

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Алтайский государственный университет»  
Биологический факультет  
Кафедра экологии, биохимии и биотехнологии

**ДИНАМИКА ЛЕСНОГО ПОКРОВА САЛАИРСКОГО КРЯЖА**  
выпускная квалификационная работа  
(магистерская диссертация)

Выполнил: студент  
2 курса, группы 761м  
Мирошниченко Иван Дмитриевич

Научный руководитель:  
д-р. геогр. наук, профессор  
Черных Дмитрий Владимирович

Допустить к защите:  
зав. кафедрой Соколова Г.Г.  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.

Выпускная квалификационная  
работа защищена  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2018 г.  
Оценка \_\_\_\_\_

Председатель ГЭК:  
Мочалова О.В.

Барнаул 2018

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ДИНАМИКИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА.....	4
1.1. История развития методов дистанционного зондирования.....	4
1.2. Основные преимущества дистанционных методов для анализа динамики лесных территорий.....	6
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	12
2.1 Природные условия Салаирского кряжа.....	12
2.2. Характеристика лесов Салаирского кряжа.....	20
2.3. Методы исследования.....	28
ГЛАВА 3. ДИНАМИКА ЛЕСНОГО ПОКРОВА САЛАИРСКОГО КРЯЖА.....	31
3.1. Характеристика наземных покровов.....	31
3.2. Анализ динамики лесного покрова.....	34
3.3. Характеристика переходов наземных покровов.....	40
ВЫВОДЫ.....	44
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	45

## ВВЕДЕНИЕ

Лес является важнейшим компонентом биогеоценозов, обеспечивающим жизнедеятельность других биотических компонентов. Черневые пихтово-осиновые высокоотравные леса, встречающиеся в низкогорьях на юге Сибири, являются уникальным природным явлением. Для этих лесов характерен комплекс неморальных реликтовых видов растений.

Салаирский кряж – один из регионов, где распространена черневая тайга. В то же время, черневые леса Салаира подвергаются активному антропогенному воздействию и, в первую очередь, рубкам.

При изучении динамики лесного покрова могут использоваться различные методы, взаимодополняющие друг друга и позволяющие изучить разновременные изменения. При этом корректную объективную пространственную картину для обширных территорий можно получить только на основе использования данных дистанционного зондирования.

**Целью работы** является изучение динамики площади лесов Салаирского кряжа на основе разновременных данных дистанционного зондирования.

В связи с заданной целью работы были поставлены следующие **задачи**:

1. Разработать оптимальную классификацию для автоматизированного дешифрирования данных дистанционного зондирования
2. Оценить динамику лесного покрова.
3. Охарактеризовать переходы наземных покровов из одного в другой.

# ГЛАВА 1. ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ В ИЗУЧЕНИИ ЛЕСНОГО ПОКРОВА

## 1.1. История развития методов дистанционного зондирования

Особое значение среди методов изучения лесного покрова занимают дистанционные методы, которые позволяют осуществлять процесс исследования без непосредственного контакта с объектом изучения. С начала 1970-х годов в различных научных и производственных организациях страны приступили к исследованию информативности материалов космических, а также нестандартных видов самолетных съемок с целью их использования в интересах лесоведения и лесного хозяйства.

Термин «дистанционный» стали применять к средствам и данным тематической обработки, получаемым как при аэрофотосъемке, так и при других видах аэрокосмических съемок. С появлением новых данных дистанционного зондирования Земли в ряде случаев было пересмотрено содержание лесного дешифрирования, потребовались новые методы обработки изображений, а также изменилась организация сбора данных о лесах на основе различных нововведений.

Дистанционные методы позволяют изучать лес в комплексе с другими природными объектами, масштабно, с охватом всего их территориального распространения. Для правильного ведения лесного хозяйства, а также сохранения редких и уникальных лесов, прогнозирования состояния лесов в будущем необходимо постоянно на различных уровнях иметь данные о лесах, их характеристиках и свойствах, их динамике и состоянии. Весь комплекс данных должен постоянно обновляться, так как лес – живой организм и его характеристики регулярно изменяются (Сухих, 1973). Дистанционные методы в лесном хозяйстве используют в первую очередь для разделения лесных территорий от других типов наземных покровов, разделения их на внутренне однородные и однотипные участки, а также для

изучения как качественных, так и количественных характеристик лесных и других типов покровов во всем разнообразии.

Дистанционная съемка в 1970-х гг. широко начинает применяться в физической географии и экологии. В геоморфологии эффективно применение космических методов при проведении морфологического, структурного анализа и картографирования рельефа, его многолетней динамики, природных и антропогенных процессов рельефообразования; в гидрологии по дистанционным изображениям изучают морфологические и морфометрические характеристики водных объектов; в почвоведении по космическим снимкам успешно устанавливают пространственную дифференциацию почвенного покрова; в ландшафтоведении происходит изучение пространственной структуры и сезонной ритмики и т.д.

Метеорологические спутники давали слишком грубое пространственное разрешение, чтобы представлять особую ценность для серьезных географических исследований, за исключением структурного анализа больших областей или мониторинга динамических геологических явлений. Основным космическим аппаратом дистанционного зондирования 70-х гг., становится «Landsat», который на протяжении десятилетий считался одним из лучших во всем мире. Спутники «Landsat» были специально разработаны с целью географического изучения Земли, первый из них стартовал в 1972 г. Эксплуатация системы осуществлялась национальным агентством по авиации и исследованию космического пространства США NASA, а в 1983 г. система была передана национальному управлению по исследованию океанов и атмосферы. Сенсоры «Landsat», в период с 1972 г. по 1983 г., сняли более 1,3 миллиона сюжетов географических объектов. Полученные снимки открыли для ученых большие возможности изучения обширных территорий. Они обладали мелкомасштабностью, что позволяло создавать соответствующие карты за короткий период времени, отражали

обширную географическую информацию о строении Земли (Горяйнов, 2006). Эти факты, прежде всего, и привлекли специалистов различных отраслей.

Очень важным моментом в историческом развитии методов дистанционного зондирования Земли, является появление географических информационных систем – систем, которые позволяют профессионально обрабатывать, анализировать и хранить объемные данные космической информации для проведения географических исследований. ГИС позволяет преобразовывать снимки в электронные карты, с нанесением на них не только географической, но и статистической, тематической и др. информации, а также применять к ним разнообразные аналитические операции. ГИС способны выявлять скрытые тенденции и взаимосвязи, которые трудно или невозможно выявить при обработке космоснимков «невооруженным глазом» (Горяйнов, 2006). При использовании данных дистанционного зондирования и географических информационных систем образуется эффективный метод проведения пространственного анализа поверхности Земли.

## **1.2. Основные преимущества дистанционных методов для анализа динамики лесных территорий**

От лесного покрова в значительной степени зависят такие факторы, как экологическое равновесие в биосфере, благополучие животного мира, устойчивое развитие человеческой популяции. Большой масштаб лесных территорий России определяет необходимость создания системы мониторинга лесов по данным дистанционного зондирования и разработки методов их сопряженного анализа с использованием технологий, основанных на геоинформационных системах (Сухих, 2005). Среди основных задач, решаемых в лесном хозяйстве с помощью дешифрирования аэрокосмических снимков, значится изучение изменения и динамики границ лесных земель и степени нарушения непрерывности (фрагментации) лесного покрова,

тематическое картографирование и инвентаризация лесов в целях контроля порядка лесопользования и хода лесовозобновления на вырубках и гарях.

Для обеспечения устойчивого лесопользования с учетом многофункциональной ценности лесов необходимо дальнейшее совершенствование методов инвентаризации и мониторинга биоразнообразия лесов на основе данных дистанционного зондирования. Эти данные являются уникальным средством оценки динамики лесного покрова. Использование современных высокотехнологичных средств анализа и интерпретации данных, математического аппарата и программного обеспечения значительно расширяет спектр возможностей при осуществлении мониторинга. Использование данных дистанционного зондирования является рациональным и экономически обоснованным не только в современном лесоустройстве и подготовке лесных регламентов, но также при оценке биоразнообразия природных комплексов. Применение ГИС-технологий позволяет осуществлять интеграцию и совместный анализ имеющихся данных различного формата и масштаба, характеризующих растительный покров.

Необходимость осуществления регулярного мониторинга состояния лесов обусловлена их непрерывной динамикой вследствие влияния природных и антропогенных факторов, масштабы проявления которых существенно варьируют в зависимости от региона. Современный этап развития методологии мониторинга лесов с целью выработки стратегий рационального лесопользования и защиты окружающей среды предполагает в качестве обязательной компоненты использование методов дистанционного зондирования и геоинформационных систем. Согласно современной концепции спутникового мониторинга лесов, выделяются глобальный, континентальный, региональный и локальный уровни наблюдения, различающиеся функциональными задачами, территориальным охватом, а также требованиями к пространственной и тематической детальности

получаемой информации. В настоящее время для осуществления мониторинга лесов регионального и локального уровней (например, на уровне лесохозяйственных предприятий или административных районов) наиболее эффективно использование спутниковых данных относительно высокого разрешения (20-40 м), к числу которых в частности относятся данные Landsat-TM/ETM+, SPOT-HRV/HRVIR и МСУ-Э/Метеор-3М (Адрианов,2005).

Для экологической оценки динамики лесных покровов по спутниковым данным целесообразно использовать индикаторы, отражающие степень покрытия территории лесами, площадь лесных покровов, породный состав насаждений и их физиологическое состояние. Лесистость, как отношение покрытой лесами площади к площади региона, относится к числу основных характеристик, а ее оценка по спутниковым изображениям высокого пространственного разрешения, как правило, обеспечивается с высоким уровнем надежности.

Классификация снимков по пространственному разрешению:

1. очень низкого разрешения 10 000 – 100 000 м.;
2. низкого разрешения 300 –1 000 м.;
3. среднего разрешения 50 –200 м.;
4. относительно высокого разрешения 20 –40 м.;
5. высокого разрешения 10 –20 м.;
6. очень высокого разрешения 1 –10 м.;
7. сверхвысокого разрешения меньше 0,3 –0,9 м.

Ценность снимков Landsat важна в исследованиях лесного покрова, а также для моделирования пространственного распределения отдельных видов (Сухих, 2005). Данные снимки широко применяются так же и для исследований растительных сообществ, как на локальном, так и на региональном уровне, и вдобавок для экстраполяции данных отдельных наземных наблюдений. Эти снимки находятся в свободном доступе в



исходном виде, что позволяет проводить на их основе различные виды исследований: от визуального дешифрирования отдельных интересующих объектов до математических операций с растром и автоматизированной классификации с целью представления разных классов объектов или степени выраженности той или иной характеристики.

Несмотря на кажущееся слишком грубым по сравнению с более детальными снимками разрешение, снимки Landsat позволяют получить хороший результат за счет возможности использования спектральных характеристик объектов. При этом разрешение 30 м не значит, что минимальный размер объектов – 900 м<sup>2</sup>. Возможно дешифрировать и анализировать и значительно меньшие объекты, если они вносят заметный вклад в изменение яркости пикселя (Колесникова, Черепанов, 2009). Важнейшим преимуществом снимков Landsat перед иными существующими снимками является высокое временное разрешение (16 дней) и достаточно большой размер сцены (185 на 185 км).

Путем автоматизированной классификации с обучением, с помощью нейросетевого анализа и применения деревьев решений по снимкам Landsat можно выделять участки лесных сообществ, образованные разными видами деревьев, и определять степень их участия в древостое; путем математических операций с данными каналов ближней инфракрасной части спектра (например, индекса NDVI и аналогичных) разделять разные травяные сообщества на основе косвенного признака биомассы надземных вегетативных органов; дешифрировать типы, гранулометрический состав почв и многое другое.

Примером использования данных дистанционного зондирования является ГИС – анализ экологического состояния лесов Московской области. В данной работе рассматривается методика региональной оценки экологического состояния лесов. В ходе вышеупомянутого исследования экологического состояния лесов Московской области (Рис. 1) была проведена

классификация лесов по многоспектральным спутниковым изображениям, которая показала возможность выделения различных типов лесов с высоким уровнем достоверности.

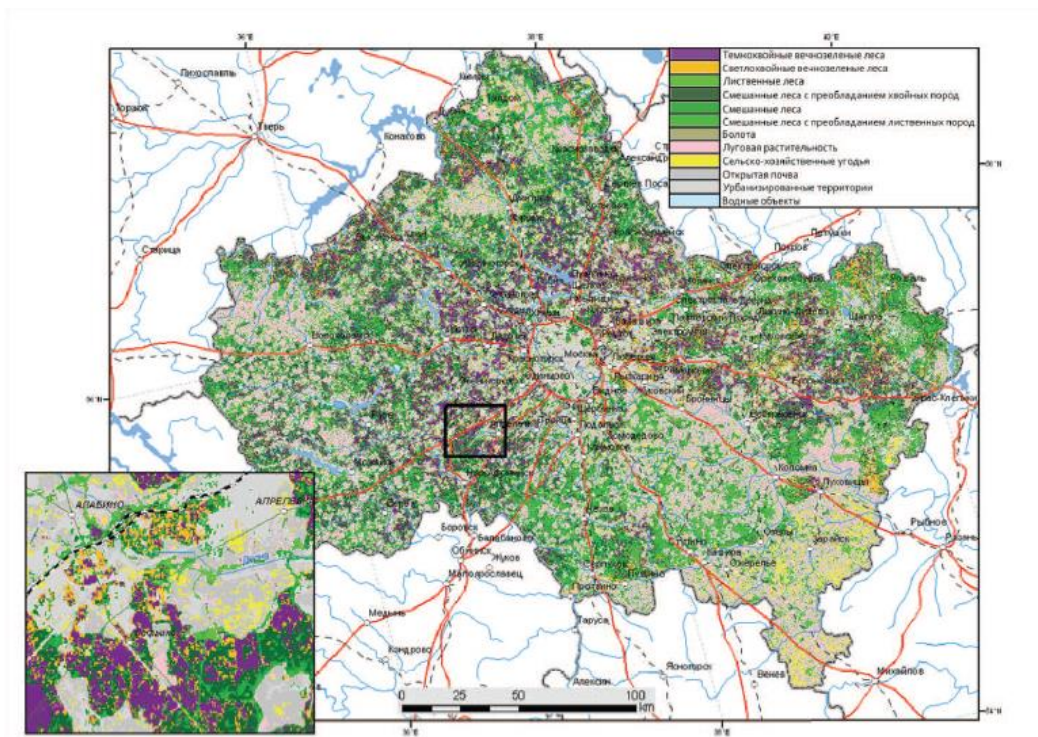


Рис. 1. Карта наземных экосистем Московской области

Космические снимки отличаются от всех других пространственных данных (топографических карт, лесоустроительных карт и др.) разнообразием информации, которую можно получить на их основе, большей доступностью и актуальностью за счет регулярности обновления и пополнения баз данных. Они незаменимы как основа для экстраполяции данных в региональных и глобальных исследованиях, а также в случаях, когда необходимо проследить изменение свойств растительного покрова во времени, при экологическом мониторинге и при анализе угроз.

Вместе с тем, в среде специалистов-биологов возможности анализа космических снимков до сих пор используются недостаточно (Гаврилюк, 2012). Вероятно, это связано с недостатком обобщенной информации об этом

инструменте и примерах его использования, а также отсутствием понятного алгоритма, как выбрать данные для решения конкретной задачи; какие методы и программное обеспечение могут оказаться полезными.

## ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Природные условия Салаирского кряжа

Салаирский кряж является крайним северо-западным отрогом Алтае-Саянской горной области. Он простирается от 52,6 до 54,9 градуса северной широты и от 83,6 до 87,0 градуса восточной долготы. На запад и север кряж переходит в Западно-Сибирскую низменность, с востока он ограничен Кузнецкой котловиной от Кузнецкого Алатау, а с юга – Неня-Чумышской впадиной от горной системы Алтая.

Как орографическая единица Салаир представляет собой гетерогенное образование, включающее полностью или частично разновозрастные и разнотипные тектонические структуры. Салаирский кряж утратил черты горного сооружения и неявно ограничен в рельефе. Границы изучаемой области определяются по линиям крупных тектонических разломов, ограничивающих относительно единую плиту, на которой расположен кряж. Салаир в морфогенезе испытывал несколько циклов омоложения, имеет многочисленные разломы, раскалывавшие его на отдельные блоки (Вдовин, 1988). Если глубинный разлом не проявляется в современном рельефе, наземные экосистемы могут не воспринимать его как значимую границу

Ядро территории составляло горное поднятие. Во многом границы кряжа совпадают с границами, выделенными по линиям разломов, особенно там, где разломы подчеркнуты отрицательными формами рельефа. Северная граница кряжа проходит по р. Чем, долина которой наследует Чемской тектонический разлом. С востока кряж традиционно ограничивается крутым уступом Тырган, хорошо выраженным в рельефе. В южной части кряжа Кивдинский сопочный массив рассматривается учеными как часть Салаирского кряжа, несмотря на его значительную геоморфологическую обособленность (Вдовин, 1988). Южная граница кряжа, проходит по р. Неня,

протекающей по низшим отметкам Неня-Чумышской впадины. С запада кряж довольно естественно ограничивается р. Чумыш в той ее части, где она протекает практически параллельно осевым структурам кряжа. В том месте, где долина Чумыша довольно резко отворачивает на запад, граница кряжа идет по условной линии, соединяющей эту точку с участком долины р. Бердь выше с. Маслянино, где при выходе с Салаира она поворачивает на северо-запад (Лашинский, 2004). Далее кряж ограничивается р. Бердь до устья р. Чем. На этом отрезке долина р. Бердь также в основном контролируется тектоническими разломами.

Геоморфологически Салаирский кряж представляет собой асимметричное эрозионное плато, выгнутое широкой дугой, выпуклой к северо-востоку (Лашинский, 2004). Средние высоты составляют 400–450 м над у.м., при отдельных останцах, достигающих 500–600 м над у.м. Юго-западный макросклон пологий и протяженный, а северо-восточный довольно круто обрывается в Кузнецкую котловину с перепадом высот около 200 м.

Южная оконечность кряжа представлена Кивдинским сопочным массивом, обособленным долиной Чумыша. Массив состоит из гряды сопок, сложенных трудновыветриваемыми магматическими породами. В его состав входит г. Кивда – наивысшая точка Салаирского кряжа с высотой 618 м над у.м.

Северная оконечность кряжа также представлена группой сопок, сложенных гранитоидами, менее обособленных по сравнению с Кивдинским массивом, но также хорошо различимых в рельефе как совокупность отдельных поднятий (Лашинский, 2004). Наивысшая точка здесь – г. Улантова достигает 410 м над у.м.

Поверхность кряжа имеет выровненный увалисто-долинный или долинно-балочный рельеф (Соколов, 1935). Плоских водоразделов здесь практически не наблюдается. Основной элемент рельефа – пологие склоны различных экспозиций. Увалы различаются формой, ориентацией и

протяженностью, но имеют примерно одинаковые высоты (400–450 м над у.м.), что подчеркивает их эрозионное происхождение. Для них характерны слабоволнистые водоразделы и довольно узкие крутые склоны выпуклого профиля (Вдовин, 1988). Достаточно часто над ними возвышаются эрозионные останцы (монадноки), сложенные наиболее эрозионно-устойчивыми, преимущественно магматическими породами.

Рельеф Салаирского кряжа формировался под воздействием разнообразных сил, из которых важнейшим является влияние тектоники, породного состава, истории формирования и климата. Рыхлый покров четвертичных субаэральных отложений, до сих пор не прорезанный до основания водными потоками, придает мягкие плавные очертания основным формам рельефа с пологими склонами и уплощенными водоразделами. Только в тех местах, где реки следуют линиям тектонических разломов, долины их приобретают каньонообразный характер со скальными выходами палеозойских пород по бортам (Баев, 2007).

В местах близкого залегания известняков на восточном склоне кряжа изредка встречаются карстовые формы рельефа в виде пещер, воронок, котловин и сухих долин, которые отмечаются как реликты красноземного выветривания юрского и раннего третичного периодов.

Климат Салаира формируется преимущественно под влиянием атлантических воздушных масс. Наибольшее количество осадков приносят преобладающие западные воздушные потоки. В зимнее время вторжение сухих и холодных арктических воздушных масс вызывает резкие похолодания, это же обуславливает ранние осенние и поздние весенние заморозки (Лашинский, 2004). Теплая и сухая погода формируется под влиянием воздушных масс из Казахстана и Средней Азии.

Основные характеристики климата кряжа определяются его географическим положением и рельефом. Его широтное положение определяет теплообеспеченность территории, а значительная удаленность от

океанов – степень континентальности климата. Приподнятость кряжа и его субмеридиональное простираие, а также положение на периферии Алтае-Саянской горной системы, обусловили его барьерную роль как конденсатора влаги на пути воздушных масс с Атлантики, несмотря на небольшие высоты. Следствием этого является климатическая асимметрия кряжа в распределении осадков между западным и восточным макросклонами (Лашинский, 2004). В привершинной части западного макросклона среднегодовое количество осадков достигает 800–1000 мм, в то время как у подножья восточного макросклона в области «дождевой тени» оно составляет 300–350 мм.

Климат Салаира континентальный с холодной продолжительной зимой, коротким жарким летом и резкими колебаниями температур (Справочник..., 1970). Среднегодовая температура воздуха составляет от  $-2,1$  до  $2,3^{\circ}\text{C}$ , средняя температура самого холодного месяца – января  $-20,6^{\circ}\text{C}$ , а самого теплого – июля  $19,0^{\circ}\text{C}$ . Абсолютный минимум температуры достигал за годы наблюдений  $-51^{\circ}\text{C}$ , а максимум  $+35,5^{\circ}\text{C}$  по данным метеостанции Маслянино. Наибольшее количество осадков приходится на летний период.

Вегетационный сезон составляет 165–175 дней, безморозный период значительно короче (65–120 дней). По теплообеспеченности район относится к умеренно-прохладному – сумма температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  составляет  $1800^{\circ}\text{C}$ . Последние заморозки отмечаются, как правило, в последней декаде мая–первой декаде июня. Максимального прогрева воздух достигает в последнюю декаду июля. Суточный градиент температур составляет в летнее время в среднем  $12-15^{\circ}$  при максимальных значениях до  $21^{\circ}$  (Справочник..., 1970). Влажность воздуха в летнее время зависит от положения участка на территории кряжа. В центральной части кряжа в течение всего летнего периода наблюдается устойчивая высокая влажность воздуха под пологом лесных сообществ, но на восточных предгорьях практически ежегодно отмечаются кратковременные засухи.

Почва в корнеобитаемом слое прогревается до 18–20°C. Максимальный прогрев немного запаздывает, по сравнению с максимальными температурами воздуха и приходится на конец июля – начало августа (Сляднев, Сенников, 1972). Влажность почвы только на восточных предгорьях в отдельные годы может падать ниже влажности завядания на короткий период.

В центральной части кряжа большую часть вегетационного сезона почвы даже на автоморфных элементах рельефа находятся в переувлажненном состоянии.

Первые осенние заморозки отмечаются на поверхности почвы во второй половине августа (Лацинский, 2004). На территории Салаирского кряжа в осенний период распространены сильные ветры, вызывающие массовые буреломы и ветровалы. Сильный ураган со скоростью ветра 25-35 м/сек, приведший к массовому вывалу леса, был зафиксирован в октябре 1959 года над частью Салаира, относимой к Новосибирской области.

Устойчивый снежный покров образуется в первой декаде ноября, причем в центральной части кряжа он устанавливается на 1–1,5 недели раньше, чем в предгорьях. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом составляет 160–180 дней. Мощность снежного покрова резко различается в различных частях кряжа. На западных предгорьях она составляет в среднем 55 см, на восточном макросклоне под сосновыми лесами не превышает 40 см, в Присалаирской депрессии едва достигает 20 см, а в осевой части кряжа возрастает до 150 – 180 см (Экология сообществ..., 1991). В последнем случае наличие обильного снежного покрова полностью предохраняет почву от промерзания. Плотность снега также сильно меняется в различных районах от 0,24 г/см в предгорьях на открытых местах до 0,20 г/см под пологом черневых лесов (Юнатов, 1991). Запас влаги в снеговом покрове к началу снеготаяния находится в пределах от 120 до 310 мм, а на



восточных предгорьях может снижаться практически до нуля, особенно на склоновых местообитаниях.

Водные потоки имеют важное рельефообразующее значение на Салаире. В сочетании с процессами выветривания, эрозионная деятельность рек в четвертичное время привела к выработке современного увалисто-долинного рельефа с довольно глубокой (до 200 м) врезкой логов. В результате тектонических подвижек и интенсивного эолового осадконакопления в течение плейстоцена – начала голоцена древняя речная сеть, выработанная в палеозойских породах, практически полностью отмерла. Реликты древних русел можно наблюдать в современном рельефе не только по долинам ныне существующих рек, но и на водораздельных пространствах в направлениях, совершенно не согласованных с современным характером речной сети (Зенкова, Матвеевская, 1937). Современная речная сеть была заложена и развивалась в верхнечетвертичное время в условиях оживления тектонической активности. Несмотря на оживление эрозионных процессов, глубинный размыв в большинстве случаев до сих пор еще не прорезал всей толщи неогеновых отложений. Реки производят усиленный донный размыв, что, наряду с обилием логов, говорит об относительно недавнем начале нового эрозионного цикла.

Вся речная сеть Салаира относится к бассейну р. Обь и распределяется между бассейнами трех притоков Оби первого порядка (Кеммерих и др., 1963). Северо-западная часть кряжа дренируется системой р. Бердь и ее притоков, северо-восточная часть принадлежит бассейну р. Иня, а остальная территория дренируется системой р. Чумыш. Образуюсь от слияния Кара- и Томь-Чумыша на восточном макросклоне кряжа. Чумыш дренирует значительную часть этого макросклона. Затем он резко разворачивается на запад, пропиливает Салаирский кряж с образованием узкой каньонообразной долины и выходит на западный макросклон. Здесь он вновь делает резкий

разворот на север и, протекая вдоль западного макросклона кряжа, вбирает в себя большинство стекающих с него рек.

Кряж не является водоразделом даже для Обских притоков первого порядка. При меньшей, по сравнению с Иней, протяженности русла Чумыш отличается большими размерами водосборного бассейна и втрое большим расходом воды. В этом находит свое отражение климатическая асимметрия кряжа – неравномерное распределение осадков между западным и восточным макросклонами (Кеммерих и др., 1963). Питание рек в основном снеговое и дождевое с четко выраженным весенним половодьем и меженью в конце августа – начале сентября.

Озера очень редко встречаются на территории Салаирского кряжа. Преимущественно это небольшие мелководные озера старичного происхождения в долинах крупных рек в предгорья (Лашинский, 2004). Как правило, вода в этих озерах мутная, с большим содержанием органических веществ. Все водоемы Салаирского кряжа являются пресными, несмотря на преимущественно засоленные почвы на данной территории.

Однородность минералогического состава и физико-химических свойств рыхлых поверхностных отложений, выступающих на большей части территории кряжа в качестве почвообразующей породы, во многом определила относительную однородность почвенного покрова (Афанасьева, Котенова, Поярков, 1934). Приподнятость кряжа над окружающей равниной, низкогорный рельеф с эрозионными останцами и склонами различной крутизны и экспозиции, выходы палеозойских пород и климатическая неоднородность территории формируют узор почвенных разностей, вкрапленных в фоновые почвы.

Отмечается однородность и слабое проявление вертикальной поясности в почвенном покрове Салаирского кряжа (Лашинский, 2004). Основой почвенного покрова являются светло-серые сильнооподзоленные

почвы на лессовидном суглинке, возникшие путем деградации оподзоленных и выщелоченных черноземов и серых лесных почв, обычных для лесостепи.

Отмечается резкая дифференциация почвенного профиля по элювиально-иллювиальному типу и большая мощность элювиальной его части как характерные признаки преобладающих на Салаире почв. В традициях отечественной классификации большинство исследователей относит эти почвы к дерново-глубокоподзолистым на лессовидном карбонатном суглинке с двумя видами: дерново-глубокоподзолистые и слабодерново-глубокоподзолистые. Преобладающий почвенный процесс – лессивирование (Лацинский, 2004). Часто имеются проявления поверхностного оглеения, особо заметные по морфологии профиля в весеннее и раннелетнее время. Видовые различия по мощности подзолистого горизонта связаны с неоднородностью растительного покрова и, как следствие этого, с различным количеством и качеством поступающего с опадом органического вещества.

Почвы зонального лесостепного окружения Салаирского кряжа представлены сочетанием выщелоченных и оподзоленных черноземов под остепненными лугами и серых лесных почв под сосново-березовыми лесами (Горшенин, 1955). Изредка в верхней части южных склонов балок встречаются настоящие черноземы. Почвы развиваются на лессовидном суглинке и, фактически, представляют собой ряд постепенной деградации чернозема при переходе к более влажным условиям и смене травянистой растительности лесной. Единство почвообразующей породы и сходство некоторых характеристик профиля позволило Завалишину (1936) выдвинуть гипотезу о генетическом единстве преобладающих в лесном поясе Салаира дерново-подзолистых почв с черноземами лесостепи, рассматривая первые как конечный продукт деградации чернозема под лесной растительностью в более влажных климатических условиях.

Изредка встречаются дерново-подзолистые почвы со вторым гумусовым горизонтом (A<sub>2</sub>h) различной степени выраженности, который Завалишин (1936) рассматривает как реликтовый гумус степного почвообразования. Для ряда водоразделов в подпорье черневой тайги и в предгорной части кряжа встречаются серые и темно-серые лесные оподзоленные почвы с различной степенью оподзоленности. Они развиваются на лессовидном карбонатном суглинке и имеют много общих черт с дерново-глубокоподзолистыми почвами.

На восточном макросклоне кряжа под сосновыми лесами на делювии хлоритовых сланцев формируются бурые лесные почвы с мощностью профиля от 50–60 до 160 см. Они характеризуются малой мощностью и заметной щебнистостью профиля. На выходах мраморизованных известняков и доломитов по восточному макросклону кряжа и в осевой его части встречаются маломощные, грубогумусные дерново-карбонатные почвы.

Луговые и лугово-болотные почвы распространены небольшими контурами по всей территории кряжа, располагаясь, преимущественно, по днищам логов (Лацинский, 2004). В зависимости от глубины залегания грунтовых вод эти почвы различаются по степени оглеения и мощности гумусового горизонта. На восточных предгорьях кряжа встречаются солонцеватые варианты луговых почв.

В долинах таких крупных рек как Бердь и Чумыш, в основном на отрезках их спокойного равнинного течения встречаются аллювиальные почвы легкого механического состава под пойменной растительностью.

## **2.2. Характеристика лесов Салаирского кряжа**

Флора высших сосудистых растений Салаирского кряжа насчитывает на настоящий момент 959 видов, относимых к 105 семействам и 427 родам. По систематической структуре ее можно рассматривать как типичную, в ряду

бореальных флор соответствующих широт (Лашинский, 2004). В целом ее можно характеризовать как крайний восточный вариант атлантических флор, преимущественно евразийских видов при заметном и разновременном воздействии среднеазиатского, центральноазиатского и Алтае-Саянского флористических центров.

Длительное и непрерывное развитие флоры в условиях различающейся климатической обстановки предшествовавших геологических эпох отразилось в структуре реликтового элемента флоры, составляющего 8% от общего флористического состава (Лашинский, 2004). Отчетливо выделяются три разновременные группы реликтов – плиоценовые, плейстоценовые и голоценовые, которые, в свою очередь подразделяются на несколько экологических групп каждая.

Лесной тип растительности – является наиболее распространенным на территории Салаирского кряжа. Леса являются фоновой растительностью, как для зонального окружения, так и для всех высотных подпоясов кряжа. В лесном составе рассматриваются растительные сообщества с доминированием древесных или крупнокустарниковых жизненных форм.

Всего на Салаирском кряже насчитывается двенадцать видов древесных растений, образующих смешанные или моnodоминантные лесные сообщества. Самая редкая лесообразующая порода - липа сибирская (*Tilia sibirica* Bayer, 1862), относимая в Сибири к числу неморальных плиоценовых реликтов. На Салаире описан лишь один массив липового леса порослевого происхождения площадью в 60 га в Удинском лесничестве Аламбайского лесхоза на территории Алтайского края (Лашинский, 2004). Так же липа может встречаться на прилегающих территориях в составе древостоя пихтовых и осиновых лесов от единичной примеси до 3–4 единиц. В среднем деревья липы достигают 20–22 м в высоту и 34–36 см по диаметру. Под пологом пихтовых лесов липа нередко принимает форму низкорослого ползучего геоксильного кустарника, успешно распространяясь и

размножаясь вегетативным путем, В чистых и смешанных с осиной древостоях хорошо цветет и плодоносит.

Небольшую территорию в центральной части кряжа в пределах Кемеровской области и Алтайского края занимают кедровые леса с доминированием *Pinus sibirica* Du Tour, 1803. Они расположены на крутых склонах речных долин на маломощных щебнистых бурых лесных почвах. Кедр здесь достигает высоты 30-32 м и 100-120 см в диаметре. Кроме того, примесь кедра обнаруживается практически по всей территории кряжа в заболоченных долинных еловых лесах. Подсчет годичных колец на крупномерном ветровальном дереве показал возраст в 800 лет.

Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb., 1833), также как и кедр, образует чистые древостои в северо-западной части кряжа на крутых склонах по долинам рек. Южнее в аналогичных местообитаниях она присутствует в виде примеси к кедру. Но наиболее часто ель образует небольшие высокосомкнутые массивы заболоченных лесов по долинам малых рек, встречающиеся по всей территории кряжа. Здесь деревья ели достигают максимальных размеров до 30–32 м высотой и до 60–80 см по диаметру. В северо-восточной части Салаира ель иногда появляется как примесь в травяных сосновых лесах на маломощных щебнистых почвах.

Довольно редко на Салаирском кряже встречаются леса с доминированием лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb., 1833). В основном они располагаются в северо-восточных предгорьях кряжа на серых и темно-серых лесных суглинистых почвах. Постоянное, но не самое значимое участие лиственницы наблюдается практически по всему восточному макросклону кряжа в подпоясе березово-сосновых травяных лесов. Часто встречаются крупномерные пни лиственницы от рубки 40–50-х годов прошлого века. Диаметр таких пней достигает 140–150 см, а подсчет годичных колец показывает возраст 400–450 лет. Судя по многочисленным пням, до проведения рубок доля лиственничных лесов и лиственницы в составе

древостоев была значительно выше. Еще П.П. Поляков (1934) указывал, что сокращение численности лиственницы и лиственничных лесов на Салаирском кряже имеет не только антропогенные, но и естественные причины.

Небольшие площади занимают пойменные леса из ивы (*Salix alba* L., 1753) и тополей (*Populus alba* L., 1753 и *P. nigra*). Этот тип лесов расположен небольшими узкими лентами по высокой пойме рр. Бердь и Чумыш. Как правило, все три этих вида встречаются вместе. Реже всего доминирует ива, составляя не более трех единиц от состава древостоя. Деревья крупные, до 20 м в высоту и до 150 см в диаметре, с раскидистой кроной, с крупномерными скелетными ветвями. Хорошо возобновляются как вегетативным, так и семенным путем. Тополя отличаются большей высотой (до 26 м) и менее раскидистой кроной, однако также с очень крупными сучьями. По поведению сходны с ветлой (*Salix alba* L., 1753). В долинах малых рек аналогичные местообитания часто заняты сообществами с преобладанием крупнокустарниковых ив (*Salix viminalis* L., 1753, *S. Dasyclados* Wimm., 1849, *S. triandra* L., 1753, *S. pentandra* L., 1753).

К основным лесообразующим породам на Салаирском кряже относятся следующие пять видов древесных растений – березы повислая и пушистая (*Betula pendula* Roth и *B. Pubescens* Ehrh.), осина (*Populus tremula* L., 1753), сосна (*Pinus sylvestris* L., 1753) и пихта сибирская (*Abies sibirica* Ledeb., 1833).

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*) встречается по всей территории кряжа, но в качестве лесообразующей породы она выступает преимущественно на восточном крутом макросклоне кряжа, на щебнистых маломощных темно-серых, серых и бурых лесных почвах. На западном макросклоне сосновые леса отмечены небольшими массивами только в его северной части на супесчаных и легкосуглинистых почвах древних речных террас бассейнов р.р. Бердь и Чумыш. В осевой части кряжа небольшие

участки сосновых лесов расположены на вершинах эрозионных останцов на каменистой почве. Кроме того, сосна нередко доминирует в древесном ярусе переходных болот. Сосновые леса восточного макросклона сильно расстроены промышленными рубками разных лет и периодическими низовыми пожарами различной интенсивности. Несмотря на это, сосновые леса являются наиболее продуктивными и хозяйственно ценными лесами Салаирского кряжа. Положение этих лесов на крутых склонах и горных вершинах обуславливает также их высокую противозерозионную и водоохранную значимость.

Хорошо известны трудности в таксономии берез, связанные с их способностью к межвидовой гибридизации. *Betula pendula* – довольно крупное дерево до 20 м в высоту и 40–50 см в диаметре с белой корой и крупными черными вертикальными трещинами в нижней части ствола. В кроне, как правило, много тонких поникающих ветвей; листовые пластинки по форме и зубчатости края ближе к типичной *Betula pendula*. В предгорной части кряжа эта форма выступает основным доминантом колочных травяных лесов, часто встречается во вторичных лесах после рубок или пожаров, особенно на сухих, хорошо дренируемых местообитаниях. В осевой части кряжа эта форма отмечена в березовых лесах на каменистых, особенно известняковых, маломощных почвах на хорошо дренированных склонах. *Betula pubescens* представлена деревом средней величины, 10–12 м высотой, с толстой довольно гладкой и белой до самого основания корой. Ветви кроны, даже самые тонкие, крепкие не поникающие. Молодые побеги и листья опушенные, по форме и зубчатости края близкие к *Betula pubescens*. Эта форма доминирует в сырых и заболоченных лесах, синтаксономия которых описана в разделе болотной растительности. Единично встречается на низинных и переходных болотах, а также по периферии и в окнах древостоя заболоченных еловых лесов.



Третья форма – крупное дерево до 30–32 м высотой и 50–70 см в диаметре. Кора темная, с множественными горизонтальными неглубокими трещинами, форма и зубчатость листовых пластинок близка к таковой *Betula pubescens*, но опушение молодых побегов и листьев совершенно отсутствует. Молодые деревья этой формы имеют отчетливый красноватый цвет коры. По совокупности морфологических признаков эта форма ближе всего соответствует *Betula krylovii*, в настоящее время понимаемой как синоним *B. pubescens*. Чаще всего она встречается в составе древостоя черневых лесов в виде постоянной, но небольшой примеси (Лашинский, 2004). Редко образует небольшие вторичные рощицы на месте сплошных рубок. Возобновляется семенами преимущественно по валежу и по старым пням, поэтому взрослые деревья часто имеют обнаженную верхнюю часть корневой системы.

Осина широко распространена по всей территории кряжа. В предгорной части она составляет практически постоянный компонент колочных березовых лесов, часто образует вторичные леса на месте рубок сосновых лесов. Здесь осина достигает 16-18 м в высоту и не более 30-36 см в диаметре. Практически все взрослые деревья поражены стволовой гнилью в той или иной степени. В подпоясе черневых лесов осина, наряду с пихтой сибирской является основным лесообразователем. Может образовывать как чистые древостои, так и встречаться в различном количественном соотношении с пихтой. На территории Салаирского кряжа она способна достигать 28 м в высоту и 100–110 см по диаметру.

Повсеместно возобновление осины исключительно корнеотпрысковое с глубоким омоложением вегетативного потомства. Отдельные клоны занимают значительные площади по нескольку сотен квадратных метров, нередко различаясь между собой по ряду морфологических признаков (форма и цвет листьев, цвет и трещиноватость коры, время распускания листьев и т.п.). Многие осиновые леса, особенно в подпоясе черневых лесов, отличаются крупномерными быстрорастущими устойчивыми к стволовой

гнили особями осины. Максимальная продолжительность жизни отдельных деревьев достигает 100–110 лет, а возраст клонов, по-видимому, может измеряться тысячелетиями.

Среди хвойных деревьев, пихта сибирская (*Abies sibirica*) является на Салаирском кряже основным лесообразователем. Чистые пихтовые леса, а чаще в смеси с осиной, занимают почти всю осевую часть кряжа (Лашинский, 2004). На восточном макросклоне в верхней части подпояса сосново-березовых лесов пихта часто образует второй ярус древостоя сомкнутостью до 0,5–0,6. Постоянная примесь пихты наблюдается и в долинных заболоченных еловых лесах.

Согласно данным Махаткова (1998), пихта способна достигать высоты 24 м при диаметре 60 см. Максимальный возраст деревьев пихты составляет 170–180 лет. Она ежегодно обильно цветет и плодоносит, кроме того размножается вегетативным путем – укоренением нижних ветвей кроны, особенно на склонах.

Верхнюю часть лесного пояса на Салаирском кряже образуют черневые леса. Они занимают водораздельные пространства кряжа и по западному, более влажному макросклону спускаются до нижней трети склона. На восточном макросклоне черневые леса встречаются только в самой верхней приводораздельной его части, резко сменяясь ниже по склону травяными березово-сосновыми лесами.

Наиболее полное и общепринятое определение черневых лесов, сформулированное Г.В. Гудошниковым в 1978 году, включает пять основных признаков:

1. Совместное доминирование осины и пихты в древостое.
2. Присутствие крупных кустарников (*Sorbus sibirica* Hedl., 1901, *Padus avium* L., 1753, *Salix caprea* L., 1753) не образующих, однако, сомкнутого яруса подлеска.

3. Хорошо развитый сомкнутый травяной покров, образованный высокотравными многолетниками.

4. Присутствие группы видов, относимых в Сибири к неморальным плиоценовым реликтам.

5. Практически полное отсутствие напочвенного мохового покрова

Древостой сомкнутый, с отчетливым доминированием пихты. Часто существенную долю составляет кедр, осина, редко липа. Подлесок представлен отдельными редкими кустами. Травостой неравномерный, с пышным развитием в окнах древесного полога. Доминируют как правило *Aconitum septentrionale* Koelle, *Calamagrostis obtusata* Trin, *Aegopodium podagraria* L., 1753 (Лашинский, 2004).

Черневые леса осевой части кряжа интенсивно вырубались, начиная с сороковых годов прошлого века. Основной потребитель пихтовой древесины – горнодобывающая промышленность, где пихта продолжительное время использовалась на рудничную стойку. Так же важно отметить и широкое использование осины местным населением как строительного леса в связи с хорошим качеством и гнилеустойчивостью древесины данной породы на Салаире. К настоящему времени практически все крупные лесные массивы черневых лесов представлены мозаикой вторичных лесов различного возраста.

Большие площади в осевой части кряжа заняты молодыми одновозрастными осинниками. Девственные, не затронутые рубками леса сохранились небольшими массивами в наиболее труднодоступных районах кряжа и вдоль административных границ. Значительные площади лесопригодных земель кряжа заняты в настоящее время суходольными лугами, используемыми как отгонные пастбища.

Леса практически сплошь покрывают центральную часть кряжа, постепенно изреживаясь к предгорьям. Эксплуатационная ценность лесов Салаира определяется в первую очередь близостью к крупным

горнодобывающим и металлургическим центрам Кузбасса. В течение трех последних веков леса Салаира подвергались все возрастающей эксплуатации, достигшей максимума в середине XX века. Березовые леса предгорий кряжа не представляют значительной хозяйственной ценности и подвергаются бессистемным рубкам местным населением, для заготовки дров. Большая антропогенная нагрузка на эти леса связана с их уничтожением ради расширения сельскохозяйственных угодий. Очевидно, что процент лесистости предгорий в историческую эпоху уменьшился, по крайней мере, втрое. Предгорные леса сильно страдают от выпаса, периодических низовых палов и применения удобрений и гербицидов на прилегающих полях.

### **2.3. Методы исследования**

Данные снимков дистанционного зондирования состоят из каналов (диапазонов), которые отображают различные светопропускные и светоотражающие характеристики наземных объектов. Использование определенной комбинации каналов позволяет получить наиболее точное представление о тех или иных объектах. Для изучения лесных покровов наиболее приемлема комбинация диапазонов 4, 3, 2, при которой хвойные леса будут выглядеть более темно-красными или даже коричневыми по сравнению с лиственными лесами. В целом, насыщенные оттенки красного являются индикаторами здоровой и (или) широколиственной растительности, в то время как более светлые оттенки характеризуют травянистую или редколесья/кустарниковую растительность.

Одним из основных результатов при оценке состояния лесов является воспроизведение карт лесной растительности или отдельных ее характеристик в пределах политико-административных единиц и природно-территориальных комплексов (Черненкоова, 2006). Эти карты и связанная с

ними информация характеризуют разнообразие лесных территорий по определенному спектру параметров/индикаторов.

Полный комплекс работ по оценке биоразнообразия лесов и последовательность основных этапов автоматизированного определения состояния растительного покрова по космическим снимкам в общем виде включал несколько основных этапов:

1. Предварительная компьютерная обработка снимков – радиометрическая и геометрическая коррекция, трансформирование, преобразование. Определение набора классов и источников информации для автоматизированного дешифрирования лесов в соответствии с природными особенностями территорий. Создание обучающих эталонных выборок и выбор алгоритма для классификации.

2. Классификация. Тематическое дешифрирование с обработкой и анализом данных, включающие количественную оценку различных показателей состояния лесных экосистем. Все эталонные изображения классов могут быть сосредоточены на одном участке (прежде всего в случае использования карт и снимков) или разбросаны по всему снимку.

При построении карт наземных покровов используется метод классификации с обучением (с помощью обучающих выборок), что представляет собой математическую экстраполяцию спектральных характеристик (сигнатур) наземных ключевых участков с известными характеристиками на всю территорию, охваченную сканерным снимком.

Классификация – процесс распределения пикселей между конечным числом классов, или категорий, которые формируются из значений пикселей файла данных. Контролируемая классификация основана на безусловной информации о типах объектов (Пузаченко, 2012).

Процедура создания обучающей выборки реализуется выбором в пределах изображения эталонного объекта участков из нескольких пикселей (Пузаченко, 2006). Процесс классификации данных дистанционного

зондирования идет попиксельно, что подразумевает то, что каждый пиксель определяется и относится к тому или иному классу.

Методика исследования отображена на рисунке 2.

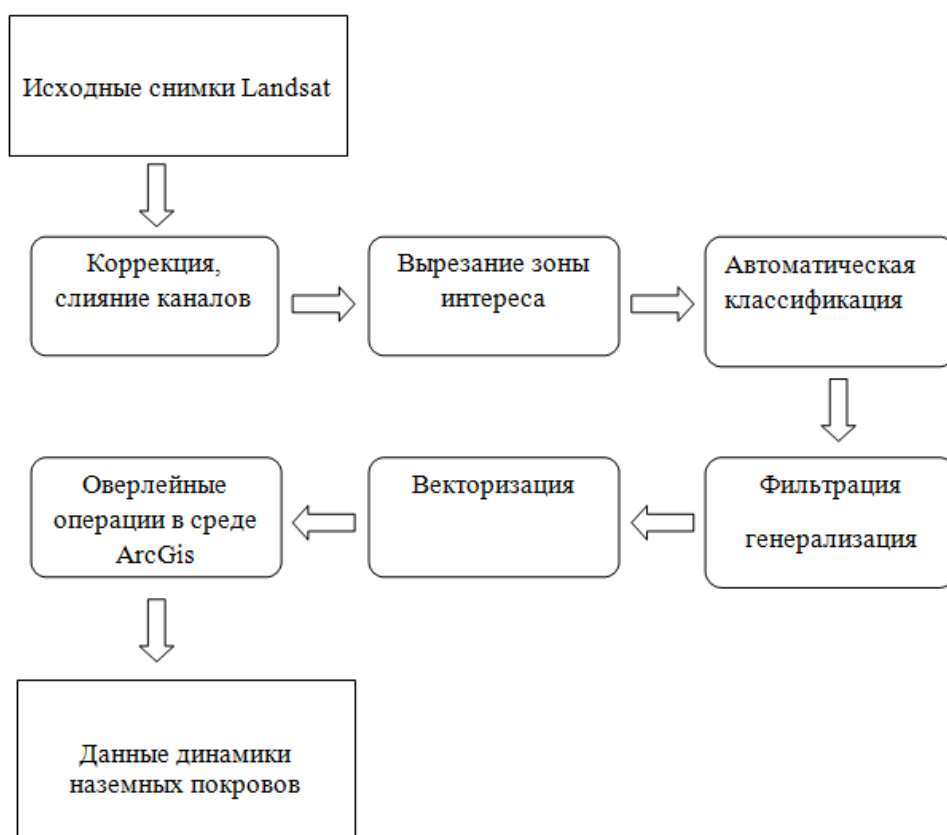


Рис.2. Алгоритм анализа пространственно-временных изменений наземных покровов.

Обязательным условием выполнения процедуры классификации с обучением является наличие на снимке эталонов – фрагментов изображения, однозначно относящихся к своему классу объектов (Пузаченко, 2006). Источниками, на основе которых выбираются эталоны, могут быть материалы специально проведенных полевых работ, карты или же дешифрованные аэроснимки.

## ГЛАВА 3. ДИНАМИКА ЛЕСНОГО ПОКРОВА САЛАИРСКОГО КРЯЖА

### 3.1. Характеристика наземных покровов

Наземные покровы – обобщенный термин, используемый в ГИС - технологиях, обозначающий физическую материю, находящуюся на поверхности Земли. Такими покрывами могут являться леса разных типов (лиственные, хвойные, смешанные), участки с луговой растительностью, вода, асфальт и т.д. На основе спектрального, пространственного и временного охвата и разрешающей способности, а также свободного доступа к соответствующей базе данных Earth Resources Observation and Science Center (EROS) и U.S. Geological Survey (USGS) были выбраны спутники Landsat 4–5 TM, являющиеся многоспектральными оптико-механическими сканирующими радиометрами (рис.3).

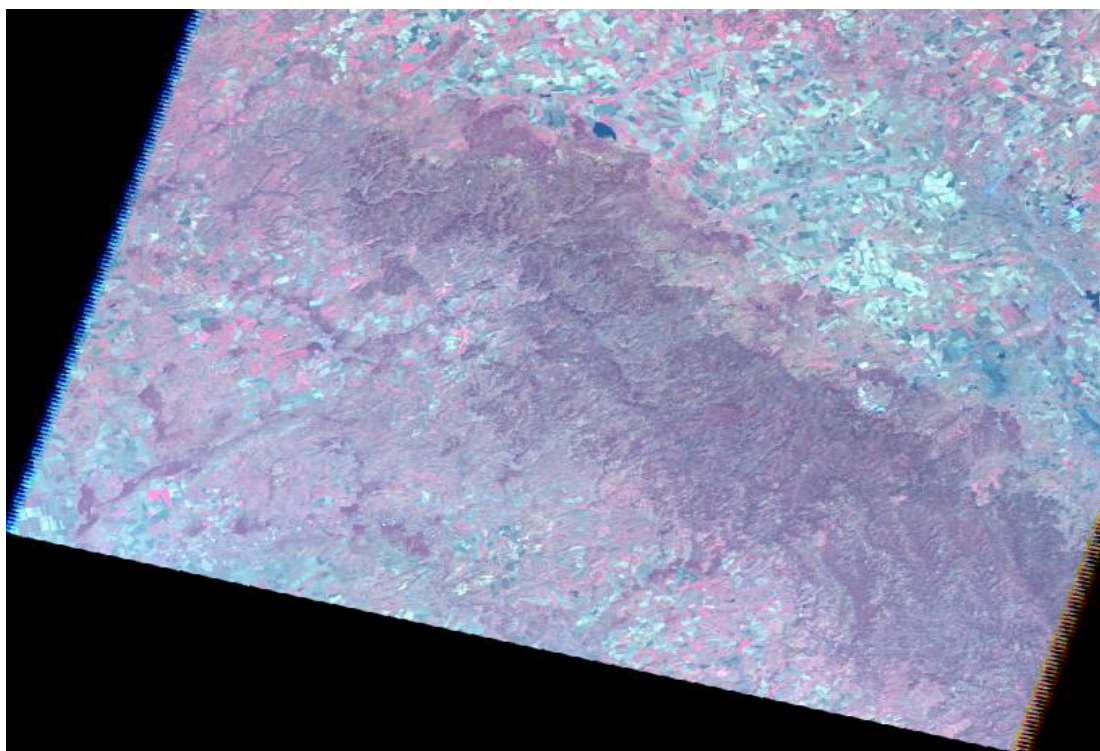


Рис.3. Снимок исследуемой территории 11.06.2011 г.

Данные спутники функционируют практически непрерывно на протяжении нескольких десятилетий, что позволяет пронаблюдать за динамикой лесов изучаемой области по непрерывно получаемым данным.

После получения данных дистанционного зондирования из баз данных EROS и USGS снимки были кадрированы по границам Салаирского кряжа. В среде ArcGis была создана область интересов (AOI), охватывающая территорию Салаирского кряжа, по которой проводилось кадрирование снимков в Erdas Imagine (рис. 4).



Рис.4. Снимок, кадрированный по области исследований 11.06.2011 г.

После кадрирования снимков по границам исследуемой территории необходимо провести процесс контролируемой классификации. Данный процесс включает несколько этапов:



1. Первый этап заключается в определении, какие классы объекты будут выделены в результате выполнения всей процедуры.

2. На втором этапе для каждого из классов выбираются типичные для него пиксели, т.е. формируется обучающая выборка.

3. Третий этап – вычисление параметров, «спектрального образа» каждого из классов, сформированного в результате набора эталонных пикселей.

4. Четвертый этап процедуры классификации – просмотр всего изображения и отнесение каждого пикселя к тому или иному классу. Для рассматриваемой территории оптимальным было принято 15 классов наземных покровов. Далее они были объединены, на их основе созданы 8 типов наземных покровов, так как некоторые из выделенных изначально наземных покровов совпадали по типам растительности. Были выделены следующие основные классы наземных покровов: хвойные леса, лиственные леса, смешанные леса, лиственные молодняки, болота, луга, участки без растительности и вода (рис. 5).

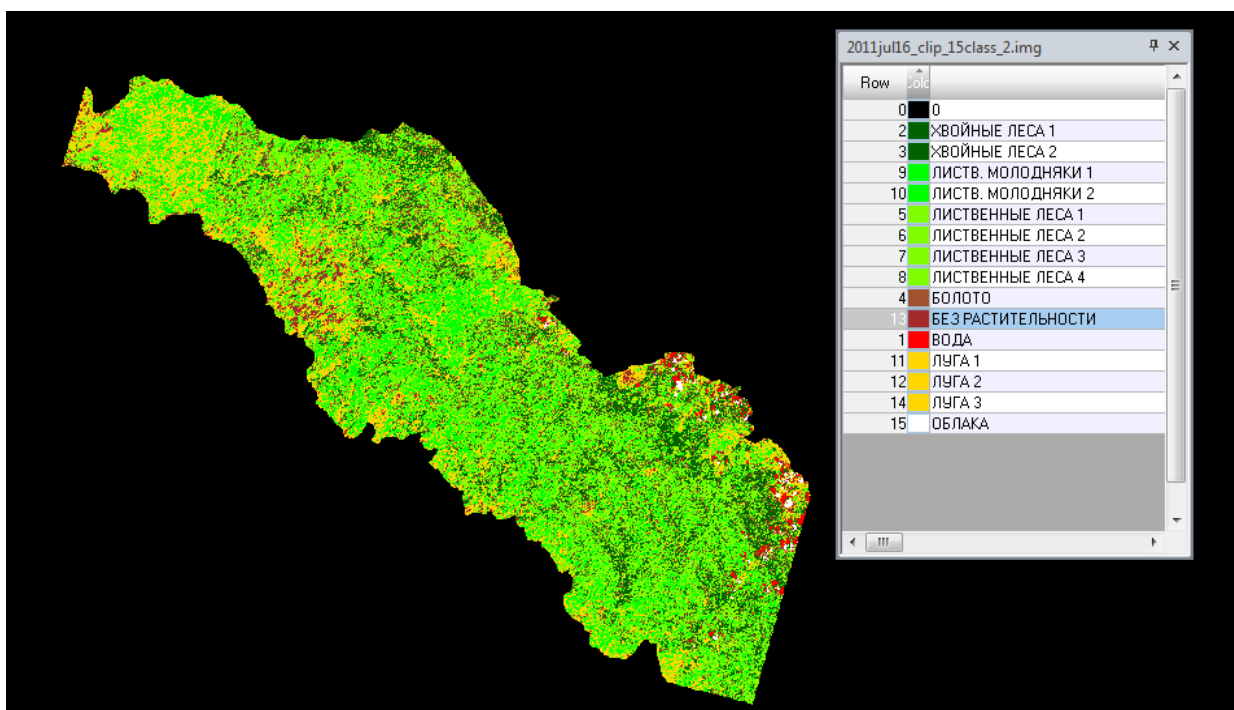


Рис.5. Карта наземных покровов 11.06.2011 г.

После проведения классификации необходимо определить площадь, занимаемую каждым из классов на картах наземных покровов, что позволяет сделать среда Erdas Imagine. Данная программа отображает, какое количество пикселей занимает тот или иной класс наземных объектов. Также Erdas Imagine предоставляет информацию о площади, занимаемой каждым отдельным классом и общей площадью рассматриваемого снимка, предоставляя всю вышеперечисленную информацию в отчетах.

Создание таблиц площадей наземных покровов является основным шагом в изучении пространственно-временных исследований наземных покровов. Данные таблицы позволяют получить данные об изменениях площадей отдельных наземных покровов на территории исследования, провести сравнительный анализ данных, а так же построить графики изменений площадей наземных покровов.

Для более полной пространственно-временной картины исследования динамики лесных покровов необходимо построить матрицу перехода наземных покровов, позволяющую оценить прямые и обратные переходы наземных покровов исследуемой области. Данную матрицу позволяет построить геоинформационная система QGIS (QuantumGIS).

### **3.2. Анализ динамики лесного покрова**

На основе данных, полученных в результате дешифрирования, построения карт наземных покровов, была построена таблица, отображающая изменение площадей лесных покровов за промежуток времени с 1983 по 2015 гг. (табл.1, табл. 2).

По результатам дешифрирования данных дистанционного зондирования можно заметить, что площадь лесов исследуемой области за период 1983–2015 гг. сократилась на 9,36 %, что составляет 800 км<sup>2</sup>. В

период 1989–1993 гг. наблюдается наименьшее сокращение общей площади лесов Салаирского кряжа. За этот период площадь лесных покровов сократилась на 30 км<sup>2</sup>. За период 1983–1989 общая площадь лесов сократилась на 96 км<sup>2</sup>, в период 1993–1996 гг. наблюдается уменьшение площади лесов на 120 км<sup>2</sup>.

Таблица 1

Изменения площадей лесных покровов

Типы наземных покровов	Площадь (км <sup>2</sup> ) по годам						
	1983	1989	1993	1996	2003	2011	2015
Хвойные леса	1422	1381	1370	1370	1299	1281	1249
Лиственные леса	2169	2145	2127	2013	1862	1644	1567
Смешанные леса	1567	1527	1524	1507	1499	1452	1429
Лиственные молодняк и	1779	1788	1790	1801	1842	1861	1892
Итого	6937	6841	6811	6691	6502	6238	6137

В дальнейшем площадь лесных покровов уменьшалась постоянно и к 2015 году достигла 6137 км<sup>2</sup>, что говорит о продолжающемся антропогенном воздействии на леса Салаирского кряжа в целом.

По данным, полученным с карт наземных покровов, была отмечена отрицательная динамика всех лесных классов наземных покровов (за исключением лиственных молодняков) и, в наибольшей степени, лиственных лесов кряжа.

Площадь лиственных лесов в 1983 г. составляла 2169 км<sup>2</sup>, а к 2015 году сократилась до 1567 км<sup>2</sup>, что говорит о сокращении их на 602 км<sup>2</sup>. Так же по данным дистанционного зондирования можно сделать вывод о том, что

площадь лиственных лесов сокращалась неравномерно. В период 1983–1993 гг. площадь лиственных лесов изучаемой территории уменьшилась на 142 км<sup>2</sup>, что говорит о незначительном антропогенном влиянии. В дальнейшем с 1993 по 2011 гг. воздействие на лиственные леса увеличивалось.

Таблица 2

Изменения площадей лесных покровов в процентном соотношении

Типы наземных покровов	% от общей площади по годам						
	1983	1989	1993	1996	2003	2011	2015
Хвойные леса	16,83	16,35	16,2	16,2	15,37	15,16	14,78
Лиственные леса	25,67	25,38	25,17	23,82	22,04	19,45	18,54
Смешанные леса	18,54	18,07	18,03	17,83	17,74	17,18	16,91
Лиственные молодняки	20,93	21,16	21,18	21,31	21,79	22,03	22,39
Итого	81,98	80,96	80,6	79,18	76,94	73,82	72,62

В период 1993–1996 гг. наблюдается уменьшение площади лиственных лесов исследуемой территории на 114 км<sup>2</sup>, в период 1996–2003 гг. – на 151 км<sup>2</sup>, с 2003 по 2011 гг. – на 218 км<sup>2</sup> и с 2011 по 2015 гг. – на 77 км<sup>2</sup>. На данную тенденцию неоднократно обращалось внимание в научной литературе: лиственные леса предгорий кряжа не представляют значительной хозяйственной ценности и подвергаются выборочным бессистемным рубкам для заготовки дров местным населением.

Площадь хвойных лесов так же имеет тенденцию к сокращению, но в меньшей степени. Площадь хвойных лесов на период начала исследования составляла 1422 км<sup>2</sup>, в 1993 и 1996 гг. она составляла 1370 км<sup>2</sup>, в 2003 – 1299 км<sup>2</sup>, в 2011 г. – 1281 км<sup>2</sup> и к 2015 составила 1249 км<sup>2</sup>. В общей сложности площадь хвойных лесов сократилась на 173 км<sup>2</sup> (таб.1, рис 5). По

вышеприведенным данным можно сделать вывод о том, что в период с 1983 по 1993 гг. негативное антропогенное воздействие было менее значительным, в период 1993–1996 гг. площадь хвойных лесов не сокращалась, и за 19 лет, в период с 1996 – 2015 гг. площадь рассматриваемых лесов сократилась максимально – с 1370 км<sup>2</sup> до 1249 км<sup>2</sup>.

Анализируя данные, приведенные в табл. 1 и 2 можно заметить, что площадь смешанных лесов уменьшается незначительно за весь период исследования (рис. 6).

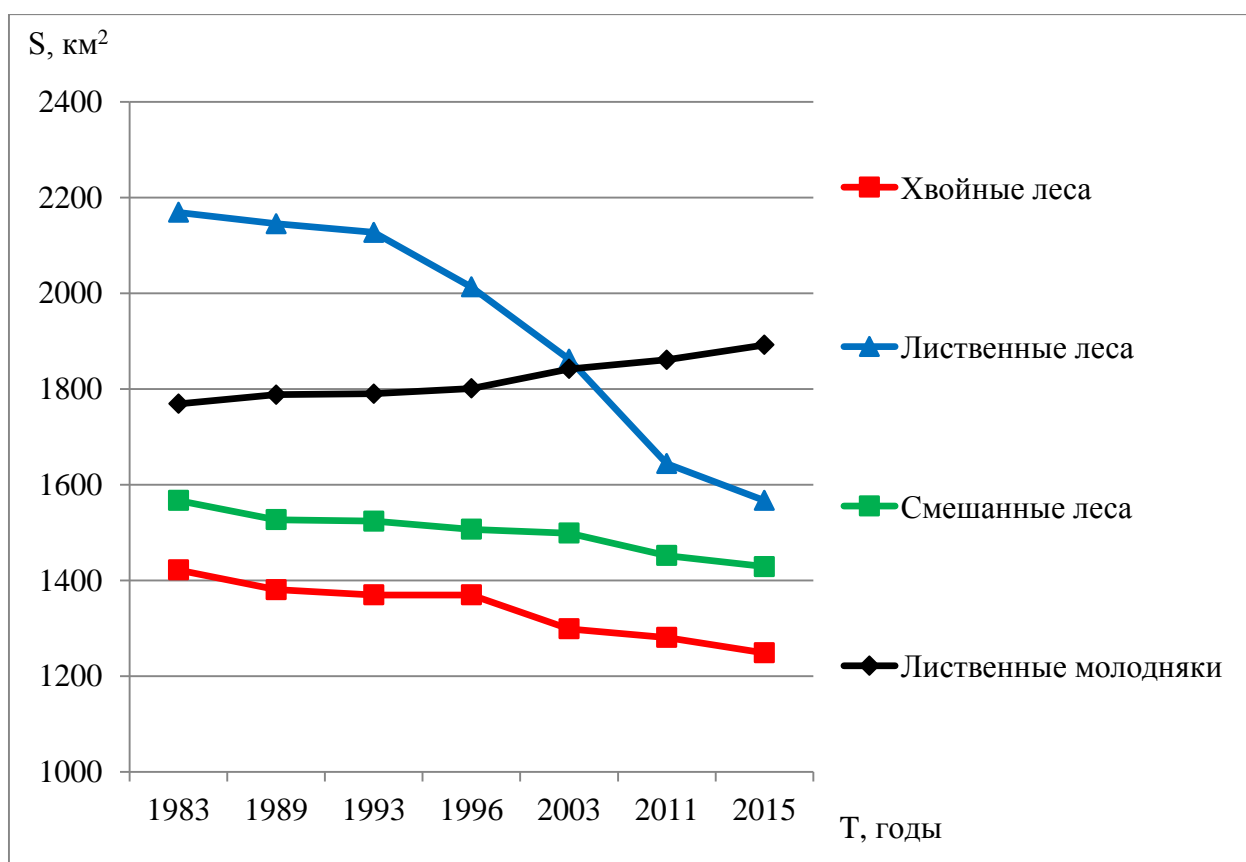


Рис. 6. Динамика площади лесных покровов Салаирского края

Таким образом, на период начала исследований площадь смешанных лесов составляла 1567 км<sup>2</sup>, в 1989 г. – 1527 км<sup>2</sup>, в 1993 г. – 1524 км<sup>2</sup> (сократилась на 3 км<sup>2</sup>), в 1996 г. – 1507 км<sup>2</sup>. За период 2003–2011 гг. наблюдается самое масштабное сокращение смешанных лесов Салаирского

кряжа, которое составляет 47 км<sup>2</sup> (2003 г. – 1499 км<sup>2</sup> и в 2011 – 1452 км<sup>2</sup>), и с 2011 по 2015 гг. лесные площади сократились на 23 км<sup>2</sup>.

В общей сложности площадь смешанных лесов за период исследования уменьшилась на 98 км<sup>2</sup>, что говорит о не самом значительном воздействии на данный тип лесов Салаирского кряжа.

Площадь лиственных молодняков исследуемой области увеличивалась с 1983 г. (1779 км<sup>2</sup>) по 2015 г. (1892 км<sup>2</sup>), что говорит о наличии естественного возобновления после рубок. Изменение площадей всех типов лесных покровов в течение рассматриваемого периода времени отображено на рисунке 6.

На следующем этапе анализа была рассмотрена динамика других (нелесных) наземных покровов в пределах территории исследования. Данные об изменениях этих наземных покровов представлены на таблицах 3 и 4. В целом, можно сделать вывод что площадь нелесных покровов за рассматриваемый период существенно увеличилась – с 1513 км<sup>2</sup> (18,03% от общей площади) до 2313 км<sup>2</sup> (28,53%).

Таблица 3

Изменения площадей нелесных наземных покровов

	Площадь (км <sup>2</sup> ) по годам						
	1983	1989	1993	1996	2003	2011	2015
Болота	641	724	738	747	750	753	753
Луга	733	749	753	752	1127	1245	1346
Участки без растительности	79	74	74	74	117	139	150
Вода	60	62	58	50	54	54	64
Итого	1513	1609	1623	1623	2048	2191	2313

Увеличение нелесных наземных покровов происходит главным образом за счет перехода различных категорий лесов во вторичные послелесные луга. В 1983 г. луговые участки занимали 733 км<sup>2</sup>, к 1993

наблюдалось увеличение луговых ценозов на 20 км<sup>2</sup> (738 км<sup>2</sup>), в 1996 году площадь лугов составляла уже 747 км<sup>2</sup>, в 2003 – 1127 км<sup>2</sup>, в 2011 – 1245, и к 2015 году составила 1346 км<sup>2</sup>. Наибольшее увеличение лугов наблюдалось в период 1996–2003 гг.

Кроме этого за период исследований существенно увеличилась (почти в 2 раза) площадь участков без растительного покрова. В 1983 г. площадь таких участков составляла 79 км<sup>2</sup>, а к 2015 году составила уже 150 км<sup>2</sup>. Это может быть связано с застройкой, разработкой месторождений полезных ископаемых, увеличением площадей под дорогами и иными коммуникациями.

Таблица 4

Изменения площадей нелесных наземных покровов в процентном соотношении

Типы наземных покровов	% от общей площади по годам						
	1983 г.	1989 г.	1993 г.	1996 г.	2003 г.	2011 г.	2015 г.
Болота	7,59	8,56	8,76	8,84	8,87	8,91	10,11
Луга	8,67	8,87	8,91	8,90	13,33	14,73	15,90
Участки без растительности	1,05	0,88	0,88	0,87	1,38	1,64	1,77
Вода	0,72	0,73	0,67	0,59	0,64	0,64	0,75
Итого	18,03	19,04	19,22	19,2	24,22	25,92	28,53

Наибольшее увеличение участков без растительности происходило в период 1996–2003 гг., за данный период площадь рассматриваемых участков увеличилась на 65 км<sup>2</sup>. Стоит отметить, что именно в этот период была построена трасса «Алтай-Кузбасс», что не могло не являться фактором увеличения площадей наземных покровов без растительности. При этом за

период с 1989 по 1996 гг., во время экономического кризиса, площадь участков без растительности не изменялась.

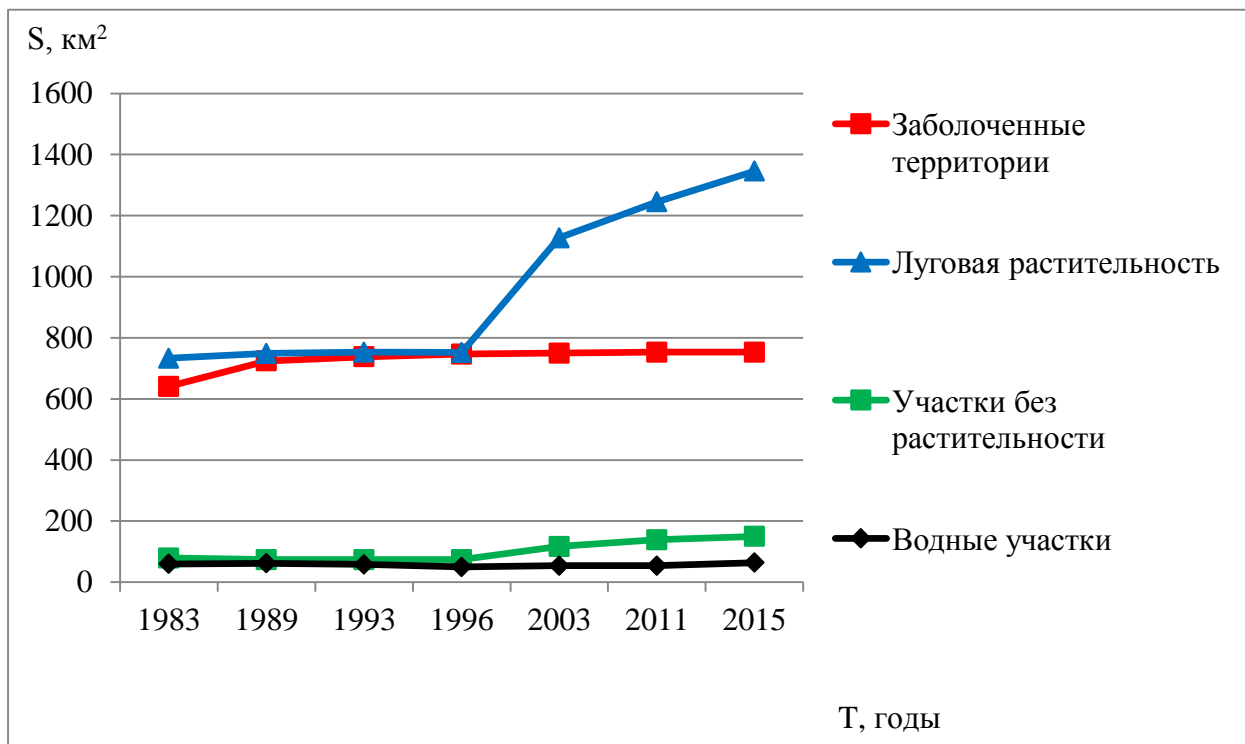


Рис. 7. Динамика нелесных покровов Салаирского края

Площади болот, а также участков, занятых водными объектами, за период наблюдений изменялись незначительно. Некоторое увеличение заболоченных территорий можно объяснить изменениями условий дренажа в связи с сокращением лесных площадей.

### 3.3. Характеристика переходов наземных покровов

Для более четкого представления о пространственно-временной динамике лесного и иных покровов на изучаемой территории, на основе полученных данных, была построена матрица перехода за весь период исследования. Данная матрица отражает частоту прямых и обратных переходов контуров классов наземных покровов один в другой на разновременных данных дистанционного зондирования (таблица 5).



Построение осуществлялось в программном комплексе QGIS Desktop 2.18, модуль MOLUSCE (Modules for Land Use Change Simulations). Последний позволяет частично автоматизировать анализ динамики пространственной структуры по серии карт, либо космических снимков, на которых отображено текущее состояние территории, за различные периоды времени.

Таблица 5

Матрица переходов наземных покровов (%) в период 1983-2015 гг.

1983 → 2015	1	2	3	4	5	6	7	8
1	87,8	0	0,9	0	1,8	7,3	2,2	0
2	0	72,2	1,6	2,2	0,6	22,5	0,9	0
3	0,5	1	91,0	1,2	0,5	5,2	0,6	0
4	0	5,1	1	92	0	1,9	0	0
5	0	1	0	0	85,1	10,5	2	1,4
6	5,3	20	4,6	1,7	10	54,4	2	2
7	3	9,7	4,5	2	12	14,4	52,7	1,7
8	0	0,3	0	0	0,7	0	1	98

где: 1 – хвойные леса; 2 – лиственные леса; 3 – смешанные леса; 4 – лиственные молодняки; 5 – болота; 6 – луга; 7 – участки без растительности; 8 – вода.

По результатам, полученным после построения матрицы переходов за период исследования, наблюдается переход большей части лесных наземных покровов «самих в себя», т.е. сохранение площадей лесных покровов для хвойных и смешанных лесов, а также лиственных молодняков (87,8%, 91,0% и 92% соответственно). В тоже время, для лиственных лесов данный переход составляет 72,2%, что в сравнении с другими типами лесов является низким показателем.

Для хвойных лесов наиболее характерен переход в участки с луговой растительностью, который составляет 7,3%. Так же наблюдается переход

территорий, занимаемых хвойными лесами в участки без растительности (2,2%) и болота (1,8%).

По данным матрицы переходов была построена диаграмма переходов наземных покровов (рис.8), отражающая переходы всех типов наземных покровов исследуемой территории. Нумерация наземных покровов, представленных на диаграмме, совпадает с нумерацией в матрице переходов.

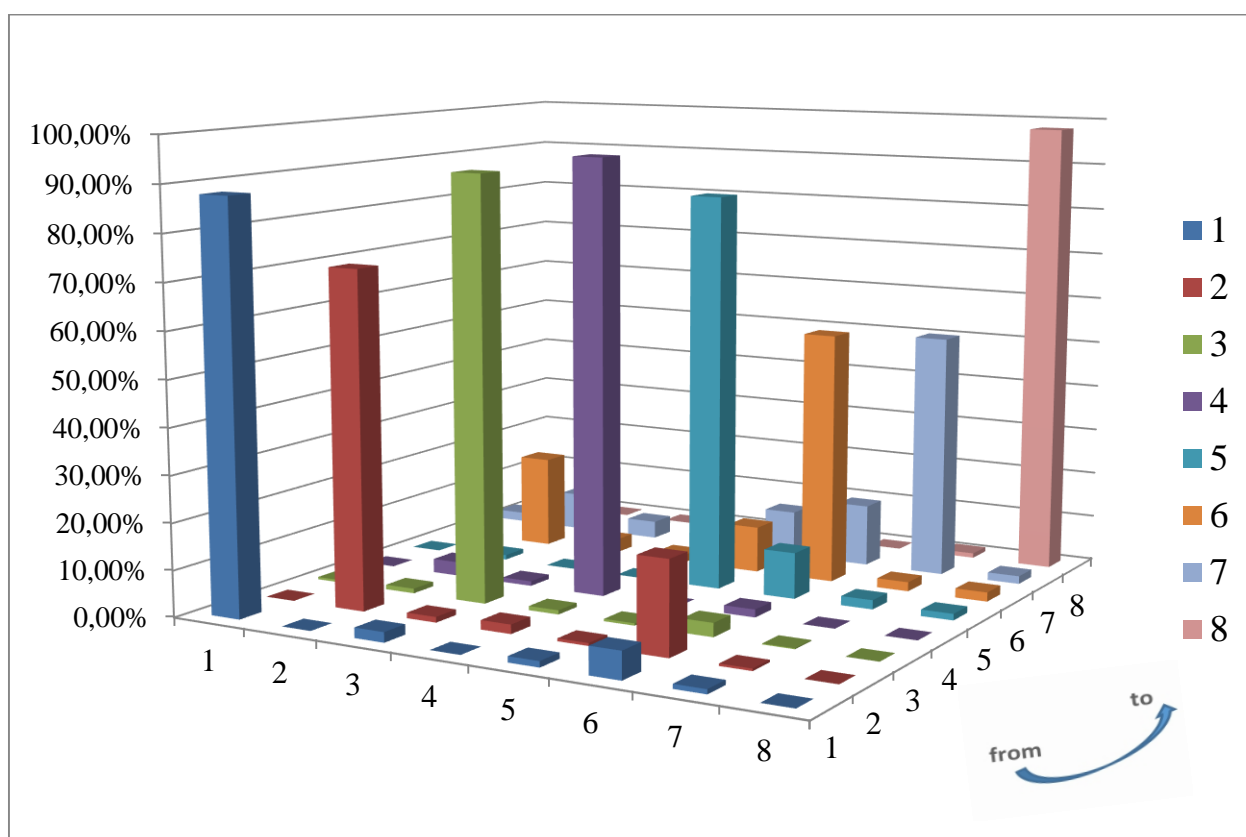


Рис.8. Диаграмма переходов наземных покровов

Большая часть площади лиственных лесов за период исследования переходит в луговые участки. Этот переход составляет 22,5% от общей площади данного класса наземных покровов. Помимо перехода в луговые участки наблюдается переход в класс лиственных молодняков (2,2%), что может говорить о незначительном естественном возобновлении лиственных лесов на изучаемой территории. Помимо этого, можно отметить переход

данного типа лесных покровов в смешанные леса (1,6%) , участки без растительности (0,9%) и болота (0,6%).

Для смешанных лесов наиболее характерен переход в участки с луговой растительностью, который составляет 5,2% от общей площади занимаемой данным классом. Данный тип лесов так же может переходить в лиственные (1%) и хвойные леса (0,5), что может наблюдаться из-за вырубок определенных типов лесных пород. Помимо вышеперечисленных изменений наблюдается переход смешанных лесов в участки без растительности и болота (0,6% и 0,5% соответственно).

Лиственные молодняки образуются в основном на территориях занимаемых ранее лиственными лесами (5,1%), а так же на участках с луговой растительностью (1,9%), что говорит о естественном возобновлении лиственных лесов на исследуемой территории. В менее значительной степени молодняки могут образовываться на территориях, занимаемых ранее смешанными лесами.

Участки с луговой растительностью образуются на территориях занимаемых ранее лесными покровами. Образование участков без растительности происходит в большей степени на территориях занимаемых ранее луговой растительностью (14,4%), а так же лиственными и смешанными лесами (9,7% и 4,5%). Водные участки являются наиболее стабильными, изменения составили лишь 2%.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана оптимальная классификация для автоматического дешифрирования данных дистанционного зондирования исследуемой области. После нескольких пробных попыток классификации оптимальным было принято 15 классов наземных покровов, некоторые из них были объединены между собой, вследствие чего были сформированы следующие группы наземных покровов: хвойные леса, лиственные леса, смешанные леса, лиственные молодняки, болота, луга, участки без растительности, вода.

2. На основе анализа можно отметить, что площадь хвойных лесов, в частности ценной черневой тайги за период 1983-2015 гг. уменьшилась на 173 км<sup>2</sup>, что свидетельствует об антропогенном воздействии на хвойные леса исследуемой территории. Так же наблюдается сокращение лиственных лесов на 602 км<sup>2</sup>. Площадь смешанных лесов сократилась на 138 км<sup>2</sup> с 1567 км<sup>2</sup> до 1429 км<sup>2</sup>. Позитивным моментом наблюдения за динамикой лесов Салаирского кряжа можно считать тот факт, что площадь лиственных молодняков исследуемой территории увеличилась за период исследования с 1779 км<sup>2</sup> до 1892 км<sup>2</sup>. В связи с тем, что площадь лесов исследуемой территории уменьшилась на 603 км<sup>2</sup> наблюдается увеличение площади наземных покровов без растительности практически в 2 раза, а так же увеличивается площадь, занимаемая лугами, в том числе послесными с 733 км<sup>2</sup> до 1346 км<sup>2</sup>.

3. По матрице переходов наземных покровов можно отметить, что для лесных типов растительности наиболее характерен переход в луговые. Для хвойных лесов этот переход составляет 7,3%, для лиственных лесов – 22,5% от общей площади данного класса наземных покровов. Помимо перехода в луговые участки наблюдается переход в класс лиственных молодняков (2,2%). Для смешанных лесов наиболее характерен переход в участки с луговой растительностью, который составляет 5,2% от общей площади занимаемой данным классом.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алифанов О.М. Летательные аппараты. – М.: Наука, 1986. – 97 с.
2. Алябьева Г.Н., Фахрина М.В. Природный потенциал Кемеровской Области // Фундаментальные исследования. – 2007. – № 11. – С. 6.
3. Атлас особо охраняемых природных территорий СФО. – Иркутск, 2012. – 392 с.
4. Афанасьева Е.А., Котенова Т.В., Поярков В.Ф. Почвы Западно-Сибирской области. – М.: Наука, 1934. – 76 с.
5. Баев О.В. Из истории Салаира: монография / Под ред. О.В. Баев и др. – Кемерово, 2007. – 147 с.
6. Барталев С.А, Жиринов В.М., Ершов Д.В. Сравнительный анализ данных спутниковых систем Космос–1939, SPOT и Landsat-TM при изучении бореальных лесов // Исследование Земли из космоса. – 1995. – Вып. 1. – С. 177 – 199.
7. Будникова Г.П. К характеристике сосновых боров юго-западной части Кузнецкой котловины // Новые данные по геологии и географии Кузбасса и Алтая. – 1969. – С. 266–268.
8. Будникова Г.П. Сосновые леса Кузнецкой котловины: автореф... дисс. ... д.б.н. – Новосибирск, НГУ, 1973. – 162 с.
9. Вдовин В.В. Кузнецко-Салаирская провинция // Рельеф Алтае-Саянской горной области. – 1988. – С. 40–71.
10. Горшенин К.П., Почвы южной части Сибири (от Урала до Байкала). – М.: АН СССР, 1955. – 590 с.
11. Горяинов М.С. История развития дистанционного зондирования как основного компонента географических информационных систем. автореф. дисс. ... к.г.н. – Москва, 2006. – 19 с.

12. Гудошников С.В., Познание природы черневой тайги на основе анализа ее бриофлоры // Ботанический журнал. – 1978. – Т. 63. – №1. – С. 25–33.
13. Данченко А.М., Мясников А.Г., Кошкина А.В., Данченко М.А. Зональные особенности формирования лесных фитоценозов и лесохозяйственное районирование Западной Сибири // Фундаментальные исследования. – 2012. – №11. – С. 1324–1328.
14. Дымина Г.Д., Агрофитоценозы и залежи западных предгорий Салаира // Бюллетень МОИП. – М., – 1985. – Т. 90. – Вып. 2. – С. 89–100.
15. Заславский М.Н. Эрозиоведение. – М., 1983. – 376 с.
16. Зенкова А.А., Матвеевская А.Л. Геологическое строение северо-западной части Салаирского кряжа // Материалы по геологии Зап.- Сиб. края. – 1937. – С. 32.
17. Иощенко Е.Н., Лашинский Н.Н. Динамика состава и структуры осиново-пихтовых древостоев Салаирского кряжа // Экология популяций: структура и динамика. – М. – 1995. – С. 370–376.
18. Исаев А.С. Князева С.В., Пузаченко М.Ю., Черненькова Т.В. Использование спутниковых данных для мониторинга биоразнообразия лесов // Исследование земли из космоса. – 2009. – № 2. – С. 1–12.
19. Кеммерих А.О., Куприянова Е.Н., Албул С.П. Воды. Западная Сибирь // Природные условия и естественные ресурсы СССР. – М. – 1963. – С.100–157
20. Кондаков А.Н., Возная А.А. Геологическое становление Кузнецкого Края // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2008. – С. 4–7.
21. Крапивкина Э.Д. Неморальные реликты во флоре черневой тайги Горной Шории. Автореф. дисс. ... к.б.н. – Новокузнецк, КузГПА, 2007. – 27 с.

22. Кренке А.Н., Пузаченко Ю.Г. Отображение основных функциональных свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной информации для обеспечения начальных стадий проектирования освоения углеводородных и лесных ресурсов // Ландшафтоведение: теория, методы, региональные исследования, практика. – М. – 2006. – 124 – 131 С.
23. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. – М.: Наука, 2004. – 141 с.
24. Лашинский Н.Н., Махатков И.Д. Влияние травостоя на возобновление древесных пород в черневых лесах Салаира // Лесоведение. – 1991. – №1. – С. 66–69.
25. Лашинский Н.Н. О сохранении эталонных участков черневой тайги на Салаирском кряже // Охрана растительного мира Сибири. – Новосибирск. – 1981. – С.106–110.
26. Лашинский Н.Н. Состояние природной среды и система особо охраняемых природных территорий для Салаирского кряжа в пределах Алтайского края // Особо охраняемые территории Алтайского края, тактика сохранения видового разнообразия и генофонда. – Барнаул. – 1995. – С. 95–99.
27. Лашинский Н.Н. Структурно-динамические особенности растительного покрова гумидных низкогорий юга Сибири: дисс. ... д.б.н. – Новосибирск, 2004. – 420 с.
28. Лашинский Н.Н. Ценофлора осиновых лесов Салаира. – Новосибирск, 1989. – 31 с.
29. Литинский П.Ю. Трехмерное моделирование структуры и динамики таежных ландшафтов. – Петрозаводск, Гидроиздат, 2007. – 341 с.
30. Махатков И.В. Пространственная структура ценопопуляций пихты сибирской в черневых пихтовых лесах Салаира. автореф. дисс ... д.б.н. – Новосибирск, НГУ, 1998. – 17 с.

31. Мониторинг биологического разнообразия лесов России: методология и методы. / Под ред. А. С. Исаева. М.: Наука, 2008. – 453 с.
32. Национальный доклад Российской Федерации по критериям и индикаторам сохранения и устойчивого управления умеренными и бореальными лесами (Монреальский процесс). М.: ВНИИЛМ, 2003. – 84 с.
33. Новаковский Б.А. Аэрокосмические методы в географических исследованиях. – М.: Изд-во Московского университета, 2003.– 471 с.
34. Парамонов Е.Г., Куделя В.А., Семенов М.И. Лесоводственная характеристика черневых лесов Западной Сибири // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 5 (103). – С.75–78.
35. Поляков П.П. Ботанико-географические очерки Кузнецкой котловины, Салаира и Западной Предсалаирской полосы // Материалы Кузнецко-Барнаульской почвенной экспедиции 1931 г. – 1936. – Ч. 3. – С. 63–69.
36. Поникаровский Д.А. Сочинения по истории земли кузнецкой: монография. – Кемерово, 2011. – 272 с.
37. Пузаченко Ю.Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // География и мониторинг биоразнообразия. – 2002. – С. 143–302.
38. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях. – М.: Academia, 2004. – 416 с.
39. Пузаченко М.Ю., Черненькова Т.В. ГИС-технологии в мониторинге биоразнообразия лесов // ArcReview. – 2006. – № 4. – (39). – С 14–19.
40. Сляднев А.П., Сенников В.А. Агроклиматические ресурсы юго-востока Западной Сибири и продуктивность зерновых культур. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 149 с.



41. Соколов Н.Н. О рельефе Кузнецкого бассейна, Салаира и правобережья Оби в районе р.р. Чумыш и Берди // Тр. Ин-та физической географии. – 1935. – Вып. 15. – С. 5–59.
42. Справочник по климату СССР. – Л, 1970. – Вып. 20. Ч. 1. – 591 с.
43. Тикунов В.С. Основы геоинформатики. – М.: Академия, 2004. – с.
44. Трифонова Т.А, Мищенко Н.В. Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. – М.: Академический проект, 2005. – 347 с.
45. Бугаевский Л. М., Цветков В.Я. Терминологическая основа и вопросы обучения ГИС // Информационные технологии. – 2000. – № 11. – С. 177 – 184
46. Трофимов Д.М. Аэрокосмические и геофизические исследования закрытых платформенных территорий. – М.: Недра, 1986. – 398с.
47. Фахрина М.В., Система особо охраняемых природных территорий Кемеровской Области // Современные наукоемкие технологии. – 2007. – Вып. 8. – С 53–57
48. Юнатов А.А. Экология сообществ черневых лесов Салаира: монография. – Новосибирск, 1991. – 73 с.
49. Черненькова Т.В., Бочарников В.Н. Комплексная оценка и организация данных в системе биомониторинга лесных территорий // Лесоведение. – 2003. – № 1. – С. 37–47.
50. Черненькова Т.В., Козлов Д.Н. Динамика лесов Подмосковья по материалам космической съемки // Земля из космоса – наиболее эффективные решения. – 2009. – № 1. – С. 24–28.
51. Черненькова Т.В., Басова Е.В., Бочкарев Ю.Н., Пузаченко М.Ю., Тихонова Е.В. Оценка биоразнообразия лесов в зоне влияния горно-металлургического комбината «Североникель» // Лесоведение. – 2009. – №5. – С 44 –51.

52. Черненко Т.В., Князева С.В., Пузаченко М.Ю., Макарова В.А., Левинская Н.Н. Критерии и индикаторы биоразнообразия лесов как инструменты устойчивого природопользования // Лесоведение. – 2009. – №6. – С. 1–15.

53. Черных Д.В., Бирюков Р.Ю., Золотов Д.В., Вагнер А.А. Антропогенные модификации и трансформации ландшафтов в бассейне р. Касмала: классификация и динамика на основе данных дистанционного зондирования // Вестник алтайской науки. – 2014. – № 1. – С. 233–240.

54. Черных Д.В., Бирюков Р.Ю., Золотов Д.В., Першин Д.К. Пространственно-временная динамика структуры ландшафтов в бассейне р. Касмала (Алтайский край) // Вестник алтайской науки. – 2015. – №1. – С. 264 – 269.

55. Черных Д.В., Золотов Д.В. Пространственная организация ландшафтов бассейна реки Барнаулки. – Новосибирск, 2011. – 205 с.

56. Шульц С.С. Земля из космоса. Л.: Лениздат, 1984. – 489 с.

Выпускная квалификационная работа выполнена мной совершенно самостоятельно. Все использованные в работе материалы и концепции из опубликованной научной литературы и других источников имеют ссылки на них.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ г.

\_\_\_\_\_ /Мирошниченко И.Д./  
(подпись выпускника) (Ф.И.О.)