

УДК 911.52:528.94

**ИНДИКАЦИЯ ГОРНЫХ ГЕОСИСТЕМ НА КОСМИЧЕСКИХ СНИМКАХ****Бражников М.Л.***ФГБУН «Институт географии им. В.Б. Сочавы» СО РАН,  
Иркутск, e-mail: brazhnikov\_max@mail.ru*

В статье рассмотрены теоретические основы индикации горных территорий по космическим снимкам для отображения исследуемых природно-территориальных комплексов на карте геосистем. Данные космических съёмов раскрывают структуру, динамику и направление преобразования горных геосистем. Выявлены наиболее характерные индикаторы природно-территориальных комплексов для территорий с высокой геодинамической активностью, позволяющие наиболее полно и достоверно отображать геосистемы гор на картах. Процесс исследования осуществляется на основе анализа систем дешифровочных признаков: яркостных, геометрических, текстурных и косвенных. Спектральный и временной диапазон космических съёмов выступает критерием дифференциации качественно различных объектов, а анализ фототона, структуры или текстуры изображения космических снимков дает возможность выявлять определенную базу данных, которая затем переводится в теоретический блок знаний. Карты такого типа позволяют отобразить пространственно-временные взаимосвязи как межкомпонентной структуры ландшафтов, так и взаимосвязь между ландшафтами, связанными потоками вещества и энергией.

**Ключевые слова:** индикация, космоснимок, дешифровочный признак, геосистема

**INDICATION OF MOUNTAIN GEOSYSTEMS TO SATELLITE IMAGES****Brazhnikov M.L.***V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, e-mail: brazhnikov\_max@mail.ru*

The article deals with the theoretical basis of indication of mountain areas on satellite images for mapping study natural complexes on the map geosystems. Data space shootings reveal the structure, dynamics and direction of the transformation of mountain geosystems. Revealed the most typical indicators for areas with a high geodynamic activity, allowing the most complete and reliable display Geosystems mountains on the maps. The research process is based on analysis systems interpretive features: brightness, geometry, texture and indirect. Spectral and temporal range of satellite imagery in favor of differentiation criterion qualitatively different objects, and analysis fototona, structure or texture of satellite images allows the image to identify a specific database is given, which is then translated into a theoretical unit of knowledge. Maps of this type make it possible to display spatial and temporal relationship as intercomponent landscape structure and the relationship between the landscapes associated flows of matter and energy.

**Keywords:** indication, satellite image, interpretive signs, geosystem

Современное развитие космических технологий привело к широкому использованию космической информации для решения различных научных и практических задач, в том числе и для развития современного картографирования геосистем. Космические снимки служат источником для исследования, отображения и картографирования пространственно-временных данных. Карта геосистем, созданная на основе космических снимков разного масштаба и разрешения, является хорошей базой для решения различных географических задач, т.к. она отображает не только пространственные характеристики геосистем, но и их изменения во времени, тем самым показывает их динамику. Пространственно-временной характер отображения природно-территориальных комплексов на космических снимках (КС) позволяет экстраполировать материалы локальных наземных полевых исследований. В конечном итоге данные космических съёмов раскрывают структуру, динамику и направления преобразования геосистем.

С другой стороны, отображенный участок местности, дополненный наземными точечными и линейными полевыми данными, повышает точность карт и, соответственно, эффективность проводимых исследований.

**Индикация и определение основных индикативных свойств геосистем**

Наиболее универсальной формой представления информации при космических исследованиях является снимок – изображение, полученное в результате дистанционной регистрации техническими средствами собственного или отраженного излучения Земли. Он предназначен для обнаружения, качественного и количественного изучения объектов, явлений и процессов путем дешифрирования, измерения и картографирования. КС рассматривается как метрическая картинно-образная модель местности. Генерализованный характер изображения составляет важное свойство снимка как модели, который имеет много общего с образно-знаковой моделью – картой [3].

Термин «геосистема» введен в научную географическую литературу В.Б. Сочаевой и означает «особый класс управляющих систем; земное пространство всех размерностей, где отдельные компоненты природы находятся в системной связи друг с другом и как определённая целостность взаимодействуют с космической сферой и человеческим обществом» [5, с. 292]. Другими словами, геосистема – это совокупность взаимосвязанных компонентов географической оболочки, объединённых потоками вещества, энергии и информации.

Один из первых шагов, которые необходимо провести при создании карт геосистем на основе космических снимков, – это определение основных индикаторов и индикативных признаков природно-территориальных комплексов (ПТК).

**Индикация** – методы и приёмы наблюдения, фиксации, контроля, характеристики и оценки состояния и стадий развития различных процессов, объектов и систем исследования для установления и контроля зависимостей от изменения условий во времени, статистики количественного и качественного порядка, сопоставления с нормой. Иными словами, индикация – это определение индиката с помощью индикатора, т.е. определение труднонаблюдаемых компонентов ландшафта по его внешнему облику [1].

**Ландшафтная индикация** – совокупность методов оценки состояния природно-территориальных комплексов, отдельных их компонентов и протекающих в них процессах по легко доступным для непосредственного наблюдения компонентам или аэрофотоснимкам/космоснимкам.

Индикатами могут служить не только отдельные компоненты ПТК и их свойства, но и протекающие в них процессы. При этом существуют три вида такой индикации:

- индикация процессов, происшедших в ПТК в прошлом и прекратившихся к настоящему времени;
- индикация процессов, протекающих в настоящее время;
- индикация процессов, которые будут происходить в будущем.

Наиболее распространенной разновидностью индикации процессов является стадийно-синхронная индикация, представляющая собой распознавание с помощью ландшафтных индикаторов характера и направленности процессов, протекающих в настоящее время. Индикаторами в этом случае выступают экто-

ярус ландшафтно-генетических рядов. Эктоярус – верхний ярус, образован физиономическими компонентами, участками открытой почвы, поверхностью водоемов и следами деятельности человека. Эктоярус может быть беспрепятственно наблюдаем при маршрутных исследованиях, а также наиболее явно отображается на аэрофотоснимках/космоснимках.

### Выбор «центрального» индикатора горных геосистем

Следующим этапом является определение ландшафтно-генетических рядов. Ландшафтно-генетическими рядами называются ряды, образованные природно-территориальными комплексами, расположенными в пространстве в той последовательности, в какой эти комплексы сменяют друг друга во времени. Каждый ПТК, входящий в такой ряд, отражает определенную стадию процесса. При этом ландшафтно-генетический ряд не обязательно должен представлять единый сопряженный комплекс на одном профиле, а может быть скомпонован путем описаний на нескольких участках.

Опыт показывает, что от применяемого подхода к дешифрированию КС зависит и эффективность исследований. Несомненно, что некоторая часть результатов, полученных разными способами, совпадает, однако есть и много различий, вплоть до противоречивых. Иногда полученные выводы трудно сравнивать в силу выбора неодинаковых элементов, которым придается особое, «центральное», значение. В результате такого рода анализа выявляются несколько наиболее информативных признаков, по которым производится дальнейшее деление территории, классификация геосистем [3].

Чаще всего в качестве «центрального» фактора выбирается рельеф, биота, литогенная основа либо почвенный покров на лишенных древесно-кустарниковой растительности пространствах. Вместе с тем вопрос о ведущем факторе в индикационных исследованиях до сих пор не решен, т.к. не получено бесспорных доводов в пользу его выбора. Это связано с тем, что на разных территориях основным или центральным фактором может быть принят разный фактор, например, в силу отсутствия того или иного элемента ПТК или в случае наиболее выраженного из выбираемых компонентов. Так же выбор может зависеть от цели производимых исследований. Противоречие сглаживается развитием разных индикационных направлений. Вместе с тем проблема

ведущего компонента неразрешима по следующим причинам: изменение любого элемента геосистемы оказывает влияние на все остальные; воздействие геосистемы на другие формируется с участием всех ее элементов; придание тому или иному компоненту ведущей роли фактически влечет за собой сведение целого к части, т.е. к редукции [3].

Дистанционные исследования индикации геосистем базируются на представлении о том, что отражательные и излучательные характеристики объектов являются не только индикационными дешифровочными признаками, но и свойствами природы, сформировавшимися в течение длительной эволюции, которые играют существенную роль в функционировании геосистем [2].

Процесс исследования осуществляется на основе анализа систем дешифровочных признаков: яркостных, геометрических, текстурных и косвенных. Спектральный и временной диапазон космических съемок выступает критерием дифференциации качественно различных объектов, а анализ фототона, структуры или текстуры изображения КС дает возможность выявлять определенную базу данных, которая затем переводится в теоретический блок знаний. При этом параметр «текстура» (структура изображения + характерный рисунок) относится в целом к геосистеме, а яркостные и геометрические показатели применимы непосредственно лишь к отдельным ее компонентам. Косвенные признаки (особенности смежности, соседства, взаимосвязей) характеризуют дешифрируемый объект опосредованно [4].

Дешифровочные признаки геосистем делятся на три группы:

1) *прямые* – свойства объектов, непосредственно проявляющиеся на поверхности Земли и отображающиеся в виде набора характеристик дистанционного изображения;

2) *косвенные* – свойства объектов, непосредственно не выраженные на поверхности, но тем или иным образом связанные с набором прямых признаков;

3) *контекстуальные* (топологические) – свойства объектов земной поверхности, выявляющиеся для текущего объекта при анализе признаков его окружения.

Косвенные и контекстуальные признаки имеют непосредственное отношение к процедурам индикации. Кроме того, признаки дешифрирования обладают различной индикационной способностью или степенью достоверности. Далеко не всегда прямые признаки оказываются более достоверными

по сравнению с косвенными и контекстуальными. Однако число косвенных и контекстуальных признаков дешифрирования практически всегда существенно превышает число прямых. Следовательно, оперируя ими, можно более уверенно подтверждать гипотезу отнесения текущего объекта к тому или иному классу легенды.

### **Индикаторы геосистем и их компонентов (ландшафтно-индикационный метод)**

Геосистемы на космических снимках выделяются как специфическими особенностями их строения в целом, так и физиономическими особенностями компонентов природной среды – рельефа, растительности, почв и т.д. При дешифрировании геосистем используют различные индикаторы, по тематическому типу они подразделяются на гео-, лито-, почво-, био-, гидро- и другие [4].

Одним из важнейших элементов геосистем, а значит, и наглядным индикатором является рельеф, особенно на участках поверхности Земли с его резкой расчлененностью, т.е. в горных территориях.

*Рельеф* и его элементы являются основополагающими индикаторами внутреннего строения горного ландшафта, основанием для его детальной сегментации. Элементы рельефа возникли в результате взаимодействия атмо-, гидро-, крио- и биосферы с геологической средой и процессов внутри последней. Рельеф разрушения (деструктивный) формируется при воздействии различных экзогенных процессов на субстрат при изменении климатических условий или смене групп агентов разрушения.

Рельеф характеризует условия увлажнения, дренажа, влияет на интенсивность склоновых процессов и накопление минеральных, органических веществ, их перенос, почвообразование, характер почв. Указанные взаимосвязи позволяют использовать элементы рельефа в качестве геоиндикаторов.

Элементы рельефа в виде осевых хребтов и их отрогов четко отображают и характеризуют конфигурацию водотоков, отражая особенности сети речных долин, которые также являются хорошими индикаторами.

*Литогенный* фактор в различных климатических и неотектонических условиях проявляет разные свойства субстрата. Демаскирующие свойства рельефа зависят от степени различия эрозионной и денудационной устойчивости субстрата, размеров транспортируемых обломков, значений пористости, способности к размоканию

и набуханию пород, типов агентов денудации. Близость этих свойств и характера их распределения внутри смежных геологических тел предопределяет их неразличимость в характеристиках поверхности. Площади, занятые такими монотонными комплексами горных пород, наиболее неблагоприятны для дешифрирования. Контрастность свойств смежных тел определяет их особое отражение в рельефе.

Например, литофицированная толща с мелкослоистым распределением свойств дешифрируется плохо, реже удовлетворительно: могут быть выделены системы трещин, разрывы, фрагментами складчатая структура, оценено общее простирание. Толща, сложенная пачками горных пород с различным распределением свойств, характеризуется анизотропией слоистого типа: могут быть установлены границы между пачками, складчатая структура, системы разломов и трещин – дешифрируемость хорошая.

Под воздействием *тектонического* фактора формируются:

1) первично-тектонические поверхности, возникшие в результате разрыва сплошности пород и выхода на поверхность крыла разрыва;

2) деформации поверхностей аккумулятивного рельефа, образованного в процессе денудации (сноса, удаления и накопления продуктов физико-химического выветривания) и др.

Элементы *гидрографии* являются индикаторами литокомплексов, зон трещиноватости, дробления, разломов, что выражается в густоте и рисунке речной сети, аномальных изгибах или, наоборот, прямолинейности долин. Речная сеть на космических снимках распознается до 5–6-го порядка. Древовидный тип сети отражает наклонное или горизонтальное залегание слоев, радиальный – антиклинальное или синклиналиное строение, параллельный – параллельно согласное направление структур, решетчатый свойствен складчатым областям с удлинёнными складками.

*Растительность и почвы* демаскируют участки фронта выветривания (т.е. полосы между выветрелой и невыветрелой горной породой) на литофицированных, кристаллических породах, что отражается в структуре однородного растительного покрова или в характере размещения растений с разной развитостью вегетативных органов. Экспозиция склонов и их крутизна также выражены соответствующей растительно-

стью, связанной с количеством солнечной энергии, мощностью почвенного покрова, его составом и т.д.

### Заключение

Вопросы оценки состояния горных геосистем затронуты в аэрокосмических исследованиях достаточно мало. Развитие методов индикации геосистем является одним из приоритетных направлений дистанционного зондирования Земли.

Каждый вид дистанционной съемки дает свою специфическую информацию о геосистемах: фотографический – хорошо выявляет детальную плановую структуру, но плохо – видовой состав и ритмику; многоспектральный – видовой состав и ритмику, но хуже – структуру и привязку; тепловой и радиотепловой – некоторые физические и геометрические параметры. Различия в характере местности и её свойствах, соотношение прямых и косвенных признаков, созданных разными факторами, определяет выбор космической информации и методов ее дешифрирования. Связи индикаторов и демаскируемых ими объектов всегда вероятностны. Чем строже и определеннее они оценены, тем достовернее результат дешифрирования, максимально отвечающий целям, задачам и тематической направленности исследования. При комплексном изучении различных геосистем особое внимание уделяется интеграции данных о природной среде. Дистанционная индикация является одним из методов, при котором интеграция осуществляется в процессе образования электромагнитного сигнала.

Лишь совокупное использование различных дистанционных методов, а также полный и правильный выбор индикаторов обеспечивает получение многосторонней информации о геосистемах – составе, ритмике, динамике, плановой структуре и геофизических характеристиках.

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00902).*

### Список литературы

1. Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация. – М.: Наука, 1985. – 96 с. – (Человек и окружающая среда).
2. Виноградов Б.В. Преобразованная земля. – М.: Наука, 1984. – 213 с.
3. Коновалова Т.И. Геосистемное картографирование. – Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2010. – 186 с.
4. Ландшафтно-интерпритационное картографирование / Т.И. Коновалова, Е.П. Бессолицина, И.Н. Владимиров и др. – Новосибирск: Наука, 2005. – С. 424.
5. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, 1978. – 320 с.