

Санкт-Петербургский государственный университет

ШАРКОВА Анастасия Валерьевна

Выпускная квалификационная работа

Создание карт растительности по материалам дистанционного зондирования

Уровень образования: бакалавриат

Направление *05.04.03 «Картография и геоинформатика»*

Основная образовательная программа *СВ.5020 «Картография и геоинформатика»*

Профиль Геоинформатика

Научный руководитель:

доцент СПбГУ, к.г.н.

Артемьева Ольга Владимировна

Рецензент: профессор СПбГЭУ, д.г.н.

Корнекова Светлана Юрьевна

Санкт-Петербург
2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ И КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ФОНДА.....	5
1.1 Карты растительности – один из видов карт природы. Общие методологические принципы.....	5
1.2 Содержание и легенда карт растительности. История картографирования.....	17
1.3. Использование данных дистанционного зондирования Земли при картографировании растительности.....	28
ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ КАК ОБЪЕКТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ, НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ	39
ГЛАВА 3. СОЗДАНИЕ ВИЗУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ, СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ И НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ	50
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	71
ЛИТЕРАТУРА	73
ПРИЛОЖЕНИЯ	78

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время картографирование как создание образно-знаковой модели действительности основано на использовании интеграции картографии, методов дистанционного зондирования и современных геоинформационных технологий (Лурье, 2008). Для специалистов наук о Земле данные методы и технологии являются достоверным средством получения пространственно-временной информации, эффективным инструментом моделирования и познания окружающей действительности.

Картографирование растительности, являясь видом природного картографирования, предназначено для создания визуальных моделей растительного покрова, позволяющих оценить состояние биологических природных ресурсов, наблюдать изменения растительного покрова под влиянием антропогенных и естественных факторов во времени, анализировать рациональность использования лесных и сельскохозяйственных ресурсов в экономическом отношении, а также использовать для регионального планирования территории. При этом необходимо учитывать особенность создания карт растительности, так как, например составление социально-экономических карт может основываться на статистических данных, но составление карт природы, в особенности карт растительности, преимущественно использует сложный методологический аппарат обработки данных дистанционного зондирования (Artemeva et al., 2019).

С каждым годом методы дистанционного зондирования Земли всё прочнее внедряются в изучение и картографирование растительного покрова, так как они имеют возможность исследовать объекты или явления на расстоянии, особенно в труднодоступных местах. Исходя из этих возможностей, применение данных методов становится всё более востребованным. Тема научно-исследовательской работы представляет теоретический и практический интерес, потому что развитие методов дистанционного зондирования и появление новых сведений в этой области позволяет по-новому подходить к созданию карт растительности, которые неравномерно покрывают не только территорию Российской Федерации, но и мира.

Объект исследования – карты растительности.

Предмет исследования – методы дистанционного зондирования Земли.

Цель работы заключается в создании карт растительности по материалам дистанционного зондирования для территорий, имеющих различные физико-географические условия.

Для достижения поставленной цели в процессе научно-исследовательской работы были решены задачи:

- Описать общие методологические принципы создания и классификации карт растительности;
- Определить основное содержание и построение легенд карт растительности;
- Рассмотреть историю картографирования растительности;
- Проанализировать методы дистанционного зондирования в отношении создания карт растительности;
- Изучить физико-географические условия картографируемых территорий;
- Разработать технологическую цепочку создания карт растительности по материалам дистанционного зондирования;
- Создать карты по описанной методике.

Научная значимость работы: разработана универсальная технологическая цепочка создания карт растительности от получения открытых космических снимков до готового картографического продукта, применимая для разных типов природных территорий.

Практическая значимость работы: карты растительности, полученные в результате апробации разработанной технологической цепочки, применимы для использования, как в научной, так и практической деятельности человека и общества.

В качестве основного программного продукта для реализации данной работы было выбрано открытое программное обеспечение QGIS версии 3.8 и лицензионное ArcGIS версии 10.5 от компании ESRI. В качестве исходных материалов дистанционного зондирования использовались открытые данные Геологической службы США (USGS). Источником пространственной информацией являлись данные порталов GIS-LAB (gis-lab.info) и GisGEO (gisgeo.org). В качестве источников справочной информации использовались: книги и научные журналы предметной области, научные статьи и работы прошлых лет, научная электронная библиотека им. М. Горького, картографические архивы кафедры, а также источники сети Интернет.

ГЛАВА 1. КАРТОГРАФИРОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ. АНАЛИЗ ЛИТЕРАТУРЫ И КАРТОГРАФИЧЕСКОГО ФОНДА

1.1 Карты растительности – один из видов карт природы. Общие методологические принципы.

Природа – основная базовая составляющая нашего существования в реальном мире. Под природой подразумевают с одной стороны – окружающий нас материальный мир во всём его многообразии, с другой стороны – нечто, возникшее и умеющее развиваться без нашего участия, с третьей – совокупность географических оболочек нашей планеты, с четвёртой – естественную среду обитания человека (Боголюбов, 2014). Из этого можно сделать вывод, что природа играет первостепенную роль в становлении и развитии человечества, в его взаимосвязи с другими живыми существами и влиянии его хозяйственной деятельности на саму природу.

Необходимость изучения природных компонентов и процессов, их взаимодействия друг с другом и влияния на окружающую среду появилась еще в античное время. В 77 году н.э. Плиний Старший издал энциклопедию «Естественная история», в котором он собрал и систематизировал всевозможные знания о природе (Рис.1). Его главной целью при написании этого труда являлся полный охват всех наук и искусства, потому что, по его мнению, они связаны с природой и черпают свои материалы из природы. Он старательно описал каждый аспект мира, что позволило ему предоставить читателям всю сложность природы (spravochnick.ru).

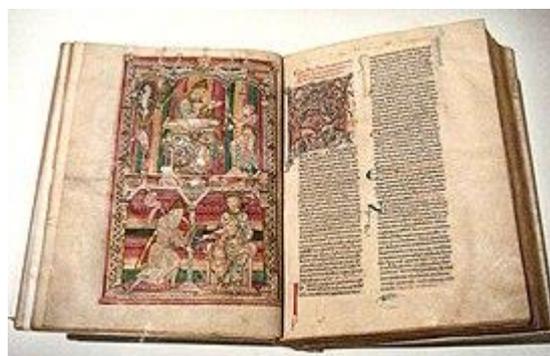


Рис. 1. Естественная история (spravochnick.ru).

Следующим шагом в развитии изучения природы стало развитие естествознания в XVI-XVII вв., как совокупности знаний о природных объектах, явлениях, процессах. Главной особенностью естествознания была возможность формирования целостного взгляда на природу. Уже в то время, люди понимали целесообразность изучения природы со стороны различных естественных наук как единого целого. Даже несмотря на дальнейшую дифференциацию и обособление естественных наук принцип единства, целостности и взаимосвязи компонентов природы является основой используемых методов изучения и исследования окружающего нас мира до сих пор (Садохин, 2015).

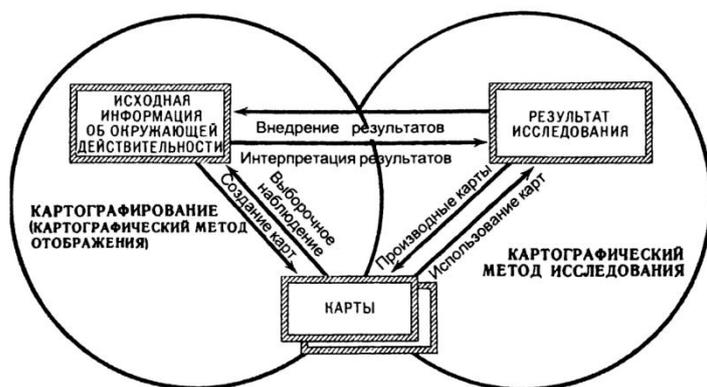


Рис. 2. Схема картографического метода исследования (Берлянт, 2011).

В процессе развития науки было апробировано множество методов познания окружающей действительности, в том числе картографический метод исследования, который составляет большую часть содержания раздела об использовании и применении карт

(Рис. 2). Использование карт – это самостоятельный раздел картографии, в котором изучаются особенности и направления применения карт, атласов, глобусов и других картографических произведений в различных сферах практической, учебной, научной, культурно-просветительской деятельности, а также оцениваются эффективность и точность получаемых результатов. По картам возможно получение качественных и количественных характеристик явлений или оценочных показателей, изучение структуры, динамики и взаимосвязей явлений, а также прогнозирование их размещения и развития.

Главным инструментом является анализ карт. Благодаря использованию картографического метода во всевозможных отраслях знания и производства появилось большое множество приёмов анализа карт, в разработке которых участвовали не только специалисты в естественных науках, но и специалисты по экономике и математике. Наиболее востребованные следующие группы приёмов:

- Описания по картам;
- Графические приёмы;
- Графоаналитические приёмы;
- Приёмы математико-картографического моделирования (Берлянт, 2011).

Приёмы анализа карт видоизменяются в зависимости от применяемых технологий, поэтому существуют разные уровни механизации и автоматизации исследований по картам:

- Визуальный анализ;
- Инструментальный анализ;
- Компьютерный анализ.

Инструментом картографического метода является непосредственно картографическое произведение, в частности карта. Самой обширной и разнообразной

категорией карт являются тематические карты. Они подразделяются на карты природы и карты общественных явлений (Берлянт, 2011).

Карты природы представляют собой наиболее сложный вид картографических произведений. Несмотря на разнообразие масштабов, способов и технологий картографирования, на разную тематическую направленность, эти карты должны быть взаимообусловлены и логически взаимосвязаны. Решение практических и производственных задач определяет необходимость создания и использования разных по форме и содержанию карт природы: геологических, геофизических, геоморфологических, метеорологических, климатических, гидрологических, океанологических, почвенных, ботанических, зоогеографических, ландшафтных и других.

Картографирование природы можно разделить на несколько направлений:

1. Создание аналитических или отраслевых карт, показывающих отдельные характеристики некоторого природного процесса, явления или объекта.
2. Создание комплексных карт, отражающих ряд показателей природного явления, имеющих свой отличный от других явлений показатель.
3. Создание синтетических карт, в которых отображаются типология, взаимосвязи между отдельными элементами и особенности функционирования геосистем в обобщённых показателях или характеристиках (Божиллина, 2016).

Создание карт природы основано на законах функционирования природы как единой сложной геосистемы, а также на учёте природных связей, в том числе зональных, экологических, структурных. С развитием компьютерных технологий большую роль в картографировании природы стали играть данные дистанционного зондирования, геоинформационные технологии и процессы, компьютерное моделирование.

Карты природы – незаменимое средство мониторинга, прогноза и моделирования различного рода природных явлений, особенно для поиска, разведки, оценки месторождений полезных ископаемых, экологического мониторинга территорий, изучения и предотвращения чрезвычайных процессов и явлений природного генезиса. Не стоит забывать о научной пользе картографирования природы.

Для любого географического исследования необходима карта, составленная по результатам этого исследования, так как благодаря визуализации информации можно сделать выводы о законах функционирования природных систем, оценить природные условия и ресурсы. Карты природы могут различаться по масштабам изучаемой системы: отдельные компоненты и показатели элементов природной среды, совокупность составных частей природного комплекса, в целом сама природа.

Вне зависимости от масштаба объекта картографирования, оно должно основываться на общих методологических принципах картографирования природы:

1. Все отдельные элементы природы необходимо моделировать в совокупности друг с другом и как единый природный комплекс.
2. В результате составления и генерализации карт должен сохраняться природный рисунок, отражающий правильные внешние очертания, передающий генезис и структурные особенности объектов и явлений картографирования.
3. Размещение объектов и явлений осуществляется также на основе географической и индикационной локализации.
4. Проведение изолиний выполняется методами географической интерполяции и экстраполяции данных.
5. Отображение разных типов связей между природными объектами и явлениями.
6. Правильный учёт и отображение разных типов природных границ.
7. Выполнение согласования содержания элементов с географической основой и другими взаимосвязанными тематическими картами.
8. Отображение динамики и направлений развития природных процессов и явлений.
9. При создании карт природы необходимо учитывать экологические и антропогенные влияния и изменения на исследуемых территориях.
10. Обеспечение качественного и достоверного отражение всех элементов, их внешних и внутренних связей, современного состояния, учёт динамики и развития необходимо осуществлять с использованием последних технологий и разработок, в том числе с использованием данных дистанционного зондирования и технологий геоинформационного картографирования (Божилина, 2016).

Все эти методологические принципы можно представить как взаимосвязанное единое целое, из которого следует вывод о необходимости использования системного подхода (Рис. 3). Сама методика основывается на принципе объединения создания аналитических, комплексных и синтетических карт в один процесс благодаря новейшим достижениям геоинформационного картографирования.



Рис. 3. Принципы географической картографии.

Сложные научно-технические процессы по созданию карт природы можно осуществить с большой эффективностью, достоверностью и точностью за счёт использования полного объёма всевозможных данных: аэрокосмических съёмок, полевых съёмок, Интернет-ресурсов; а также современных технологий картографирования. Все выше перечисленные методы основаны на принципах системного подхода.

Системный подход рассматривает природный объект как геосистему, а его исследования и картографирование проводятся системными методами. Каждый элемент и явление природы изучается как часть целого, но при этом целостность геосистемы рассматривается как совокупность разнородных взаимосвязанных явлений. Этот принцип в первую очередь можно отнести к картам растительности.

Карты растительности являются источниками капитальных знаний о важнейшем компоненте биосферы и имеют огромное научное значение для решения задач современного общества и обеспечения гармоничных взаимосвязей с природной средой (Божиллина, 2016). Они необходимы для учёта растительных ресурсов, выявления закономерностей их географического распространения, определения территорий их максимальной концентрации и оценки природных условий при освоении новых территорий (Заруцкая, 1965). Так же рассматривается практическая, экономическая и экологическая значимость карт растительности в различных отраслях человеческой

деятельности: лесном и сельском хозяйствах, организации охраны природы, медицине, геологии, развитию территорий. Не смотря на накопленный опыт создания карт растительности, разные регионы планеты неравномерно обеспечены достоверными и актуальными картами растительности (Божилина, 2016).

Если перейти к рассмотрению карт растительности как объекта картографирования, то можно заметить ряд отличительных особенностей, которые подчеркивают особые принципы и методологические подходы к картографическому изучению. Главное отличие растительности как объекта картографирования в том, что она развивается и по биологическим и по географическим законам, вследствие этого можно выделить главный принцип картографирования природы: картографировать по признакам самого растительного покрова, но в связи с особенностями географической среды.

Растительность исключительна как объект картографирования еще и потому, что распространена повсеместно, имеет характерные отличительные классификационные признаки и доступна для изучения прямыми визуальными наблюдениями. Это значит, что можно производить исследования, как в полевых натуральных съёмках, так и в лаборатории с использованием данных дистанционного зондирования, по которым возможно разграничивать растительные сообщества не только визуально, но и инструментально (Божилина, 2016).

Необходимо понимать, что растительность сложно устроена, и её разнообразную иерархическую пространственную структуру настолько трудно отразить в одной карте, что необходимо создавать несколько карт или слоёв. Следующим положением в картографическом изучении растительности является отображение структуры растительности в разных аспектах её проявления. Растительный покров является хорошим индикатором условий произрастания, поэтому эту особенность широко используют в области экологических изысканий. Появляется возможность использовать систему косвенных признаков при проектировании картографических моделей и реализовать принцип интеграции тематических карт при комплексном картографировании.

Растительный покров подвержен временным изменениям разной длительности и характера – повторяющиеся обратимые или необратимые, которые могут быть результатом как внутренних, так и внешних естественных и антропогенных влияний. Чаще всего составляются карты восстановленной, современной и потенциальной растительности. На современных картах огромное внимание уделяется отображению временных состояний и динамики растительности (Божилина, 2016).

Из-за разнообразной иерархической пространственной структуры растительности даже в настоящее время не создано полной, разносторонней, комплексной классификации.

В практической деятельности используется классификация карт, созданная на основе работ Е.М. Лавренко и В.Б. Сочавы (Рис. 4).

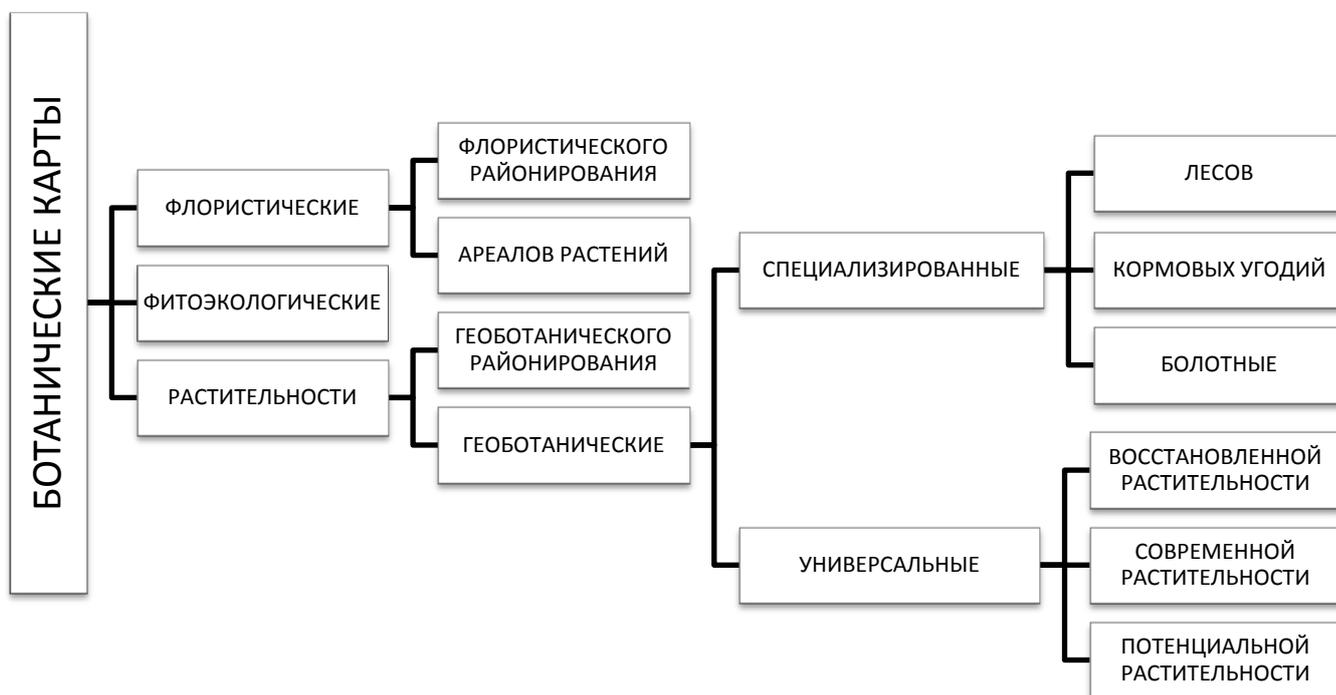


Рис. 4. Основные виды карт, отображающих растительность.

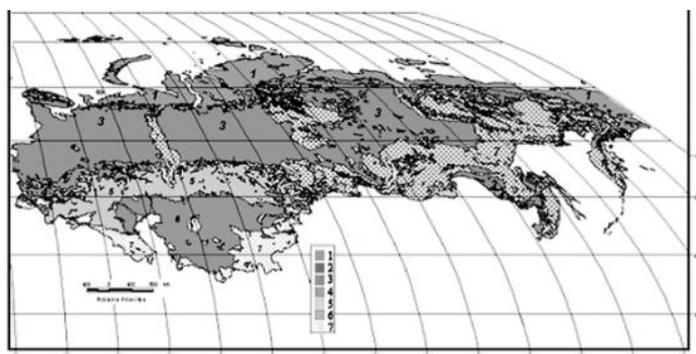


Рис. 5. Фрагмент карты глобального экологического зонирования мира (Божилкина, 2016).

Глядя на рис. 4, ботанические карты, то есть те, которые отображают растительность, можно разделить на флористические карты, карты растительности и новое направление – фитоэкологические карты (Рис. 5). Фитоэкологические карты составляют особую группу классификации, так как составлены с помощью экологических методов и подходов на основе геоботанических исследований. Они дают представление о природной среде, о состоянии растительного покрова в зависимости от особенностей условий его обитания и экологическом потенциале территории, а также они показывают географическое распространение типов сообществ в зависимости от факторов окружающей среды (Огуреева, 2018).

Флористические карты появились первыми

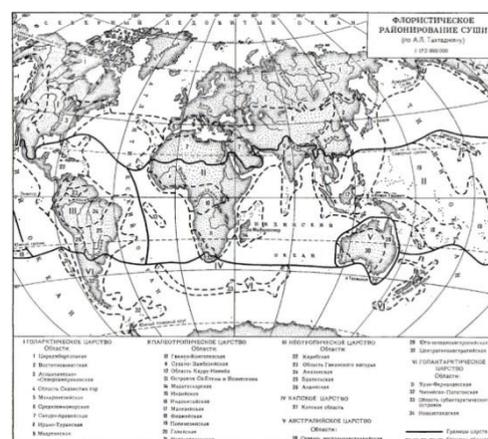


Рис. 6. Флористическая карта (Божилкина, 2016).

среди ботанических карт (Рис. 6). Их содержание составляет состав, распространение и происхождение отдельных систематических групп таксонов. Обычно их изображение чёрно-белого цвета из-за простоты содержания элементов. Для них характерно отображение регионов разного пространственного уровня в зависимости от критериев разделения территории (Божилина, 2016).

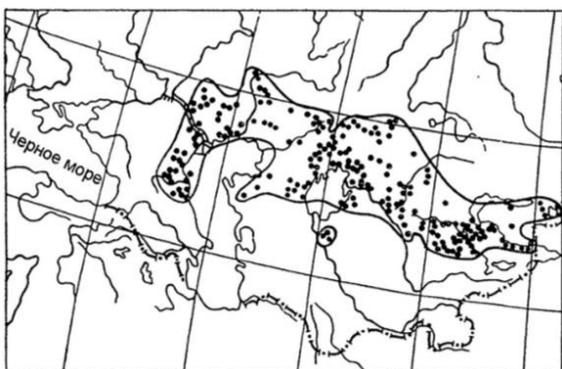


Рис. 7. Фрагмент карты ареала *Calligonum arhyllom* в Средней Азии (Емельянова, 2006).

Карты ареалов растений, составляемые на основе систематических таксонов – видов, родов, семейств, основаны на анализе и обобщении материала по общему распространению элемента классификации (Рис. 7). Карты ареалов имеют несколько подтипов, которые могут дать пользователю представление о границах самих ареалов, об ареалах местонахождения видов и их популяций, а также о структуре ареала видов, основанной на пространственной организации видовой численности населения (Емельянова, Огуреева, 2006).

Флористические карты являются очень важными в биогеографии и фитогеографии (Рис. 8). Основой составления таких карт является анализ биоты относительно регионального масштаба, выявление и нанесение на карту биотических особенностей территории, различий структуры флор отдельных регионов и их пространственного сходства.



Рис. 8. Флористическое районирование Северо-Восточной Азии по Б.А.Юрцеву (Емельянова, 2006).

Благодаря картам этого типа пользователь может познакомиться с внутренней спецификой растительного покрова, связанной с историей формирования флористических комплексов и становления современной биоты на данной территории (Емельянова, 2006).

Карты геоботанического районирования представляют собой итог ботанико-географического анализа территории, построенный на основе учёта специфики ландшафтообразующей роли растительных сообществ в пределах данной территории и учитывающий эдификаторную и доминантную роль в сообществах отдельных элементов классификации, которые создают внешний облик растительного покрова (Рис. 9).

Геоботаническое районирование основывается на признаках самого растительного покрова, а не условий его существования, поэтому и относится к ботаническому виду, а не природному физико-географическому, но необходимо понимать, что категории геоботанического картографирования отражают единство географической среды в целом (Огуреева, 1991).

Геоботанические карты представляют собой отображение распространения растительных сообществ, систематизированных в зависимости от назначения карт (Рис. 10). Их систематизацию можно проводить в соответствии с таксономической системой

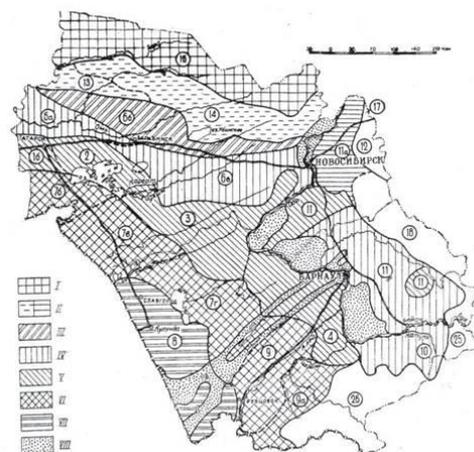


Рис. 9. Карта геоботанического районирования Сибирского края(1930г.).

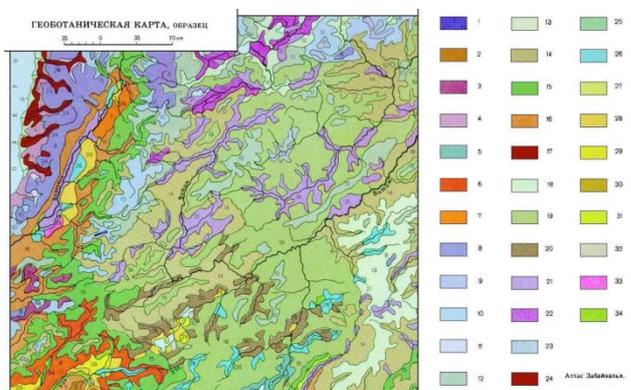


Рис. 10. Геоботаническая карта.

растительного покрова, с учётом экологических связей с физико-географическими факторами среды, с признаками сообществ, имеющих практическое или общенаучное значение. В зависимости от назначения карт можно выделить карты универсальные и специализированные (Божилина, 2016).

Универсальные геоботанические карты относятся к синтетическому направлению создания карт и представляют собой определённый итог изученности растительного покрова данной территории. Из них можно узнать информацию о растительном покрове и его распределении по земной поверхности, типологическом разнообразии сообществ, их динамическом состоянии, связи с ландшафтной структурой региона и прочие особенности растительности.

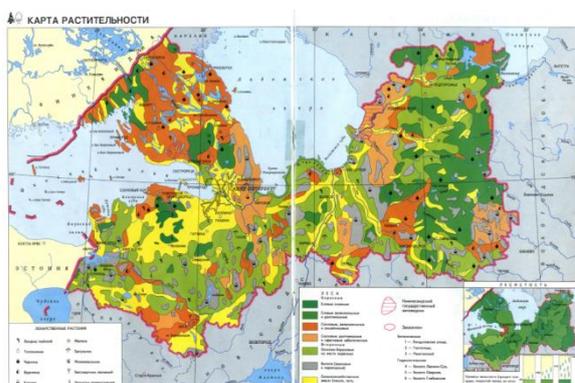


Рис. 11. Карта современной растительности из Атласа Ленинградской области. (Учебный географический атлас Ленинградской области, 1997)

Карты современной растительности отображают сохранившееся на территории растительные сообщества, распространение которых определяется современными условиями региона (Рис. 11). По ним можно оценить современное состояние растительности территории и следить за её динамикой, а также проводить экологическую

экспертизу для различных проектов, в том числе при развитии сети особо охраняемых природных территорий.

Карты восстановленной растительности, основанные на реконструкции эдафически и климатически обусловленных типов сообществ, существовавших в недавнем времени до значительных антропогенных воздействий. Они раскрывают экологический потенциал конкретной территории в полной мере.

Карты потенциальной растительности основаны на прогнозировании растительности, формирующейся на месте современной в заданных природных условиях при полном прекращении антропогенных воздействий в течение 100 лет. Данные карты отражают современный экологический потенциал местообитаний и возможные растительные сообщества, которые появятся и заменят существующие сообщества и земли на данной территории (Емельянова, Огуреева, 2006).

Специализированные карты растительности создаются в соответствии с их дальнейшим практическим использованием. На них отражаются поэлементный показ типов растительности, характерные черты и свойства использования вида растительного ресурса. В качестве таких ресурсов могут выступать леса, кормовые угодья, полезные дикорастущие растения, болотные земли и прочие. В качестве примера, рассмотрим карты кормовых угодий, составляемых обычно в масштабе 1 : 25 000, на которых отражены ботанические особенности степной, высокогорной, тундровой, луговой растительности, показывая информацию о ботаническом составе, кормовой ценности травостоев сообществ, типах использования – сенокосах, пастбищах, сезонах использования, запасе фитомассы и прочих показателях. Карты кормовых угодий зачастую составляются для территорий, используемых для разведения и выпаса разного вида скота (Рис. 12).

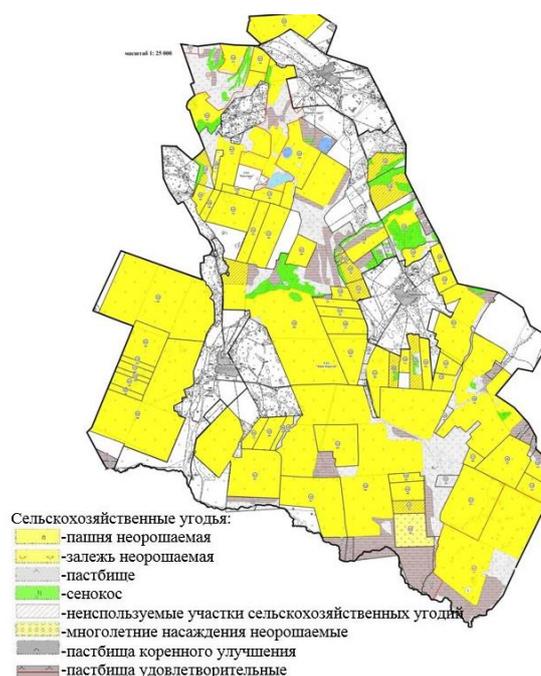


Рис. 12. . Карта кормовых угодий в Казахстане.

Рассмотренная выше классификация ботанических карт и представленные примеры ясно дают понимание всех сложностей и особенностей, возникающих при создании карт растительности, о которых упоминалось ранее. Важно подчеркнуть, что картографический метод исследования является в целом универсальным для систематизации, анализа и

отражения экологической информации о растительном покрове, особенно трансформированном деятельностью человека. Также развитие ботанических исследований, эволюция классификаций карт растительности напрямую связано с совершенствованием принципов, методов и подходов картографирования биоты и таксономических групп.

Также следует рассмотреть классификацию карт растительности по масштабу. Масштаб карты зависит от назначения составляемой карты, площади картографируемой территории, особенностей природных условий, выраженности структуры растительного покрова и степень требуемой детализации отображения ситуации на разрабатываемой карте (Емельянова, 2006). На данный момент используют классификацию карт по масштабу, разработанную Грибовой С.А., Исаченко Т.И. и Сочавой В.Б. в 1980 году и представленную в Таблице №1.

Таблица №1

Масштабный ряд карт растительности.

Классификация карт по масштабу	
Крупномасштабные	
Детальные	Обобщённые
1 : 5 000 – 1 : 25 000	1 : 50 000 – 1 : 200 000
Среднемасштабные	
Региональные	Обобщённые
1 : 300 000 – 1 : 500 000	1 : 600 000 – 1 : 1 000 000
Мелкомасштабные	
Формационные	Обзорные
1 : 1 500 000 – 1 : 4 000 000	1 : 5 000 000 и мельче

Крупномасштабные детальные карты используются для специальных и научных целей при исследованиях, при оценке территорий, подлежащих некоторому воздействию, картографировании заповедных и небольших по площади территорий. Например, данный масштаб необходимо использовать при инвентаризации кормовых угодий, таксационном описании лесов, устройстве промысловых заказников и хозяйств.

Крупномасштабные обобщенные карты используются для проведения инвентаризационных работ на значительных площадях, оценки современного состояния и степени антропогенной трансформации растительного покрова при планировании хозяйственной деятельности, восстановлении и экологического мониторинга природного потенциала экосистемы. Данные карты могут являться источником информации о современном состоянии природно-ресурсного потенциала территории и тенденциях её изменения, а также о распространении дробных типов растительного покрова, их связь с ландшафтными особенностями территории и главными факторами дифференциации среды.

Среднемасштабные региональные карты используются для отображения общих закономерностей распространения растительного покрова, связанного с природными особенностями территории. Такие карты находят своё применение при учёте и планировании использования ресурсов, принятии административных решений на региональном уровне, обосновании проектов различного рода сооружений, имеющих вероятность изменить сложившуюся экосистему на территории.

Среднемасштабные обобщённые карты дают представление о распространении растительности, связанные с ведущими факторами среды, о дифференциации растительного покрова в зависимости от зональных и высотно-поясных особенностей территории, в том числе о структурно-динамических, флорогенетических особенностях растительного покрова. Карты используются также для оценки экологического потенциала территории, планировании его использования и охраны, принятии административных решений, но на уровне выше.

Мелкомасштабные формационные карты отражают ботанические особенности территории, провинциальные черты растительного покрова, раскрывают связи биомов с другими регионами на внутриконтинентальном уровне. Они представляют основу для получения информации о закономерностях поясного распространения живого покрова, общие региональные особенности растительного покрова. Данный тип карт позволяет видеть и решать экологические проблемы на уровне континента, а так же углублять знания в естественнонаучных областях профессионального образования.

Мелкомасштабные обзорные карты показывают глобальные закономерности распространения растительного покрова на глобальном уровне, что позволяет проводить широкие биогеографические сопоставления. Данный тип карт можно встретить в атласах мира и отдельных регионов (Емельянова, Огуреева, 2006).

1.2 Содержание и легенда карт растительности. История картографирования.

Ботанические карты имеют богатое содержание, которое показывает закономерности распределения растительных сообществ, их взаимосвязи между собой и ландшафтной структурой, типологическое разнообразие и прочие особенности (Божилина, 2016).

В.Б. Сочава при разработке методологии картографирования растительности учитывал, что картографирование и районирование являются взаимно дополняющими сторонами единого процесса изучения пространственной структуры растительного покрова. С одной стороны – типологические карты растительности показывают распространение фитоценозов – гомогенных ареалов растительных сообществ, мельчайшей ячейкой которых является фитоценоз (Сочава, 1979), а с другой стороны – карты районирования, основанные на классификации фитоценозов – гетерогенных пространственных систем, образованных территориально примыкающими друг к другу разными фитоценозами, представляющими в целом структурно-динамическое и функциональное целое (Сочава, 1979; Емельянова, Огуреева, 2006)

Такой подход отражает суть концепции растительного покрова, при котором одновременно учитываются два основных свойства: гомогенность и гетерогенность, реализуемые в природе и фиксируемые в единой двухрядной классификации растительных сообществ. Гомогенизация состава растительности возникает в период самостоятельного развития растительных сообществ, когда сообщество длительное время воздействует на среду и стабилизирующие процессы становятся доминирующими. Гетерогенность растительности наступает в связи со спонтанной дифференциацией среды, в том числе из-за антропогенного влияния (Сочава, 1979).

Иерархичность является средством эволюции растительного покрова на планете. Принцип иерархичности сложения помогает рационально строить легенды к картам растительности, связывать отдельные части растительных сообществ в органическое целое. Растительное сообщество – динамическое целое, поэтому его строение следует рассматривать на отрезке времени, в пределах которого выявляется определённый для данного сообщества свойственный ему природный режим, связанный с режимом его местообитания. Растительный покров весьма мобилен, поэтому современная ботаническая карта должна отражать динамическое состояние растительных сообществ.

Необходимо разделять понятия динамики и эволюции растительного покрова. Для динамики характерны текущие отклонения, например, видового состава или экологических связей, которые допускают возврат в исходное состояние. Для эволюции характерно историческое развитие растительных сообществ и необратимость процесса.

Данное разделение основано на том, что каждый тип растительности сообщества в каждый отрезок времени характеризуется инвариантом – чем-то неизменным при всех трансформациях, и многочисленными переменными состояниями – производными инварианта. В итоге, эволюция это последовательное изменение инварианта, а динамика это совокупность процессов, которые приводят к переменным состояниям.

Исходя из приведённого выше принципа, на геоботанических картах отражаются проблемы динамики растительных сообществ и покрова, которые являются основой для фундаментальных научных исследований и практического применения (Сочава, 1979). Под динамикой понимают смену состояний биоценозов – совокупностей живых организмов, населяющих конкретную территорию и имеющих взаимосвязи между собой и окружающей средой, и отражение на картах переменных стадий сообществ, которые возникают при различных воздействиях природных или антропогенных факторов. Динамика растительности составляет самостоятельное содержание многих ботанических карт (Емельянова, Огуреева, 2006).

Динамические процессы по типу влияющих факторов делятся на естественные и антропогенные. Естественные процессы, являющиеся причиной сменой сообществ, могут быть представлены сукцессией, состоящей из стадий, сменяющих друг друга в процессе естественного развития растительного сообщества. Заключительная стадия сукцессии – климакс – устойчивое зрелое сообщество, достигшее равновесия при данных природных условиях.

Различают первичную и вторичную сукцессию. Первичная сукцессия представлена сообществами растений, формирующимися во времени и пространстве при определённых условиях среды. Вторичная сукцессия наступает из-за нарушения растительности в результате воздействия человека или природных катаклизмов, вызывающих изменения ситуации и влияющих на состояние растительных сообществ.

Также к естественным динамическим процессам можно отнести возрастную динамику, которая связана с продолжительностью жизни доминирующих и эдификаторных видов и функционированием самих сообществ, и зоогенную динамику, вызванную жизнью зоологических видов, влияние которых определяет функционирование сообществ в разные периоды жизни.

Наиболее мощным влиянием обладает антропогенная динамика, вызванная деятельностью человека. Антропогенные факторы изменяют состояние растительного покрова в течение времени. В качестве ярких примеров антропогенного воздействия можно привести рубки, распашка лесных территорий, выпас скота, пожары, организация сенокосов на лугах и пастбищах. В последнее время картографирование растительного

покрова всё больше развивается в сторону экологизации тематического содержания карт из-за возросшего интереса общества к проблемам окружающей среды, изменению климата и необходимостью решения проблем вызванных ими на всех уровнях проявления.

Научная и практическая ценность ботанических карт определяется их содержанием, которое зависит от принципов составления легенд исходя из выбранной классификации растительности. Классификация должна учитывать совокупность главных признаков растительных сообществ, определяющих их состав, структуру, динамику, географию, историю развития (Емельянова, Огурева, 2006).

Деление растительности по категориям размерности – первый этап классификации фитоценомеров и фитоценохор. В результате эмпирических наблюдений удалось установить три порядка размерности растительного покрова как фитоценомеров, так и фитоценохор – планетарный, региональный и топологический. Эти размерности взаимосвязаны, но каждая из них имеет свои временные и пространственные закономерности и связи. Главной задачей разработки единой классификации является возможность согласовать все размерности в разрабатываемой классификации. Рассмотрим взаимосвязи на примере географо-генетической классификации соподчинённых таксонов фитоценомеров и фитоценохор, приведённых в трудах В.Б.Сочавы (Сочава, 1979) (Рис. 13).

В ряду фитоценомеров наиболее большое значение имеют категории: *формация, фратрия и тип растительности*, которые выделяются на основе генетических и географических критериев. [Биогео карт-ние, Огурева]

Свиты типов растительности отражают черты планетарной зональности и асимметрии в пределах северного ветротропического, тропического и южного ветротропического поясов Земли (Емельянова, 2006).

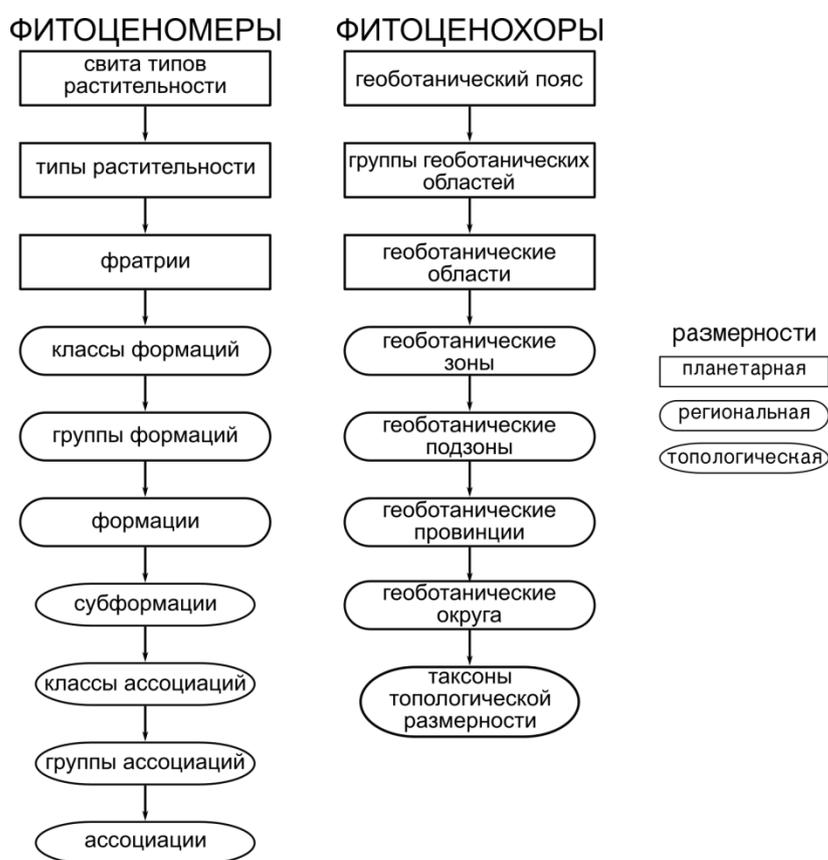


Рис. 13. Подразделение фитосферы по таксонам.

Тип растительности – крупное объединение формаций, основанных на ценогенетически и динамически связанных биоморфах. Отдельные биоморфы характеризуют материнское ядро и определяют зональную структуру типа растительности, например бореальные леса характерны для тайги. В масштабе всей Земли выделяют 25 типов растительности. Для северного внетропического пояса характерны типы растительности: тундровый, бореальный, неморальный, кустарниково-древесный субтропический, ксерофитно-редколесный и нагорно-ксерофитный, степной, пустынный, ксерофитный высокогорный, альпийский. Также различают шесть типов в тропическом поясе и семь в южном внетропическом поясе (Емельянова, Огуреева, 2006).

Фратрия классов формаций – конкретное выражение типа растительности на местности и дробное подразделение растительного покрова. Фратрия классов формаций объединяет генетически однородные подразделения растительного покрова, имеющие единое происхождение и развивающиеся в пределах единой территории. Выделение фратрий важно особенно при средне- и мелкомасштабном картографировании в целях отображения географических закономерностей растительного покрова больших территорий. На Земле можно встретить порядка 110 фратрий классов растительности. В качестве примера можно рассмотреть фратрии, относящиеся к бореальному типу растительности: Североамериканская, Североевропейская, Урало-Сибирская, Ангаридская, Берингийская, Северокордильерская, Канадская (Емельянова, Огуреева, 2006).

Класс формаций объединяет формации близкие в флороценогенетическом и структурно-морфологическом отношении, имеющие строго определённые границы ареалов в соответствии с флоро- и фитоценоотическими особенностями территории. В качестве примера, можно привести хвойный и лиственный класс формаций в пределах древесно-кустарниковой растительности. *Группа формаций* отражают специфику ландшафтных особенностей территории. Например, темнохвойные леса Урало-сибирской фратрии формаций представлены восточноевропейскими, уральскими, Обь-иртышскими, среднесибирскими и южносибирскими группами формаций (Емельянова, Огуреева, 2006).

Формация, как наименьшее подразделение таксономической системы региональной размерности, характеризуется общими доминантными и индикаторными видами в части их ареалов, ограниченных пределами фратрии, где сохраняются фитоценоотические и эколого-географические связи, а также строгой географической локализации, единой в пределах её распространения экологического потенциала данной территории.

Класс ассоциаций основывается на преобладании жизненных форм в основных ярусах структуре сообществ, например Липово-дубовый кустарниковый зеленчуковый. *Группа ассоциаций* выделяется с учётом основного доминирующего вида нижнего яруса, к примеру, Липово-дубовая лещиновая зеленчуковая. *Ассоциация* основывается с учётом доминирующих видов всех ярусов сообществ, например Липово-дубовая лещиновая лютиково-зеленчуковая. Данные таксоны проявляются в пределах ареала фратрии формаций, а значит, находятся в пределах определённой формации. Особенность приведённой двурядной классификации в том, что каждая ассоциация однозначно определяется в растительном покрове Земли, поэтому она использовалась при составлении карт растительности крупных регионов страны и мира (Рис. 14) (Емельянова, Огуреева, 2006).

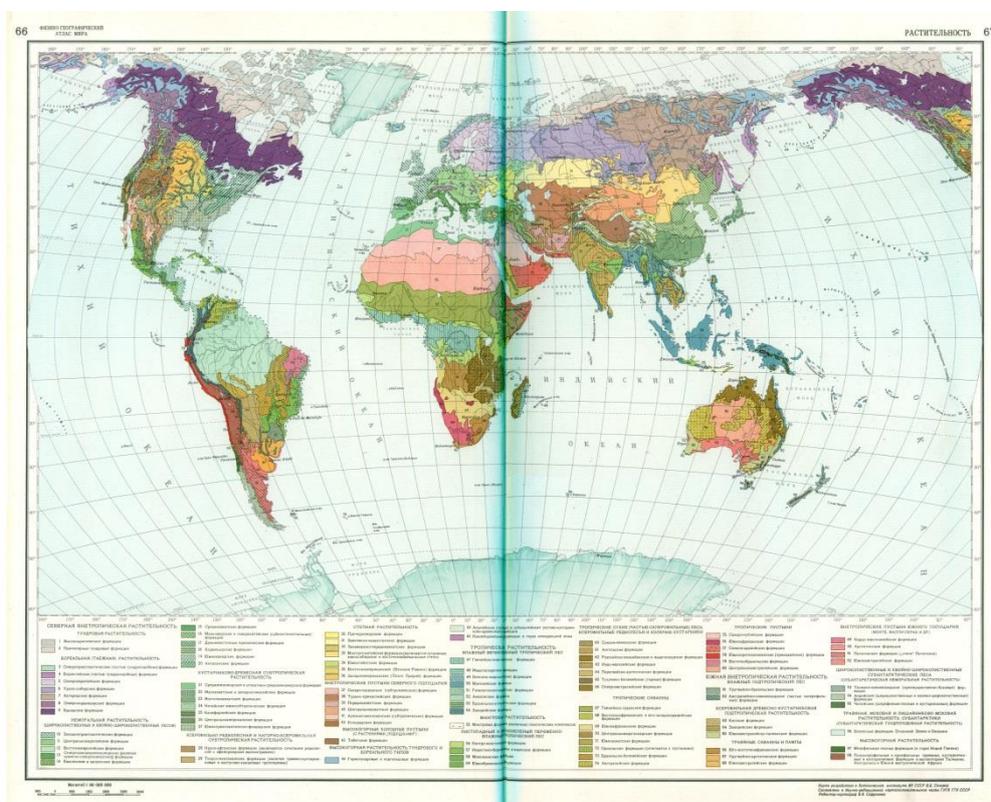


Рис. 14. Карта растительности из Физико-географического Атлас мира(1964). (geochemland.ru)

Геоботаническая карта является по своей сути моделью растительного покрова в связи с тем, что в процессе картографирования растительность генерализуется в соответствии с масштабом, а также упорядочивается по нормам классификации, являющейся основой легенды. Хорошо прослеживается зависимость размерности подразделений растительности и масштаба. Растительность топологической размерности отображают в крупном масштабе, так как необходимо сохранить наибольшее подобие модели и оригинала. Растительность региональной размерности отображает главные черты, особенно характеризующие округа, провинции и зоны. Для модели планетарной

размерности растительного покрова характерна абстрагированная форма основной геоботанической ситуации на Земле. Главная функция картографической модели вне зависимости от размерности – показать взаимоотношение растительности с окружающей её средой с помощью образно-знакового аппарата (Сочава, 1979).

Легенда любой карты также представляет собой модель, информирующей о заложенном в неё тематическом содержании. Картографируемые подразделения располагаются в определённом соподчинении в зависимости от теоретической концепции, применяемой при отборе материалов. Легенда должна учитывать важнейшие признаки растительных сообществ, их связи друг с другом и средой. Особое внимание уделяют структуре легенды, которая зависит от назначения карты, целей её создания, масштаба, сложности растительного покрова изучаемой территории. «Переход от классификации объектов к самой легенде – первый шаг к картографической генерализации» (Емельянова, 2006).

Для составления легенды карты важно выбрать первичные таксоны растительности, отталкиваясь от масштаба будущей карты, её назначения, сложности растительного покрова и характера территории. В.Б. Сочава определил четыре основных таксона первичного состояния растительных сообществ, отражающих морфологию и динамическое состояние дискретных растительных сообществ, элементарное пространственное сочетание фитоценозов и континуум между соседними сообществами:

1. Ареал первичного фитоценоза гомогенного растительного покрова, отражающего дискретность однородного растительного покрова;
2. Элементарные геохоры, как подразделения гетерогенного растительного покрова, представляющие первичные пространственные сочетания фитоценозов, обусловленные распределением природных факторов на территории;
3. Подразделения растительного покрова, отражающие стадии определённых состояний растительных сообществ, возникающих в процессе хода сукцессий;
4. Ареал первичного континуума, определяемый как переходная контактная полоса между ассоциациями, в соответствии с плавным изменением ведущих экологических факторов (Емельянова, Огуреева, 2006).

Отобранный материал по типологическому разнообразию растительных сообществ распределяется в легенде в соответствии с типологической классификацией. Необходимо учитывать, что не все уровни классификации могут быть отображены на карте с одинаковой детальностью, из этого следует, что отсутствует полное совпадение классификации и легенды карты. Соответствие классификации и легенды карты зависит от концепции и научных принципов, определяющих содержание карты, но при этом

легенда более разнообразна в плане отражения аспектов растительности, чем классификация.

Структура легенды карты является также неотъемлемой и важной частью геоботанической карты. Она определяет соподчинённость всех подразделений растительного покрова, входящих в легенду, и может основываться на разных подходах.

При типологическом подходе используются все возможные таксономические ранги классификации, соответствующие уровням размерности растительности в зависимости от избранного масштаба исследования. Например, при мелкомасштабном картографировании отражаются формации, фратрии и типы растительности. Все подразделения растительного покрова подчиняются более высоким ступеням классификации.

При географическом подходе организация подразделений растительности основана на использовании региональных особенностей растительности данной территории. Зачастую в качестве характеристики сложившихся структур растительного покрова используются региональные комплексы растительных формаций, раскрывающие связи растительного покрова с природными условиями и происхождением территории. Растительные таксоны могут группироваться:

1. Согласно геоморфологической структуре территории (равнины, горы, плато и т.д.);
2. По зональному принципу (северо-таёжные, среднетаёжные и южно-таёжные формации);
3. Исходя из высотно-поясного расчленения горной территории (субальпийская, альпийская и т.д.);
4. Согласно ландшафтной структуре территории и характеру распределения растительных сообществ (растительность пойм) (Емельянова, Огуреева, 2006).

При регионально-типологическом подходе построения легенд геоботанических карт сочетается оба выше изложенных подхода: типологическое подразделение растительности и их ботанико-географические особенности. Такая легенда характерна для многих обзорных карт растительности, например для «Карты растительности Европейской части СССР, 1976 г.» (Рис. 15).

Легенды карт растительности имеют свои отличительные особенности от используемой принятой классификации при картографировании. Основными отличиями являются:



Рис. 15. Фрагмент карты Европейской части СССР 1976 г.

1. В легенду карты включаются только те подразделения растительности, которые могут быть отображены в масштабе карты;

2. В легенде возможно использование неодинакового таксономического уровня различных категорий растительности, зависящих от

возможностей их отображения;

3. В легенде могут использоваться единицы разных классификаций растительности, благодаря чему карты становятся много сюжетными и наполненными разноплановым взаимосвязанным содержанием;

4. Легенда не только устанавливает иерархию растительных таксонов, но и выявляет разнообразные отношения растительных элементов;

5. В легенде, возможно, иное, чем в классификации, расположение подразделений растительности (Емельянова, Огуреева, 2006).

Другим важнейшим этапов создания карты и подготовки легенды является генерализация, которая проводится на всех этапах работы над картой, позволяя раскрыть новые и определить общие закономерности на каждом уровне обобщения. Самым ответственным этапом генерализации можно назвать отбор материалов для составления окончательного варианта легенды карты. Для тематического картографирования характерно подразделение генерализации на геометрическую и географическую.

Геометрическую генерализацию связывают с разрешающей возможностью масштаба карты. Минимальный размер выдела на карте – 4 мм^2 . При отборе материала учитывают роль выдела в растительном покрове территории, его реальные естественные размеры и целесообразность задач картографирования. С данным типом генерализации связаны проведение границ, расширение узких контуров, спрямление контуров, рисунок выдела, объединение выделов, согласованность выделов с топографическими особенностями территории (Емельянова, Огуреева, 2006).

Географическая генерализация напрямую связана с тематическим отбором исходного материала, зависящим от качества исходных данных, характера территории, назначением, масштаба карты и сложностью растительности. При географической генерализации осуществляется отбор основных картируемых подразделений,

составляющих основную нагрузку по тематическому содержанию карты; проводится переход от низших единиц классификации к более высоким ступеням иерархии; выбираются территориальные структуры растительного покрова с использованием количественных характеристик комбинаций растительных сообществ; объединяются антропогенные модификации растительных сообществ в эпиассоциации и используются обобщённые динамические ряды при отражении естественной и антропогенной динамики растительности (Емельянова, Огуреева, 2006).

Тематическое картографирование элементов растительности можно увидеть на картах Нового времени и даже на античных картах. Хорошим примером является первый русский географический атлас «Чертёжная книга Сибири» (Рис. 16), составленный С.У. Ремезовым в 1699-1701 гг. и состоящий из 23

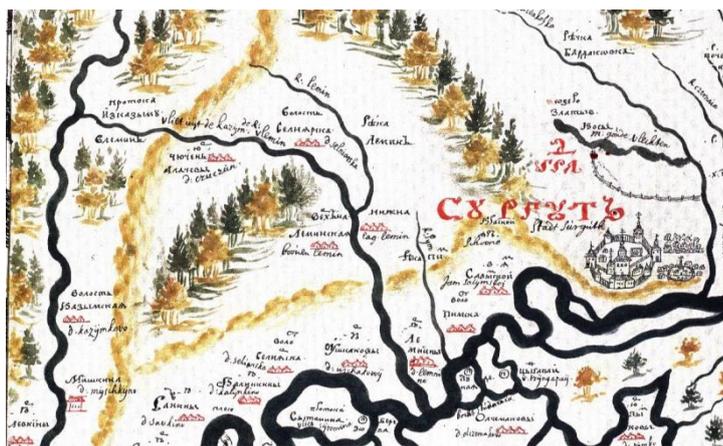


Рис. 16. Фрагмент карты из «Чертёжной книги Сибири».

листов. В нём растительности отводится довольно значимое место. Хотя тематическое картографирование как научное направление становится во второй половине XIX в. (Емельянова, Огуреева, 2006), а прогрессивное развитие и обособление картографирования растительного покрова как отдельного направления имело место после второй мировой войны. Общество обратило внимание на это направление картографирования, так как оно имело прямое отношение ко многим экономическим и прикладным видам деятельности человека: от сельского хозяйства до здравоохранения, при этом уделяя большое внимание к проблемам охраны окружающей среды и защиты биосферы (Сочава, 1979).

Всё началось с формирования геоботаники как самостоятельной научной дисциплины со своими принципами и методами исследования (Юрковская, 2007). Термин «геоботаника» впервые употребил А.Гумбольдт. О геоботанике как науке, изучающей связи растительности с почвой писали основоположники отечественной геоботанической школы А.Н. Краснов и Г.И. Танфильев, который составил первые геоботанические карты России, отображающие связь и согласованность растительности с особенностями почв и географической зональностью (характер климата и гидротермический режим) (Сочава, 1979).

Самым началом развития геоботанического картографирования в Европе и России принято считать период с конца XIX по первую четверть XX века. К концу XIX века геоботаника была уже чётко обособлена от других ботанических направлений. Основоположниками русской геоботаники являются упомянутые ранее А.Н. Краснов, Г.И. Танфильев, а также П.Н. Крылов, С.И. Коржинский, И.К. Пачосский и их последователи: Г.Ф. Морозов, А.Я. Гордягин, В.Н. Сукачёв. В начальный период развития геоботаники было опубликовано много крупных произведений, в том числе «Введение в учение о растительных сообществах» В.Н. Сукачёва в 1915 г (Юрковская, 2007).

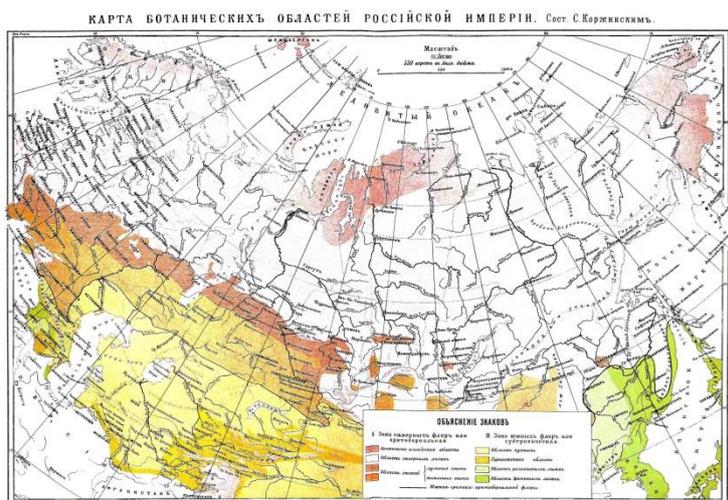


Рис. 17. Карта ботанических областей Российской империи (1899 г.) (q-map.ru).

Первые обзорные карты растительности территории России: «Карта ботанических областей Российской империи» масштаба 1 : 23 100 00 (Рис. 17), составленная С.И. Коржинским в 1899 г., и «Ботанико-географическая карта Российской империи» масштаба 1 : 25 200 000, составленная Г.И. Танфильевым в 1900 г (Божилина, 2016).

На развитие геоботанического картографирования в нашей стране повлияли исследования и разработки Отдела геоботаники Ботанического института, организованного профессором Н.И. Кузнецовым в 1922 г., главным направлением которого стало создание геоботанической карты Европейской части России в масштабе 1 : 4 000 000 в 1928 г. На ней впервые воплотили регионально-типологический подход составления карт, ставший традиционным для следующих поколений геоботанического картографирования. Другой не менее важной работой Кузнецова стало создание листов среднемасштабной геоботанической карты европейской России. Эта карта была новаторской, так как отображала современную растительность на фоне восстановленной и была основана на методе реконструкции климатически и эдафически обусловленных типов сообществ, что в дальнейшем получило широкое распространение и использование для создания многих отечественных геоботанических карт (Юрковская, 2007).

Следующим этапом в развитии мелкомасштабного картографирования стало создание первого в СССР Большого советского атласа мира и Карты естественного растительного покрова СССР для Всесоюзной сельскохозяйственной выставки в 1930-1940 гг. Работы по созданию карт для БАСМ возглавил советский геоботаник и

биоценолог, доктор биологических наук – А.П. Ильинский. Были созданы обзорные карты растительности европейской части СССР, СССР и мира, которые были признаны и оценены мировым сообществом картографии (Юрковская, 2007).

В 1940-х гг. в СССР «Карта растительности европейской части СССР. Масштаба 1 : 2 500 000» 1948 г. была самым крупным произведением геоботанического направления картографирования. Для своего масштаба карта была очень детальной, а также имела ряд отличительных особенностей:

- Строго отображала широтную зональность и вертикальную поясность растительного покрова;
- На ней выделялись географические варианты многих типов растительных формаций;
- Динамическая трактовка подразделений растительного покрова;
- Выделение сельскохозяйственных земель с указанием типа зональности присущим территории до освоения (Сочава, 1979).

Затем в 1948 г. началось составление «Геоботанической карты СССР. Масштаба 1 : 4 000 000». Детальность карты не уменьшилась с уменьшением масштаба. Основные принципы составления карты сохранились и были усовершенствованы и представлены на карте, изданной в 1954 г. Эта карта весьма информативна и сильно отличается от предыдущих обзорных карт растительности по содержанию и образцовому оформлению. На карте впервые были представлены географические комплексы, которые даны по географическому местоположению, уточнены представление о зональности растительного покрова и показаны местные черты растительного покрова на фоне общей зональной закономерности. Карту сопровождает пояснительный текст, общий объём которого составил свыше 85 печатных листов. Авторами этой карты являются Б.Н. Городков, Т.И. Исаченко, Е.М. Лавренко, А.Н. Лукичева, Л.Е. Родин, Н.И. Рубцов, А.М. Семёнова-Тян-Шанская и В.Б. Сочава, то есть многие значимые учёные в геоботанике и смежных науках (Сочава, 1979).

Крупным центром геоботанического картографирования стала Сибирь. Первые крупномасштабные карты некоторых районов Сибири были созданы под руководством В.В. Ревердатто в 1923-1925 гг. в Томском университете. Позднее ему на смену пришла А.В. Кумина, которая занималась в основном средне- и крупномасштабным картографированием. Её основным подходом стало внедрение геоботанических исследований в практику. А.В. Кумина придавала больше значение использованию карт растительности в сельском хозяйстве, составлению кормовых карт, карт пастбищных угодий на основе универсальных карт. Она и её ученики отражали структуру и динамику

растительности на универсальных крупно- и среднемасштабных картах и насыщали легенды крупномасштабных геоботанических карт полезной в практическом плане информацией, например данными о запасах или урожайности.

Другим сибирским центром стал Иркутск после организации там Института географии Сибири СО РАН. В.Б. Сочава и его ученики привнесли много нового в теорию геоботанического картографирования, создали огромное количество карт растительности. Некоторые разработки В.Б. Сочавы до сих пор актуальны и используются при составлении геоботанических карт (Юрковская, 2007).

1.3. Использование данных дистанционного зондирования Земли при картографировании растительности.

Россия славится своей обширной территорией и огромными запасами природных ресурсов, в том числе биологических, поэтому на неё возлагается ответственность по поддержанию состояния биосферы даже на планетарном уровне. Важнейшим биоресурсом являются леса России, которые занимают около 49 % площади земель страны и около 20 % общей площади лесного покрова планеты. Особенно остро стоит проблема сохранения лесов, которые занимают значимое место в биосферных взаимодействиях. Наиболее эффективным методом получения информации о состоянии всей земной поверхности и атмосферы в настоящее время являются космические наблюдения Земли. Благодаря своим ценным свойствам космические снимки широко применяются в практической и научной деятельности. (Спутниковое картографирование..., 2016)

Дистанционное зондирование поверхности Земли – это процесс измерения свойств объекта, территории или явления без непосредственного контакта с ним с помощью воздушных летательных аппаратов, искусственных спутников Земли или других измерительных платформ. Суть процесса заключается в том, что необходимо измерить характеристики объекта на расстоянии, полагаясь на информацию из регистрируемого сигнала, вместо стандартных измерений его места расположения. Регистрируемые сигналы могут быть оптическими, акустическими и микроволновыми, но для исследования ограничимся методами, в которых используются оптические сигналы (Шовенгердт, 2010).

Результатом дистанционной регистрации или измерения собственного или отражённого излучения, несущего необходимую информацию, является снимок – двумерное метрическое изображение. По снимку можно изучить основные структурные особенности атмосферы, литосферы, гидросферы, биосферы, а также ландшафты

регионального, зонального и глобального масштаба. Данные дистанционного зондирования служат источниками для составления и оперативного обновления карт (общегеографических, тематических, специальных). Особо выделяется применение космической информации для ежедневного оперативного контроля над состоянием окружающей среды.

Дистанционные методы исследования обеспечивают большую обзорность, возможность получения данных через промежутки времени, высокую скорость получения и обработки изображений, применение комплексного анализа и оценки динамики развития явлений с помощью оперативного картографирования. Составленные по данным дистанционного зондирования карты более современные и достоверные, и отображающие те явления, которые без этих данных не могли бы быть картографированы.

К основным преимуществам дистанционных методов при составлении карт относят высокую точность определения границ, максимальную актуальность данных на момент исследования, приурочивание объекта к определённому классу и повышение объективности распознавания и выделения объекта, сокращение объёма наземных исследований и полевых работ.

Методы дистанционного зондирования являются высокими технологиями не столь потому, что используются ракетная техника, сложные оптико-электронные приборы, высокая мощность компьютеров, сколь благодаря новому подходу к получению интерпретации результатов измерений. И стоит подметить ещё одну важную особенность приведённых методов. Они обычно являются косвенными, поэтому необходима предварительная обработка и экспериментальные исследования по изучению интересующих объектов или явлений (Сутырина, 2013).

Физической основой принципов дистанционного зондирования Земли является электромагнитное излучение, которое имеет свойство отражаться или излучаться объектом и регистрироваться на удалённом от точки пространства приёмнике. Электромагнитное излучение – это распространяющаяся в пространстве совокупность возмущений электрических и магнитных полей. Диапазон электромагнитных волн довольно широк и может проявляться как свет, тепло или радиоволны, при этом все виды волн имеют одну и ту же скорость распространения электромагнитного излучения равную скорости света ($2,998 \cdot 10^8$ м/с). Электромагнитное излучение характеризуется частотой и длиной волны, которые связаны друг с другом обратной зависимостью, поэтому при уменьшении частоты длина волны увеличивается, и наоборот. Диапазоном всех возможных длин волн называется спектр электромагнитного излучения (Рис. 18).

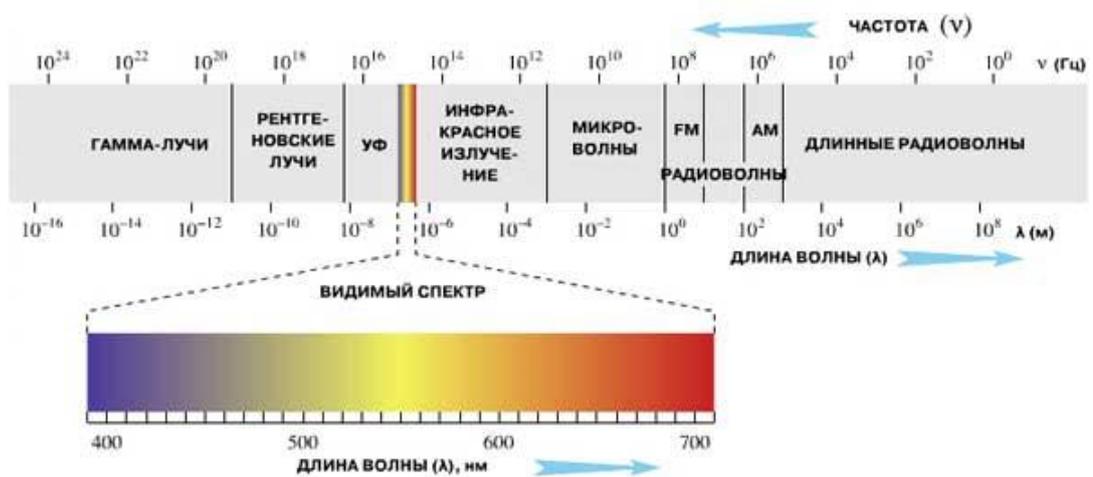


Рис. 18. Спектр электромагнитного излучения.

Человеческое зрение воспринимает только видимый диапазон электромагнитного спектра в интервале примерно от 400 до 700 нм. Также человек может воспринимать кожей инфракрасное излучение как тепло. В отличие от ограниченных человеческих возможностей, приборы дистанционного зондирования воспринимают гораздо более широкий диапазон спектра электромагнитного излучения, поэтому они предоставляют огромное количество информации о состоянии окружающей среды (Сутырина, 2013).

Понимание характеристик, представляющих собой разрешающую способность, систем дистанционного зондирования особо важно для правильного использования, полученных с их помощью данных. К таким характеристикам относят:

1. Спектральное разрешение. Оно характеризует способность системы дистанционного зондирования определять конкретные интервалы длин волн. При оценке спектрального разрешения следует учитывать две характеристики: количество каналов и ширину каждого из них. Чем больше количество каналов и меньше ширина, тем более высокое спектральное разрешение получается. Самым низким спектральным разрешением обладает панхроматический снимок.

2. Радиометрическое разрешение. Оно определяется чувствительностью сенсора к наименьшей разнице в уровнях энергии излучения, которое позволяет зарегистрировать конкретная аппаратура. Также по этому разрешению можно судить о количестве полезной информации, содержащейся в изображении. Чем выше радиометрическое разрешение, тем он более чувствителен к обнаружению небольших различий в отражаемой или излучаемой энергии. Например, стандартное 8-битное радиометрическое разрешение состоит из 256 градаций яркости каждого канала, 9-битное из 512 градаций и так далее.

3. Временное разрешение. Оно определяется периодичностью сбора данных. От частоты съёмки зависит возможность исследования территорий, и обнаружение

происходящих во времени изменений. За абсолютную временную разрешающую способность системы дистанционного зондирования принимают период обращения спутника вокруг Земли, через который возможна повторная съёмка того же участка заменой поверхности под тем же углом обзора.

4. Пространственное разрешение. Оно характеризует способность сенсора различать детали в пространственных данных. Это наиважнейшая характеристика систем ДЗ. Пространственное разрешение определяется как размером наименьшего элемента земной поверхности, соответствующего одному пикселу снимка. Существует ряд категорий в зависимости от пространственного разрешения:

- a. Очень низкое разрешение – более 10 км
- b. Низкое – 1-10 км
- c. Среднее – 100-999 м
- d. Относительно высокое – 50-99 м
- e. Высокое – 20-49 м
- f. Очень высокое – 1-19 м
- g. Сверхвысокое разрешение – до 1 м (Сутырина, 2013).

Методы дистанционного зондирования могут быть активными и пассивными. Активные используют вынужденное излучение объектов, инициированное искусственным источником излучения направленного действия (www.dzz.ru). Пассивные методы используют собственное излучение земной поверхности, атмосферы и облаков и отражённое солнечное излучение (Шовенгердт, 2010).

Отражённый сигнал, несущий информацию о свойствах участка подстилающей поверхности, на пути к приёмной системе спутника может поглощаться и рассеиваться атмосферой, то есть трансформироваться. Рассеянное излучение вместе с отражённым излучением собирается приёмной системой. К тому же необходимо учитывать влияние других источников излучения – подстилающей поверхности и атмосферы, особенно в инфракрасной области спектра. Такие влияния на сигнал сильно затрудняют и усложняют интерпретацию полученной информации.

Таблица №2

Основные спектральные диапазоны, используемые в дистанционном зондировании.

Название канала	Диапазон длин волн	Источник излучения	Анализируемый параметр поверхности
Ультрафиолетовый (UV)	0,1-0,4 мкм	Солнце	Отражательная способность
Видимый (V)	0,4-0,7 мкм	Солнце	Отражательная

			способность
Ближний инфракрасный (NIR)	0,7-1,1 мкм	Солнце	Отражательная способность
Коротковолновый инфракрасный (SWIR)	1,1-1,35 мкм 1,4-1,8 мкм 2,0-2,5 мкм	Солнце	Отражательная способность
Средневолновый инфракрасный (MWIR)	3-4 мкм 4,5-5 мкм	Солнце, источники тепла	Отражательная способность, температура
Тепловой (длинноволновый) инфракрасный (TIR или LWIR)	8-9,5 мкм 10-14 мкм	Источники тепла	Температура
Микроволновый, радар	От 1000 мкм до 1 м	Тепловой (пассивный), искусственный (активный)	Температура, рельеф

При пассивном методе дистанционного зондирования используется лишь часть электромагнитного спектра в диапазоне от 0,1 мкм до 1 м. Этот участок довольно большой, поэтому его подразделяют на спектральные поддиапазоны, обозначенные в таблице № 2. Границы некоторых атмосферных окон определены не чётко, поэтому значения могут немного отличаться в литературе (Шовенгердт, 2010).

При прохождении через атмосферу электромагнитные волны имеют свойства поглощаться различными газами и рассеиваться в атмосфере. Поглощение – основной механизм взаимодействия излучения с атмосферой, обусловленный наличием в атмосфере молекул, способных поглощать энергию в различных диапазонах спектра. Основные компоненты, отвечающие за поглощение излучения – озон, кислород, углекислый газ и водяной пар. Эти атмосферные газы поглощают энергию в определённых областях спектра, поэтому достаточно просто определить, какие части спектра мы можем использовать для конкретных задач.

Части спектра, в которых поглощение не столь существенно, называются «окнами прозрачности». Для получения подробной информации о подстилающей поверхности используют инструменты дистанционного зондирования, принимающие излучение в нескольких окнах прозрачности. Например, в инфракрасном диапазоне выделяют два окна прозрачности, где коэффициент пропускания близок к 90 % в диапазоне 3,4-4,2 мкм и 60-80 % в диапазоне 8,0-12,5 мкм.

Рассеивание электромагнитного излучения возникает из-за изменения направления распространения электромагнитных волн при их взаимодействии с молекулами газов и других частиц, присутствующих в атмосфере. Величина рассеивания зависит от длины волны, количества частиц и концентрации атмосферных газов. Доля рассеянного

излучения в диапазоне видимого света может колебаться от 5 до 100 % в зависимости от облачности, которая является наибольшей помехой при съёмке в оптическом диапазоне (Сутырина, 2013).

Сама возможность идентификации и классификации объектов по информации ДЗЗ основывается на том, что объекты разных типов - горные породы, почвы, вода, растительность и т.д. – по-разному отражают, поглощают или пропускают электромагнитное излучение в том или ином диапазоне длин волн, или по-другому, имеют разные спектральные характеристики (www.dzz.ru).

Свойства отражённого, поглощённого и пропущенного излучения зависят от вещества объекта и физических условий, в которых он находится. Объекты одного типа могут иметь разное соотношение между типами излучений, зависящих от длины волны. В одном спектральном диапазоне невозможно различить два типовых объекта, но в другом это будет вполне возможно. Большинство систем дистанционного зондирования работает в спектральных диапазонах, где преобладает отражённое излучение, а значит, отражательные свойства объектов очень важны для их идентификации.

К тому же необходимо учитывать геометрические характеристики отражения, зависящие от неровности поверхности. Например, на неровной поверхности возникает диффузное отражение, когда падающее излучение отражается одинаково во всех направлениях. Для плоской поверхности характерно зеркальное отражение, когда угол отражения равен углу падения (Рис. 19). На самом деле, отражение носит смешанный характер.

Тип поверхности зависит от отношения размеров её неровностей к длине волны падающего излучения. Диффузное отражение возникает, если длина волны падающего излучения сильно меньше вариаций высоты поверхности или размеров слагающих её частиц. Также важной отличительной чертой диффузного отражения является информация о цвете поверхности, содержащаяся в спектре излучения, а измерение этих отражательных характеристик является основной составляющей дистанционного зондирования (Сутырина, 2013).

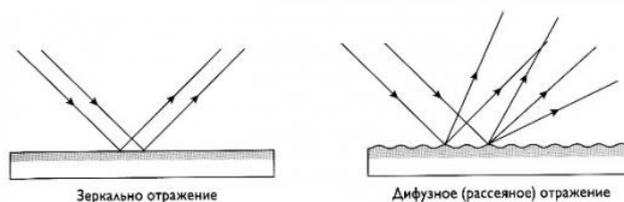


Рис. 19. Зеркальное и диффузное отражение.

Одной из отражательных характеристик является спектральная отражательная способность – функция длины волны, показывающая относительную долю энергии отражённого излучения. Зависимость спектральной отражательной способности от длины волны показывает график кривой спектральной отражательной способности. Вид кривой

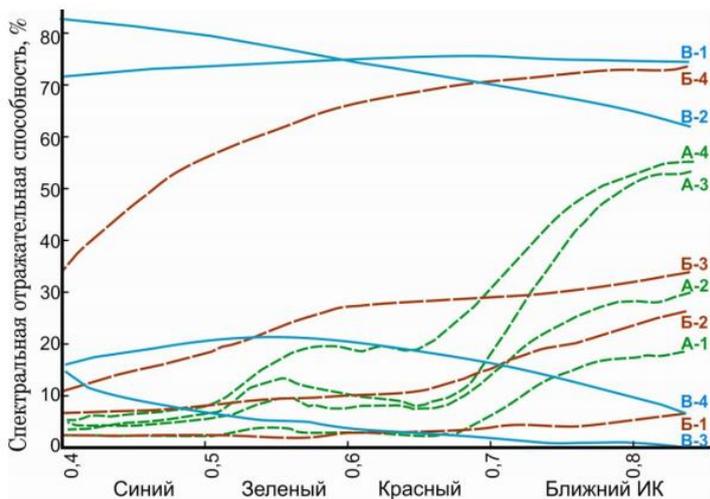


Рис. 20. Основные спектральные кривые типичных объектов Земли (Сутырина, 2013).

позволяет сравнить спектральные характеристики объектов и влияет на выбор спектрального диапазона, в котором будет проводиться съёмка. Как упоминалось ранее, на спектральные характеристики влияет состояние объекта, поэтому кривые спектральной отражательной способности имеют различные ходы сухой и влажной почвы, лесов в разное время года. Для работы с

данными дистанционного зондирования следует изучить и рассмотреть основные спектральные кривые типичных объектов Земли (Рис. 20). В таблице №3 приведены пояснения для каждой кривой в соответствии с классом (Сутырина, 2013).

Таблица №3

Пояснения к спектральным кривым на рисунке 20.

Класс А	Растительный покров
А-1	Хвойные леса в зимний период
А-2	Хвойные леса в летний период
А-3	Лиственные леса в летний период и травяные луга с густой и сочной растительностью
А-4	Лиственные леса в осенний период и созревшим полевым культурам
Класс Б	Почвы и обнажения
Б-1	Чернозёмы
Б-2	Дерново-подзолистые
Б-3	Пески, обнажения пустыни, некоторые горные породы
Б-4	Известняк, глина и прочие светлые породы
Класс В	Водные поверхности и снежный покров
В-1	Снег, покрытый ледяной коркой
В-2	Свежевыпавший снег
В-3	Чистая вода
В-4	Мутная вода

Для данного исследования очень важно рассмотреть поведение спектральной кривой растительного покрова, которое очень сильно меняется от длины волны. На рисунке 20 растительность разного типа выделена зелёным пунктиром с подписями класса А. Несмотря на различия спектральных кривых разных типов растительности и разные времена года прослеживается характерный для растительности тренд с максимумами и минимумами. Отражательная способность довольно мала в синем и красном диапазонах видимого спектра, так как в листе присутствует хлорофилл, поглощающий большую часть излучения (окно поглощения).

В состав листа могут входить и другие пигменты, играющие важную роль – каротин, ксантофил (жёлтый пигмент) и антоциан (красный пигмент). Каротин и ксантофил довольно часто встречаются в листьях, но имеют окна поглощения в синем диапазоне (0,45 мкм), где влияние хлорофилла является доминирующим, поэтому эти пигменты имеют влияние только в его отсутствие. Также можно отметить, что в ближнем и среднем инфракрасном диапазоне различий отражательной способности в зависимости от влияния пигмента практически нет, что нельзя сказать о видимом спектре.

На графике так же выделяется резкое увеличение отражательной способности при переходе из видимой в инфракрасную часть спектра (0,7 мкм). Зелёный растительный покров характеризуется высокой отражательной способностью, высокой прозрачностью и низким поглощением. Доля поглощённого излучения достигает 5 %, а коэффициент отражения и прозрачности имеет значения 45-50 %.

Существует ощутимая разница (до 85 %) в отражательной способности одноярусной и многоярусной древесной растительности, так как излучение, проходя через первый ярус, отражается от второго и проходит частично ещё раз первый ярус. Стоит обратить внимание на окна поглощения воды, так как влажность напрямую влияет на отражательную способность объекта: чем меньше влажность, тем выше отражательная способность. Центры окон поглощения воды соответствуют длинам волн 1,4; 1,9 и 2,7 мкм.

Подводя выше сказанное, можно выделить наиболее важные спектральные характеристики зелёного растительного покрова:

1. Отражательная способность в видимом, ближнем и среднем инфракрасных диапазонах имеет отчётливые различия;
2. Доминирующая роль структуры растительности в ближнем инфракрасном диапазоне (половина излучения пропускается, половина отражается);
3. Доминирующее влияние пигментации листвы в видимом диапазоне;
4. Доминирующая роль влажности растительного покрова в среднем инфракрасном диапазоне, так как там поглощается листвой большая часть излучения (Сутырина, 2013).

Знания о связи структуры и состояния растительности с её спектральными отражательными способностями позволяют использовать снимки для идентификации типов растительности и их состояния (Сутырина, 2013). Для этого используют отношения и операции с разными спектральными диапазонами, или индексы (Шовенгердт, 2010). В настоящее время уже существует более 160 вегетационных индексов, которые подбираются эмпирическим путём, исходя из известных особенностей спектральных

кривых растительности и почвы. Большинство вегетационных индексов основано на расчёте двух наиболее не зависящих от различных факторов каналов – красном и ближнем инфракрасном. Это связано с тем, что высокая фотосинтетическая активность, связанная с густой растительностью, ведёт к более низким значениям отражения в красной зоне спектра и большим значениям в ближней инфракрасной (Сутырина, 2013).

Самым распространённым и используемым индексом для решения задач по оценке растительного покрова является NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) или нормализованный относительный индекс растительности. На значения индекса влияют количество зелёной активной фитомассы, видовой состав растительности, её сомкнутость, состояние, экспозиция и угол наклона

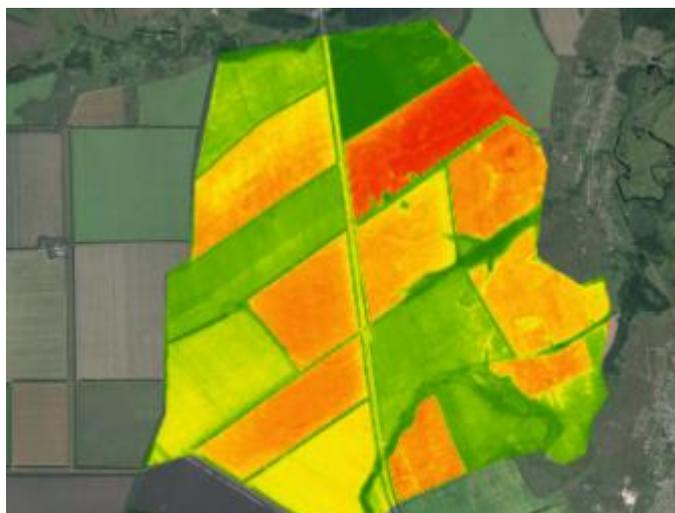


Рисунок 21. Фрагмент использования NDVI в сельском хозяйстве (www.soft.farm).

поверхности, цвет почвы под разреженной растительностью (Рис. 21). Вычисляется этот индекс по формуле: $NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} = \frac{RVI-1}{RVI+1}$, где NIR – ближний инфракрасный канал, RED – красный канал, RVI – относительный вегетационный индекс равный $\frac{NIR}{RED}$, который является самым первым описанным индексом. Исключительная особенность NDVI, что он принимает значения от -1 до 1 (растительность всегда имеет положительные значения), в отличие от RVI, принимающего значения от 0 до бесконечности.

На основе NDVI возможно оценить и прогнозировать урожайность и продуктивность, биологическое разнообразие, степени нарушенности и ущерба от антропогенных и естественных происшествий. К тому же можно не только определять количество фитомассы, но и площади сельскохозяйственных угодий, лесного фонда. NDVI предназначен в первую очередь для измерения эколого-климатических характеристик растительности, но может показывать значительную корреляцию с другими параметрами такими, как продуктивность, биомасса, влажность и органическая насыщенность почвы, испаряемость, объём выпадающих осадков, мощность снежного покрова. Зависимость между этими параметрами и индексом не прямая, а связана с особенностями исследуемой территории (gis-lab.info).

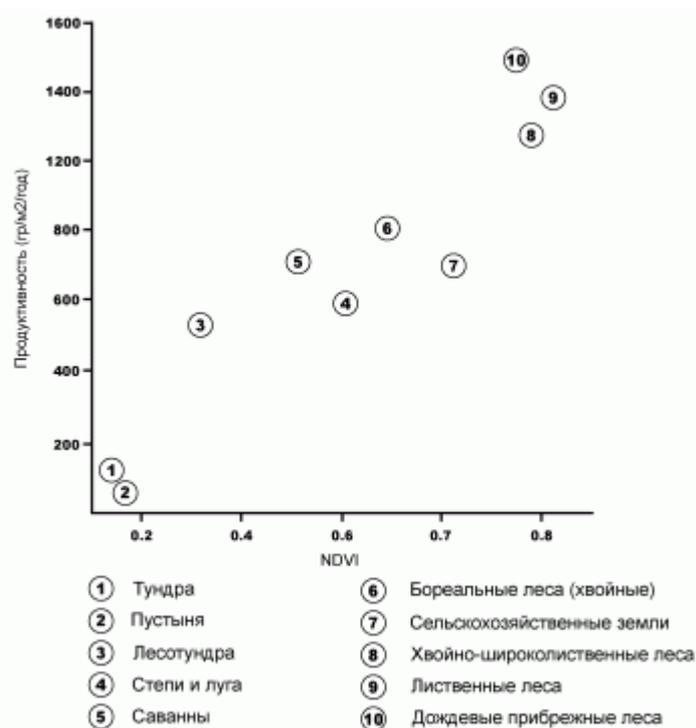


Рис. 22. Зависимость между значениями NDVI и биопродуктивностью (gis-lab.info).

Для регионального картирования растительности и анализа типов ландшафтов, оценке ресурсов и площадей биосистем используется устойчивая корреляция между значением NDVI и продуктивностью различных типов экосистем (Рис. 22). Главным недостатком этого индекса выступает возможность использования съёмки только времени сезона вегетации, в остальное время NDVI не эффективен из-за ослабленной растительности (gis-lab.info).

Со становлением популярным использование ДДЗ и вегетационных индексов для исследований и картографирования разных объектов и явлений появилось множество модификаций нормализованного относительного индекса растительности, которые позволяли уменьшать влияние помехообразующих факторов, например, поглощение излучения атмосферой или почвы на разреженной растительностью территории.

Атмосфероустойчивый вегетационный индекс ARVI (Atmospherically Resistant Vegetation Index): $ARVI = \frac{NIR - Rb}{NIR + Rb}$, где $Rb = RED - a \cdot (RED - BLUE)$, NIR – ближний инфракрасный канал, RED – красный канал, BLUE – синий канал, a обычно приравнивают к 1, но при малом покрытии растительности и неизвестном типе атмосфере a равен 0,5. Значения от -1 до 1.

Почвенный вегетационный индекс SAVI (Soil Adjusted Vegetation index): $SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} \cdot (1 + L)$, где NIR – ближний инфракрасный канал, RED – красный канал, L –корректирующий коэффициент, который варьируется от 0 для очень густого растительного покрова до 1 для очень разреженного, оптимальное значение $L=0,5$, $1+L$ – множитель, приводящий индекс к виду NDVI в диапазоне значений от -1 до 1.

Усовершенствованный вегетационный индекс EVI (Enhanced Vegetation Index): $EVI = 2,5 \cdot \frac{(NIR - RED)}{(NIR + 6 \cdot RED - 7,5 \cdot BLUE + 1)}$, где NIR – ближний инфракрасный канал, RED – красный канал, BLUE – синий канал. Индекс использует синюю область отражения для

коррекции фоновых сигналов почвы и уменьшения атмосферных воздействий (www.soft.farm).

Благодаря большому диапазону решаемых с их помощью задач и простоте получения данных, карты вегетационных индексов часто используются как промежуточные слои для более сложного анализа и исследований, результатом которых может быть карта продуктивности лесов и сельскохозяйственных угодий, карта типов ландшафта и прочие (Сутырина, 2013).

Космические снимки позволяют ускорить процесс составления и обновления тематических карт, открыть новые картографируемые явления и создать новые направления картографирования и виды карт. Для каждого вида тематических карт разработана своя методика составления и обновления по данным дистанционного зондирования, в том числе по космическим снимкам, позволяющая отображать большее число деталей, что приводит к большему соответствию карт реальному природному рисунку.

Разрешение космических снимков вполне соответствует размерам многих объектов земной поверхности. Они хорошо отражают рельеф, структуру внешнего покрова Земли – почв и растительности, ландшафтов, поэтому их считают ценным материалом для тематического картографирования, особенно природного. Многие исследования связаны с оценкой экологической обстановкой регионов и глобальных изменений. В качестве примеров можно привести карты обезлесения и опустынивания, пожаров и чрезвычайных ситуаций, а также вырубок и нарушений почвенного покрова из-за антропогенной деятельности. Леса занимают большой процент территории нашей страны, поэтому необходимы методы для инвентаризации лесов, контроля над соблюдением правил рубки леса, лесовозобновлением, изменениями в связи с влиянием стихийных бедствий и хозяйственной деятельностью, оценки пожароопасной ситуации в лесах. Также широко методы дистанционного зондирования применяются в задачах сельского хозяйства, охраны окружающей среды, океанологии, гидрологии, метеорологии и других естественных науках (Сутырина, 2013).

ГЛАВА 2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ТЕРРИТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЯ. РАСТИТЕЛЬНОСТЬ КАК ОБЪЕКТ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ НА ПРИМЕРЕ СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ, НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ И КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

Для исследования были выбраны три региона с разными ландшафтными, климатическими, почвенными и орографическими условиями: Ставропольский край с преобладанием сельскохозяйственных угодий, Нижегородская область с переходной таёжной и смешанной зон, а также Кабардино-Балкарская республика с горной территорией и растительностью высотной поясности. Границы снимков, взятых для создания карт, представлены на рисунке 23 под номерами:

- 1 – Ставропольский край,
- 2 – Нижегородская область,
- 3 – Кабардино-Балкарская республика.

Этот набор территорий позволит рассмотреть особенности растительного покрова и характер использования биоресурсов на разных территориях, так как тип произрастающей растительности напрямую зависит от рельефа, климата и почв. Прежде чем переходить к программной обработке космических снимков, необходимо проанализировать территории с использованием литературы и справочных материалов для разработки полно отражающей легенды.

Ставропольский край. Ставропольский край расположен на территории юго-восточной части Европейской России в пределах Северного Кавказа и Прикаспия. Край граничит с республиками Карачаево-Черкессией, Кабардино-Балкарией, Северной Осетией - Аланией на юге, с Ингушетией на юго-востоке, с Дагестаном на востоке, с Калмыкией на северо-востоке, с Ростовской областью на севере, с Краснодарским краем на западе.

Территория Ставропольского края характеризуется резко выраженной неоднородностью рельефа, который по абсолютным высотам можно разделить на низменный (менее 200 м), возвышенный (200 - 500 м) и горный (более 500 м). Горный

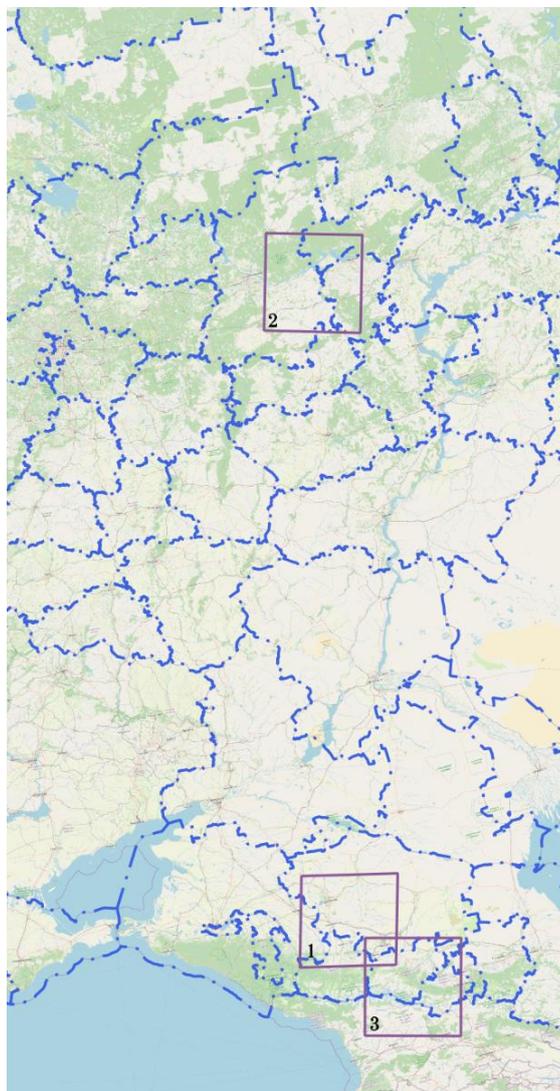


Рис. 23. Границы космических снимков, используемых для создания карт растительности.

рельеф представляет собой в основном низкогорье и среднегорье. Абсолютные высоты поверхности края увеличиваются в направлении с северо-востока на юго-запад в сторону Кавказского хребта.

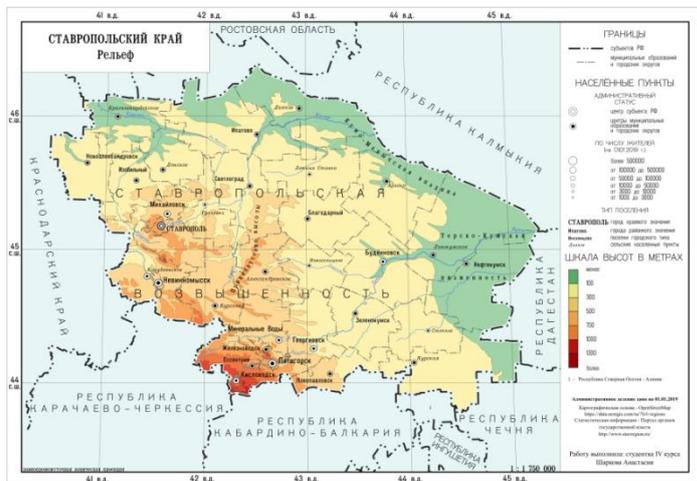


Рис. 24. Рельеф Ставропольского края.

Край можно разделить на равнинную часть и предгорную полосу (Рис. 24). На востоке и северо-востоке обширные равнины, типичные полупустыни, местами переходящие в настоящую пустыню с высокими ребристыми песчаными барханами. На западе и северо-западе полупустыня переходит в плодородные Ставропольские степи

(ecology.gpntb.ru).

Большая часть равнинной территории занята Ставропольской возвышенностью и прилегающими к ней частями Азово-Кубанской низменности, Кумо-Манычской впадины и Прикаспийской низменности. В полосе предгорий выделяется район Кавказских Минеральных Вод с горами-лакколитами, высотой до 1401 м (г. Бештау). Внешними силами, формирующими рельеф края, оказываются поверхностные воды, ветер и подземные воды, поэтому здесь много водопадов, останцов и ущелий с крутыми обрывистыми берегами (www.hintfox.com).

Ставропольский край располагается на границе Европы и Азии, поэтому подвержен влиянию разных типов климата, но в целом считают, что климат здесь ближе к умеренно-континентальному. Благодаря этой особенности на территории края наблюдаются практически все климатические пояса, характеризующиеся от засушливых зон до зон с избыточным увлажнением (Рис. 25). Здесь развита гидрография, в том числе имеется много крупных полноводных рек – Кубань, Кума, Терек, Калаус, а значит, плодородие сохраняется даже в период засушливости, поэтому в крае так развито сельское хозяйство. Этому так же способствует продолжительность тёплого периода с температурой выше 10°C, который



Рис. 25. Климат Ставропольского края (Атлас ставропольского края).

лесов, например дубовых. На территории Кавказских Минеральных Вод также встречается лесостепь предгорий, но она немного отличается от лесостепи Ставропольской возвышенности своим флористическим составом. На высоте свыше 1200 м предгорные луговые степи переходят в субальпийские высокогорные луга, но их совсем небольшая площадь.

На территории также можно встретить грабовые, хвойные и другие леса. Площадь лесного фонда составляет 0,02 % от общей территории края. Большая часть лесных массивов находится в районе Кавказских Минеральных Вод и на Ставропольской возвышенности около города Ставрополя и горы Стрижамент. В других частях края преобладают байрачные леса, растущие на склонах балок, или пойменные леса в речных долинах. Основные лесообразующие породы – сосна, бук, граб, дуб, ясень, тополь и другие (www.mpr26.ru).

Также отличительной особенностью являются лесозащитные насаждения, составляющие 0,02 % от площади всего края, необходимые для борьбы с засухой и суховеями, плохо влияющими на верхний плодородный слой почвы. Наиболее значимой лесозащитной полосой является Государственная лесная полоса «Черкесск-Элиста-Волгоград», проходящая по территории Ставропольского края с северо-востока на юго-запад, высаженная практически сразу после Великой Отечественной Войны в 1950-х гг. В настоящее время видовой состав флоры представлен более 100 таксонами (scienceforum.ru).

Нижегородская область. Нижегородская область расположена в центре восточно-Европейской равнины. Область граничит с Кировской областью на севере, республиками Марий Эл и Чувашия на востоке, республикой Мордовия и Рязанской областью на юге и с Владимирской и Ивановской областями на западе. Нижегородская область разделена Окой и Волгой на два физико-географических района, находящиеся на стыке разных природных зон и отличающиеся значительным разнообразием природных условий.

В целом рельеф области можно охарактеризовать как волнистую, местами всхолмленную равнину, которую реки Волга и Ока делят на две части: южное возвышенное Правобережье и северное низменное Левобережье (Рис. 27). Правобережье практически полностью занимает территорию Приволжской возвышенности, за исключением Окско-Чешской низины на юго-западе. Территория сильно изрезана глубокими и ветвящимися оврагами, покрытыми порослями леса, присутствует большое количество балок, карстовых образований, которые являются проблемой для ведения сельского хозяйства, а также для жизни людей, так как они повреждают дома, дороги.

Весной и осенью случаются оползни из-за чередования пластов глин и глинистых сланцев в почве.

Левобережье или Заволжье сильно отличается от Правобережья. От Волги простирается обширная Волжско-Ветлужская низина. Затем к северу она переходит в отроги Вятских Увалов, поэтому там местность заметно повышается. Многие территории низины скрыты мощным чехлом наносных отложений, образованные под действием ледника Днепровской эпохи. На образование долин многих рек Заволжья



Рис. 27. Рельеф Нижегородской области (Учебный географический атлас Нижегородской области).

повлияли водные потоки, возникавшие при таянии Московского ледника. Вследствие всего, на территории распространены моренные отложения.

Климат Нижегородской области однозначно умеренно-континентальный с

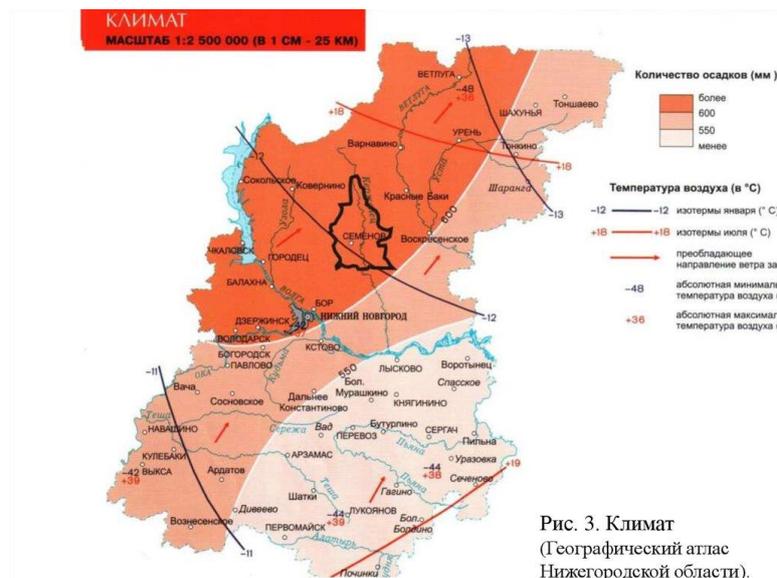


Рис. 3. Климат (Географический атлас Нижегородской области).

Рис. 28. Климат Нижегородской области (Учебный географический атлас Нижегородской области).

холодной продолжительной зимой и тёплым коротким летом (Рис. 28). При этом в Правобережье теплее, чем в Заволжье, но и засухи там случаются довольно часто, потому что климат более континентален. На климат оказывают влияние различные воздушные массы, особенно умеренные, которые по повторяемости составляют 3/4 от

всего их количества. Атлантические воздушные массы, приходящие с запада, смягчают климат и приносят больше влаги на территорию. Также существует влияние арктических и тропических воздушных масс, которые влияют на изменения температуры в разные сезоны года.

В среднем на территории Нижегородской области выпадает около 500-530 мм осадков в год. В северной части они достигают 600 мм, а в южной могут достигать 500 мм осадков в год. При этом важно, сколько осадков испаряется, а это зависит от температуры

воздуха. Поэтому в Заволжье, где лето прохладнее и испарение меньше, климат более увлажнённый, способствующий заболачиванию территорий. На юго-востоке Правобережья, где испарение преобладает над выпадением осадков, нередки и засухи.

Климат благоприятен для выращивания большинства культур, характерных для средней полосы европейской части России. Относительно вегетационного периода в Левобережье и Правобережье больших отличий нет, в среднем вегетационный период составляет около 170 дней в период с апреля по начало октября (www.nn-obl.ru).

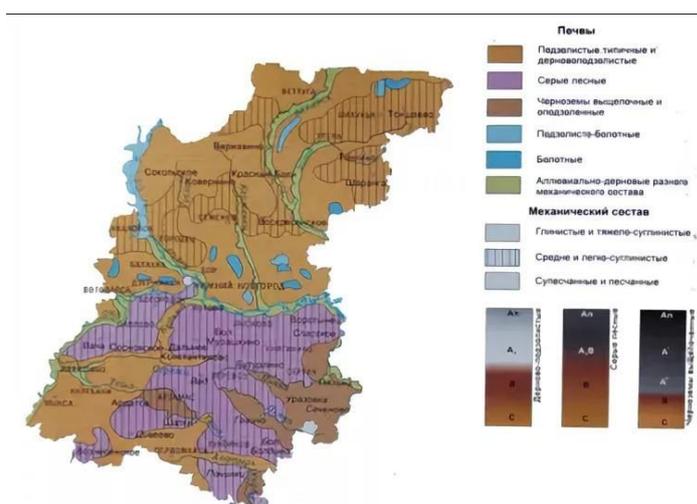


Рис. 29. Почвы Нижегородской области (Учебный географический атлас Нижегородской области).

В Нижегородской области преобладают подзолистые, серые лесные и чернозёмные почвы (Рис. 29), характерные для её природных зон: южной зоны тайги, зоны широколиственных и смешанных лесов, лесостепи. Подзона подзолистых почв охватывает всю левобережную часть Нижегородской области и юго-западную часть Правобережья и занимает более двух

третей всей области. Почвы сформированы под хвойными лесами в условиях избыточного увлажнения на равнинном рельефе и при глубоком залегании грунтовых вод. Также в этой подзоне можно встретить болотистые почвы, образованные при участии влаголюбивой растительности.

Подзону серых лесных почв можно встретить на большей части Волго-Окского правобережья, которая занимает не более одной пятой территории области. Они формируются в условиях расчленённого рельефа и достаточного увлажнения. Большая часть этих территорий распахана. Из-за рельефа и грунтов формируются немного разные лесные почвы: светло-серые – самые бедные из этого типа почв, серые и тёмно-серые – самые плодородные. Они сменяются с севера на юг.

На юге и юго-востоке области выделяется подзона чернозёмных почв – самая маленькая в пределах региона, занимающая не более одной пятнадцатой части территории области. Они формируются на территориях ранее покрытых лесами на основе серых лесных почв под влиянием тёплого, но менее влажного климата. Естественно, там наиболее развито сельское хозяйство (www.lesnoytur.ru).

Нижегородская область находится в пределах трёх биомов: хвойных лесов, лиственных лесов и степей умеренной зоны. На территории области зонально

распределены типы растительности: хвойные, смешанные леса, широколиственные леса и степи. Хорошо заметен переход от пихтово-еловых, елово-широколиственных и широколиственных лесов к луговой степи, поэтому регион характеризуется большим биологическим разнообразием – около 1200 видов растений. Размещение растительности связано в первую очередь с климатом, но в каждой местности существует большое разнообразие растительных сообществ, где по соседству могут находиться сухие леса, заболоченные леса и даже болота, хотя климат один и тот же (www.arz.unn.ru). Границей между бореальным и суббореальным поясами является р. Волга. По рекам Ветлуга и Сура проходит граница атлантического влияния, приносящего осадки (Бакка, Киселёва, 2007).

Область богата лесами, которые составляют более 50 % территории, причём в северных районах лесистость достигает 80 %, а в степной зоне снижается до 1 %. Из них большую часть составляют хвойные и смешанные леса, многие из которых были сведены для дальнейшего земледелия (www.nn-obl.ru). Северо-восток и крайний север области занимают хвойные еловые и пихтово-еловые леса, относящиеся к зоне южной тайги. Зональным типом здесь является ельник с примесью пихты, липы, берёзы. Там где бедные песчаные почвы, ельник сменяется сосновыми лесами, которые встречаются во всех зонах: в тайге, в смешанных и широколиственных лесах. Сосновыми борами покрыта большая часть Левобережья и небольшая часть Правобережья с песчаными почвами.

В южных районах Заволжья преобладают смешанные леса, ограниченные с юга долинами Волги и низовьями Оки, состоящие преимущественно из сосны, ели, берёзы, осины, ольхи и липы. Через Волгу на территории Правобережья встречаются преимущественно лиственные леса с участками смешанных лесов. Исходя из разных условий существования, ель произрастает в смешанных лесах Заволжья, а дуб, липа и другие лиственные породы предпочитают условия Правобережья (www.nn-obl.ru).

На юге и юго-востоке области преобладает степная растительность, представленная отдельными фрагментами. Растительность степных участков представляет собой густой и высокий травянистый покров с пятнами цветущего разнотравья, внешне походящими на луговую растительность. Также довольно распространена по всем природным зонам луговая растительность, которую подразделяют на пойменную и материковую. Этот тип растительность довольно требователен к почвенной влажности и растёт в условиях среднего увлажнения (www.arz.unn.ru).

Болота занимают около 2 % территории Нижегородской области, которые делятся на верховые и низинные. Верховые болота питаются атмосферными осадками, поэтому их питательный состав довольно беден, а растения развиваются на слое торфа. Низинные болота питаются атмосферными осадками и грунтовыми водами, так что здесь торф богат

минеральными питательными веществами, и растительный покров гораздо богаче. Основным фактором, влияющим на образование болот, является характер рельефа и уровень грунтовых вод, связанный с ним. Большая часть болот в Приволжской низменности (www.argz.unn.ru).

Кабардино-Балкарская республика. Кабардино-Балкария расположена на северных склонах и в предгорье Большого Кавказа. Она граничит на севере со Ставропольским краем, на западе с Карачаево-Черкесской республикой, на востоке с республикой Северной Осетией – Аланией и на юге с Грузией. На юге республики протянулись пять параллельных хребтов Кавказских гор: Лесистый (Меловой), Пастбищный, Скалистый, Боковой и Главный. На границе с Боковым хребтом находится высочайшая вершина Европы и России – г. Эльбрус (5642 м).

Рельеф республики контрастен (Рис. 30). На северо-востоке Кабардинская низменность, занятая посевами сельскохозяйственных культур и виноградниками, переходит в предгорье, а затем в хребты северного Кавказа. Горная территория составляет более 60 % от всей площади республики. Рельеф горной части республики сложный и многообразный,

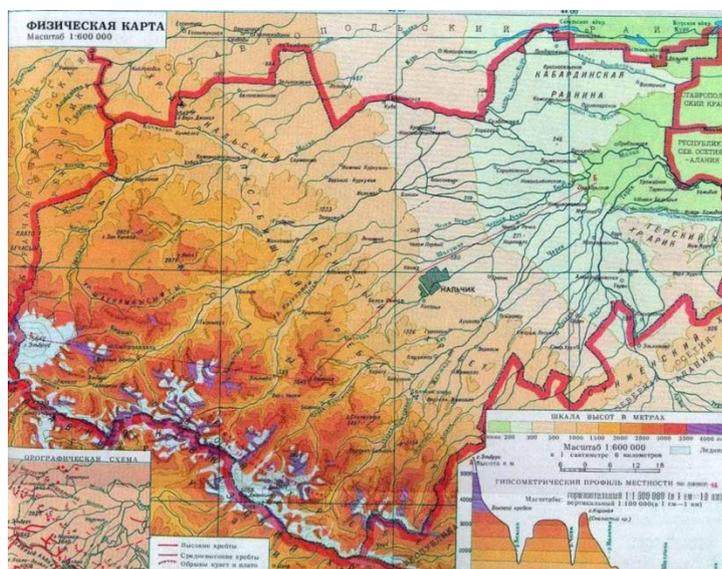


Рис. 30. Рельеф Кабардино-Балкарской республики (Атлас Кабардино-Балкарской Республики, 1997).

поэтому так сильно разнообразен растительный и животный мирю. Все хребты, упомянутые ранее, прорезаны семью ущельями: Малкинским, Баксанским, Чегемским, Черекским, Хуламо-Безенгийским, ущельем Псыгану и Лескенским, по которым реки выносят на равнину воды тающих ледников и снегов Главного и Бокового хребтов. Эти реки впадают в Терек, впадающий в Каспийское море. Летом горные реки дают воды для орошения полей и работы гидроэлектростанций.

Меловой хребет, начинающийся сразу за Кабардинской низменностью, тянется тёмно-зелёной полосой, так как покрыт преимущественно буковым и грабовым лесом, из-за которого он известен как чёрные горы. Меловой хребет, как и Пастбищный, сложен песчаниками и известняками мелового периода, отсюда его название. Пастбищный хребет сочно-зелёный, покрытый альпийскими травами, на которых пасётся скот. Скалистый или Юрский хребет, названный так из-за пород слагающих его, покрыт сухолюбивой

растительностью, и отличается розовато-жёлтым оттенком. Боковой и Главной хребты, покрытые вечными снегами и сложенные кристаллическими сланцами, гнейсами и гранита. Эльбрус, не входя ни в один из хребтов, виден с любого места в республике, и даже за её пределами (Кавказские Минеральные Воды, Ставропольский край) (kmvline.ru).

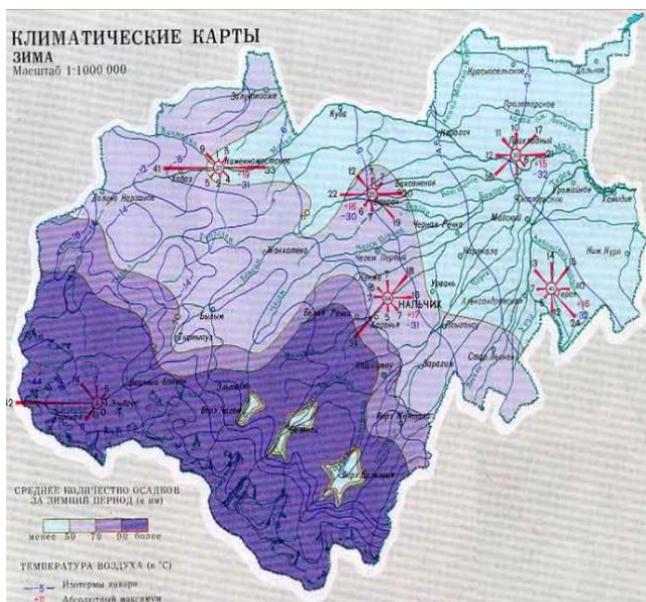


Рис. 31. Климат Кабардино-Балкарской республики (Атлас Кабардино-Балкарской Республики, 1997).

Для неё характерна умеренно холодная и малоснежная зима и сухое и тёплое лето, продолжающееся с мая по сентябрь. Для полосы предгорий характерна переменчивая погода и умеренная влажность, зима более снежная и мягкая, с неустойчивым снежным покровом. Весна наступает на месяц позднее, чем на равнине. Вегетационный период на этих территориях может длиться до 150 дней.

Из-за особенностей рельефа горные районы Приэльбрусья имеют разные погодные условия. Долины, прикрытые от ветров склонами гор, быстро прогреваются, но на большой высоте лежат вечные снега, дуют ураганные ветра. Северные склоны холоднее и суше южные, так как осадки с моря не могут преодолеть хребет и выпадают на южном склоне Кавказа. Снеговая линия находится примерно на высоте 2600 м. Благодаря тому, что Кавказ расположен на границе умеренного и субтропического климатических поясов образуется большое количество осадков (до 2000 мм в год) (severnyukavkaz.ru).

В республике сформировались 9 основных типов почв: тёмно-каштановые, лугово-чернозёмные и луговые почвы степей, предкавказские чернозёмы, горно-лесные, горно-луговые, аллювиальные, чернозёмы горные и горно-тундровые почвы. На северо-востоке распространены тёмно-каштановые почвы с содержанием гумуса до 3-4 %. На них выращивают высокие урожаи различных сельскохозяйственных культур. Чернозёмные почвы распространены на территории Кабардинской низменности и предгорья Кавказа. На них выращивают высокие урожаи пшеницы, кукурузы и прочих культур. На безлесных

Республика находится в южных широтах, поэтому получает большое количество солнечного света и тепла большую часть года. На её территории можно выделить три климатических пояса: на низменности – континентальный, в предгорьях – умеренно-континентальный, а в горах – высокогорный (Рис. 31).

Кабардинская низменность занимает почти треть общей территории.

участках Пастбищного и Скалистого хребтов можно увидеть горные чернозёмы. Бурые горно-лесные почвы образуются в горах, покрытых широколиственными лесами.

Выше 2000 метров над уровнем моря в зоне субальпийской и альпийской растительности образуются горно-луговые почвы. На данных почвах располагаются пастбища и сенокосные угодья республики. Горно-тундровые почвы встречаются на Главном и Боковом хребтах вблизи с ледниками (ecology.gpntb.ru).

Кабардино-Балкарская республика имеет богатый и разнообразный растительный мир, что обусловлено её расположением на юге России и наличием высотной поясности Кавказских гор. Широкий спектр природных зон, высотная поясность Кавказа, невысокая освоенность горных территорий – всё это является ключевым фактором формирования и обеспечения сохранности биологического разнообразия, включающее в себя обширное количество реликтовых и эндемических форм и сообществ флоры (studopedia.ru).

Смена поясов в республике происходит по вертикали, так как присутствует высотная поясность, от равнин до вершин Кавказского хребта: степной, лесостепной, лесной с подзонами широколиственного и хвойного леса, субальпийский, альпийский, субнивальный и нивальный пояса. В связи с таким количеством природных поясов вытекает вывод, что растительный мир очень богат. Здесь произрастает почти половина видов растений, которые можно встретить на Кавказе, а также растения европейских лесов, западноазиатских полупустынь, переднеазиатских нагорных пустынь, большое число эндемиков и реликтовых растений (кбр07.рф).

Степную зону республики можно разделить на две части: сухостепную и лугово-степную. Сухостепная травянистая растительность представлена сухоцветами. Лугово-степная зона, получающая больше осадков, изобилует сочными травами. Так же в поймах рек и на близлежащих территориях растут различные кустарники.

На высоте 500 м над уровнем моря степь переходит в лесостепь, тянущейся узкой полосой с северо-запада на юго-восток. В лесах преобладают дикие лиственные и плодовые деревья, а также кустарники. Подзона широколиственных лесов покрывает оба склона Лесистого хребта, северный склон Пастбищного и Скалистого хребтов и пространство между ними. Подзона хвойных лесов начинается выше широколиственных лесов, на высоте от 1600 до 2400 м. Она не представляет единого сплошного пояса, а располагается отдельными массивами (кбр07.рф).

Пояс субальпийских лугов пролегает на высоте от 1600 до 2600 м над уровнем моря, покрывая склоны Скалистого, Бокового, Главного хребтов. Основными типа растительности являются кормовые злаки. Затем следует пояс альпийских лугов, находящийся на высоте от 2600 до 3200 м над уровнем моря, покрытый преимущественно

травянистой, неприхотливой луговой, а также кустарниковой растительностью. Выше 3200 м начинается субнивальный пояс, для которого характерна растительность каменной тундры, так как очень суровый климат и короткий вегетационный период. Выше этого пояса начинается нивальный, который характеризуется вечными снегами и ледниками, поэтому растительность практически отсутствует, существует лишь несколько видов, способных произрастать на кремнезёмных почвах (kmvline.ru).

ГЛАВА 3. СОЗДАНИЕ ВИЗУАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ, СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ И НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Для создания визуальных моделей растительности было решено использовать программное обеспечение QGIS 3.8 от фонда OSGeo (qgis.org) и ArcGIS 10.5 от компании ESRI (desktop.arcgis.com), которые являются многофункциональными настольными географическими информационными системами (ГИС), позволяющими эффективно, удобно и быстро обрабатывать и визуализировать данные, анализировать и прогнозировать явления, создавать карты и использовать принципы автоматизации на каждом этапе.

ГИС хранит и представляет пространственную информацию о реальном мире в виде набора тематических слоёв, объединённых географическим положением. Этот подход был оценен во всём мире при решении реальных разнообразных задач: для моделирования глобальной циркуляции атмосферы, оценки социально-экономической ситуации в регионах, отслеживания рационального использования лесных фондов, создания тематических карт, в том числе карт растительности. Важной отличительной особенностью ГИС является то, что она работает с векторными и растровыми моделями данных, кардинально отличающимися друг от друга, и имеет возможность перехода из одной модели в другую (www.esri-cis.ru).

Особое внимание заслуживает QGIS – представитель свободного программного обеспечения, который является дружественной к пользователю ГИС с открытым кодом. Это подразумевает, что любой пользователь может разработать модуль или плагин, необходимый для решения внезапно возникших конкретных задач, и интегрировать его в QGIS, а также поделиться с другими пользователями. QGIS поддерживает огромное количество векторных, растровых форматов, баз данных и имеет широкие функциональные возможности, которые постоянно обновляются, от версии к версии. Огромным плюсом значится её возможность работать на любых типах операционных систем: Windows, Linux, Mac OSX, Unix, Android. К тому же, пользователь может загрузить любую версию, начиная от самых первых – 1.6 до последней максимально функциональной версии – 3.12 (qgis.org).

В качестве исходных данных для разработки технологии создания карт растительности на каждую территорию были выбраны наборы космических снимков системы дистанционного зондирования Landsat. Программа Landsat – проект по получению спутниковых снимков планеты Земля, созданный совместно NASA и USGS, который длится в течение долгого времени и имеет в архивах свыше миллиардов снимков

(Рис. 32). Данные Landsat используются при решении огромного количества тематических задач, в том числе, классификации растительного покрова, контроля эрозии почв, мониторинга состояния окружающей среды и природных чрезвычайных ситуаций, определения состояния сельскохозяйственных культур и другого.

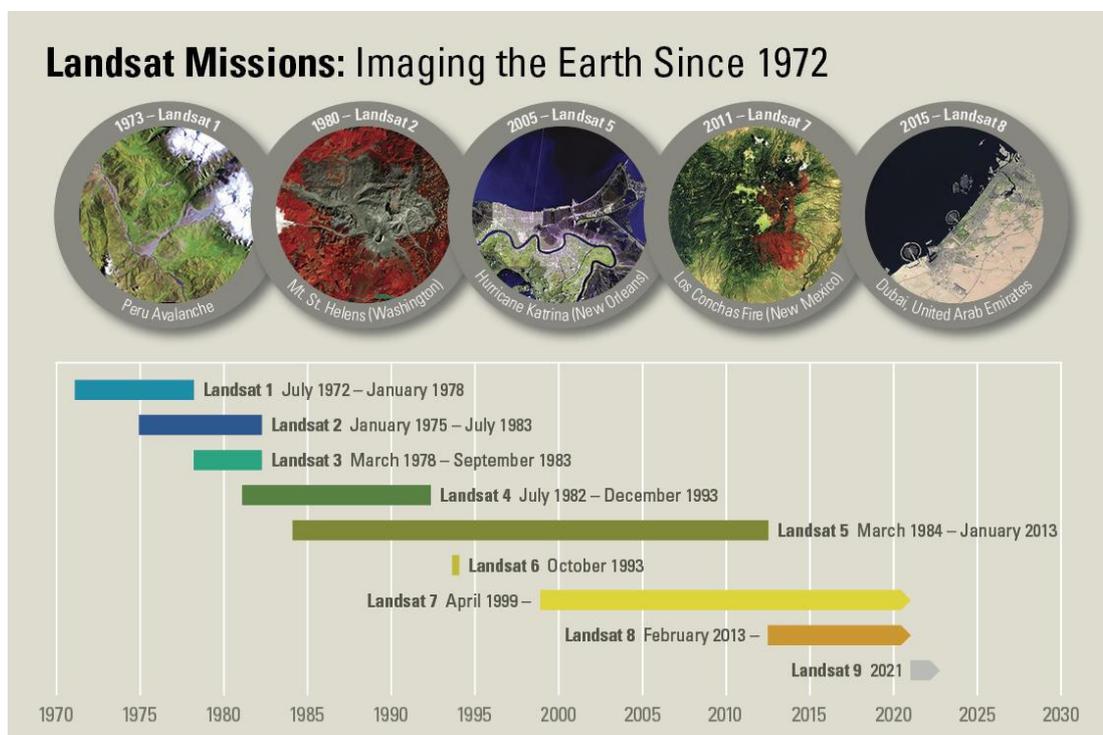


Рис. 32. Программа Landsat сквозь время.

Самые актуальные спутниковые данные предоставляются восьмым спутником, выведенным на орбиту в 2013 г. в рамках программы Landsat. Аппаратура дистанционного зондирования, установленная на спутнике Landsat 8, включает в себя мультиспектральный сканирующий радиометр OLI (Operational Land Imager), снимающий в 9 каналах, и двухканальный ИК-радиометр TIRS (Thermal Infrared Sensor), снимающий в двух каналах, соответственно. Пространственное разрешение снимков варьируется от 15 до 100 м в зависимости от канала. Параметры данных, полученных с помощью Landsat 8:

- Уровень обработки: 1T (коррекция рельефа);
- Формат изображений: GeoTIFF;
- Пространственное разрешение: панхроматический канал (8) – 15 м, мультиспектральный (1-7, 9) – 30 м, дальний инфракрасный канал (10-11) – 100 м;
- Проекция: UTM;
- Система координат: WGS-84.

Landsat имеет ряд запусков, использующих разные типы сканеров на борту и имеющие разный набор спектральных каналов и их характеристик. Для дальнейшей

обработки необходимо знать спектральный диапазон, пространственное разрешение и длину волны каждого канала (Таблица №4) (eos.com).

Таблица №4

Характеристика каналов спутника Landsat 8.

Landsat 8					
Датчик	№ канала	Название	Длина волны, мкм	Разрешение, м	Применение
OLI	1	Coastal Aerosol	0.43-0.45	30	Прибрежные и аэрозольные исследования
OLI	2	BLUE	0,45-0,51	30	Батиметрическое картографирование, отличает почву от растительности и листовенную и хвойную растительность
OLI	3	GREEN	0,53-0,59	30	Определение пиковой растительности
OLI	4	RED	0,64-0,67	30	Характеристика растительности склонов
OLI	5	NIR	0,85-0,88	30	Определение береговой линии и содержания биомассы
OLI	6	SWIR1	1,57-1,65	30	Определяет содержание влаги в почве и растительности
OLI	7	SWIR2	2,11-2,29	30	Создание тепловых карт, оценка влажности почвы
OLI	8	PAN	0,50-0,68	15	Для определения изменений геологических пород
OLI	9	SWIR	1,36-1,38	30	Обнаружение загрязнения перистого облака
TIRS	10	TIRS1	10,6-11,19	100	Тепловое отображение и оценка влажности почвы
TIRS	11	TIRS2	11,50-12,51	100	Термальное отображение и влажность почвы

Поэтапная технология создания карты растительности по материалам дистанционного зондирования:

1. Скачивание космических снимков.
2. Создание географической основы.
3. Создание тематического содержания:
 - 3.1. Добавление наборов космических снимков в проект, применение атмосферной коррекции и обрезка по границе субъектов,
 - 3.2. Создание синтезированного цветного изображения,
 - 3.3. Создание NDVI,
 - 3.4. Классификация с обучением,
 - 3.5. Постклассификационная обработка,

3.6. Конвертация в векторный тип данных.

4. Оформление и экспорт карты.

Далее каждый этап создания карты растительности будет подробно описан.

1. Скачивание космических снимков производится на сайте Геологической службы США (earthexplorer.usgs.gov), на котором содержится огромная база открытых космических данных Landsat, MODIS, Sentinel и других. Открываем страницу «Home» (Рис. 33). Интерфейс сайта интуитивный и понятный, но на английском языке. В левой части страницы находятся вкладки для выбора параметров подходящих снимков: «Search Criteria», «Data Sets», «Additional Criteria», «Results», в правой части находится окно просмотра с картой, на которой можно выбрать интересующую нас территорию, а также отобразить найденные космические данные.

Во вкладке «Search Criteria» надо выбрать территорию, диапазон поиска, конкретные месяцы, а также число результатов, которое следует поставить максимальным, чтобы не упустить все возможные варианты снимков. Для нашего исследования понадобились снимки за 2019 г. в период с мая по август (пик вегетационного периода).

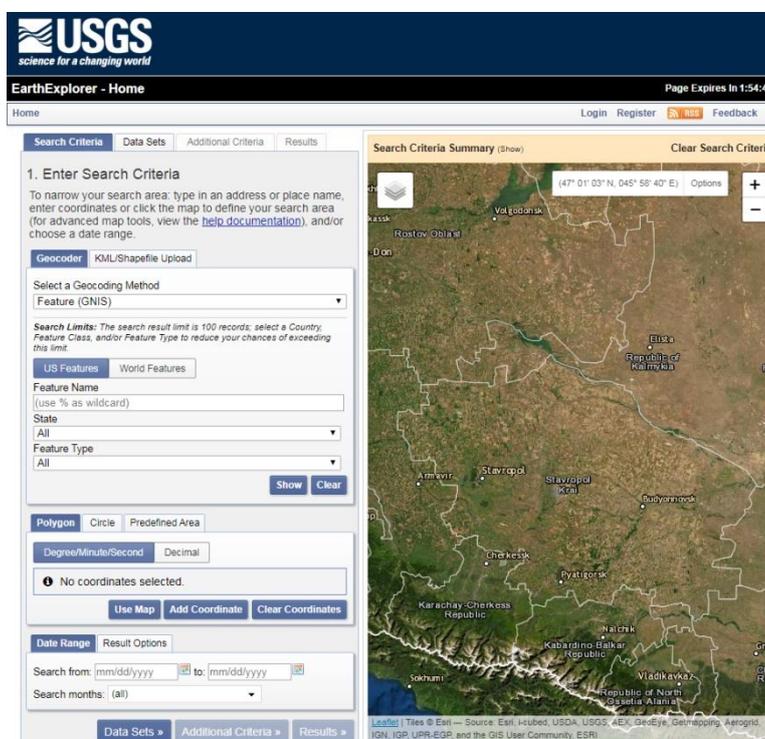


Рис. 33. Интерфейс сайта Геологической службы.

В следующей вкладке «Data Sets» выбираем систему ДДЗ, ставя галочку в «Landsat» – «Landsat Collection 1 Level-1» - «Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1». Затем в «Additional Criteria» задаём параметры облачности менее 10 % в «Land Cloud Cover» и «Scene Cloud Cover», это необходимо, чтобы избежать снимков, покрытых облаками. Далее переходим к результатам поиска «Results». Используя панель управления (Рис. 34), выбираем и скачиваем наборы подходящих снимков – «Level-1 GeoTIFF Data Product (Login Required)». В результате поиска были выбраны самые актуальные снимки 2019 г. с отсутствием облаков и подходящим расположением:



Рис. 34. Панель управления снимка.

- Кабардино-Балкарская республика – 7 июля;
- Ставропольский край – 21 августа;
- Нижегородская область – 31 августа.

2. Для карты кроме тематического содержания важна **географическая основа**, передающая пространственное положение тематического содержания, в которую включают границы, гидрографию, населённые пункты и координатную сетку меридианов и параллелей. Есть несколько вариантов получения этих элементов: векторизация картографических материалов или скачивание геопривязанных открытых векторных данных с порталов GISGeo (gisgeo.org) или GIS-LAB (gis-lab.info). Было решено воспользоваться готовыми данными в формате «.shp».

Загруженные в проект QGIS слои с данными покрывают всю территорию Российской Федерации, поэтому для уменьшения загруженности оперативной памяти следует удалить лишние города и гидрографию. Были использованы во вкладке «Вектор» - «Геобработка» инструменты «Пересечение» для линейных и точечных объектов (населённые пункты и линейная гидрография) и «Обрезать» для полигональных объектов (площадная гидрография). В качестве «Оверлейного слоя» использовался полигональный слой субъектов РФ с выделенным субъектом.

type	Административный статус	Тип поселения
0	Центр субъекта РФ	Город краевого значения
1	Центры муниципальных образований и городских округов	Города районного значения
2		Сельские населённые пункты
3		Посёлки городского типа

Рис. 35. Значения нового поля «type».

Для слоя с населёнными пунктами настраивается стиль пунсона в зависимости от административного статуса и

подписи в зависимости от типа поселения. Все настройки стилей производятся в свойствах соответствующего слоя с использованием таблицы атрибутов слоя. Необходимо в таблице создать новое поле, указав тип данных «integer» и присвоить каждому населённому пункту значение в соответствии с его типом поселения и административным статусом (Рис. 35). Во вкладке «Стиль» выбирается «уникальные значения» для типа символа, по полю «type» классифицируются населённые пункты, создаётся значок в соответствии со значениями так, чтобы на карте можно было без особых трудностей их

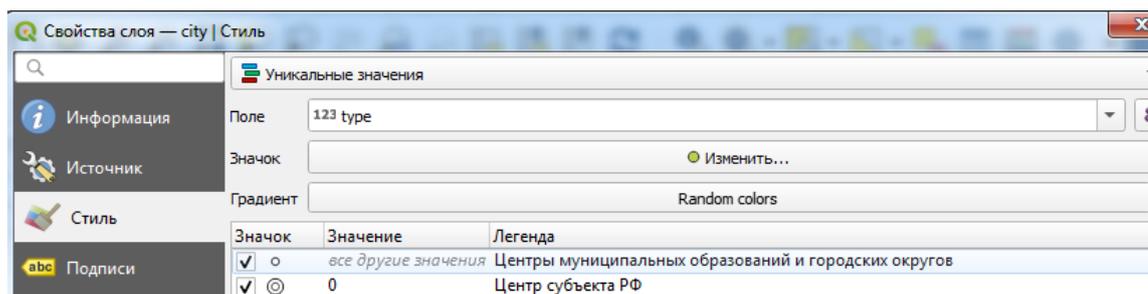


Рис. 36. Присвоение стиля населённым пунктам.

различать (Рис. 36). Подписи для населённых пунктов задаются правилами, по которым присваивается свой шрифт и его размер в соответствии со значением поля «type».

Для слоя линейной, площадной гидрографии, границ субъектов и государственной границы, сетки была проведена генерализация и подобран стиль – тип линии, толщина, цвет. Все стили можно сохранить, чтобы в дальнейшем использовать при создании других карт аналогичного содержания.

В итоге получилась универсальная географическая основа (Рис. 37), к которой добавляется тематическая составляющая, соответствующая тематике нашей карты – векторный полигональный слой с классифицированной

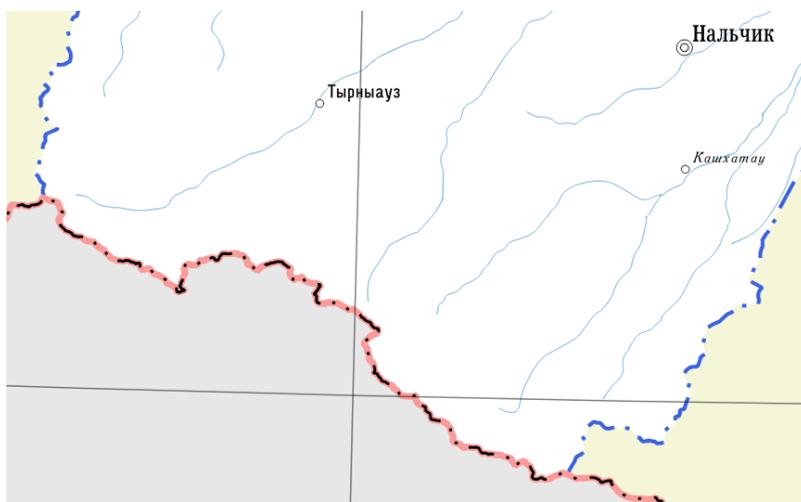


Рис. 37. Фрагмент созданной географической подложки (территория Кабардино-Балкарской республики).

растительностью по данным дистанционного зондирования.

3. Самым важным этапом является **создание тематического содержания**. Для его реализации устанавливался дополнительный модуль Semi-Automatic Classification Plugin (CSP) в QGIS, который имеет большие функциональные возможности по обработке космических снимков. С его помощью мы была проведена атмосферная коррекция снимков и создано синтезированное изображение для дальнейшей обработки и анализа. Затем в ArcGIS создан индекс NDVI, подобрана подходящая комбинация каналов для каждой территории и проведена классификация снимков для получения итогового изображения с классифицированной растительностью.

3.1. Добавить исходные снимки в QGIS можно через инструмент «Добавить растровый слой», но был использован плагин CSP, который сразу выполнил атмосферную коррекцию методом DOS (Dark Object Subtraction), используя метафайл набора космических снимков.

Во вкладке «Preprocessing» был выбран Landsat (Рис. 38), подключена папка или директория, где хранятся наши каналы и метафайл. Программа автоматически прочитала метафайл и записала все данные в окно «Metadata». В наборе у нас 11 спектральных каналов, из которых надо было использовать всего 6 для решения данных задач. Поэтому на этом этапе были удалены из «Metadata» каналы 1, 8, 9, 10 и 11. Ставится галочка на «Apply DOS1 atmospheric correction» - выполняется атмосферная коррекция, нажимая «RUN».

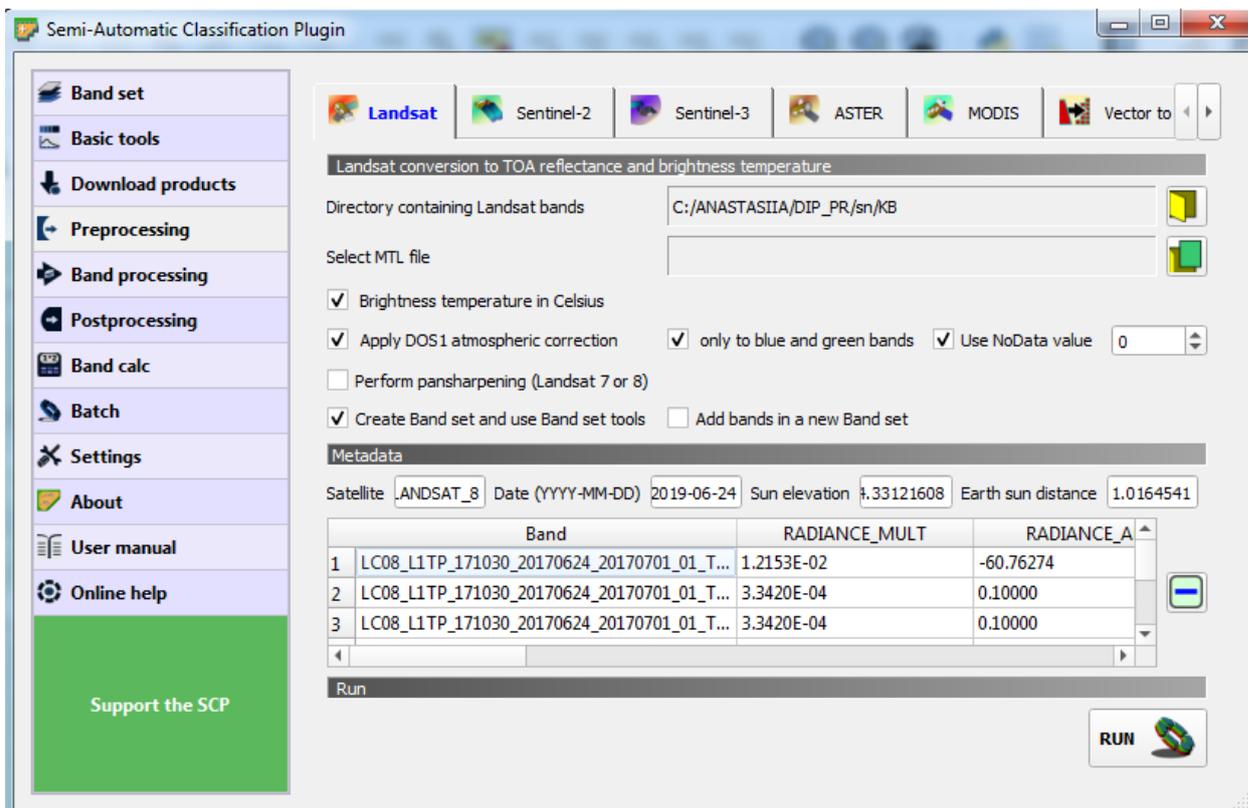


Рис. 38. Атмосферная коррекция в плагине SCP.

Хотя космические снимки Landsat 8 OLI/TIRS C1 Level-1 являются первично обработанными, для них проведена радиометрическая и геометрическая коррекции, исправляющие радиометрические искажения датчика и представляющие снимки в проекции WGS-84. Их можно использовать без какой-либо обработки, но исследуется растительность, а значит очень важно использовать реальные значения отражённого от поверхности спектрального излучения, которые получаются после атмосферной коррекции, уменьшающей влияние атмосферы.

Затем следовало обрезать скорректированные снимки спектральных каналов по границе зоны интереса, в данном случае субъекта Российской Федерации. Для этого использовался полигональный слой субъектов, выделенный инструментом , открывался Растр – Извлечение - инструмент «Обрезать растр по маске». В качестве исходного слоя был выбран снимок канала, слой маски – наш полигональный слой субъектов, обязательно активировать галочку на «Только выделенные объекты». Исходная и целевая система координат была выбрана та же, что на исходных снимках (WGS-84).

Эти операции были выполнены для всех исходных наборов снимков: Кабардино-Балкарская республика (1), Ставропольский край (2), Нижегородская область (3). В качестве промежуточного результата получились наборы обрезанных и скорректированных снимков, состоящие из 6 спектральных каналов со 2 по 7 (Рис. 39).

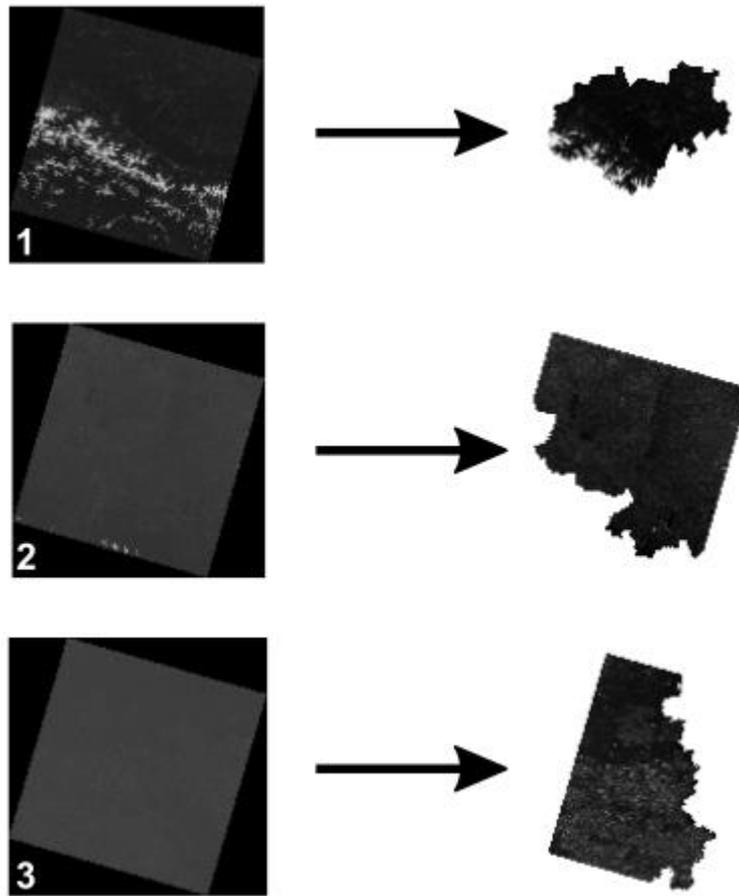


Рис. 39. Результат коррекции и обрезки набора снимков.

3.2. Создание синтезированного цветного изображения позволяет окрасить серые снимки в естественные или ложные цвета, что способствует различать на них разные типы растительности и проводить классификацию. Синтезированное цветное

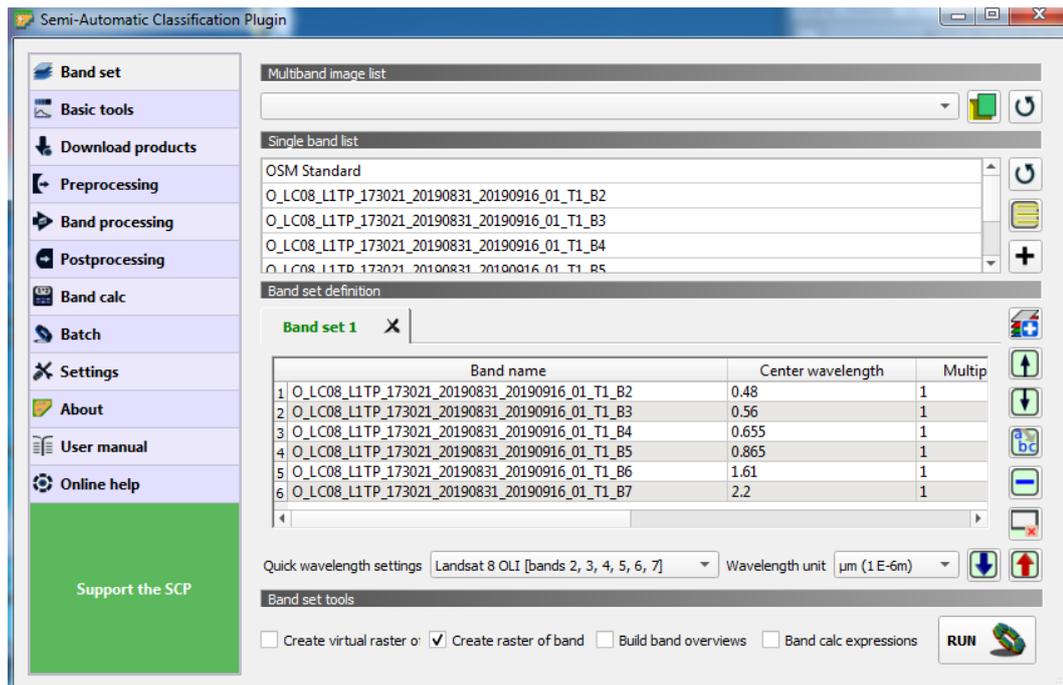


Рис. 40. Создание синтезированного цветного изображения.

изображение на основе 6 каналов выполнялось также в плагине CSP. Во вкладке «Band set» были добавлены обрезанные скорректированные снимки из папки, затем были выбраны настройки каналов для Landsat 8 OLI. Для создания изображения следует активировать галочку на «Create raster of band set» (Рис. 40).

После запуска процесса кнопкой «RUN» появился результат – синтезированное изображение. В свойствах изображения, меняя каналы местами, подбиралось необходимое сочетание каналов, зависящее от задачи и территории исследования. На рисунке 41 представлены комбинации каналов для трёх исследуемых территорий, по которым видно насколько разная растительность произрастает на них и её соотношение. Например, комбинация 4-3-2 соответствует естественным цветам, которые воспринимает человеческое зрение, так как состоит из каналов видимого спектра. Комбинация 5-4-3 соответствует искусственным цветам и позволяет анализировать растительность. На ней хвойные леса выглядят более тёмно-красными, чем лиственные, светлые оттенки характеризуют травянистую и кустарниковую растительность. На комбинации 5-6-2, являющейся также искусственным цветом, вода насыщенного тёмно-синего цвета, здоровая растительность представлена в оттенках красного, коричневого, оранжевого и зелёного.

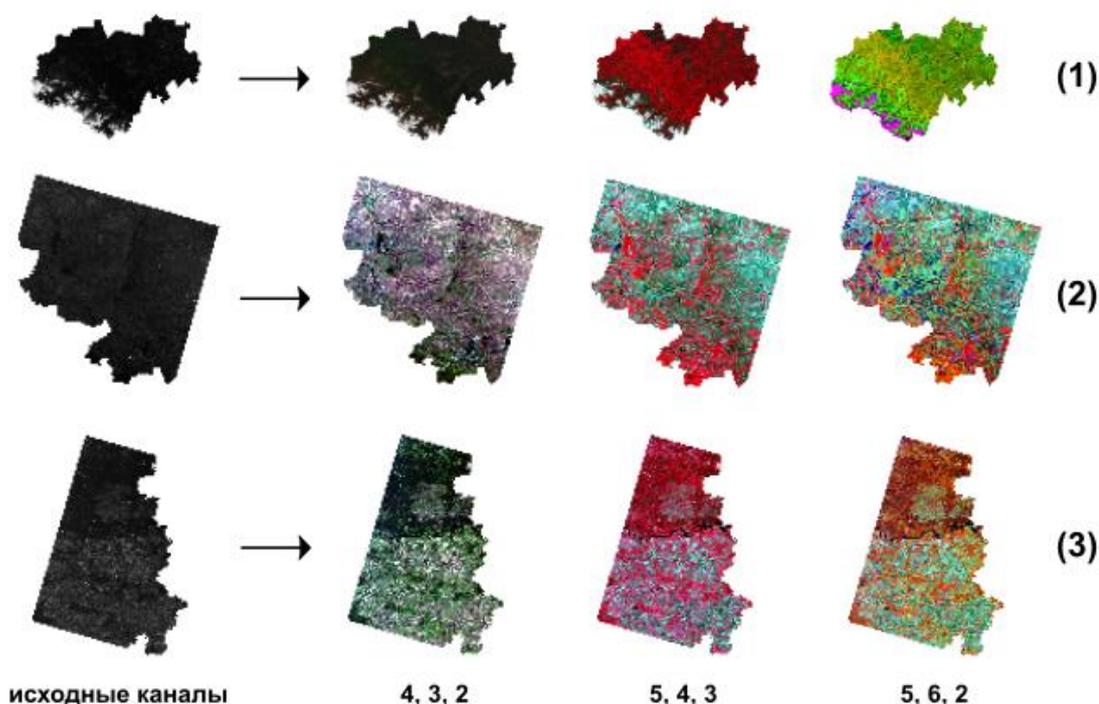


Рис. 41. Примеры синтезированных изображений для территорий: (1) – Кабардино-Балкарской республики, (2) – Ставропольского края, (3) – Нижегородской области.

3.3. Создание нормализованного вегетационного индекса NDVI выполнялось с помощью калькулятора растров в ArcGIS. Результат этой операции использовался в

качестве вспомогательного материала для выделения эталонов (кластерных групп) при классификации, так как многие объекты растительности имеют своё отличительное от других значение индекса. Например, голая почва и редкая степная растительность могут иметь один цвет и оттенок в естественной

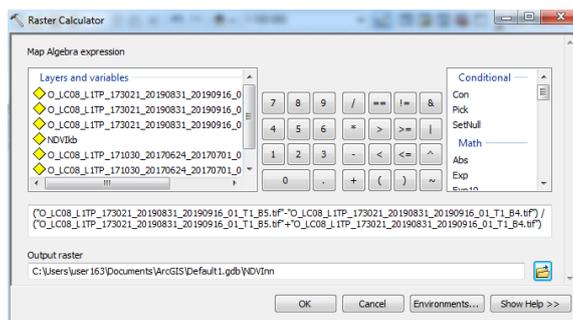


Рис. 42. Калькулятор растров.

комбинации каналов, но на индексированном изображении будут виды различия. Растровый калькулятор работает на основе применения математических операций над растровыми изображениями попиксельно. Открыв инструмент, необходимо ввести

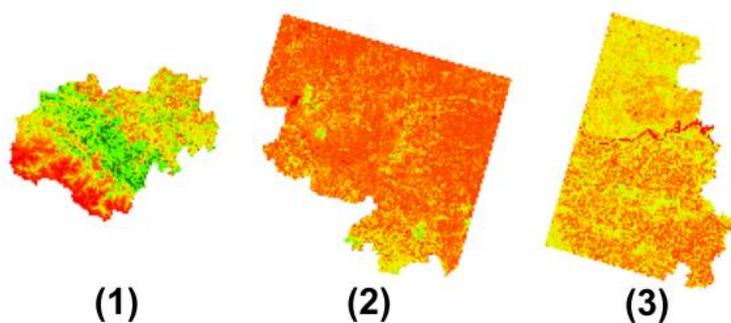


Рис. 43. Результат NDVI: (1) – Кабардино-Балкарской республики, (2) – Ставропольского края, (3) – Нижегородской области.

выражение для расчёта NDVI – $(B5 - B4) / (B5 + B4)$, используя загруженные каналы NIR(B5) и RED(B4) (Рис. 42). Результатом операции является растровое изображение со значениями от -1 до 1, его необходимо окрасить в цвета, которые будут подчеркивать различия

разных объектов и типов растительности (Рис. 43).

3.4. Следующий этап обработки снимков – классификация с обучением, для которой использовался модуль «Image classification» в ArcGIS. С помощью этого модуля была создана группа классов – эталонов, по которым программа автоматически анализирует изображение и присваивает значение класса каждому пикселу, сравнивая его яркостные значения с яркостными значениями пикселей эталона, что и является классификацией. Исследуемые территории различаются физико-географическими условиями и произрастающей растительностью, поэтому количество определяемых классов отличалось для каждой территории. Определяемые классы создавались на основании того, что человеческое зрение и программа может интерпретировать, а это зависит от пространственного разрешения снимков, масштаба карты и поставленных задач. (Рис. 44).

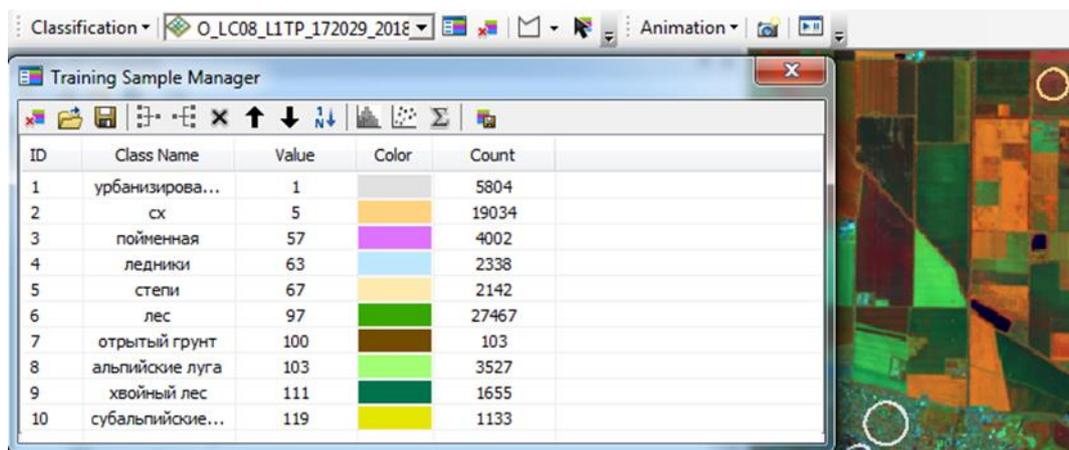
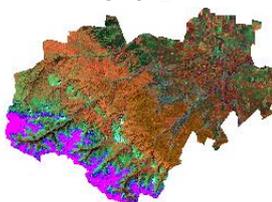
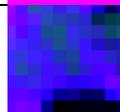


Рис. 44. «Image classification» и эталоны для Кабардино-Балкарской республики.

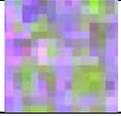
Для того чтобы правильного определения эталонов была выбрана подходящая комбинация каналов, на которой чётко были видны разные типы растительности, а в случае неоднозначностей визуального интерпретирования использовался индекс NDVI. Ниже в таблице №5 приведены выбранные на основе физико-географического описания и в процессе визуального анализа снимков классы и соответствующие им эталоны. Для более точной и качественной классификации было выбрано несколько эталонов для каждого класса в разных частях снимка. Особое внимание необходимо было уделить сельскохозяйственным угодьям, так как они имеют огромное число вариантов состояния: вспаханные, орошаемые, с культурами на разных стадиях развития, с собранным урожаем и др. Все состояния представлены своими цветами и оттенками.

Таблица №5

Классы и соответствующие им эталоны.

Территория	Комбинация каналов	Классы	Примеры эталонов
Кабардино-Балкарская республика	 5-6-2	Ледники	
		Скальный грунт	
		Альпийские луга	
		Субальпийские луга	
		Хвойные леса	

		Широколиственные леса	
		Степь	
		Пойменная растительность	
		Сельскохозяйственные угодья	
		Урбанизированные территории	
Ставропольский край	<p>3-6-2</p> 	Широколиственные леса	
		Субальпийские луга	
		Степь	
		Пойменная растительность	
		Сельскохозяйственные угодья	
		Урбанизированные территории	
Нижегородская область	<p>6-5-4</p> 	Хвойные леса	
		Хвойно-широколиственные леса	
		Широколиственные леса	
		Пойменная растительность	
		Болота	

		Заболоченные территории	
		Сельскохозяйственные угодья	
		Урбанизированные территории	

После создания и сохранения эталонов в панели «Image classification» была проведена операция «Interactive Supervised Classification» по необходимому синтезированному изображению. В результате получились классифицированные изображения в цветах, которые мы выбрали в процессе создания эталонов (Рис. 45).

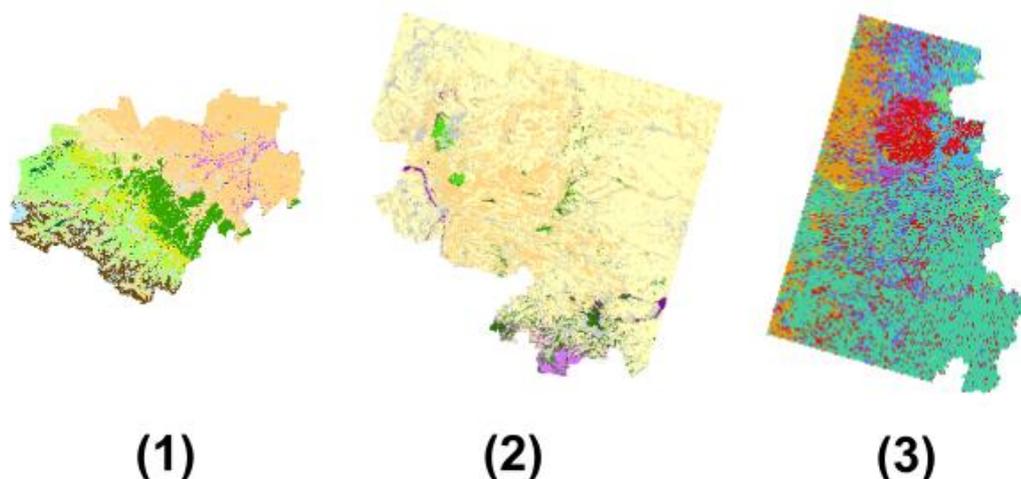


Рис. 45. Результат классификации: (1) – Кабардино-Балкарской республики, (2) – Ставропольского края, (3) – Нижегородской области.

3.5. Классифицированные изображения следовало обработать перед конвертацией в векторный формат, так как на них могли присутствовать неправильно классифицированные пиксели или небольшие регионы – шумы – вкрапления единичных пикселей одних классов в массивы пикселей преобладающего класса. Постклассификационной обработкой называется процесс удаления шума и улучшения качества классифицированных выходных данных. По своей сути эта обработка является первичной генерализацией, необходимой при создании визуальных моделей. Она состояла из нескольких последовательных этапов:

3.5.1. Фильтрация классифицированных изображений. На этом этапе удалялись отдельные пиксели – шумы. Использовалась операция «Majority Filter» (фильтр большинства) группы инструментов «Generalization». В качестве исходного растрового изображения выбирается классифицированное изображение, остальные настройки оставляются исходными (Рис. 46).

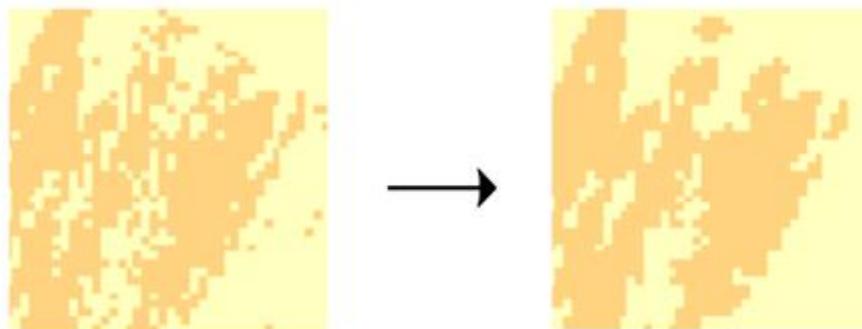
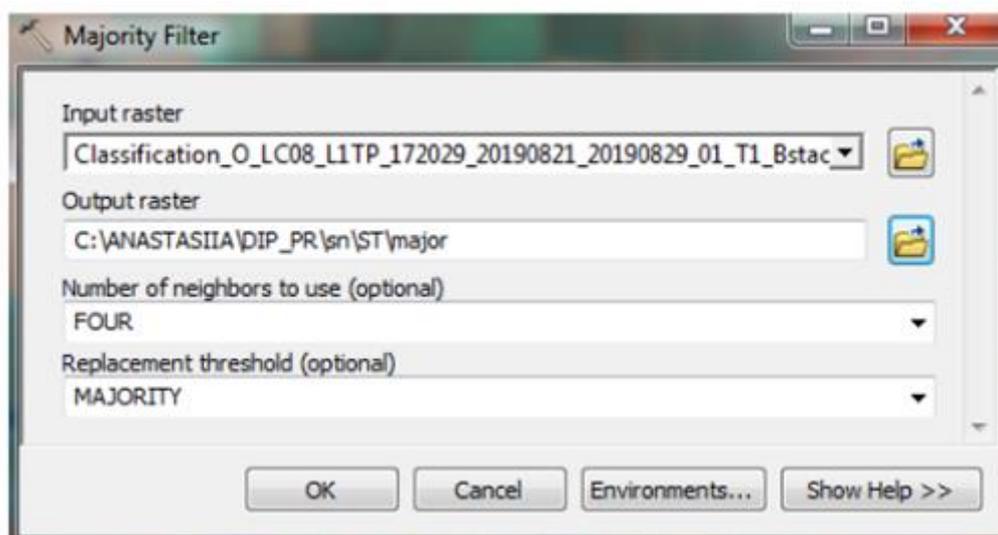


Рис. 46. «Majority Filter». До и после операции.

3.5.2. Сглаживание границ классов и объединение классифицированных выходных данных. Инструмент «Boundary Clean» (Удаление границ) сглаживает шероховатости границ классов и соединяет их в одно целое, позволяя повысить пространственную согласованность классифицированного изображения. Регионы, граничащие друг с другом и относящиеся к одному классу, соединяются. В качестве исходного растрового изображения использовалось отфильтрованное изображение, сортировка проводилась по возрастанию (ASCEND) (Рис. 47).

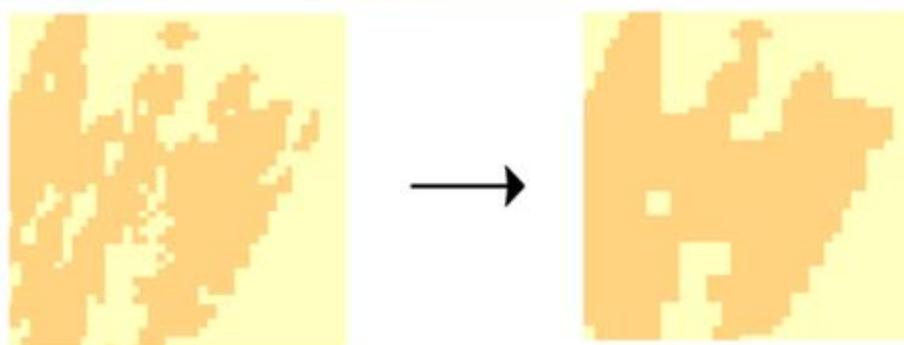
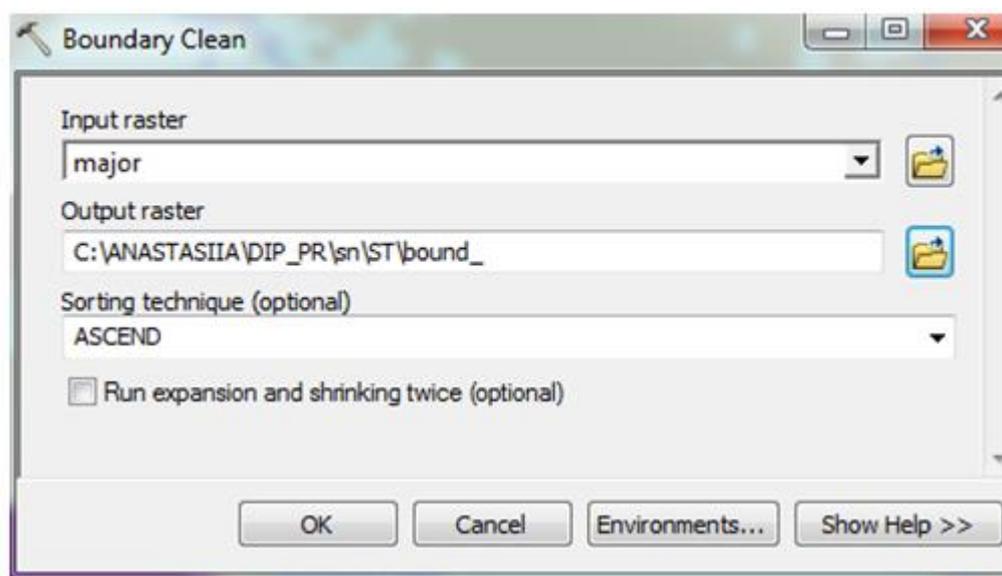


Рис. 47. «Boundary Clean». До и после операции.

3.5.3. Генерализация классифицированного изображения путём удаления небольших изолированных регионов. Этот процесс удаляет небольшие обособленные регионы из классифицированного изображения, размер которых меньше определенного количества пикселей, заданного пользователем. Для выполнения этой задачи использовались инструменты «Region Group» (Группировка), «Set Null» (Установить ноль) и «Nibble» (Отсечение). Эта задача выполнялась на основе фильтрации и сглаживания границ классов.

Инструмент «Region Group» необходим для того, чтобы определить какое число пикселей станет цензовым. Для каждой ячейки записывается принадлежность соответствующему региону, к которому принадлежит эта ячейка. Каждому региону присваивается уникальный номер. В результате получилось растровое изображение, имеющее таблицу атрибутов, в которой каждый обособленный регион имеет данные о количестве пикселей, из которых он состоит. На основе этих данных, а так же понимании требуемого уровня генерализации выходного изображения подбиралось цензовое число пикселей путём идентификации отдельных регионов на изображении. Для Кабардино-Балкарской республики - 300, для Ставропольского края – 1500, для Нижегородской

области - 1300. В качестве исходных данных использовался результат удаления границ (Рис. 48).

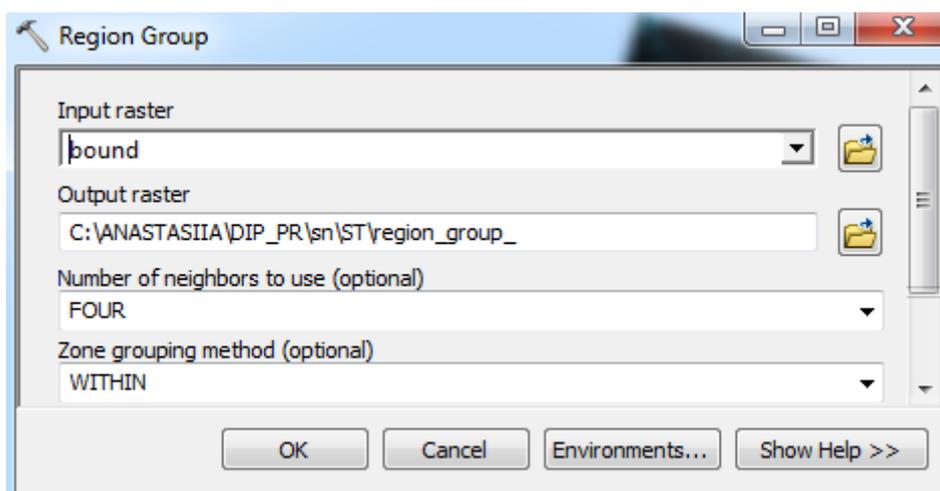


Рис. 48. «Region Group».

Затем инструментом «Set Null» создавалась маска, по которой были удалены регионы меньше цензового числа пикселей. В качестве входного слоя использовался результат операции «Region Group», затем необходимо было ввести выражение `Count < «цензовое число пикселей»` (Рис. 49).

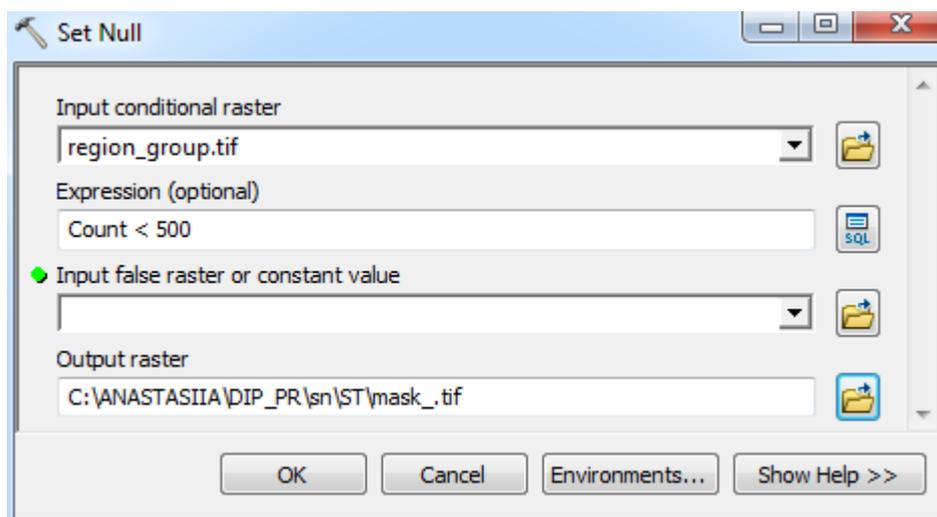


Рис. 49. «Set Null».

Финальным этапом постклассификационной обработки была операция «Nibble» (Отсечение), которая отсекала от изображения, полученного в результате операции «Boundary Clean», регионы меньше ценза, содержащиеся в маске, созданной в результате «Set Null» (Рис. 50).

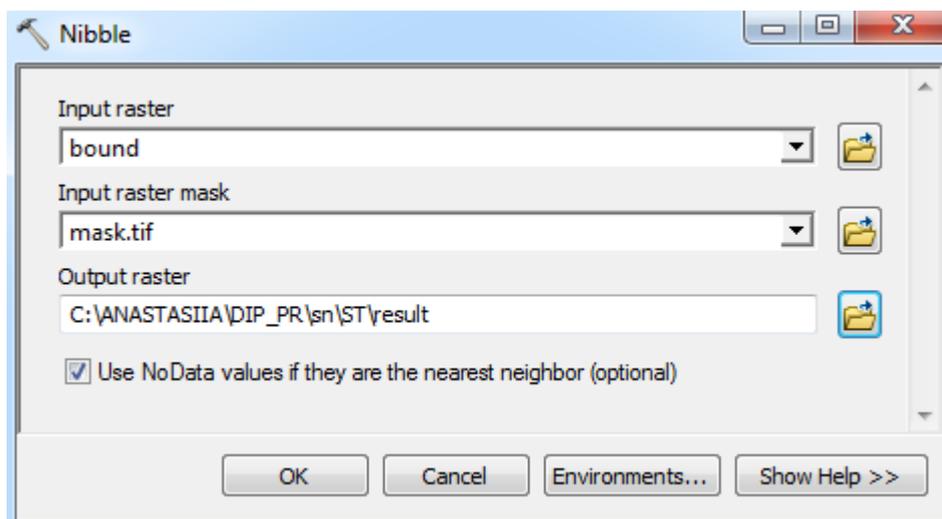


Рис. 50. «Nibble».

Результат генерализации классифицированного изображения представлен на рисунке 51.

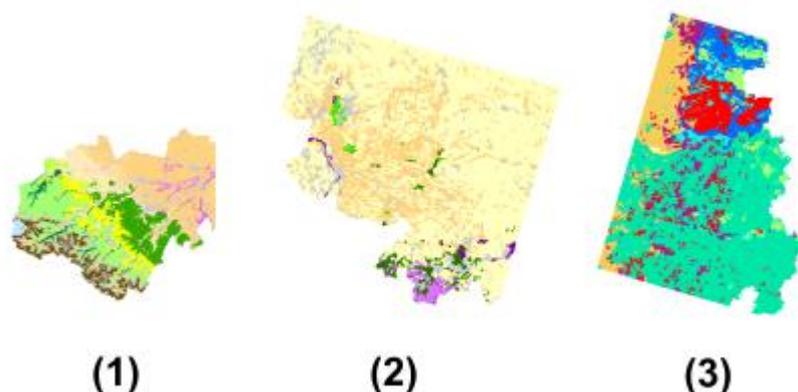


Рис. 51. Результат генерализации: (1) – Кабардино-Балкарской республики, (2) – Ставропольского края, (3) – Нижегородской области.

3.6. В целом тематическое содержание готово, но чтобы было удобнее использовать его, присваивать стили и оформлять надо было выполнить конвертацию растрового изображения в векторный слой. Существуют операции, позволяющие конвертировать изображение в точечный, линейный и полигональный слой. Для решения задачи подходила конвертация в полигональный слой («Raster to Polygon»), так как растительность на карте представлена качественным фоном, что является площадным способом изображения. Входным изображением был результат постклассификационной обработки, конвертация осуществлялась по полю «VALUE», которое соответствовало значениям классов (рис. 52). Результатом стал векторный полигональный слой в формате .shp (Рис. 53).

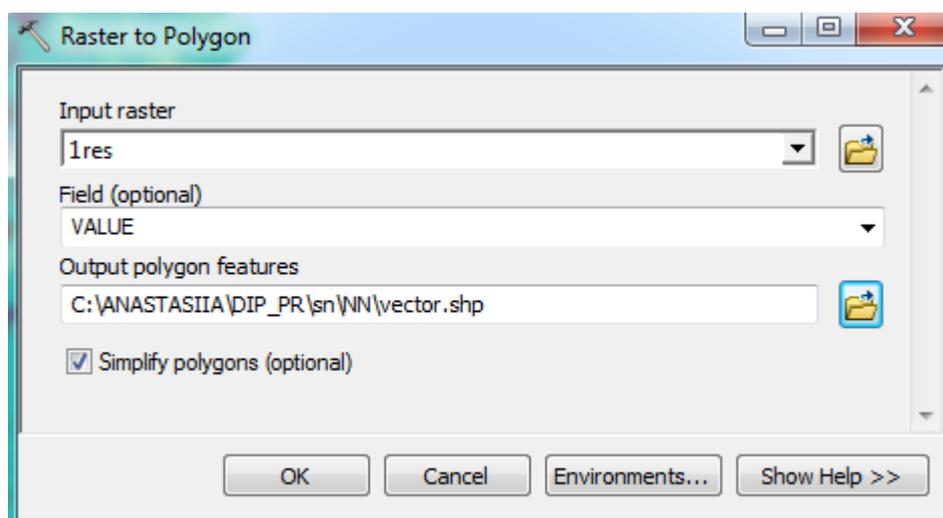


Рис. 52. Конвертация растрового изображения в векторный формат.

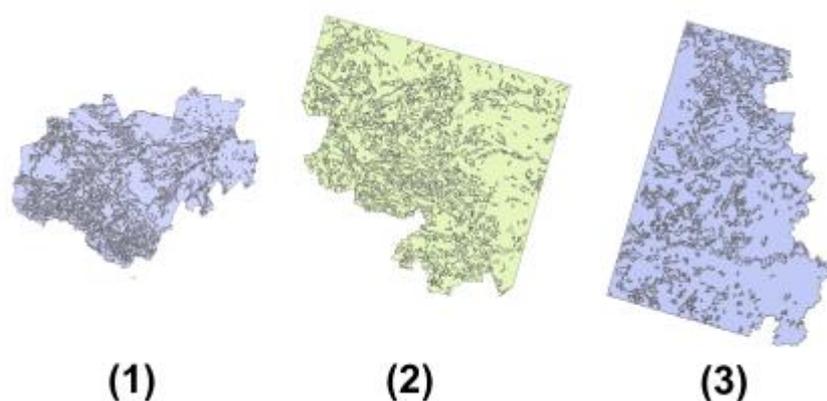


Рис. 53. Результат конвертации в векторный формат: (1) – Кабардино-Балкарской республики, (2) – Ставропольского края, (3) – Нижегородской

Заключительным этапом было **оформление в QGIS**, которое состояло из добавления тематической части к географической основе и подготовки к экспорту готовой карты растительности. Добавив векторный слой в проект, использовалось синтезированное изображение на территорию, чтобы проверить достоверность классифицированного изображения. Могут встречаться полигоны, которые случайно классифицировались неправильно, но это легко исправляется, достаточно поменять значения класса в атрибутивной таблице. Необходимо было визуально проверить весь слой и исправить несоответствия. Также была проведена генерализация в соответствии с масштабом и проверка согласованности других элементов карты с полученной растительностью. Так как карта обзорная и имеет мелкий масштаб, необходимо было придать полигонам плавные природные очертания и сгладить острые углы, для этого использовался инструмент «Smoothing» (сглаживание).

Затем была разработана единая универсальная шкала цветов для классов растительности, учитывающая типы растительности на предложенных территориях. Для карт растительности, как и для других природных карт: почвенных, геологических, геоморфологических, свойственна своя ассоциативная цветовая палитра, которой стоит придерживаться при оформлении. Главное правило, чтобы цвета и оттенки были различимы и равнозначны по своей способности притягивать взгляд, а также не мешали читать подписи. Легенда была разработана на основе карты растительности Национального Атласа России, в котором представлено классическое цветовое решение для легенды карты растительности (Рис. 54).

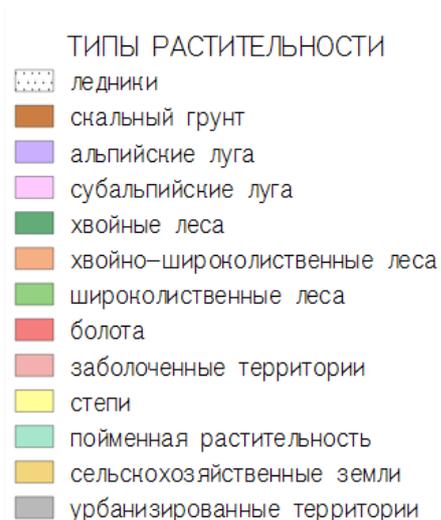


Рис. 54. Разработанная легенда.

Компоновка карты производилась в макете. Добавлялись необходимые подписи, например, для линейной гидрографии, так как в QGIS плохо реализована функция размещения подписи вдоль линий. Водотоки, имеющие большую протяжённость, необходимо подписывать несколько раз и разным размером шрифтов, чем ближе к устью, тем больше шрифт, что автоматически не реализовано в ГИС продуктах. Была создана и оформлена легенда инструментами макета в QGIS, выполнено зарамочное оформление.

Готовый макет можно экспортировать в необходимый формат: JPEG – растровое изображение, PDF - открытый формат электронных документов, SVG – масштабируемая векторная графика. Результатом научно-исследовательской работы является разработанная методика создания карт растительности по материалам дистанционного зондирования на примере территории Кабардино-Балкарской республики (Рис. 55), Ставропольского края (Рис. 56) и Нижегородской области (рис. 57).

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕПОЧКА СОЗДАНИЯ КАРТЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
КАБАРДИНО-БАЛКАРСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

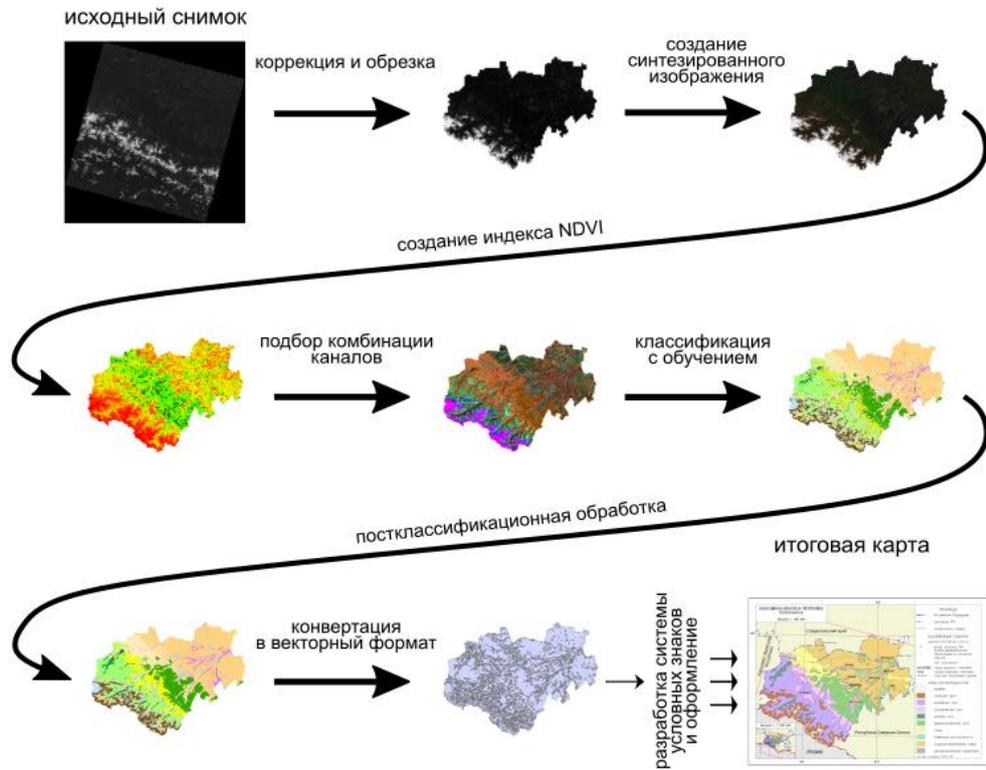


Рис. 55. Технологическая цепочка создания карты растительности Кабардино-Балкарской республики.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕПОЧКА СОЗДАНИЯ КАРТЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ

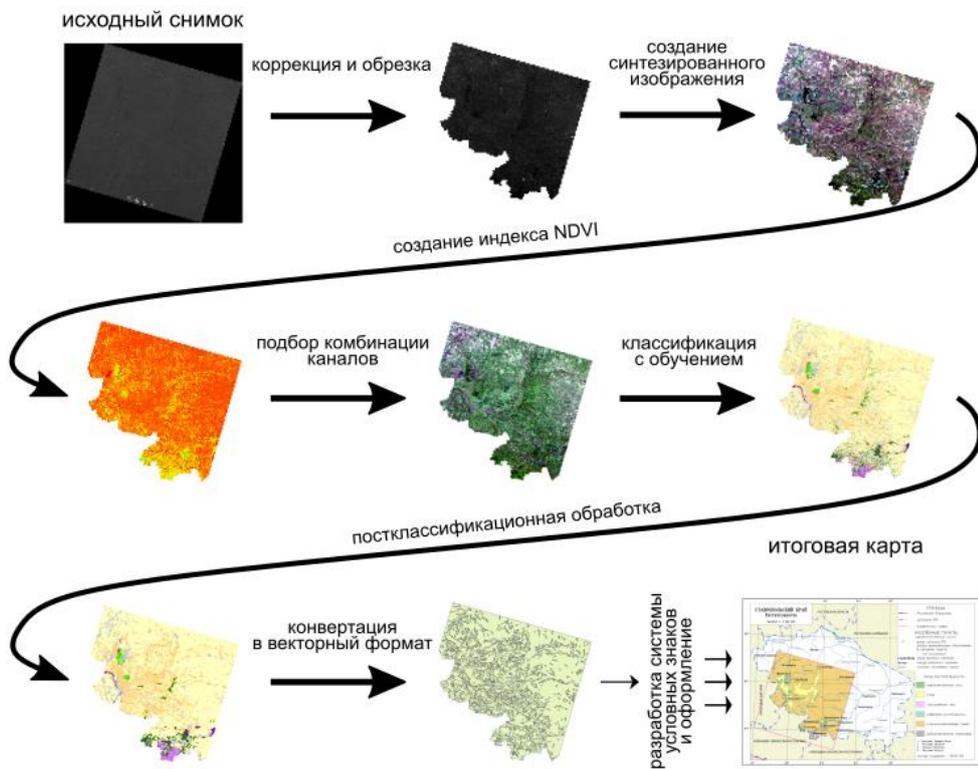


Рис. 56. Технологическая цепочка создания карты растительности Ставропольского края.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕПОЧКА СОЗДАНИЯ КАРТЫ РАСТИТЕЛЬНОСТИ
НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

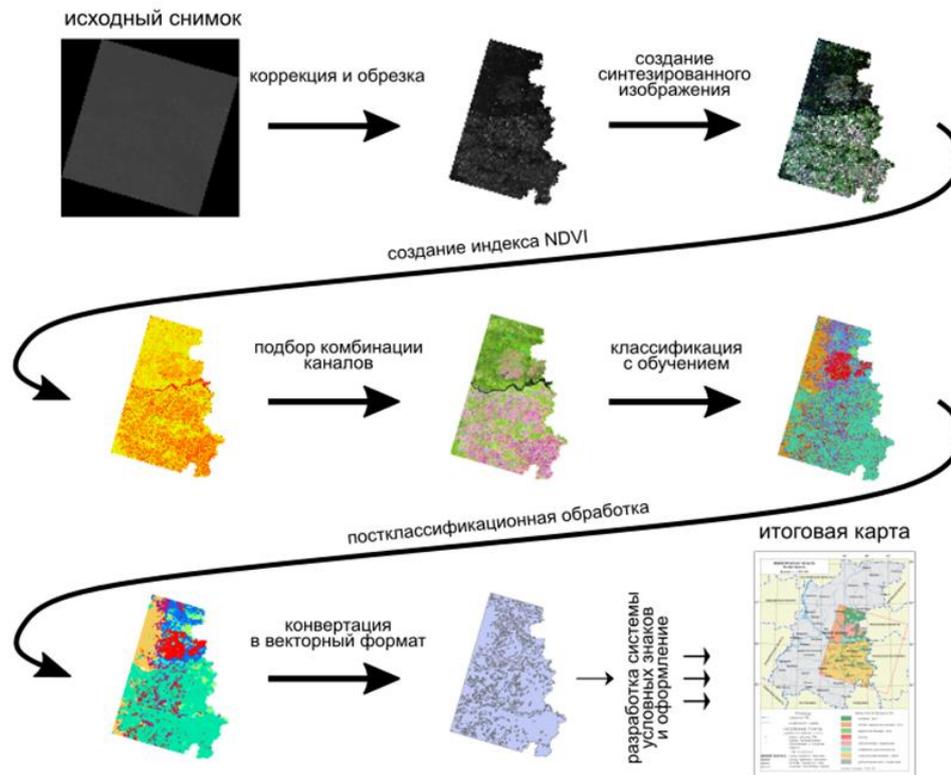


Рис. 57. Технологическая цепочка создания карты растительности
Нижегородской области.

Созданные по выше представленной методике карты растительности Кабардино-Балкарской республики, Ставропольского края и Нижегородской области представлены в Приложении №1, №2, №3 соответственно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы дистанционного зондирования – это современные технологии для изучения территорий, анализа природных объектов, моделирования и прогнозирования явлений, которые может применять любой пользователь, имеющий знания в естественнонаучной сфере, для решения своих задач путём использования открытых материалов дистанционного зондирования.

В ходе выполнения научно-исследовательской работы была достигнута поставленная цель – созданы карты растительности по материалам дистанционного зондирования на территорию Кабардино-Балкарской республики, Ставропольского края, Нижегородской области, которые характеризуются разными условиями произрастания растительности, зависящими от климатических, почвенных и орографических факторов.

Для реализации задуманного были выполнены сопутствующие задачи: от изучения теоретических основ картографирования растительности и методов дистанционного зондирования до разработки универсальной технологической цепочки создания карт растительности и апробации данной методики.

Ключевым моментом данной работы стала разработка и описание методики создания карт растительности, в особенности уделено большое внимание обработке космических снимков и получению классифицированного изображения методом обучаемой классификации.

Хочется отметить, что данная методика универсальна и применима для создания абсолютно разномасштабных типов карт растительности: от обзорных типологических до мелкомасштабных специализированных, например, карт использования сельскохозяйственных угодий.

При этом на примере картографируемых территорий выяснилось, что физико-географические особенности каждой напрямую влияют на используемую при обработке комбинацию каналов, а также количество возможных классов обучения. Кроме того, масштаб составляемой карты зависит от пространственного разрешения исходного снимка. Исходя из всего этого, необходимо проводить анализ территории и подбор исходных данных на начальном этапе создания карты.

Созданные карты представляют методическую информацию не только о растительности, но и о сельскохозяйственных землях и урбанизированных территориях, что позволяет их применять для оценки экологического состояния земель и условий землепользования, планирования развития территории субъектов исполнительными

органами государственной власти, учёта и использования сельскохозяйственных земель, мониторинга состояния окружающей среды.

Благодаря огромным архивам снимков можно анализировать динамику развития растительности территорий по всему миру, используя снимки разных временных периодов, в том числе оценить последствия пожаров, нелегальной вырубке лесов и нерационального использования территорий.

В качестве перспективного применения данной методики представляется создание атласа эколого-экономической направленности, целью которого станет обзорное картографирование территории Российской Федерации в масштабе 1 : 1 500 000 для обновления данных о растительности, нарушенных и урбанизированных территориях, сельскохозяйственных землях, создания карт на территории ранее не покрывающихся картами растительности, разработка новейшей универсальной легенды.

Данная методика, основанная на использовании открытых данных дистанционного зондирования, несёт положительный экономический, социальный и отраслевой эффект как при управлении конкретными субъектами России, так и при планировании территориального менеджмента целой страны, в частности – Российской Федерации.

ЛИТЕРАТУРА

Основная литература:

1. Бакка С.В., Киселева Н.Ю. Орнитофауна Нижегородской области: динамика, антропогенная трансформация, пути сохранения: Монография. – Н.Новгород, 2007. 124 с.
2. Берлянт А. М. Картография: учебник для студ. вузов. - М: Университет, 2011. - 447 с.
3. Божилина Е.А., Емельянова Л.Г., Котова Т.В., Тальская Н.Н., Тутубалина О.В., Украинцева Н.Г. Географическое картографирование: карты природы: Учеб. пособие – М.: КДУ, – 2016. – 316 с.
4. Заруцкая, Ирина Павловна. Карты природы [Текст] : Ред.-подготовит. и авт. работы / Акад. наук СССР. Комис. по комплексному картографированию СО АН СССР. - [Иркутск] : Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1965. - 208 с.
5. Емельянова Л.Г., Огуреева Г.Н. Биогеографическое картографирование: Учеб. пособие – М.: изд. Географического факультета МГУ, – 2006. – 130 с.
6. Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений: Учебное пособие. М.: Логос, 2001. – 264 с.
7. Книжников Ю.Ф. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Ф. Книжников, В.И.Кравцова, О.В. Тутубалина. — М.: Издательский центр «Академия», 2004. — 336 е.,
8. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: учебник. М.: КДУ, 2008. 424 с.
9. Обществознание. 8 класс: учебник для общеобразовательных организаций с прил. На электронном носителе/[Л.Н. Боголюбов, Н.И. Городецкая, Л.Ф. Иванова и др.]; под ред. Л.Н. Боголюбова [и др.]; РАН, РАО, издательство «Просвещение». - М.- Просвещение, 2014. – 255 с.
10. Огуреева Г.Н. Ботанико-географическое районирование СССР. М.: Изд-во МГУ, 1991. – 80 с.: ил.
11. Огуреева, Г. Н. Экологическое картографирование: учебное пособие для академического бакалавриата / Г. Н. Огуреева, Т. В. Котова, Л. Г. Емельянова. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 162 с.
12. Садохин, А.П. Концепции современного естествознания: учебник / А.П. Садохин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юнити, 2015. – 447 с.
13. Скранников Д.С., Засоба В.В., Баякина Н.Н., Сидаренко П.В., Богданов Э.Н., Веселов О.О. насаждения государственной лесополосы «Волгоград-Элиста-Черкесск» //

Материалы V Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» URL: <http://scienceforum.ru/2013/article/2013004970>. (дата обращения: 03.05.2020).

14. Сочава В.Б. Растительный покров на тематических картах – Новосибирск: Наука, – 1979. – 189 с.

15. Сочава В. Б. Районирование и картография растительности // Геоботаническое картографирование 1966. М.; Л., 1966. С. 3–13.
<https://doi.org/10.31111/geobotmap/1966.3>

16. Сочава В. Б. Успехи тематического картографирования и карты растительности // Геоботаническое картографирование 1967. Л., 1967. С. 3–9.
<https://doi.org/10.31111/geobotmap/1967.3>

17. Спутниковое картографирование растительного покрова России. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О. и др. - М.: ИКИ РАН, 2016 - 208 с.

18. Сутырина Е.Н. Дистанционное зондирование земли : учеб. Пособие – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2013. – 165 с.

19. Хабаров Д.А., Картавых Л.Х., Попова О.О. Методы тематического картографирования природной среды на основе данных дистанционного зондирования Земли // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». 2019. №2.

20. Швер Ц.А., Рязанова С.В. Климат Нижнего Новгорода. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. 298 с.

21. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование. Модели и методы обработки изображений – Москва: Техносфера, 2010. – 560 с.

22. Юрковская Т. К. Геоботаническое картографирование и составление аналитических карт растительности / Т. К. Юрковская // Актуальные проблемы геоботаники. III Всероссийская школа-конференция. Лекции, 2007. – С. 43–71.

23. Юрковская Т.К. Карта растительности для Национального атласа России // Картография XXI века: теория, методы, практика: Докл. На II Всерос. науч. конф. по картографии, посвящ. памяти А. А. Лютого (Москва, 2–5 октября 2001 г.). М., 2001. С. 570–576.

24. Artemeva, O. V., Zareie, S., Elhaei, Y., Pozdnyakova, N. A., and Vasilev, N. D.: Using remote sensing data to create maps of vegetation and relief for natural resource management of a large administrative region, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-4/W18, 103–109, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-103-2019>, 2019

25. Huete, A. R. (1988) "A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)," *Remote Sensing of Environment*, vol. 25, pp. 295-309.

26. Kriegler, F. J., Malila, W. A., Nalepka, R. F., and Richardson, W. (1969)
"Preprocessing transformations and their effects on multispectral recognition, in _Proceedings of the Sixth International Symposium on Remote Sensing of Environment, University of Michigan, Ann Arbor, MI, pp.97-131.
27. Olga V. Artemeva, Natalia A. Pozdnyakova, Tatiana A. Andreeva, Sergei V. Tyurin, Nicolay D. Vasilev, Creation of algorithms for the automated constructing relief maps based on remote sensing data for a various morphostructural complexes of the Russian Federation // The 40th Asian Conference on Remote Sensing ACRS 2019 14-18 October, 2019. Daejeon Convention Center (DCC), Korea

Ресурсы сети Интернет:

28. <http://кбр07.рф/archives/2241> - Природа Кабардино-Балкарской Республики, 02.04.2020
29. <http://www.arz.unn.ru/> - Нижегородское краеведение – Растительность, 07.04.2020
30. <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/10.3/main/get-started/arcgis-tutorials.htm> - Руководство пользователя ArcGIS 01.05.2020
31. <http://www.dzz.ru/pages/what.htm> - Южный региональный информационно-аналитический центр, 15.04.2020
32. <https://earthexplorer.usgs.gov/> - Геологическая служба США, 28.04.2020
33. http://ecology.gpntb.ru/ecolibworld/project/regions_russia/north_caucasus/kabardino_bal k/ - Кабардино-Балкарская республика, 02.04.2020
34. http://ecology.gpntb.ru/ecolibworld/project/regions_russia/north_caucasus/Stavropol - Описание Ставропольского края, 05.04.2020
35. <https://eos.com/find-satellite/> - EOS Crop Monitoring, 02.05.2020
36. <https://www.esri-cis.ru> - ESRI CIS, 02.05.2020
37. <http://geochemland.ru/uploads/images/FGAM/066-067.jpg> - Карта растительности из Физико-географического Атлас мира(1964), 02.03.2020
38. https://gis-lab.info/qa.html#gis_data - Географические информационные системы и дистанционное зондирование, 02.05.2020
39. <https://gis-lab.info/qa/vi.html> - Вегетационные индексы, 25.03.2020
40. <http://gisgeo.org/data.html> - Портал пространственных данных GISGeo, 22.04.2020

41. <http://www.hintfox.com/article/relef-stavropolskogo-kraja.html> - Рельеф Ставропольского края, 05.04.2020
42. <http://kmvline.ru/lib/afov/1.php> - Туризм, отдых и лечение на Кавказе, 03.04.2020
43. <http://www.lesnoytur.ru/geographnn/rocva.htm> - Физическая география Нижегородского Поволжья, 06.04.2020
44. <http://www.mpr26.ru/about/biologicheskie-resursy/rastitelnyy-mir/> - Министерство ресурсов и охраны окружающей среды Ставропольского края, 05.04.2020
45. <http://www.nn-obl.ru/> - Сайт Нижнего Новгорода и Нижегородской области, 08.04.2020
46. <http://severnykavkaz.ru/> - Северный Кавказ, 08.04.2020
47. <https://www.soft.farm.ru/blog/vegetacionnye-indeksy-ndvi-evi-gndvi-cvi-true-color-140> - Вегетационные индексы NDVI, EVI, GNDVI, CVI, True color, 30.03.2020
48. https://spravochnik.ru/estestvoznaniye/estestvennaya_istoriya_pliniya/ - Естественная история Плиния, 15.02.2020
49. https://studopedia.ru/5_153397_rastitelnyy-mir.html - Растительный мир, 04.04.2020
50. <https://q-map.ru/карта-ботанических-областей-российс/#more-2064> - Карта ботанических областей Российской империи(1899 г.), 02.03.2020
51. <https://qgis.org/ru/site/> - Официальный сайт QGIS, 20.04.2020

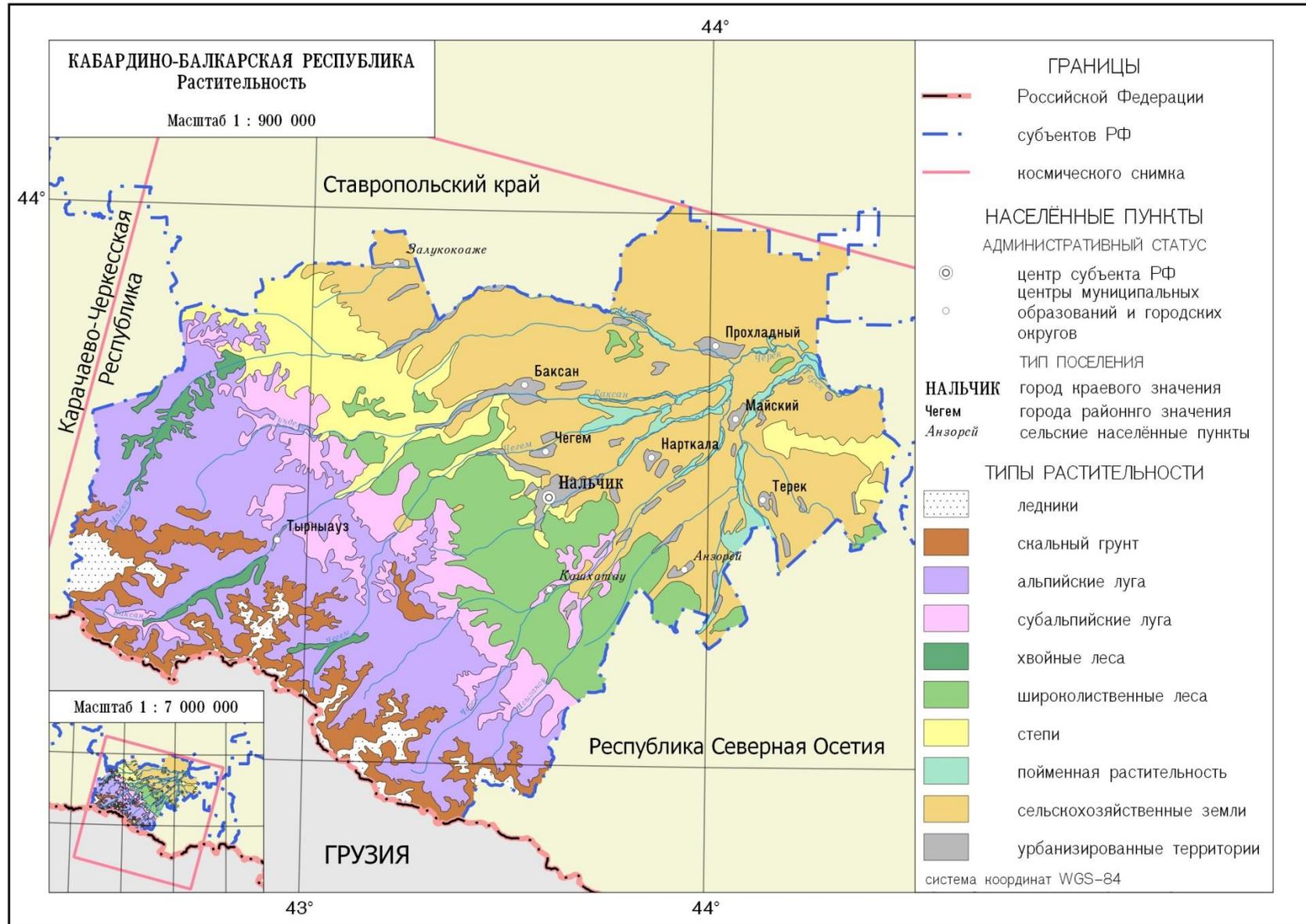
Картографические материалы:

52. Атлас Ставропольского края [Карты] / сост. и подгот. к изд ФГУП Сев-Кав АГП; ред. О.Г. Колодко. - Ставрополь : Сев-Кав АГП, 2010
53. studopedi [Карты] / сост. и подгот. к изд. Новосибирской карт. ф-кой Роскартографии в 1994-1997 гг.; отв. ред. Л.З. Елузова; текст д-р геогр. наук Р.А. Бураев (Борей). - Москва : Роскартография, 1997.
54. Геоботаническая карта СССР м. 1 : 4 000 000 / Под ред. Е. М. Лавренко и Б. Сочавы. М.; Л., 1954.
55. Карта растительности Европейской части СССР м. 1 : 2 500 000. М., 1976.
56. Растительность СССР. М. 1 : 4 000 000. Для высших учебных заведений. / Под ред. Н. М. Исаченко, В. В. Ладыгиной, Н. П. Липатовой. М., 1990.
57. Растительный покров СССР: Пояснительный текст к «Геоботанической карте СССР» М. 1 : 4 000 000. М.; Л., 1956. Т. 1, 2. 971 с.

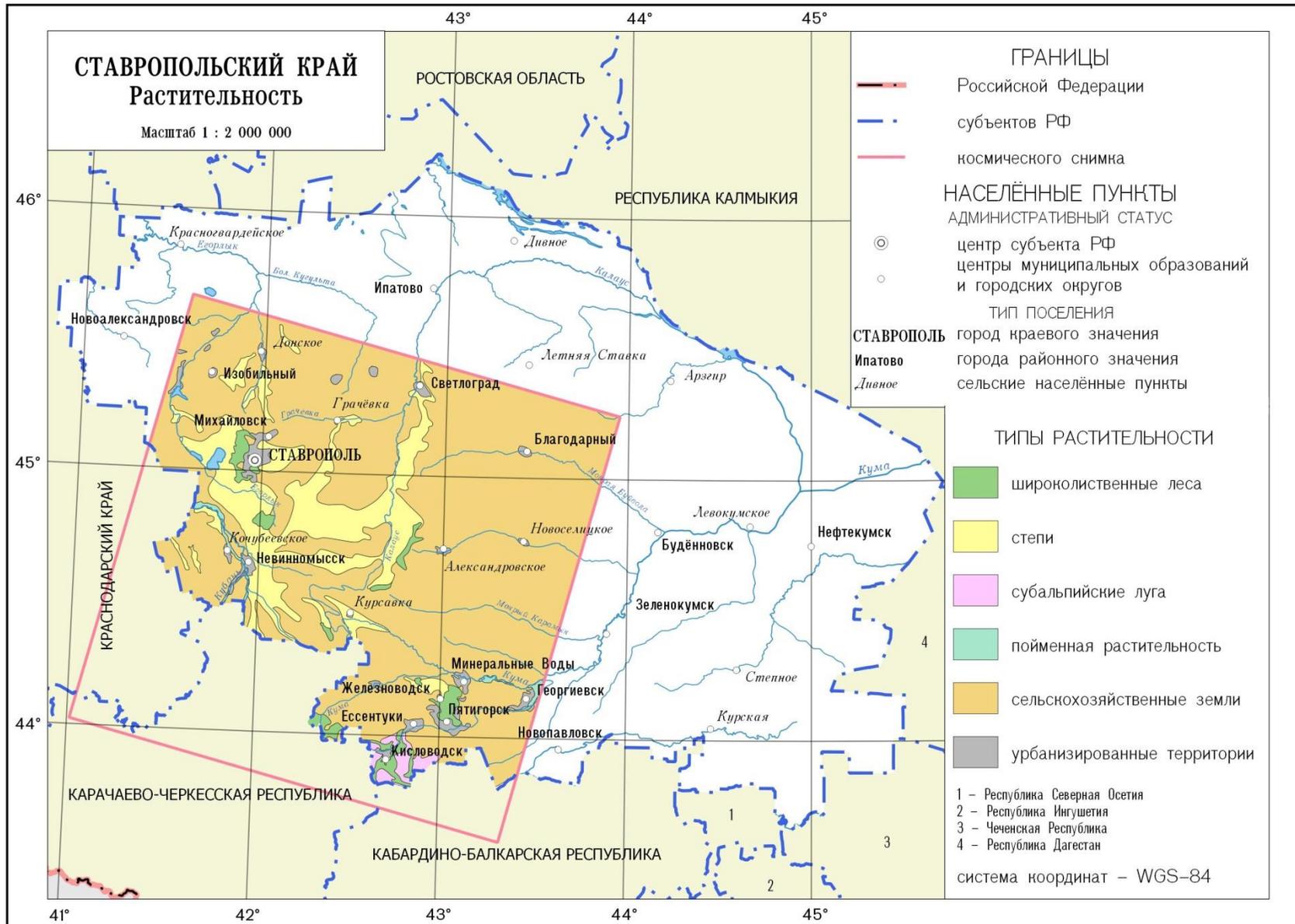
58. Национальный атлас России в четырех томах [Карты] / гл. редкол.: А.В. Бородко (пред.), В.В. Свешников (гл. ред.) и др. - Москва : Роскартография, 2004-2008.
59. Нижегородская область. Географический атлас / Мин-во образования Нижегород. обл. и др. ; Сост. и подгот. к изд. Верхневолжским АГП Роскартографии ; Ред. кол.: Г. С. Камерилова и др. - 3-е изд. перераб. и доп. - Нижний Новгород : Верхневолжское АГП Роскартографии, 2005.
60. Учебный географический атлас Ленинградской области и Санкт-Петербурга [Текст]. - Санкт-Петербург: Санкт-Петербургская картографическая фабрика ВСЕГЕИ: Петроградский и К`, 1997. - 32 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение №1. Карта растительности Кабардино-Балкарской республики.



Приложение №2. Карта растительности Ставропольского края.



Приложение №3. Карта растительности Нижегородской области.

