

## ЛИТЕРАТУРА

Воронина М.В., Хайбрахманов Т.С. Принципы составления веб-картографических материалов на основе геопортальной технологии Web-Geomixer // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы Международной конференции ИнтерКарто-ИнтерГИС-18. Смоленск, 26-28 июня 2012 г. – Смоленск, 2012. – С. 127-131.

Дубинин М.Ю., Костикова А.М. Веб-ГИС // Компьютерра, 2008. – № 33. – С. 52–66.

История развития технологий публикации геоданных в интернете [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://loi.sccc.ru/gis/inetgis/geowww.html>

Карпущин С.С. Географические основы единого геоинформационного пространства России // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы Международной конференции ИнтерКарто-ИнтерГИС-18. Смоленск, 26-28 июня 2012 г. – Смоленск, 2012. – С. 36-43.

Касьянова Е.Л., Кикин П.М. Мобильные ГИС в нефтегазовой отрасли // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 14/34. – С. 81–86.

Кацко С.Ю. Единое геоинформационное пространство – отражение нового уровня освоения окружающей среды // Устойчивое развитие территорий: теория ГИС и практический опыт. Материалы Международной конференции ИнтерКарто-ИнтерГИС-18. Смоленск, 26-28 июня 2012 г. – Смоленск, 2012. – С. 141-143.

Кикин П.М. Application of Tablet PC as GIS Client Platform for Emergency Management // Proceedings International Workshop «Early Warning and Crises/Disaster and Emergency Management», 28-29 апреля 2011 г. – Новосибирск, 2011. – С. 126–127.

Писарев, В.С., Кикин П.М. Мобильные устройства как средство принятия решения при возникновении кризисных ситуаций // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т., Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г. – Новосибирск: СГГА, 2012. Т. 3. – С. 211–214.

Жалковский Е.А., Халугин Е.И. и др. Цифровая картография и геоинформатика. Краткий терминологический словарь; под общей ред. Е. А. Жалковского. – М. : Картгеоцентр-Геодезиздат, 1999. – 46 с.

## **МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОННОЙ СИНТЕТИЧЕСКОЙ ЛАНДШАФТНОЙ КАРТЫ НА ОСНОВЕ КОСМИЧЕСКИХ СНИМКОВ**

*А. А. Ямашкин, С. А. Ямашкин*

*ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н. П. Огарева»*

*г. Саранск, Россия. yamash@smtp.ru*

# MATHEMATICAL AND CARTOGRAPHICAL MODELING OF ELECTRONIC SYNTHETIC LANDSCAPE MAP BASED ON SATELLITE IMAGES

*A. Yamashkin, S. Yamashkin*  
*Ogarev Mordovia State University*  
*Saransk city, Russia*

**Abstract.** The main idea of the article is to represent the methods of mathematical and cartographical modelling of electronic synthetic landscape map, based on multispectral satellite images. Much attention is given to analysis of landscape diversity by means of calculating the entropy, gradient, Laplacian, finite differences of brightness. Much attention is given to edge detection. It is spoken in detail about different vegetative indices. The importance of an integrated approach is shown.

Ландшафтные карты на протяжении длительного времени считались традиционным результатом исследований. Но в настоящее время стало очевидным, что «ландшафтная карта как научная модель должна не столько венчать исследование, сколько быть отправной базой для дальнейших изысканий» [Николаев, 1978, с. 58]. Она должна являться основой для геоэкологического анализа, оптимизации использования, охраны и преобразования культурных ландшафтов. Сложность реализации этих задач заключается в том, что до настоящего времени отсутствует общепринятая методика составления ландшафтных карт. В сложившихся в нашей стране ландшафтоведческих школах – московской, санкт-петербургской (ленинградской), воронежской, иркутской и других – сформировались собственные подходы к созданию ландшафтных карт. Вследствие этого их содержание и картографическое оформление существенно различаются.

Ландшафтная карта представляет собой научную модель земной поверхности, отображающую генезис, развитие, функционирование, размещение и пространственное соотношение природных и природно-производственных комплексов. Многолетний опыт составления ландшафтных карт для оценки геоэкологических ситуаций и планирования культурных ландшафтов показывает, что на этих картах помимо морфологической структуры ландшафтов и характеристик свойств природных территориальных комплексов необходимо отображать: техногенные комплексы и объекты, оказывающие воздействие на природные территориальные комплексы; характер техногенных воздействий геотехнических систем на природные территориальные комплексы; изменение природных территориальных комплексов под воздействием техногенных факторов; рекомендации по оптимизации природопользования и формированию культурного ландшафта.

Стремление охватить многообразие свойств современных антропогенных ландшафтов делает эти картографические произведения перегруженными и трудночитаемыми. Поэтому вся перечисленная выше информация отражается, как правило, на отдельных картах, что затрудняет комплексный анализ развития геоэкологических ситуаций. Перспективным направлением исследований является разработка электронных ландшафтных карт (ЭЛК), которые должны позволить: неограниченно развивать количество тематических слоев и содержание легенд; производить сопряженный анализ природных и производственных элементов; моделировать

развитие геоэкологических ситуаций; разрабатывать комплексы мероприятий по оптимизации функционирования культурных ландшафтов.

По способу составления ландшафтные карты могут быть подразделены на аналитические и синтетические. Сущность аналитического ландшафтного картографирования заключается в последовательном вынесении на картографическую основу информации о свойствах природных компонентов, с последующим сопряженным анализом с целью выделения геокомплексов. Синтетическое ландшафтное картографирование основывается на дешифрировании космических снимков.

**Основные объекты ландшафтных исследований.** При разработке ландшафтных планов или программ оптимизации хозяйственного использования территории важно учитывать соразмерность ее природной дифференциации, геотехнических систем и изучаемых геоэкологических процессов. Объяснение развития геоэкологических процессов на локальном уровне требует крупномасштабного ландшафтного картографирования. Региональные же процессы хозяйственного освоения, взаимодействие социально-экономических и природных факторов достаточно отчетливо проявляются при среднемасштабном ландшафтном картографировании. Например, при изучении региональных процессов освоения лесостепных и лесных ландшафтов Мордовии оптимальным оказался масштаб 1 : 200 000, а для изучения «естественных» и «преобразованных» геосистем карты в масштабах от 1 : 5 000 до 1 : 50 000.

При изучении небольших по площади территорий в качестве основной операционной единицы используется фация. Согласно Л. Г. Раменскому, фация это «мельчайшая единица ландшафта, однородные участки территории с одинаковыми экологическими режимами, населением (биоценозом), со сходным происхождением и возможностями дальнейшего развития» [1938, с. 340]. Близкое по смыслу определение дает Н. А. Солнцев. Он отмечает, что фация «должна обладать на всем своем пространстве одинаковой литологией, однообразным рельефом и получать одинаковое количество тепла и влаги... При таких условиях... на ее пространстве будет господствовать однообразный микроклимат, сформируется только один вид почвы и расположится только один биоценоз» [1948, с. 71]. Из приведенных определений следует, что главной причиной фациальной дифференциации служит изменение литогенной основы. Положение на элементах рельефа определяет типы водного и геохимического режимов, соотношение атмосферного, грунтового и натежного увлажнения, степень дренированности геокомплексов, преобладание выноса или аккумуляции подвижных химических элементов. Эти принципы классификации фаций, или «элементарных ландшафтов», были предложены Б. Б. Польшовым [1956], а в последующем дополнены М. А. Глазвской [1964].

Важнейшим объектом исследования на локальном и региональном уровнях является урочище, которое представляет собой «взаимосвязанный комплекс фаций, обособленный в природе в связи с неровностями рельефа, неоднородным составом грунтов, почв или хозяйственной деятельности человека» [Мильков, 1990, с. 157]. Обычно урочища классифицируются по сложности морфологического строения (простые и сложные), а также по месту в морфологической структуре (основные и дополняющие). Основные урочища, в свою очередь, подразделяются на фоновые и субдоминантные, а дополнительные – на редкие и урочища-одиночки. Пространственные вариации урочищ обычно определяются литогенной основой.

Наибольшее внимание при геоэкологической оценке территории и региональном ландшафтном планировании должно уделяться, на наш взгляд, географическим местностям,

хотя методические вопросы выделения этих морфологических единиц разработаны слабо. А. Г. Исаченко пишет, что «под “местностями” целесообразно понимать четко обособленные в орографическом профиле и сопряженные друг с другом комплексы урочищ...» [1960, с. 108]. Ландшафтные исследования показали, что местности отличаются не только природным единством, но и однотипностью хозяйственного использования. В связи с этим Ф. Н. Мильков отмечает, что тип местности – это «относительно равноценная с точки зрения хозяйственного использования территория, обладающая закономерным, только ей присущим сочетанием урочищ» [1990, с. 157]. В целом можно сформулировать следующее определение местностей: это природные территориальные комплексы, которые обособляются в орографическом профиле, отличаются определенным варьированием морфографических и морфометрических характеристик мезоформ рельефа, выраженными особенностями гидроклиматических процессов, структуры почвенного и растительного покрова и которым, как следствие, свойственна однотипность хозяйственного освоения и современного использования земель.

При систематизации и обобщении региональных закономерностей природной дифференциации и характера проявления геоэкологических процессов в качестве основного объекта исследования целесообразно использовать понятие «ландшафт» (физико-географический район). Наиболее полное определение этого термина было предложено Н. А. Солнцевым [1948б]. Он называет географическим ландшафтом такую систематически однородную территорию, на которой наблюдается закономерное и типическое повторение одних и тех же взаимосвязанных сочетаний: геологического строения, форм рельефа, поверхностных и подземных вод, микроклимата, почвенных разностей, фито- и зооценозов. Пространственная мозаика сочетаний определенных свойств природных компонентов образует морфологическую структуру ландшафта – систему соподчиненных местностей, урочищ и фаций. Их обособление, развитие и режим функционирования определяются перемещением вещества и энергии.

В зависимости от направленности исследования природные территориальные комплексы целесообразно соответствующим образом типизировать. Эти процедуры глубоко проработаны в трудах В. А. Николаева [1978, 2000]. Опыт региональных работ на территории Мордовии показал, что при средне- и крупномасштабном ландшафтном картографировании достаточно уверенно выделяются следующие категории:

– класс и подкласс, отражающие высотную ярусность ландшафтной оболочки; например, в классе равнинных ландшафтов выделяются подклассы возвышенных, низменных и низинных ландшафтов. Генетически обособленные подклассы равнин определяют не только характер рельефа, но и водный режим, особенности развития геохимических процессов, проявление географической зональности;

– тип и подтип, объединяемые по сходству почвенно-биоклиматических признаков на уровне типов почв и классов растительных формаций [Николаев, 1978, с. 13];

– род и подрод, выделяемые по морфологии и генезису рельефа, литологическому составу поверхностных отложений.

**Общая схема работ по составлению синтетической ландшафтной карты.** Независимо от последовательности операций, применяемых при выделении ПТК, важно не забывать, что «целое, в том числе любой природный территориальный комплекс, не простая сумма составляющих компонентов, а нечто качественно новое, со своими свойствами» [Николаев, 1978, с. 26]. Поэтому в поэтапном картографическом синтезе [Исаченко, 1976]

устанавливаются частные системы связи между природными компонентами, образующими геокомплексы.

Даже поверхностный анализ космических снимков позволяет определить особенности генезиса и эволюции геокомплексов, сопряженности морфологических единиц ландшафта, характер географического соседства природных территориальных комплексов. Так, наиболее общие закономерности ландшафтной дифференциации территории Мордовии проявляются в географическом положении на северо-западных склонах лесостепи Приволжской возвышенности и краевой части лесной провинции Окско-Донской низменности. Характерной чертой морфологической структуры ландшафтов является склоновая мезозональность ПТК (местностей, урочищ, фаций) от приводораздельных пространств к долинам средних и малых рек. Поиск закономерностей ландшафтной дифференциации на космических снимках значительно упрощается при вовлечении в анализ элементов гидрографической сети: тальвеги, ложбины стока, днища лощин, водосборные воронки, реки, ручьи, водосборные поверхности, западины, болота и заболоченные участки. Их исследование позволяет выявить латеральные сопряжения и средообразующую роль природных территориальных комплексов; уточнить границы урочищ и местностей.

Определенную специфику имеет составление ландшафтных карт в регионах активного техногенеза, например, на городских территориях. В этом случае полный анализ ПТК для составления ландшафтной карты проводится в прилегающей к городу зоне, а на городской территории устанавливается лишь структура литогенной основы ландшафтов. Завершающим звеном картографирования является экстраполяция полученных данных о взаимосвязях между природными компонентами в пригородной зоне на типы литогенной основы ландшафтов города.

Разработка синтетической ландшафтной карты в региональной ГИС сопряжена с формированием системы вспомогательных баз данных, которые несут информацию об особенностях строения литогенной основы; структуры почвенного покрова; растительности; хозяйственного освоения и использования.

*Литогенная основа* представляет собой абиотическую составляющую ландшафта, которая в значительной степени предопределяет его морфологическую структуру и развитие многообразных геодинамических процессов. Основными объектами исследований при изучении литогенной основы являются: горные породы, подземные воды, почвы, а также геохимические, геодинамические и другие процессы, происходящие в естественных и нарушенных условиях в верхней части геологического разреза. Нижняя граница литогенной основы (ландшафтной оболочки) проводится по подошве первого грунтового водного потока [Глазовская, 1964] или по первому региональному водопору. Эта граница часто совпадает с базисами эрозии местных элементов гидрографической сети.

В описании литогенной основы ПТК учитывались отложения, входящие в состав ландшафтной сферы. В легенде электронной ландшафтной карты (ЭЛК) Мордовии выделены: сильно выветренные кремнисто-карбонатные породы палеогена; сильно выветренные карбонатные породы верхнего мела; маломощные моренные суглинки на кремнисто-карбонатных породах палеогена; маломощные моренные суглинки на карбонатных породах верхнего мела; маломощные моренные суглинки на терригенных породах нижнего мела; моренные суглинки; озерно-ледниковые отложения; элювиальные суглинки на терригенных породах нижнего мела; делювиальные суглинки на терригенных породах нижнего мела; делювиальные

суглинки на карбонатных породах верхнего мела; делювиальные суглинки на терригенных породах нижнего мела и юры; маломощные флювиогляциальные отложения на днепровской морене; маломощные флювиогляциальные отложения на карбонатных породах каменноугольного возраста; маломощные флювиогляциальные отложения на терригенных породах нижнего мела и юры; эоловые пески; древнеаллювиальные отложения; древнеаллювиальные отложения на карбонатных породах каменноугольного возраста; древнеаллювиальные отложения на карбонатных породах верхнего мела.

При среднемасштабном ландшафтном картографировании генетическое разнообразие форм рельефа сведено в четыре группы: эрозионно-денудационные равнины; вторичные моренные равнины; водно-ледниковые равнины; долины. Особенности макрорельефа детализируются в процессе анализа и картографирования мезоформ. В морфологии ландшафта Мордовии выделяются следующие мезоформы рельефа: останцово-водораздельные массивы; волнистые, пологоволнистые поверхности водораздельных пространств; волнистые поверхности средних участков склонов; волнистые поверхности нижних (придолинных) склонов; низменные плоские слабоволнистые междуречные пространства; низменные плоские волнисто-эоловые поверхности; надпойменно-террасовые; поймы.

*Генетические варианты и сочетания вариантов почв в ПТК.* Взаимодействие литогенной основы ландшафтов с гидроклиматическими и биологическими процессами выражается в развитии определенных типов почвообразовательных процессов. Сравнительно-сопоставительный анализ структуры почвенного покрова и типов литогенной основы позволил провести следующую группировку почв: дерново-средне- и сильноподзолистые; дерново-слабоподзолистые; слабообразованные песчаные; светло-серые и серые лесные; темно-серые лесные и черноземы оподзоленные; черноземы выщелоченные, черноземно-луговые и луговые; аллювиальные. Механический состав почв в ландшафтной карте Мордовии передается тремя группами: глинистые и тяжелосуглинистые; средне- и легкосуглинистые; супесчаные и песчаные.

**Восстановленный растительный покров.** Зональные особенности региона определяют распространение на территории Мордовии: хвойных лесов; смешанных лесов; широколиственных лесов; кустарниковых степей; луговых степей; растительности пойм.

В качестве дополнительных характеристик, раскрывающих *особенности хозяйственного освоения и использования* природных комплексов в легенде ландшафтной карты раскрываются: глубина залегания и качество грунтовых и артезианских вод; вероятность проявления геолого-геоморфологических процессов; устойчивость почв к техногенному загрязнению; энергоемкость сельскохозяйственных земель.

Процесс создания синтетических ЭЛК карт основывается на инструментальном дешифрировании космических снимков. Основоположниками в разработке многих методов и алгоритмов, которые сейчас являются общеизвестными в области тематического картографирования, базирующегося на данных дистанционного зондирования, по праву считаются Дэвид Ландгребен и его коллеги, из лаборатории по вопросам использования дистанционного зондирования (The Laboratory for Applications of Remote Sensing - LARS) в университете Пердью [Landgrebe, 1986]. Во многих отношениях, данная область исследований берет свое начало из методов обработки сигналов 1950 и 1960 годов и их приложения к обработке графических данных. Импульс к развитию она получила вследствие роста интереса к задаче картографирования Луны и Земли, решение которой основывается не только на

использовании технологий визуализации, но так же и на методах обработки изображений и тематического картографирования [Castleman, 1979]. В настоящее время перед исследователем встает задача выбора наиболее подходящих материалов дистанционного зондирования при осуществлении тематического картографирования. Но, пожалуй, наибольшая проблема современных исследований в данной области заключается в получении практических методик для эффективного тематического картографирования, на основе данных смешанного типа, чтобы сделать возможным совместное изучение разносторонних и собранных воедино характеристик исследуемого участка поверхности [Richards, 2005]. Сейчас мы находимся на той стадии, когда имеем в своем распоряжении ряд успешных и широко применяемых аналитических методов анализа данных дистанционного зондирования. Так же мы обладаем избытком исходных данных, в отличие от ситуации, характерной для начала космической эпохи.

Основная задача инструментального дешифрирования заключается в классификации и идентификации объектов на космическом снимке, получении географической информации о каждом его пикселе. Необходим осознанный подход к выбору исходных данных и аналитических методов для создания качественной тематической карты. Актуален анализ не только свойств отдельно взятого пикселя, но и его окрестности (пространственного контекста), а так же текстуры региона, в которой этот пиксель находится. Кроме этого крайне полезна априорная вспомогательная информация о пикселе, получаемая на основании дополнительных знаний, например полевых ландшафтных исследований на эталонных полигонах.

Важной отправной точкой при решении задачи классификации данных ДЗЗ является обоснованный выбор источника и канала съемки, изображение которого будет подвергнуто анализу. Один пиксель съемки Landsat характеризует свойства и состояния геосистем размерности 30 м, что позволяет проводить картографирование морфологической структуры ландшафтов на фациальном уровне. Каждый из восьми спектральных диапазонов съемки Landsat 7 характеризует свойство фотографируемой поверхности отражать излучение определенной длины волны, благодаря чему по-разному выражаются свойства изучаемой поверхности и отчетливо выделяются различные ее участки. Выбор канала съемки обусловит расположение, характер и значение границ, которые будут выделены в ходе выполнения алгоритма оконтуривания территорий. Возможности комплексного дешифрирования значительно расширяются при использовании материалов многозональной съемки. Совокупность монохромных изображений нескольких спектральных диапазонов позволяет сформировать целостное представление о характере взаимосвязей между литогенной основой, гидроклиматогенными процессами и почвенно-биогенными компонентами. Обработка спектрально-зональной информации позволяет создавать разнообразные комбинации каналов съемки, которые подчеркивают особенности морфологической структуры ландшафтов. Так, например, комбинация каналов 4, 5, 3 используется для анализа влажности почв и состояния растительности, а 5, 4, 3 – для картографирования гидрографической сети. Каждый канал представляет интерес для решения конкретных задач тематического картографирования, целостное же представление о свойствах ландшафтов и их состояниях (погодных, сезонных, антропогенных) можно получить лишь на основе комплексного дешифрирования.

Космические снимки, как растровые изображения, характеризуются такими свойствами, как размерность (количество пикселей по горизонтали и вертикали), разрешение (величину, определяющую количество точек на единицу площади), глубину цвета (обуславливающую

множество цветов, которое может принимать пиксель изображения), цветовую модель (описывающую представление цветов в виде кортежа чисел, называемых цветовыми компонентами (RGB, CMYK)). Каждый пиксель изображения, независимо от цветовой модели и глубины цвета характеризуется такими величинами, как яркость, цветовой тон, насыщенность. На то, как отображается на снимке фотографируемая поверхность, влияет целый ряд факторов. Во-первых, обладая разнообразными физическими свойствами, различные поверхности по-разному отражают и поглощают свет. Во-вторых, значение имеет характеристика источника света. В-третьих, роль играет среда распространения излучения. Все вышеперечисленное определяет цвет света [Sharipo, 2001]. Проведя обратные рассуждения, логично предположить, что цветовые компоненты пикселя изображения в довольно высокой степени могут характеризовать физические свойства фотографируемой поверхности, источника и среды распространения излучения.

*Применение алгоритма выделения краев к решению задачи моделирования границ ландшафтов.* Для решения проблемы идентификации объектов на космическом снимке целесообразно прибегнуть к операции выделения контуров ПТК, которая, с определенной долей абстракции, может быть сведена к поиску краевых пикселей изображения, для которых свойственно сильно выраженное, скачкообразное изменение яркости. Такие краевые точки интересны по той причине, что резкие колебания часто характеризуют границы геосистем, места изменения отражательной способности поверхности.

В предварительной стадии выполнения алгоритма поиска границ, изображение необходимо подготовить. Во-первых, для повышения производительности вычислений, цветное изображение следует преобразовать в монохромное, серое. Например, при цветовой модели RGB, пиксель раstra характеризуется тремя цветовыми компонентами – красной, зеленой и синей. Пиксель изображения в градациях серого может описываться всего одним числом, яркостью, значение которой равно максимальной из цветовых компонент. Космические снимки Landsat 7 уже поставляются в виде множества монохромных изображений различных спектральных диапазонов. Во-вторых, проблему при определении краев создают шумы изображения – беспорядочные, не коррелирующие между собой изменения яркостей пикселей, усложняющие распознавание границ изображения ландшафтов. Шумовое воздействие напрямую может способствовать возникновению резких нежелательных колебаний яркости между соседними пикселями и, как следствие, выделению контуров там, где их быть не должно. В борьбе с шумом полезно сглаживание изображения, которое применяется для того, чтобы нивелировать нежелательные различия между яркостями соседних пикселей. Суть алгоритма сглаживания сводится к свертке двумерного массива яркости пикселей с фильтром, в качестве которого целесообразно использовать гауссово ядро [Forsyth, 1975]. При выборе параметра гауссова фильтра нужно стремиться к компромиссу, при котором усредненное значение пикселя размытого изображения будет в достаточной степени согласовано с соседями, благодаря чему уменьшится влияние шума, но в то же время сглаженный снимок не должен утратить значимых элементов.

В полученном на подготовительной стадии размытом монохромном космическом снимке можно начать поиск контуров ПТК. Для начала целесообразно вычислить значение и направление градиента яркости пикселей изображения. Решение этой задачи возможно через применение оператора Собеля к каждому пикселю раstra. Вычисленные значения показывают, насколько резко меняется яркость каждого пикселя раstra. Чем модуль значения градиента в



данной точке изображения выше, тем больше вероятность того, что она является граничной. Ориентация вектора градиента говорит нам о направлении наибольшего увеличения яркости. Далее, после вычисления градиентов изображения, целесообразно выполнить операцию подавления немаксимумов, предложенную Джоном Кэнни [Canny, 1986], в результате которой только локальные максимумы отмечаются как границы и края становятся более тонкими и менее размытыми. В ходе следующего шага все множество пикселей предполагается разделить на три категории: достоверно определяющие границу, требующие уточнения и подавляемые, для чего необходимо выполнить двойную пороговую фильтрацию. Чем меньше нижний порог, тем больше границ будет находиться, но и тем больше на конечный результат будет влиять шум. Наоборот, увеличивая нижний порог, мы рискуем потерять тонкие границы. От верхнего порога зависит, какой процент пикселей мы примем как достоверно граничные. Значения минимального и максимального порогов двойной пороговой фильтрации выбираются эмпирически, исходя из результата, полученного в результате предшествующих шагов алгоритма. На завершающем шаге алгоритма выполняется проверка неоднозначных пикселей, которые добавляются к достоверной границе в том случае, если они соприкасаются с ней по одному из 8-и (или 4-х) смежных направлений, иначе происходит подавление неоднозначной точки. По завершении данной операции мы получаем бинарное изображение, белым цветом на котором выделены краевые точки исследуемого космического снимка.

Выделенные комплексы в зависимости от целей исследования могут подвергаться типологической классификации с выделением классов, подклассов, групп, подгрупп, типов, подтипов, родов, подродов, видов и подвидов ландшафтов [Ямашкин, 2013б]. В качестве примера приведем схему типизации геокомплексов учебно-научного полигона «Смольный» на уровне родов (рисунок 1).

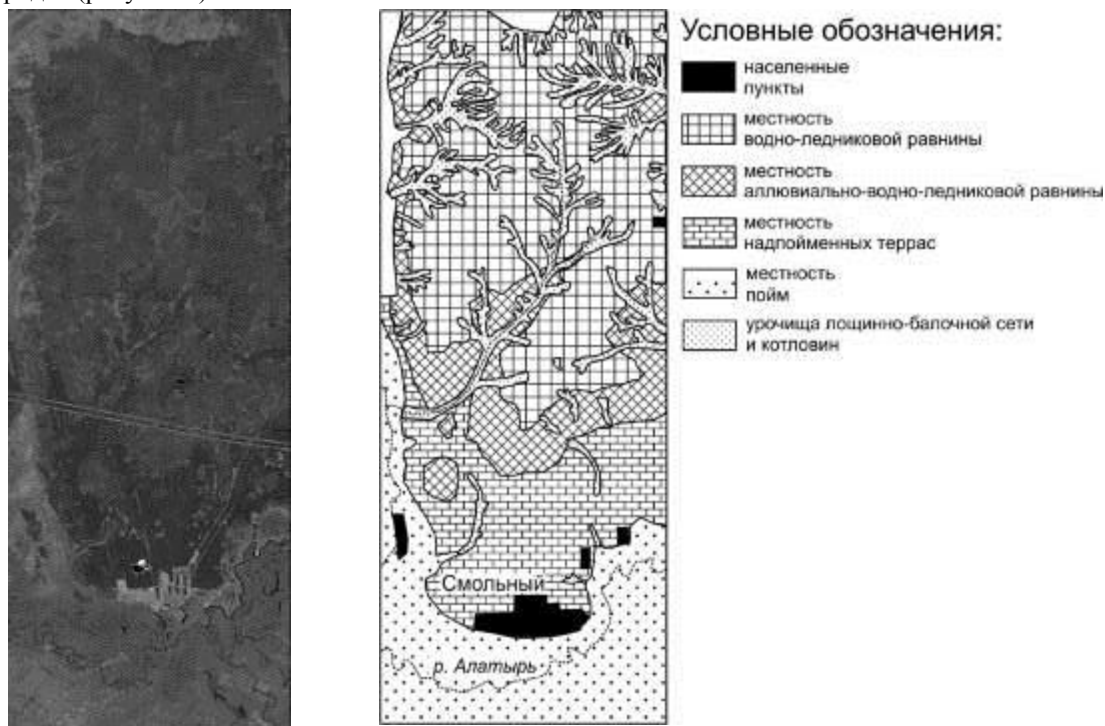


Рисунок 1 – Природные ландшафты учебно-научного полигона «Смольный»

Обобщая написанное выше, стоит выделить основные этапы рассмотренного алгоритма выделения границ: 1) подготовительные этап, включающий в себя: преобразование исследуемого изображения в монохромное; сглаживание изображения для удаления шума (задается радиус размытия); 2) вычисление градиентов пикселей изображения; 3) подавление немаксимумов; 4) двойная пороговая фильтрация; 5) проверка неоднозначных пикселей; 6) выделение полученных границ; 7) характеристика свойств ландшафтов. Важно отметить, что исследуемую область реального мира можно делить на районы различными способами, исходя из поставленной цели, в то время, как число границ, которые можно перенести на карту – ограничено [Арманд, 1975]. Представленный алгоритм позволяет вносить в процесс выделения границ элемент субъективности, путем регулирования входных параметров его выполнения, в зависимости от конечной цели, которую поставил эксперт.

**Методы анализа изменения яркости для выявления интервалов повышенного ландшафтного разнообразия.** По амплитуде изменения яркости соседних пикселей можно судить о степени ландшафтного разнообразия региона. На одних участках функция изменения яркости имеет достаточно сглаженный вид, в то время как на других наблюдаются резкие колебания ее значений. Изменение яркости отражает конечная разность первого порядка, вычисляемая как разность значений двух соседних отсчетов функции. Для этих целей информативен расчет значений лапласиана (в этом случае каждый элемент полученной последовательности равен разности среднего значения яркости соседних пикселей и яркости самого пикселя) и одномерного числового градиента. При анализе степени ландшафтной неоднородности необходимо смотреть, превышает ли на данном участке полученная последовательность определенное пороговое значение. Если это так, то можно считать, что данная часть отрезка обладает выраженной неоднородностью по отношению к более сглаженным участкам.

В качестве полигона для апробации данной методики использовался учебно-научный полигон бассейна р. Чеберчинка [Ямашкин, 2013а]. Анализ яркости космических снимков показывает, что взаимодействие гидроклиматических условий и литогенной основы определяет обособление в пределах ландшафтного профиля в бассейне р. Чеберчинка лесных и лугово-степных геокомплексов (Рисунок 2). На основании изучения последовательностей конечных разностей первого порядка, градиента и лапласиана были выделены интервалы повышенного ландшафтного разнообразия (Рисунок 3).

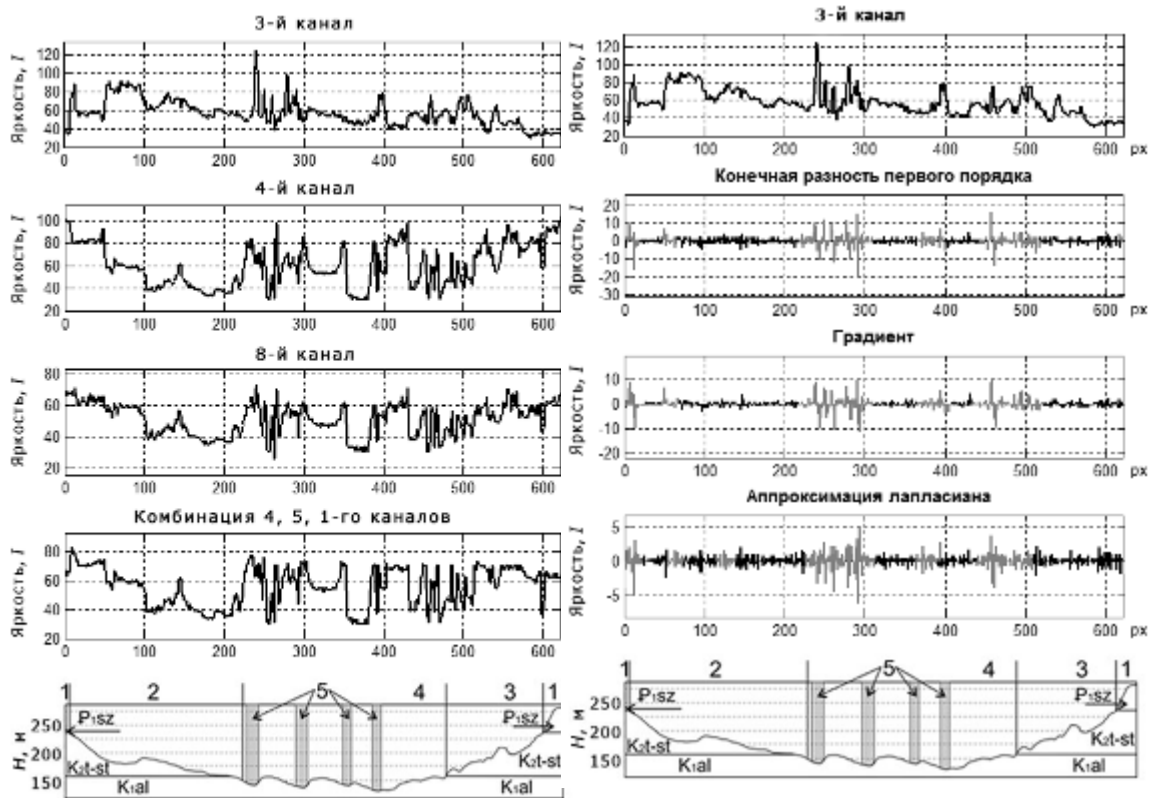


Рисунок 2 – Чеберчинский полигон: K1al – альбский ярус нижнего мела – глины, алевролиты, пески, песчаники; K2t-st – туронский, коньякский и сантонский ярусы верхнего мела – мергели, мел, глины, песчаники, опоки; P1sz – сызранская свита палеогена – опоки, пески, песчаники, алевроиты, диатомиты, трепела. 1 – 5 – географические урочища.

Рисунок 3 – Выделение неоднородных участков на основании анализа последовательностей конечных разностей, градиента и лапласиана. 1 – 5 – географические урочища.

В зависимости от характера литогенной основы формируется следующая система урочищ (рис. 2, 3): 1) останцово-водораздельные массивы с серыми лесными щебнистыми почвами под широколиственными лесами, имеющие сравнительно простую морфологию и легко опознаются на снимках по крупным эрозионным останцам, расчлененным узкими и глубокими эрозионными формами рельефа; 2) пологоволнистые средние участки склонов с темно-серыми лесными почвами, которые дешифрируются по общему уменьшению яркости мозаичного ландшафтного рисунка; 3) пологонаклонные и крутые склоны преимущественно южных и западных экспозиций, характеризующиеся сильноразветвленной эрозионной сетью, распространением темно-серых, в различной степени смытых почв; 4) нижние придолинские склоны с выщелоченными черноземами под луговыми степями, для которых характерен наиболее темный тон изображения. 5) пойменные геоккомплексы обособляются по характерной форме речных долин и по рисунку фотоизображения, опознаются по характерному рисунку элементов строения поймы – русло, старичные понижения.

Высокий линейный коэффициент корреляции, близкий к единице, свойствен для каждой пары характеризующих последовательностей (конечных разностей, лапласиана и градиента). Это показывает, что три используемых метода дают схожий результат при применении их в

рамках трех спектральных диапазонов, позволяют выделить сходные результаты по оценке ландшафтного разнообразия и могут быть использованы для составления ландшафтных карт.

**Методика выделения границ ландшафтов с применением анализа пространственного контекста.** Еще один прием, предлагаемый в статье, основывается на утверждении о том, что при анализе космических снимков для целей ландшафтно-экологического картографирования и оценки ландшафтного разнообразия имеет смысл учитывать не только яркость отдельно взятого элементарного участка и его непосредственных соседей, но и характеристику его окрестности [Пузаченко, 2002] – степень разнообразия входящих в нее пикселей и перепады яркости. Размер окрестности выбирается в зависимости от иерархического уровня ландшафтной дифференциации. Для начала необходимо получить двумерную матрицу яркостей, каждый элемент которой обозначает яркость отдельно взятого пикселя изображения. На основе матрицы яркости строится матрица классов, в ячейки которой записывается класс, к которому относится пиксель. Если выбран размер класса, равный  $n$ , то пиксели с яркостью от 0 до  $(n-1)$  войдут в 1-й класс, от  $n$  до  $(2n-1)$  – во 2-й и так далее. Размер класса подбирается так, чтобы неоднородные участки и границы природных объектов выделялись максимально четко. Вычисляемая матрица неоднородности имеет ту же размерность, что и матрица классов. Значение ее элемента зависит от яркости соответствующего пикселя и разнообразия яркости пикселей окрестности.

В качестве меры неоднородности и непредсказуемости логично выбрать информационную энтропию, которая тем больше, чем больше разнообразие яркостей пикселей, входящих в окрестность. Наибольшее значение она достигнет, когда в окрестности с равной вероятностью представлены пиксели всех классов. И наоборот, если в окрестности присутствуют пиксели только одного класса, то энтропия равна нулю. Таким образом, матрица неоднородности выступает характеристикой ландшафтного разнообразия изучаемого участка земной поверхности. Особенно ярко выделяются границы природных объектов. Для ее анализа удобно графически представить распределение неоднородности изучаемого полигона. Радиус окрестности выбирается в зависимости от уровня иерархии исследуемых ландшафтов, а размер класса подбирается так, чтобы неоднородные участки и границы природных объектов выделялись максимально четко.

Описанная выше методика апробирована при исследовании ландшафтного разнообразия учебно-научного полигона Инерка [Ямашкин, 2013в]. В третьем спектральном диапазоне колебанием яркости выделяются граница широколиственного леса на останцово-водораздельном массиве и дорога, что отмечается закономерными скачками значений энтропии. Восточнее четко определяется лесополоса, представляющая собой границу сельскохозяйственного угодья. Наконец, наиболее значительным колебанием яркости характеризуется участок закопанного русла между рекой Сурой и озером Инерка. Водные объекты, напротив, имеют значительно меньшую яркость. Именно благодаря этому резкими колебаниями энтропии выделяются границы озера и реки. В остальном же линия профиля характеризуется отсутствием колебаний энтропии и, следовательно, однородностью.

В рамках четвертого канала наблюдается уже несколько иная закономерность – высокие значения яркости характерны для участков 1 и 2. Они же являются наиболее однородными, что отмечается отсутствием колебаний энтропии. Пиксели области 3а и 3б имеют меньшую яркость, значения которой, однако, довольно сильно колеблются, что отмечается на графике изменения

энтропии. Стоит также отметить тот факт, что колебания яркости в четвертом спектральном диапазоне в довольно высокой степени коррелируют со значениями абсолютных высот.

В восьмом спектральном диапазоне, подобно третьему, однороден участок 3б. Даже границы сельскохозяйственных угодий не выделяется колебанием энтропии. Напротив, на участке 1 на востоке заметно определяется переход между областями широколиственного леса, имеющими различный возраст. Достаточно четко представлен контраст между темными пикселями водных объектов реки Суры и озера Инерка и светлыми пикселями песчаной границы, выраженный в скачках значений энтропии.

Для комбинации 4, 5, 1-го каналов характерно наличие колебаний энтропии на протяжении всего изучаемого отрезка. В отличие от 3, 4 и 8-го каналов, где по закономерным скачкам энтропии мы могли выделить области достаточно высокого уровня иерархии, на данной комбинации заметны границы более мелких природных объектов. Это характерно как для хвойных и широколиственных лесов, так и для не покрытых растительностью пойменных участков (Рисунок 4).

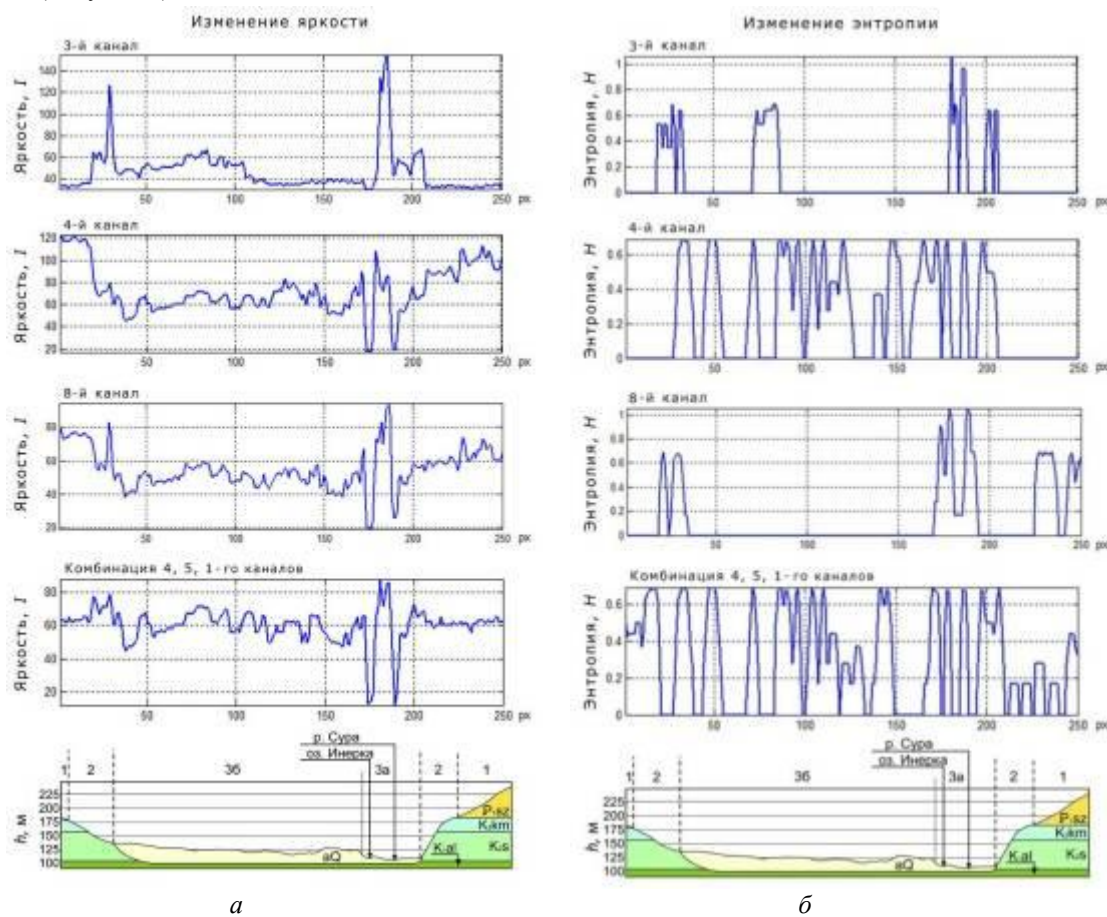


Рисунок 4 – Изменение яркости (а) и энтропии (б) изображения долинного ландшафта полигона «Инерка»:  $K_1 al$  – альбский ярус нижнего мела – глины, алевролиты, пески, песчаники;  $K_2 st$  – сантонский ярус верхнего мела – мергели, мел, глины, опоки;  $K_2 kt$  – кампанский ярус верхнего мела – мергели, мел, глины, пески;  $P_1 sz$  – сызранская свита палеогена – опоки, пески, песчаники, алевролиты, диатомиты, трепела;  $aQ$  – аллювиальные четвертичные отложения. 1 – останцово-водораздельные массивы; 2 – склоны; 3а – пойма; 3б – надпойменные террасы

Результаты дешифрирования космических снимков с использованием методики пространственного анализа контекста, путем вычисления информационной энтропии, позволили

осуществить тематическое картографирование исследуемой территории и создать ландшафтную карту полигона «Инерка».

***Применение вегетативных индексов для анализа состояния лесных ландшафтов.***

Значительный интерес при ландшафтном картографировании представляет использование так называемых вегетативных индексов. Особенно это актуально при выделении типов и подтипов ландшафтов (выделяемых по почвенно-биологическим признакам) и их антропогенных модификаций. Это определяется тем, что растительный покров по-разному отражает и поглощает свет разной длины. Красная зона спектра солнечного света характеризуется максимальным поглощением излучения хлорофиллом, а ближнее инфракрасное излучение, напротив, сильно отражается листом.

Вегетативные индексы, полученные на основе сопоставления многоспектральных данных дистанционного зондирования [Willem, 2006], широко используются в разнообразных научных исследованиях, направленных на оценку биомассы или состояния растительности. Чем сильнее в данной точке снимка отражается ближнее инфракрасное излучение и поглощается свет красной зоны спектра, тем активнее на изображаемом участке земной поверхности происходит процесс фотосинтеза. Логично предположить, что отношение значений этих двух показателей позволяет с высокой долей правдоподобия отличить коренные ландшафты, их антропогенные модификации, а следовательно свойства деципиентных компонентов – горных пород, почв, вод.

где БИК, К – коэффициент отражения излучения соответственно ближнего инфракрасного и красного спектрального диапазона в данной точке поверхности.

Вегетативный индекс вычисляется отдельно для каждого пикселя многоспектрального космического снимка, как отношение соответствующих яркостей пикселей фотоизображений инфракрасного и красного диапазонов. Недостатком такого индекса является то, что для случая, когда коэффициенты отражения двух спектров кардинально различны, их отношение может быть либо слишком маленьким, либо, наоборот, чрезмерно высоким. Именно поэтому, популярностью пользуется модифицированный показатель – нормализованный разностный вегетативный индекс (НРВИ).

$$\text{НРВИ} = \frac{\text{БИК} - \text{К}}{\text{К} + \text{БИК}}$$

Этот индекс так же удобен для анализа состояния ландшафтов. Кроме этого, множество принимаемых им значений ограничено интервалом  $[-1; +1]$ , что увеличивает точность измерений, и само по себе очень удобно. Для ландшафтов с коренной растительностью НРВИ принимает положительные значения, которое тем больше, чем выше зеленая фитомасса. Кроме этого, на значение индекса влияет тип растительности, ее плотность, состояние, тип почвенного покрова на котором она произрастает. Все это делает данный показатель очень удобным при оценке состояния растительности на исследуемой территории. Для получения карты нормированного разностного вегетативного индекса необходимо рассчитать значения НРВИ для каждого пикселя изображения. Анализ построенной НРВИ карты позволяет определять свойства растительного покрова, его состояние, проводить оценку его изменения во времени с целью составления прогноза.

Несмотря на обозначенные преимущества, вегетативные индексы обладают и некоторыми недостатками. Данные показатели в определенной степени зависят от условий съемки, состояния атмосферы, типа сенсора. Поэтому, полученные в результате дистанционного зондирования значения должны анализироваться вместе с данными, полученными в результате полевых работ. Построенная на основе вычисления вегетативного индекса НРВИ карта позволяет выделить на изучаемом полигоне участки с различной плотностью фитомассы.

Расширенный вегетативный индекс (РВИ) – еще один усовершенствованный показатель, обеспечивающий более высокую чувствительность для областей, содержащих высокий объем биомассы. Он так же менее чувствителен к атмосферному воздействию, чем нормализованный разностный вегетативный индекс. Для его вычисления необходимо воспользоваться следующей формулой:

Можно заметить, что кроме красной и ближней инфракрасной здесь анализируется так же синяя (С) составляющая спектра (первый спектральный диапазон съемки Landsat-7).

$$k_{1,2}$$

Коэффициенты  $k_{1,2}$  введены для того, чтобы можно было гибко регулировать влияние значений яркости изображений красного и синего спектральных диапазонов на конечный результат.  $G$  – коэффициент усиления (масштабирования). Его изменение позволяет регулировать максимальное значение РВИ показателя, а следовательно увеличивать и уменьшать число принимаемых им промежуточных значений для повышения наглядности результата. Основываясь на вычисленных для каждого пикселя снимка РВИ показателях можно, аналогично, построить РВИ карту исследуемой местности, по которой можно судить о типах и состоянии растительности на изучаемой территории. Если провести комплексный анализ данных ДЗЗ, взятых в разные временные отсчеты, то можно выявить закономерности в изменении свойств фитомассы за исследуемый промежуток времени. В данном контексте, актуальной задачей видится определение степени выгорания лесов вследствие пожаров, с целью принятия важных управленческих решений для охраны окружающей среды.

Все описанные методики с успехом могут применяться для решения задачи поиска, идентификации и анализа структуры ландшафтов и их границ. Синтетические ЭЛК, основанные на инструментальном дешифрировании космических снимков, призваны вобрать в себя достоинства традиционных ландшафтных карт и стать центральными ядрами в региональных ГИС.

**Основные режимы работы с электронной картой Мордовии.** Для более эффективного геоэкологического анализа общенаучная ЭЛК была интегрирована с дополнительными базами данных ГИС «Мордовия». Программные модули, поддерживающие ЭДК, обеспечивают послойный вывод на экран дисплея карты или ее фрагментов в соответствующем масштабе, редактирование карты, вычисление отмеченных длин и площадей, вывод на карту информации из подключаемых баз данных, получение сведений по отдельным точкам из подключенной базы данных, статистическую обработку информации по группе точек, попадающих на отмеченную

площадь, связь видов графической заливки с набором легенд, лексический поиск по подключенным базам данных и файлам легенд.

Основные режимы работы с электронной картой Мордовии – это «Карта» и «Картографический анализ». В режиме «Карта» производятся: запись текущих координат с комментариями пользователя в файл-дневник сеанса; нанесение на карту масштабной сетки; выбор базы данных; отбор графических слоев, выводимых на карту; отбор текстовых слоев, выводимых на карту; обновление текущего фрагмента карты; распечатка текущего фрагмента карты; настройка параметров редактирования карты; настройка параметров нанесения надписей на карту; нанесение графических элементов на карту; нанесение надписей на карту; выделение произвольных участков карты с целью их дальнейшего статистического анализа.

ЭЛК Мордовии обеспечивает следующие способы анализа геоэкологических ситуаций: точечный анализ, визуализацию на основе градуируемых пользователем шкал для различных показателей, статистический анализ по выделенным областям, комплексную характеристику отдельных видов ландшафта в рамках изучаемой территории.

Указанные приемы анализа ЭЛК весьма ценны, даже если используются в отдельности. Но еще большее значение имеет их комплексное применение, позволяющее при должном комбинировании этих приемов получить всестороннюю характеристику реальных процессов, протекающих на изучаемой территории. При этом значительно упрощается выявление сложных закономерностей и взаимосвязей между отдельными природными и социальными явлениями и оптимизируется составление рукописных аналитических карт, отражающих эти взаимосвязи и закономерности.

#### **Библиографический список**

1. Арманд Д. Л. Наука о ландшафте (Основы теории и логико-математические методы) / Д. Л. Арманд. – М: Мысль, 1975.
2. Глазовская М. А. Геохимические основы типологии и методики исследования природных ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. 230 с.
3. Исаченко А. Г. Понятие "тип местности" в физической географии (в связи с вопросами ландшафтной систематики и картирования) // Вестн. Ленингр. ун-та. Сер. геологии и геогр. 1960. № 12. С. 100 – 109.
4. Исаченко А. Г. Синтетическое картографирование природных объектов / А. Г. Исаченко, Т. И. Исаченко // Синтез в картографии. М., 1976. С. 28 – 38.
5. Мильков Ф. Н. Общее землеведение. М.: Высш. шк., 1990. 336 с.
6. Николаев В. А. Классификация и мелкомасштабное картографирование ландшафтов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 62 с.
7. Николаев В. А. Ландшафтоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2000. 94 с.
8. Пузаченко Ю. Г., Дьяконов К.Н., Алещенко Г.М. Разнообразие ландшафта и методы его измерения // География и мониторинг биоразнообразия. М. : Изд-во НУМЦ, 2002. – 253 с.
9. Польшов Б. Б. Геохимические ландшафты: Избр. тр. М.: Изд-во АН СССР, 1956. 494 с.
10. Раменский Л. Г. Введение в почвенно-геоботаническое исследование земель. М.: Сельхозгиз, 1938. 619 с.
11. Солнцев Н. А. Природный географический ландшафт и некоторые его общие закономерности // Тр. II Всесоюз. геогр. съезда: В 2 т. М., 1948. Т. 1. С. 258 – 269.
12. Canny J. A Computational Approach to Edge Detection / IEEE Transactions on Pattern



Analysis and Machine Intelligence, vol. PAMI-8, №6, November 1986.

13. Ямашкин А. А., Ямашкин С. А., Кликунов А. А. Применение ГИС в анализе морфологической структуры ландшафтов. Вестник Удмуртского университета. 2013а. № 6-3. С. 115-122.

14. Ямашкин А. А., Ямашкин С. А. Применение алгоритма выделения краев к решению задачи моделирования границ ландшафтов. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология. 2013б. № 2. С. 28-34.

15. Ямашкин А. А., Ямашкин С. А. ГИС-моделирование ландшафтного разнообразия. Геодезия и картография. 2013в. № 11. С. 40-45.

16. Castleman K. R. Digital Image Processing, 1st ed. Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1979.

17. Forsyth D. Computer Vision: A Modern Approach 1st Edition / D. Forsyth, J. Ponce / Prentice Hall, 2002.

18. Landgrebe D. A. (1986) A brief history of the Laboratory for Applications of Remote Sensing (LARS). Web: [www.lars.purdue.edu/home/LARSHistory.html](http://www.lars.purdue.edu/home/LARSHistory.html)

19. Richards J. A. Analysis of Remotely Sensed Data: The Formative Decades and the Future // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 43, no. 3, March 2005.

20. Shapiro L. G. Computer Vision / L. G. Shapiro, G. C. Stockman. Prentice Hall, 2001.

21. Willem J. D. Spectral Vegetation Indices and Uncertainty: Insights From a User's Perspective // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 44, no. 7, July 2006.

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИКО-КАРТОГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОЦИАЛЬНОЙ КОМФОРТНОСТИ ПРОЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ (НА ПРИМЕРЕ ПРИВОЛЖСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА)**

*Н. Г. Ивлиева, М. А. Скворцова, В. Ф. Манухов, Т. А. Долгачева  
Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарева  
Саранск, Россия  
E-mail: gkg\_mrsu@mail.ru*

## **APPLICATION OF MATHEMATICAL-CARTOGRAPHIC MODELLING FOR THE ASSESSMENT OF SOCIAL COMFORT RESIDENCE OF THE POPULATION (ON THE EXAMPLE OF THE VOLGA FEDERAL DISTRICT)**

*N. G. Ivlieva, M. A. Skvorcova, V.F. Manukhov, T. A. Dolgacheva  
Mordovia N.P. Ogarev state university, Saransk, Russia  
e-mail: gkg\_mrsu@mail.ru*

**Abstract.** The results of modelling of synthetic estimated characteristics of social comfort of residence of the population are presented in the article. Application of GIS-technologies has allowed to construct a number of the maps demonstratively characterizing various aspects of social comfort.