

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СТРУКТУРНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЭКОСИСТЕМ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ*

Л. Ю. ДИТЦ

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, Новосибирск, Россия

e-mail: ditz@issa.nsc.ru

Remote sensor data are considered for studies of the spatial-temporal dynamics of soils in the area of the North-Sosivinskoy eminence. Soil is treated as the main component of the Earth ecosystem. The landscape indication method is used as a base for decoding of the satellite data. Complex approach is used for the identification of the landscape peculiarities resulted as a consequence of the morphogenesis.

Широкое использование материалов дистанционного зондирования Земли дает возможность получать объективную информацию о строении земной поверхности, экологическом состоянии компонентов природной среды и является неотъемлемой основой для создания тематических карт, ведения мониторинга и прогнозирования природных процессов и явлений. Обладая значительной обзорностью, материалы дистанционного зондирования позволяют изучать и картографировать закономерные сопряжения почв в пространстве, определять ведущие компоненты ландшафта в формировании фотоизображения [1].

При почвенно-географических исследованиях широко использовались космические снимки с разрешением 30 м, которые передают информацию о формах мезорельефа, ареалах распространения растительности и являются высокоинформативными для составления средне- и мелкомасштабных, а также обзорных почвенных карт. Однако следует отметить, что аэрокосмические снимки — это всего лишь спектральный образ природного объекта, который требует процедур идентификации, классификации и распознавания информации [2]. По-настоящему широкие перспективы открылись перед дистанционным зондированием только с развитием компьютерных технологий, переносом всех основных операций по обработке и использованию данных съемок на компьютеры, особенно в связи с появлением и широким распространением ГИС-технологий. Поэтому данные дистанционного зондирования становятся информацией для тематического картографирования после трансформирования их в векторную форму и интегрирования в ГИС-проекты.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 05-04-98006 и № 05-07-98011).

© Институт вычислительных технологий Сибирского отделения Российской академии наук, 2007.

При комплексном тематическом картографировании большое значение имеет применение системного подхода, который позволяет представить каждый природный компонент как развивающуюся и самовоспроизводящуюся систему [3].

Объектами системного картографирования являются геосистемы, где почва выполняет достаточно важную функцию. Компоненты целостной системы — это элементы, интегрированные данной системой, противоречие, единство, взаимодействие между которыми обеспечивают ее функционирование и развитие. В почве связь между составляющими ее компонентами настолько прочна, что малейшие изменения в одних из них вызывают неизбежное изменение и в других, а при интенсивных изменениях — и всей системы в целом [4], что является причиной для ведения аэрокосмического мониторинга состояния экосистем.

Согласно концепции системной организации природной среды [5], ландшафт представляется как целостная природная единица, отображающая взаимодействие всех компонентов природной среды и учитывающая соотношение тепла и влаги, различий рельефа и геологического строения. Таким образом, ландшафты или природные комплексы на разных уровнях иерархии являются объективно существующими в природе целостными территориальными образованиями с закономерно повторяющейся пространственной структурой [6].

При дешифрировании почв по космическим снимкам почва как целостный природный объект непосредственно на снимках не изображается [3]. Поэтому перспективным направлением в изучении почвенного покрова является метод ландшафтного дешифрирования, при котором индикатором дешифрирования может быть один из видимых на снимке компонентов ландшафта [7]. Основой же для распознавания почв является установление ландшафтно-индикационной роли каждого компонента ландшафта (рельефа, растительности, уровня грунтовых вод и т. д.) в формировании фотоизображения [8]. Индикационная роль каждого дешифровочного признака, связь его с остальными компонентами ландшафта во многом зависят от географической обстановки.

Почвенно-индикационному дешифрированию космоснимков предшествует выявление взаимосвязей между почвами, растительностью и рельефом. Для этих целей наиболее приемлемы сравнительно-географические методы, заключающиеся в сопряженном изучении литолого-геоморфологических условий, растительности и почв в различных точках ландшафта с целью выявления пространственных аспектов их взаимосвязи. Поэтому возможности использования для дешифрирования тех или иных признаков в каждом конкретном случае устанавливаются на основе географического изучения территории в ее взаимосвязях и проявляются в приуроченности одних объектов к другим.

Западно-Сибирская равнина — крупный и уникальный по своим природным условиям регион. Значительная протяженность Западно-Сибирской равнины с севера на юг и широтные изменения гидротермического фактора в условиях равнинности территории способствуют четкому проявлению на ее территории природной зональности. Зонально-провинциальные особенности здесь в полной мере проявляются в почвенно-растительном покрове. В исследовании почвенного покрова большое значение имеют зонально-биоклиматические и провинциально-геоморфологические условия.

Геоморфологические особенности территории формируют спектральный образ на космических снимках. Современная морфоструктурная основа рельефа Западно-Сибирской равнины имеет эрозионно-тектоническое происхождение и положена в основу геоморфологического районирования территории Западно-Сибирской равнины [9].

Каждому геоморфологическому району Западной Сибири свойствен определенный облик ландшафта, фотоизображение которого обусловлено спецификой рельефа, антропогенной освоенностью района, степенью залесенности и заболоченности. Объектом исследования послужили природные комплексы Северо-Сосьвинской возвышенности, которая расположена в северо-западной части Западной Сибири (рис. 1) и характеризуется сложной историей и спецификой физико-географической обстановки. С одной стороны, эта территория имеет общие для средне- и северотаежной подзон черты: континентальный климат с преобладанием осадков над испарением, отрицательные среднегодовые температуры воздуха, небольшие относительные и абсолютные превышения рельефа, широкое распространение флювиогляциальных и озерных отложений, наличие островной мерзлоты. С другой стороны, Северо-Сосьвинская возвышенность выделяется как своеобразный морфоструктурный регион, возвышающийся на 100...200 м над низинными равнинами и характеризующийся широким распространением песчаных отложений, холмисто-увалистым рельефом, сформированным в результате различных геоморфологических процессов [10].

Наиболее устойчивым и перспективным дешифровочным признаком для космических снимков является ландшафтный рисунок изображения, геометрические особенности которого представляют объективную информацию о пространственных взаимоотношениях природных объектов. Анализ ландшафтных рисунков предусматривает изу-

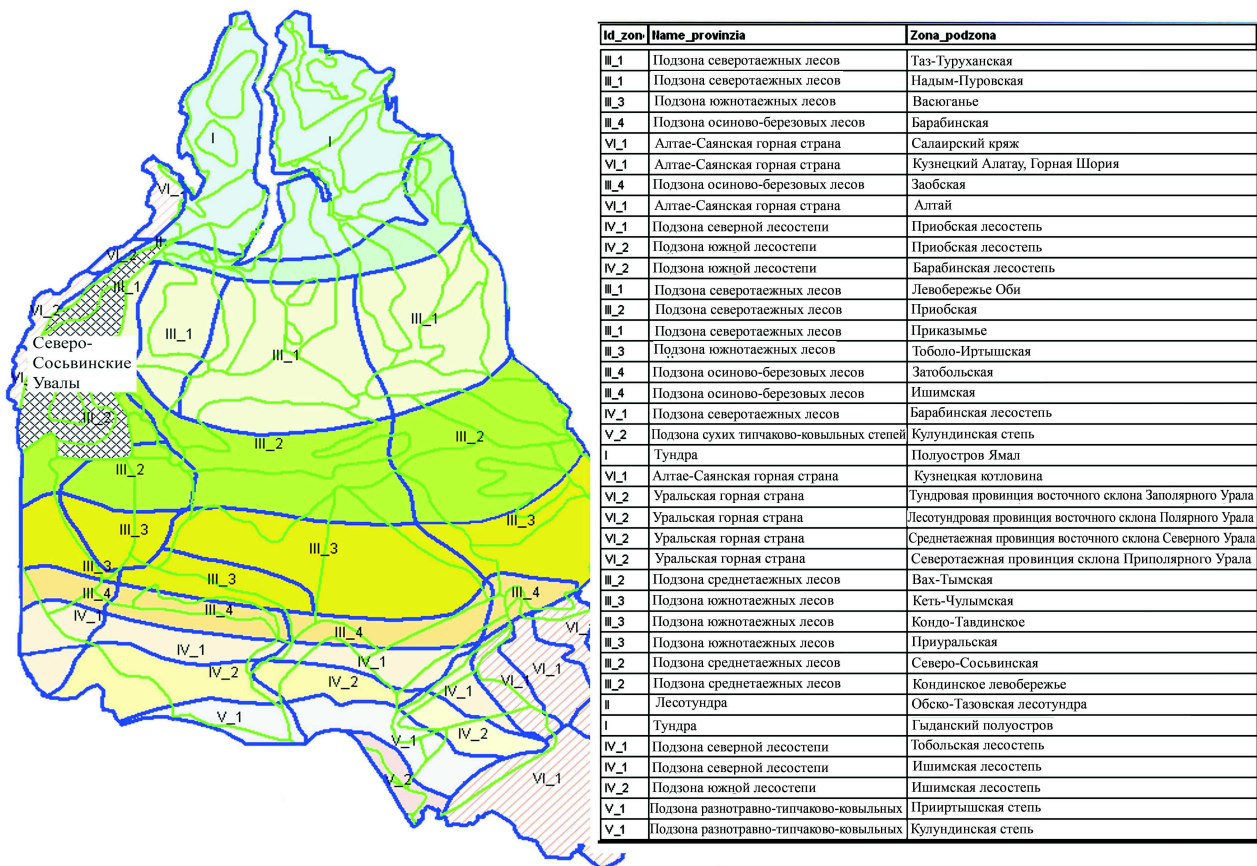


Рис. 1. Схема геоморфологического районирования Западно-Сибирской равнины с морфоструктурными районами

чение и использование связей рисунков с физико-географическими условиями, литологическими особенностями пород, слагающих поверхность территории, подстилающими отложениями, тектоническими условиями территории, а также геодинамическими процессами и подземными водами [11].

Северо-Сосьвинская возвышенность имеет морфоструктурные особенности, которые обусловили формирование основных морфологических типов рельефа: аккумулятивно-денудационные возвышенности и аккумулятивные низкие равнины. Поверхность первых расчленяется речной сетью на множество гряд, холмов и останцов различных очертаний, ориентированных согласно основным морфоструктурным элементам (рис. 2). Наряду с денудационными отмечаются и аккумулятивные участки, но они занимают подчиненное положение во внутренних частях междуречий и в расширениях древних и современных долин. Глубина и густота расчленения, уклоны здесь максимальны для Западно-Сибирской равнины [13].

Ландшафтный рисунок на спектрально-космических снимках имеет отчетливые границы, которые отделяют ледниковую возвышенную дренированную равнину от

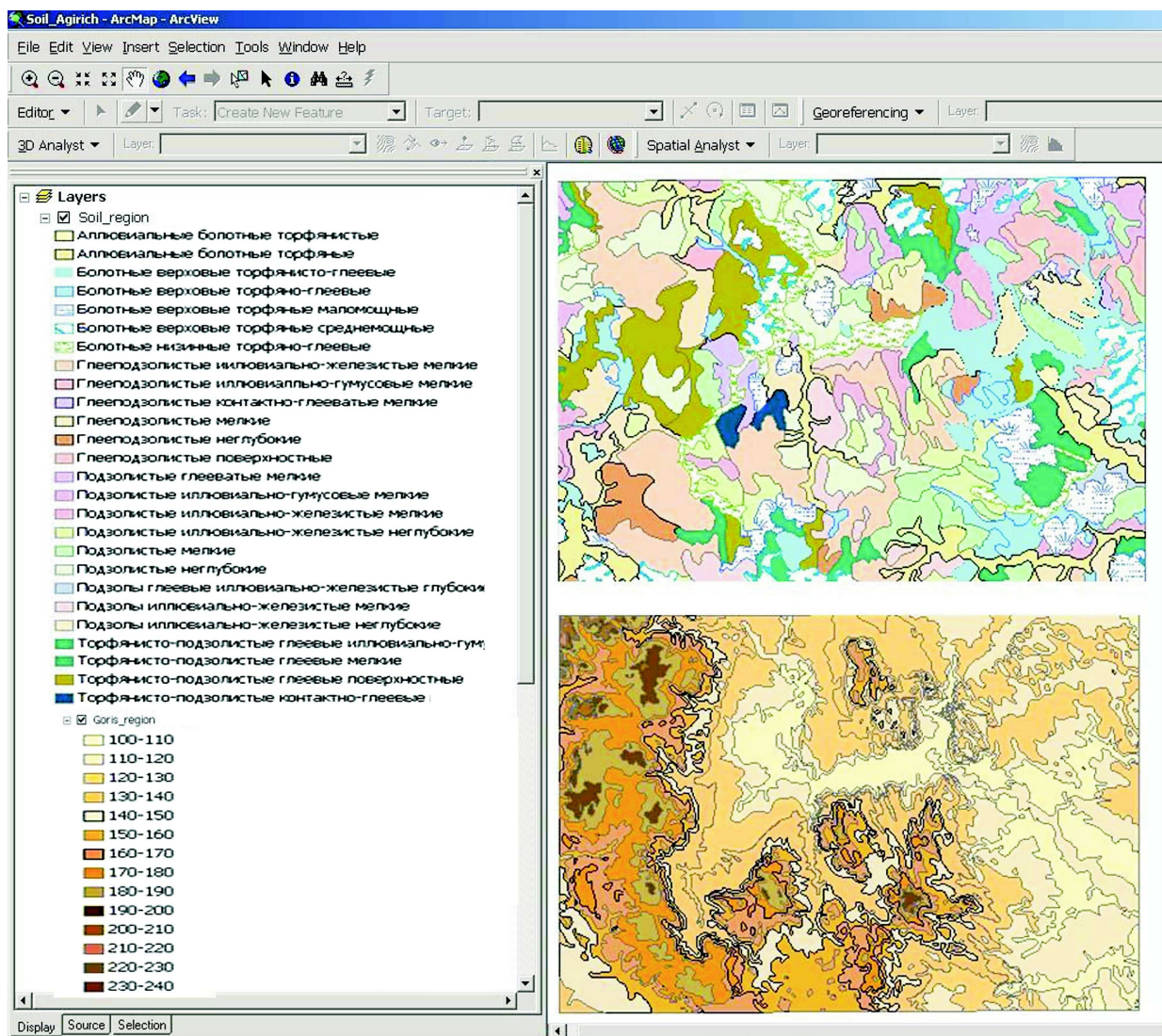


Рис. 2. Фрагменты почвенной карты и карты рельефа Северо-Сосьвинской возвышенности

заболоченных плоских озерно-аллювиальных равнин пойменных территорий рек Северная Сосьва, Конда и др. Ажурный рисунок заболоченных территорий диагностирует геохимические потоки. Пятнистый рисунок отчетливо выделяет контуры верховых и переходных болот и округло-вытянутые контуры темнохвойных лесов на болотных верховых торфянисто-глеевых почвах с фрагментами длительно-сезонной мерзлоты, которая сохраняется в течение летне-осеннего периода за счет тяжелосуглинистого состава подстилающих пород (рис. 3).

Для выявления связей почв с рельефом и литологией пород использовались прямые и косвенные дешифровочные признаки. В инфракрасной зоне, когда снимаются пестрота и экранирующее влияние растительного покрова, лучше дешифрируется макро-рельеф. Границы между лесными и нелесными контурами, служащими часто рубежом пород разного состава, лучше прослеживаются в красной зоне спектра.

На космических снимках различные ландшафты изображаются обзорно, в более генерализованном виде, и поэтому границы между ними выражены яснее, что облегчает дешифрирование литолого-геоморфологических особенностей территории, а следовательно, почвенного покрова с определением почвообразующих пород и гранулометрического состава почв [12], т. е. структура почвенно-растительного покрова определяется особенностями почвообразующих пород.

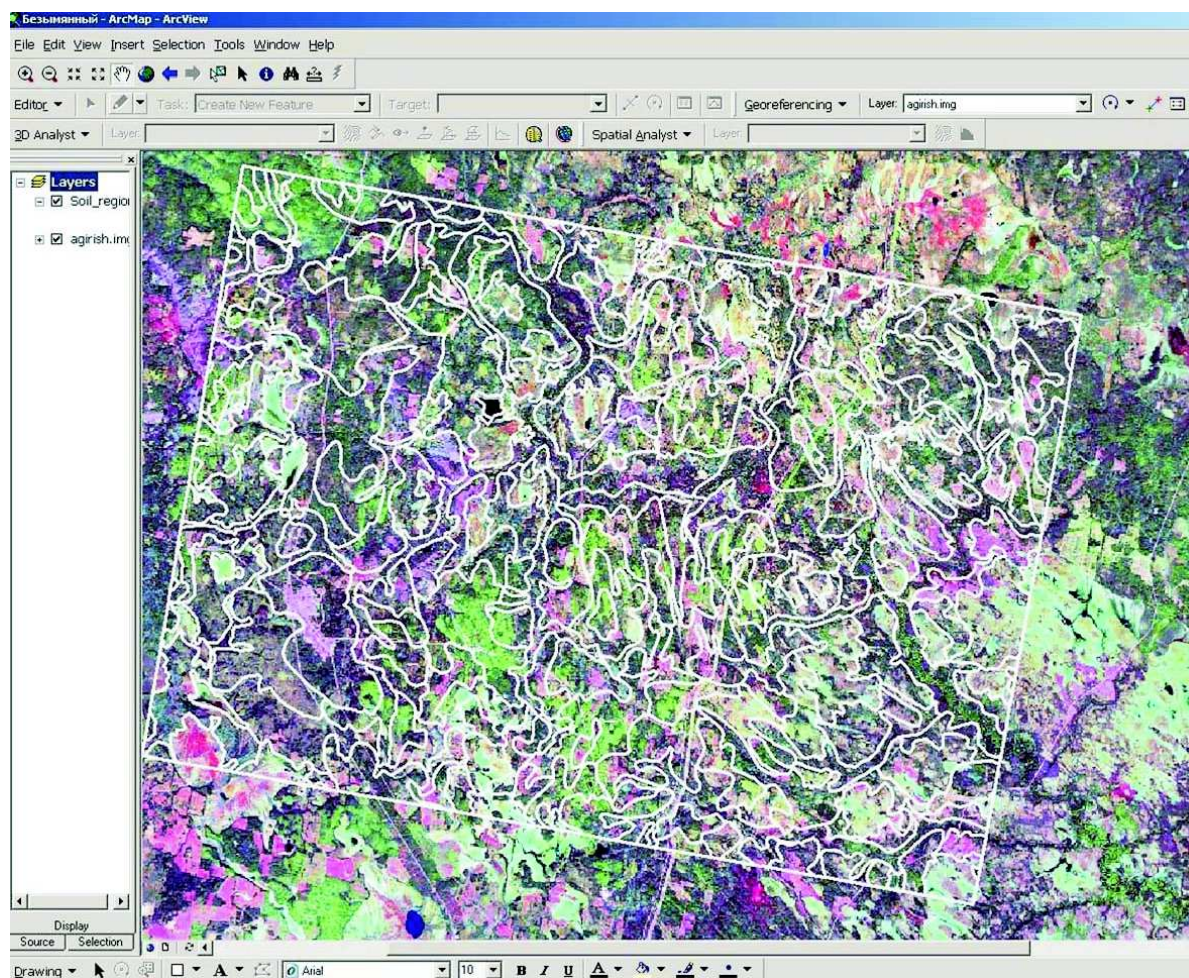


Рис. 3. Дешифрирование почвенно-растительного покрова по космическому снимку

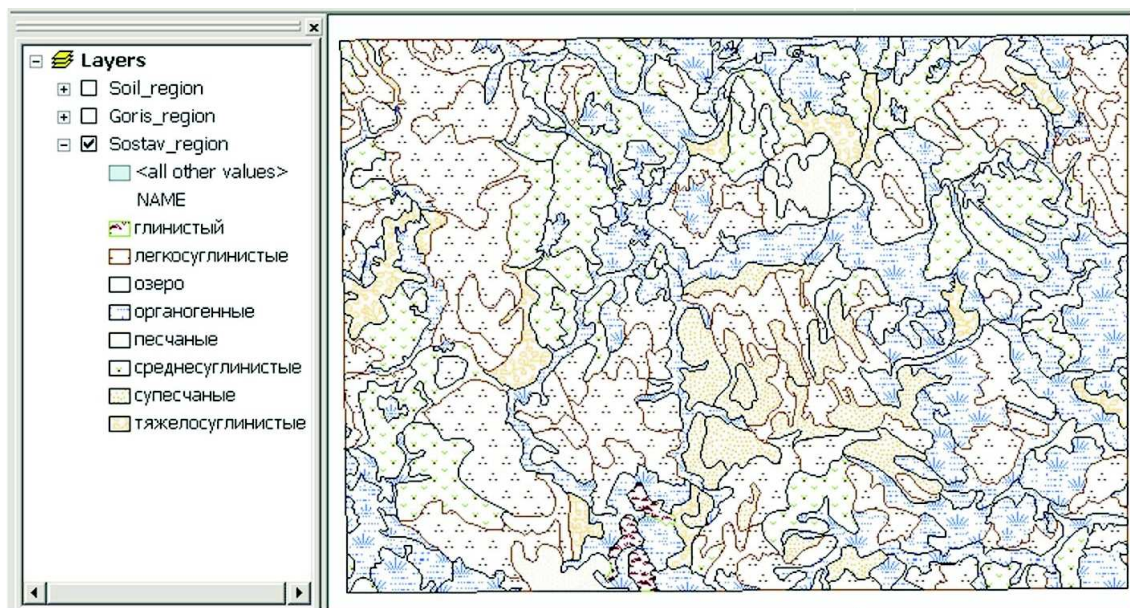


Рис. 4. Фрагмент почвенной карты гранулометрического состава почвообразующих пород

Физические свойства почвообразующих пород косвенно — через растительность, спектральная отражательная способность которых является ведущим фактором при дешифрировании, определяют разную дренированность территории (рис. 4).

Формирование почвенного покрова контролируется морфометрическими характеристиками рельефа, который, в свою очередь, является одним из основных элементов ландшафта [14]. Исходя из этого дешифрирование почвенного покрова было построено по принципу их приуроченности к основным элементам мезорельефа [15].

Сложность строения почвенного покрова таежной зоны Западной Сибири, обусловленная повышенной степенью заболоченности территории, резкой сменой экологической обстановки и мелкоконтурностью почвенных контуров (см. рис. 2), требует комплексного подхода к его изучению.

Вторым этапом дешифрирования является установление связи типов почв с типами леса, т.е. сближение систематики почв с типологией лесной растительности. В целях упорядочивания систематики почв проведен анализ их соответствия категориям ландшафтно-типологической классификации [16]. Необходимость такого сопоставления связана с вопросами лучшего учета физико-географических условий дифференциации природных комплексов на уровне элементарных геосистем с процессами почвообразования, что дополняет вышеприведенные представления о связи типов почв с типами леса.

Однако разновозрастные стадии лесонасаждений и сложный генезис ландшафтов — основная причина слабой изученности этого взаимодействия в лесных экосистемах. Кроме того, некоторые трудности в определении связи растительности с почвами обусловлены различной скоростью эволюции растительности и почв (асинхронностью, приводящей к произрастанию различной растительности на одной почве или одинаковой растительностью на разных почвах).

Для повышения достоверности индикации почв первостепенное значение имеет установление количественной связи между древесными ценозами и морфогенетическими

показателями почв. По этим данным можно диагностировать почвенные процессы (дерновый, подзолистый, болотный) и их сочетания, лежащие в основе выделения типов.

При индикации почв необходимо использовать максимальное количество признаков растительности, которые бы взаимно дополняли и контролировали друг друга. Наиболее важное значение имеет флористическая характеристика насаждений — видовой состав и степень участия древесных пород в сложении сообщества.

Используя дешифровочные признаки литолого-геоморфологических условий и растительности, можно с большой точностью выделять на космических снимках компоненты почвенного покрова, которые будут повторяться в форме различных классов элементарных структур, комплексов, пятнистостей, сочетаний, вариаций и др. [17].

Благодаря лесорастительной характеристике почв принципиально по-новому решаются вопросы эволюции почвенного покрова и динамики растительности. Взамен сложившихся моноцентрических представлений, по которым эволюция почвенного покрова протекает от внутризональных к одному зональному типу почв, а динамика растительности всех биоценозов заканчивается формированием одной коренной структуры, предлагаются полигенетические и полицентрические концепции, согласно которым каждому генетическому типу почвы соответствует своя длительно-устойчивая структура растительности. Это означает, что на каждой территории располагается столько длительно-устойчивых растительных сообществ, сколько встречается здесь самостоятельных генетических типов почв. На территории Северо-Сосьвинской возвышенности выделяют пять самостоятельных генетических типов (см. таблицу), каждому из которых соответствуют тип растительных сообществ и приуроченность к формам рельефа.

На основе сопряженного анализа космических снимков, лесотаксационных данных и полевых почвенных исследований была составлена почвенная карта ключевого участка Северо-Сосьвинской возвышенности (см. рис. 2).

Дешифровочным признаком автоморфного почвообразования является приуроченность подзолов и подзолистых почв к области холмисто-моренного сильно расчлененного рельефа. Здесь почвы развиваются под сосняками лишайниковыми, зеленомошными и кустарничково-зеленомошными и образуют сплошные однородные контуры. Широкое распространение легких пород, обладающих хорошей водопроницаемостью и небольшой влагоемкостью, обуславливает свободный сброс избытка атмосферной влаги, в почвах не создается условий для переувлажнения и оглеения [18]. На исследуемом участке Северо-Сосьвинской возвышенности в силу геоморфологических, литологических и палеогеографических условий эти почвы имеют ограниченное по площади распространение.

На суглинистых породах вариант автономного почвообразования представляет подтип подзолистых элювиально-глееватых почв, которые формируются на наиболее дренированных местоположениях суглинисто-глинистых водоразделов, приречных участках междуречий, террасах, вершинах и хорошо выраженных склонах с холмисто-увалистым рельефом. Для них характерны коренные елово-кедровые или елово-кедрово-лиственнично-сосновые леса с кустарничково-зеленомошным напочвенным покровом. В связи с сильной заболоченностью водоразделов эти почвы занимают в среднетаежной подзоне, где они наиболее распространены, небольшие площади. Благодаря прогрессивному заболачиванию они очень редко встречаются в виде целостных контуров, чаще всего они образуют трехчленное сочетание с более гидроморфными торфянисто-подзолистыми элювиально-глеевыми почвами (на плоских и переходных к болотам участках) и верховыми торфяно-глеевыми почвами молодых сфагновых болот.

Соотношение компонентов ландшафтов Северо-Сосьвинской возвышенности

Тип леса	Почва	Рельеф	Гранулометрический состав почвообразующих пород
Сосняки лишайниковые и зеленомошно-кустарничковые	Подзолы иллювиально-железистые	Вершины и склоны высоких дренированных водоразделов	Песчаные, супесчаные
Кедрово-лиственнично-сосновые зеленомошно-кустарничковые	Подзолистые обычные, иллювиально-железистые	Плоские водораздельные увалы и их склоны	Супесчаные и легкосуглинистые
Кедрово-елово-лиственничные зеленомошно-кустарничковые	Глееподзолистые обычные, иллювиально-гумусовые и иллювиально-железистые	Слабодренированные плоские водоразделы	Средне- и тяжело-суглинистые, глинистые
Кедрово-лиственничные сфагново-багульниковые	Торфяно- и торфянисто-подзолистые глеевые иллювиально-железистые и иллювиально-гумусовые	Приболотный пояс	Средне- и тяжело-суглинистые
Сосновые и багульничково-сфагновые	Торфяники верховые среднемошные и мощные	Грядово-мочажинные комплексы	Торфяные залежи мощностью 50...200 см и более
Ерниковые осоково-сфагновые	Аллювиальные болотные торфяные	Заболоченные участки центральной и притеррасной поймы, древние долины стока	Аллювиальные отложения разного состава

Зональные черты территории Западно-Сибирской равнины сильно завуалированы высокой заболоченностью, и это вызывает необходимость учета таких факторов, как рельеф, дренированность территории и глубина залегания почвенно-грунтовых вод.

При постепенном увеличении гидроморфизма уменьшается контрастность ландшафтов с закономерной повторяемостью элементарных выделов, что свойственно заболоченным лесам. В условиях затрудненного дренажа и повышенного переувлажнения и оглеения почвенно-грунтовой толщи, на плоских участках суглинистых водоразделов, в небольших понижениях рельефа, в переходной полосе от относительно дренированной приречной части водораздела к болотному массиву формируются торфянисто-подзолистые глеевые почвы. Растительность представлена заболоченными кедрово-еловыми с примесью лиственницы или кедрово-елово-сосновыми лесами и кустарничково-зеленомошно-сфагновым напочвенным покровом.

В северной части среднетаежной подзоны, на переходе к северной тайге, именно в торфянисто-подзолистых глеевых почвах, тяготеющих к болотным массивам, и в самих болотных массивах широко распространена длительная сезонная мерзлота. Это связано с тем, что болота и их периферии являются по термическому режиму наиболее суровыми местообитаниями.

В условиях широкого распространения современного заболачивания водоразделов в средней тайге Западной Сибири торфяно-подзолистые глеевые почвы являются первым членом в ряду заболачивания подзолистых элювиально-глееватых почв и по существу представляют переходную, относительно кратковременную стадию почвообразования, быстро сменяющуюся торфяно-глеевым почвообразованием молодых болот [18].

В связи с широким распространением в тайге Западной Сибири болот и различных болотных ландшафтов (более 50 % территории) значительная роль в почвенном покрове принадлежит болотным почвам, которые не представляют однородной почвенной группы, а включают почвы, различающиеся по свойствам, генезису и условиям формирования.

Особенности современного влагооборота с превышением осадков над испарением, обеспечивающие постоянное избыточное переувлажнение, и отмеченная недостаточная теплообеспеченность приводят к формированию на плоских водоразделах обширных болотных массивов с верховыми торфяниками. Образование обширных торфяных залежей сопровождается деградацией озер, которые, зарастая, превращаются в болотные массивы различных размеров. В соответствии с направлением стока на исследуемой территории сформировались неглубокие ложбины, довольно хорошо выраженные в пределах торфяных массивов — грядово-мочажинные комплексы.

Болотные почвы формируются при зарастании акватории последовательно осоковой, осоково-сфагнутой, пушицево-сфагнутой и кустарничково-сфагнутой растительностью. Развитие болотных торфяников завершается верхово-болотным грядово-мочажинным комплексом с редким древостоем из сосен, реже кедра. При условиях постоянного поступления влаги и активности болотных массивов ареал болотных почв расширяется за счет “наползания” болот на прилегающую полосу водоразделов. Торфяники в основном представлены верховой сфагнутой залежью. Формируются эти почвы на равнинах разного происхождения (флювиогляциального, озерно-аллювиального) с абсолютными высотами от 20 до 120 м в очень плоских частях водоразделов. Преобладающая растительность — разреженный сосновый кустарничково-сфагновый рям.

При уменьшении степени расчлененности территории усиливаются процессы заболачивания и увеличивается площадь болотных массивов. Среди огромных сфагновых или гипновых пространств здесь разбросаны выпуклые участки сфагнутого болота с лесом. Топи имеют волнистый или плоскогрядовой рельеф, пересечены ложбинами стока [18].

Решение проблемы расшифровки информации, заключенной в фотоизображении, имеет немало трудностей. Они обусловлены обобщением на спектрональных снимках разнородных образований, к которым относятся антропогенно-техногенные объекты. Растительный покров вблизи линейных сооружений (дорог, линий электропередачи, нефте- и газопроводов) трансформирован и представлен производными лесами, что осложняет дешифрирование приуроченности почв к отдельным контурам на космоснимках.

Почва, по высказыванию В.В. Докучаева, — зеркало ландшафта. Поэтому в зависимости от направления ландшафтообразующих процессов можно выявить направления почвообразования и характер лесной растительности, которая является основным после рисунка ландшафта фотогеничным компонентом, по которому проводится оконтуривание почвенных выделов.

Таким образом, при почвенно-индикационных исследованиях с ландшафтных позиций в качестве индикаторов могут быть использованы закономерные сочетания растительности и рельефа, обладающие высокой физиономичностью при дешифрировании.

Топография местности является косвенным показателем автономности и гетерономности почв по гидрологическому режиму и оказывает большое влияние на почвоприуроченность лесной растительности [19].

Список литературы

- [1] Андроников В.Л., Афанасьева Т.В., Симакова М.С. Дешифрирование по аэро- и космическим снимкам почвенного покрова основных природных зон страны для картирования // Аэрокосм. методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве. М.: Наука, 1990. С. 22–34.
- [2] Берлянт А.М., Новаковский Б.А., Тищенко А.П. Использование дистанционной информации для формирования банков данных // Банки географических данных для тематического картографирования. М.: Изд-во МГУ, 1987. С. 48–58.
- [3] Востокова Е.А., Концов С.В., Козлова Т.С. Опыт дешифрирования различных космических фотоматериалов природоохранной тематики // Картографирование природной среды по космическим снимкам и охрана окружающей среды. М.: Недра, 1982. С. 105–118.
- [4] Гаджиев И.М., Дитц Л.Ю., Чичулин А.В., Танасиенко А.А. Почва как компонент экосистемы // Биологическое разнообразие и динамика экосистем: Информационные технологии и моделирование. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. С. 54–69.
- [5] Исаченко А.Г. Методы прикладных ландшафтных исследований. Л.: Наука, 1980. 222 с.
- [6] Арманд А.Д. Наука о ландшафтах. М.: Мысль, 1975. 288 с.
- [7] Берлянд А.М. Информационное картографирование. М.: Наука, 1997. 62 с.
- [8] Толчельников Ю.С. Задачи разработки ландшафтного метода картографирования почв с использованием снимков // География и природные ресурсы. 1988. № 4. С. 115–120.
- [9] Западно-Сибирская равнина / С.А. Архипов, В.В. Вдовин, Б.В. Мизеров, В.А. Николаев. М.: Наука, 1970. 280 с.
- [10] Сазонов А.Г. Принципы лесоводственной оценки почв. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1986. 240 с.
- [11] Викторов С.В., Чикишев А.Г. Ландшафтная индикация и ее практическое применение. М.: Наука, 1990. 200 с.
- [12] Андроников В.Л., Семина Е.В., Шершуклова Г.А. Аэрокосмические методы исследований и картографирования почвенного покрова лесных территорий // Аэрокосмические методы исследования лесов. Красноярск, 1984. С. 45–47.
- [13] Васильевская В.Д., Иванов В.В., Богатырев Л.Г. Почвы Севера Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ, 1986. 228 с.
- [14] Савин И.Ю., Овечкин С.В., Шеремет Б.В. Геоинформационное картографирование почв // Современные проблемы почвоведения: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 2000. С. 144–155.

- [15] ДИТЦ Л.Ю. Методологические аспекты ландшафтно-индикационного изучения почвенного покрова (на примере Барабинской лесостепи). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. 127 с.
- [16] МИХЕЕВ В.С. Ландшафтный синтез географических знаний. Новосибирск: Наука, 2001. 216 с.
- [17] ФРИДЛАНД В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 416 с.
- [18] КАРАВАЕВА Н.А. Почвы тайги Западной Сибири. М.: Наука, 1973. 280 с.
- [19] КОРСУНОВ В.М., КРАСЕХА Е.Н., РАЛЬДИН Б.Б. Методология почвенных эколого-географических исследований и картографии почв. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2002. 234 с.

Поступила в редакцию 11 мая 2007 г.