M. 2008. Remote Sensing Imagery in Vegetation Mapping: a Review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1): 9–23. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>.

References

- Lupyan E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. 2011. Satellite Service of Vegetation Monitoring "VEGA". *Modern problems of remote sensing of the Earth from space*, 8(1): 190–198 (in Russian).
- Makarova M.A., Vladimirova N.A. 2020. The Review of the Internet Open Spatial Resources on Earth's Vegetation Cover. *Botanical Journal*, 105(4): 387–407 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S0006813620040067>.
- Savin I.Y., Zhogolev A.V., Prudnikova E.Y. 2019. Modern Trends and Problems of Soil Mapping. *Eurasian Soil Science*, 52 (5): 471–480 (in Russian). <https://doi.org/10.1134/S1064229319050107>.
- Friedland V.M. 1972. *Struktura pochvennogo pokrova [The Structure of the Soil Cover]*. Moscow, Publ. Mysl, 336 p.
- Anderson J.R., Hardy E.E., Roach J.T., Witmer R.E. 1976. *A land use and land cover classification system for use with remote sensor data*. Washington, United States Government Printing Office, 28 p.
- Asadzadeh S., de Souza Filho C. R. 2016. A Review on Spectral Processing Methods for Geological Remote Sensing. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 47: 69–90. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.12.004>.
- Bartholomé E., Belward A., Frédéric A., Bartalev S., Carmona-Moreno C., Eva H., Fritz S., Grégoire J.M., Mayaux P., Stibig H.J.E.E. 2002. *GLC 2000: Global Land Cover Mapping for the Year 2000: Project Status November 2002*. Italy, Institute for Environment and Sustainability, 66 p.
- Dharumarajan S., Seenipandi K., Adhikari K., Manickam L., Kumar N. 2023. *Remote Sensing of Soils. Mapping, Monitoring, and Measurement*. Elsevier, 717. <https://doi.org/10.1016/C2022-0-00254-3>.
- Di Gregorio A., Jansen L.J.M. 2006. *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual*. Rome, CD-ROM. FAO, 179 p.
- Fuller R., Smith G., Sanderson J., Hill R., Thomson A., Clarke R. 2000. *Countryside Survey 2000 Module 7: Land Cover Map 2000*. NERC/Institute of Terrestrial Ecology, 99 p.
- Hansen M.C., Potapov P.V., Pickens A.H., Tyukavina A., Hernandez-Serna A., Zalles V., Turubanova S., Kommareddy I., Stehman S.V., X-P Song. 2022. Global Land Use Extent and Dispersion within Natural Land Cover Using Landsat Data. *Environmental Research Letters*, 17(3): 034050. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ac46ec>.
- Jansen L., Di Gregorio A. 2000. *Land Cover Classification System (LCCS): Classification Concepts and User Manual*. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 190 p.
- Kaur R., Pandey P. 2022. A Review on Spectral Indices for Built-Up Area Extraction Using Remote Sensing Technology. *Arabian Journal of Geosciences*, 15: 391. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09688-x>.
- Loveland T.R., Reed B.C., Brown J.F., Ohlen D.O., Zhu Z., Yang L., Merchant J. W. 2000. Development of a Global Land Cover Characteristics Database and IGBP DISCover from 1 km AVHRR Data. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6–7): 1303–1330. <https://doi.org/10.1080/014311600210191>.
- Schmugge T.J., Kustas W.P., Ritchie J.C., Jackson T.J. 2002. Al Rango Remote Sensing in Hydrology. *Advances in Water Resources*, 25(8–12): 1367–1385. [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00065-9](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00065-9).
- Stephens G.L., O'Brien D., Webster P.J., Pilewski P., Kato S., Li J. 2015. The Albedo of Earth. *Reviews of Geophysics*, 53(1): 141–163. <https://doi.org/10.1002/2014RG000449>.
- van Minnen J.G., Fischer G., Stolbovoi V. 1996. *A Land-Cover Classification for Modeling Natural Land Cover within the IIASA LUC Project*. Laxenburg, Austria: WP-96-026.
- Vincent R.K. 1997. *Fundamentals of Geological and Environmental Remote Sensing*. Prentice Hall, Upper Saddle River, 370 p.



- Yang J., Xin H. 2021. The 30 m Annual Land Cover Dataset and Its Dynamics in China from 1990 to 2019. *Earth System Science Data*, 13(8): 3907–3925. <https://doi.org/10.5194/essd-13-3907-2021>.
- Xie Y., Sha Z., Yu M. 2008. Remote Sensing Imagery in Vegetation Mapping: a Review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1): 9–23. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtm005>.

*Поступила в редакцию 29.01.2024;
поступила после рецензирования 27.02.2024;
принята к публикации 02.03.2024*

*Received January 29, 2024;
Revised February 27, 2024;
Accepted March 02, 2024*

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.
Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Савин Игорь Юрьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, академик Российской академии наук, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, г. Москва, Россия

Igor Yu. Savin, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, V.V. Dokuchaev Soil Institute, Moscow, Russia

Березуцкая Элина Рамилевна, аспирант института экологии, департамент рационального природопользования, Российский университет дружбы народов, г. Москва, Россия

Elina R. Berezutskaya, Postgraduate Student of the Institute of Ecology, Department of Environmental Management, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russia