



## ГЕОГРАФО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОЦЕНКЕ И ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ЛЕСНЫХ РЕСУРСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

**В. В. ФОМИН,**

**доктор биологических наук, доцент,**

**С. В. ЗАЛЕСОВ,**

**доктор сельскохозяйственных наук, профессор,**

**Уральский государственный лесотехнический университет**

(620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37; тел.: 8 (343) 254-63-24; e-mail: zalesov@usfeu.ru)

*Ключевые слова:* лесные насаждения, древостои, цифровая модель рельефа, космические снимки, пространственный анализ, географо-генетическая классификация типов леса, лесоустройство.

Приведен анализ возможности усовершенствования лесоустроительных работ на основе географо-генетической классификации типов леса Б. А. Ивашкевича — Б. П. Колесникова и современных методов пространственного анализа в геоинформационных системах и системах обработки данных дистанционного зондирования. Предлагается разработать алгоритмы автоматизированного определения лесорастительных условий в ГИС на основе анализа цифровой модели рельефа и создать алгоритмы автоматизированного выделения типичных паттернов, характеризующих однородные по составу и густоте участки леса, с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения. Классификационные схемы географо-генетической типологии Б. А. Ивашкевича — Б. П. Колесникова предлагается доработать с учетом антропогенных воздействий на леса. Направление и характер сукцессий, приведенных в лесотипологических схемах географо-генетической классификации, в сочетании с планируемыми лесохозяйственными мероприятиями, позволяют создавать прогнозные сценарии динамики лесов и осуществлять долгосрочное планирование развития лесного хозяйства отдельных регионов. Приведена обобщенная схема, иллюстрирующая предлагаемый подход к автоматизации этапов лесоустроительных работ и созданию прогнозных сценариев пространственно-временной динамики лесов в рамках географо-генетического подхода. Проведенный анализ современного состояния исследований в области создания лесотипологических схем для выделения типов леса в рамках географо-генетического подхода с использованием геоинформационных технологий позволил определить несколько направлений перспективных исследований в области совершенствования технологии лесоустроительных работ.

## GEOGRAPHIC AND GENETIC APPROACH TO THE EVALUATION AND PREDICTION OF FOREST RESOURCES USING GIS-TECHNOLOGIES

**V. V. FOMIN,**

**doctor of biological sciences, associate professor,**

**S. V. ZALESOV,**

**doctor of agricultural sciences, professor, Ural state forest engineering university**

(37 Sibirskiy tr. Str., 620100, Ekaterinburg; tel: (343) 254-63-24; e-mail: zalesov@usfeu.ru)

*Keywords:* forests, tree stands, digital relief model, satellite images, spatial analysis, geographical and genetic classification of forest types, forest management.

The possibilities of the technology improvement of forest management on basis of geographic and genetic forest typology by B. A. Ivashkevich — B. P. Kolesnikov, modern methods of spatial analysis in geoinformation systems and remote data analysis systems are analyzed. In particular, it is suggested to develop algorithms for automated allocation of forest conditions in a GIS-based analysis using digital relief model, and algorithms for automated selection of typical forest cover patterns using satellite images with high spatial resolution. It is also proposed to refine on the classification schemes of geographic and genetic typology by B. A. Ivashkevich — B. P. Kolesnikov taking into account anthropogenic impacts on forest. Direction and nature of successions given in forest-typological schemes of geographical and genetic classification, in conjunction with planned forest management activities, can help to create forecast scenarios of forest dynamics and long-term planning of forestry development of individual regions. The generalized scheme is provided illustrating the suggested approach to automation of forest management activities and creation of forecast scenarios of forest spatio-temporal dynamics within the geographic and genetic approach. The carried-out analysis of the current state of research in the field of forest-typological schemes creation for allocation of forest types within the geographic and genetic approach using geographic information technologies has allowed to define some directions of advanced research aimed to improve the technology of forest management.

*Положительная рецензия представлена В. А. Усольцевым, доктором сельскохозяйственных наук, профессором факультета экономики и управления Уральского государственного лесотехнического университета.*



### Цель и методика исследований.

Использование лесной типологии, как научной основы для выделения лесных участков, однородных по комплексу экологических, биологических и лесохозяйственных признаков применяется на Среднем Урале с начала XX века [1]. Во второй половине XX столетия научным коллективом под руководством Б. П. Колесникова было проведено лесорастительное районирование и созданы схемы классификации типов лесорастительных условий и типов леса Свердловской области [1]. Данная типология была создана в рамках генетического подхода, разработанного на примере лесов Дальнего Востока и получившего дальнейшее развитие на Урале, в Казахстане и Сибири [2–6]. В настоящее время она активно используется при проведении лесоустроительных работ на территории Свердловской области.

В рамках географо-генетической классификации Ивашкевича-Колесникова «тип леса объединяет участки лесных фитоценозов с древостоями разного возраста, произрастающие в тех же типах лесорастительных условий, сходные по характеру морфогенеза доминантно-эдификаторных компонентов лесных биогеоценозов. В типе леса объединяются коренные и производные фитоценозы, если последние в процессе восстановления, формирования и дальнейших естественных изменений преобразуются в исходные — коренные» [5].

Комплекс компонентов лесного биогеоценоза и экологических факторов, которые определяют специфику условий месторождения (экотопа) являются элементарной начальной таксономической единицей классификационного ряда лесорастительных условий (ЛРУ). Типу лесорастительных условий соответствует совокупности лесных фитоценозов и лесных биогеоценозов с древостоями разного возраста, характеризующих сукцессионно-демутационные периоды и фазы морфогенеза, в фитоценологическом и биогеоценологическом рядах классификационной схемы соответственно [5]. Тип лесорастительных условий и лесообразователь формируют тип леса. Если типу лесорастительных условий соответствуют несколько лесообразователей, то возможно формирование нескольких типов леса, которые могут сменять друг друга во времени в соответствии с фитоценологическими свойствами эдификаторов, закономерностями лесообразовательного процесса и воздействия экзогенных факторов [5].

Современный уровень развития геоинформационных технологий позволяет количественно оценивать уровни действия экологических факторов на местности, большое разнообразие алгоритмов автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков в сочетании с детально описанными особенностями лесообразовательного процесса позволяют приступить к автоматизации отдельных этапов лесоустроительных работ в рамках географо-генетического подхода.

Несмотря на большое количество публикаций, посвященных совершенствованию классификационных схем, а также автоматизации определения типа лесорастительных условий на основе пространственных моделей в ГИС, следует отметить, что практических рекомендаций, пригодных для проведения лесоустроительных работ очень мало.

Цель работы — разработка рекомендаций для автоматизации этапов лесоустроительных работ с использованием геоинформационных технологий в рамках географо-генетической классификации типов леса Б. А. Ивашкевича — Б. П. Колесникова.

Для достижения поставленных целей был проведен анализ геоинформационных моделей с использованием цифровой модели рельефа, алгоритмов автоматизированного дешифрирования космических снимков высокого пространственного разрешения, лесотипологических классификационных схем и предложен подход к созданию технологии автоматизированного выделения однородных лесных участков, сценариев формирования и развития леса в рамках географо-генетической классификации типов леса.

### Результаты исследований.

Географичность географо-генетической классификации типов леса Б. А. Ивашкевича — Б. П. Колесникова заключается в том, что типологические схемы разрабатываются в пределах лесорастительных таксонов — лесорастительных подзон, областей, провинций, округов. Генетическая типология, как было описано ранее, заключается в том, что она охватывает все возрастные и восстановительные этапы развития леса, как коренных, так и производных типов. Другими словами, лес рассматривается в виде совокупности участков, где последующие этапы закладываются на предыдущих, то есть возрастные и восстановительные этапы находятся в генетической зависимости. В географо-генетической классификации тип леса — это, прежде всего, тип лесорастительных условий, который складывается из принадлежности участка к высотному поясу (положению над уровнем моря), крупным формам рельефа, режима увлажнения, приуроченности к элементам рельефа и почвам.

На рис. 1 приведена схема описаний лесорастительных условий и типов леса в географо-генетической классификации типов леса Ивашкевича-Колесникова [1]. На основе типа лесорастительных условий и одного или нескольких лесообразователей формируется один или несколько типов леса [5]. Для каждого типа леса характерны определенные сценарии смен древесных пород. Ряд характеристик экотопа — элементарной таксономической единицы, лежащей в основе типа лесорастительных условий, можно оценить с использованием пространственных моделей в ГИС, источником данных для которых является цифровая модель рельефа и векторные слои речной сети, а также объекты линейно-транспортной инфраструктуры.

В схемах классификации типов лесорастительных условий и типов леса, приведенных в работе Б. П. Колесникова с соавторами [1] указаны характеристики паловых вырубок. Мы предлагаем дополнить схему, представленную на рис. 1, дополнительной категорией — горячи. В результате лесного пожара происходит стирание лесной подстилки и повышается вероятность попадания семян на минерализованный горизонт почвы, обогащенный зольными элементами. На северных территориях, уничтожение подстилки лесным пожаром также способствует более глубокому оттаиванию почвы. Эти факторы способствуют успешности возобновления лесной растительности семенного происхождения. Можно предположить,



что на горях вероятность формирования коренного и условно-коренного типов леса должна возрастать.

Формирование коренных или условно-коренных типов леса в ходе ведения лесного хозяйства должно рассматриваться, в целом, как позитивный процесс, так как в этом случае древесная растительность наиболее приспособлена к условиям среды и, соответственно, такие насаждения являются, как правило, устойчивыми и высокопроизводительными. Исключением могут быть рекреационные леса, при формировании которых необходимо учитывать устойчивость насаждений к рекреационным нагрузкам и их эстетическую привлекательность. Коренные типы леса, например, ельники, по этим показателям уступают производным типам, например березнякам.

На рис. 2 приведена схема, иллюстрирующая получение набора растровых и векторных слоев в ГИС, которые могут быть использованы для определения границ экотопов. Выделение высотных классов с использованием цифровой модели рельефа, расчет экспозиции и крутизны склона, а также определение областей водосбора являются рутинными операциями в ГИС. Для оценки положения лесных участков в рельефе используются фокальные функции. Оценка степени увлажнения возможна на основе модели расчета топографического индекса влажности. Также достаточно давно разработаны геоинформационные модели для оценки величины прямой солнечной радиации, поступающей на земную поверхность.

Перечисленные выше характеристики можно использовать для выделения экотопов. Однако при использовании такого подхода возникает ряд методических трудностей. Первое затруднение связано с определением пороговых значений для сегментации геоинформационных растров на классы. Не всегда очевидно, какие значения можно использовать для выделения однородных областей на них. Второе затруднение связано с необходимостью генерализации полученных растров. Например, слой с величинами индекса топографической влажности имеет ярко выраженную мозаичную структуру с многочисленными мелкими элементами. Третье затруднение связано с тем, что при наложении геоинформационных слоев друг на друга, результирующий слой, который должен быть использован для выделения экотопов, может состоять из очень большого количества небольших по площади полигонов, формально отличающихся от соседних по одному или нескольким параметрам. Объединение таких участков в один, который характеризовал бы экотоп с точки зрения лесообразовательного процесса, требует разработки набора решающих правил.

Перечисленные выше трудности усугубляются тем, что с точки зрения географо-генетического подхода при выделении лесорастительных условий требуется информация о подстилающей горной породе и почвах. Не всегда возможно получить доступ к такой информации или таких данных может не быть в силу того, что на исследуемой территории работы по их получению не проводились. Все описанное выше, по-видимому, частично объясняют феномен относительно небольшого количества схем и таблиц для выделения типов леса и сценариев смен древесных пород в насаждениях, на вырубках и горях, пригодных для практического применения при проведении лесоустройства.

Необходимо отметить также и другой аспект проблемы выделения типа лесорастительных условий при наличии уже разработанных схем и таблиц, например, приведенных в работе Б. П. Колесникова с соавторами [1]. Во-первых, это проблема смысловой неоднозначности некоторых описаний, содержащихся в таблицах. Во-вторых, это проблема перевода качественных характеристик в пороговые значения или диапазоны значений растровых слоев для проведения автоматизированного анализа в ГИС или системах автоматизированной обработки ДДЗ.

При создании буферных слоев, приведенных на рис. 2, необходимо учитывать два аспекта. Первый связан с выделением экотопов. Например, выделение участков склонов вдоль реки. В этом случае размер буфера может изменяться в зависимости от крутизны склона. Второй аспект обусловлен необходимостью соблюдения требований нормативных актов, не относящихся к вопросам лесной типологии. Например, выделение водоохраных зон или полей санитарной охраны. Размеры буферных зон в этих случаях должны соответствовать значениям, указанным в нормативных документах.

Этап выделения на космических снимках лесных и нелесных земель сопряжен с решением одной из проблем, требующей своего решения — определения степени зарастания сельскохозяйственных земель древесной растительностью. Хорошо апробированных методик оценки густоты и встречаемости подроста на землях сельскохозяйственного пользования на основе анализа космических снимков высокого пространственного разрешения авторами не найдено.

На рис. 3 приведена схема, иллюстрирующая этап выделения с автоматизированным выделением на основе анализа характеристик лесного покрова, связанных с необходимостью генерализации полученных растров. Например, слой с величинами индекса топографической влажности имеет ярко выраженную мозаичную структуру с многочисленными мелкими элементами. Третье затруднение связано с тем, что при наложении геоинформационных слоев друг на друга, результирующий слой, который должен быть использован для выделения экотопов, может состоять из очень большого количества небольших по площади полигонов, формально отличающихся от соседних по одному или нескольким параметрам. Объединение таких участков в один, который характеризовал бы экотоп с точки зрения лесообразовательного процесса, требует разработки набора решающих правил.

Возможность создания прогнозных сценариев развития насаждений, приведенных в таблицах классификационной схемы типов леса, является одной из самых сильных сторон географо-генетического подхода. Е. П. Смолоногов предложил дополнить коротко-, длительно- и устойчиво производные насаждения еще одним типом — потенциально-коренными насаждениями [5]. Это насаждения, хозяйственные мероприятия в которых способствуют формированию насаждений близких к коренным. Если принять во внимание тот факт, что коренные насаждения — конечный этап лесовосстановительной динамики, то есть они максимально полно соответствуют условиям среды и находятся с ней в равновесном состоя-



Рисунок 1

Схема описаний лесорастительных условий и типов леса географо-генетической классификации типов леса Ивашкевича Колесникова. В данную схему предлагается добавить гари (выделено рамкой и точечной заливкой)

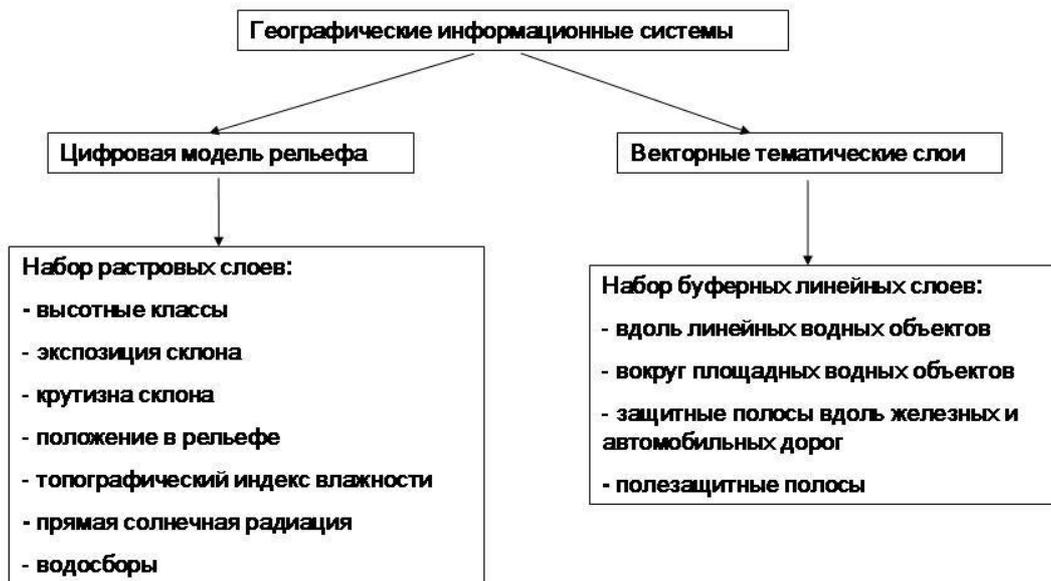


Рисунок 2

Схема, иллюстрирующая получение набора растровых и векторных слоев в ГИС, которые могут быть использованы для выделения экотопов

нии, то планирование лесохозяйственных мероприятий, способствующих формированию потенциально-коренных насаждений, являются одним из важных направлений исследований в области лесоведения и лесоводства.

Направление и характер сукцессий, приведенных в лесотипологических схемах географо-генетической классификации, в сочетании с планируемыми лесохозяйственными мероприятиями, позволяют создавать прогнозные сценарии динамики лесов и осуществлять долгосрочное планирование развития лесного хозяйства отдельных регионов (рис. 5). На рис. 6 приведена обобщенная схема, иллюстрирующая предлагаемый

подход к автоматизации этапов лесоустроительных работ и созданию прогнозных сценариев пространственно-временной динамики лесов в рамках географо-генетического подхода. В классификационной схеме, приведенной на рис. 1, кроме прямого воздействия человека на лес в виде рубок, другие антропогенные воздействия не учитываются. Поэтому оценка антропогенных факторов, например, действие аэропромышленных загрязнений на все компоненты лесных насаждений должны учитываться при создании классификационных схем.

Таким образом, проведенный выше анализ современного состояния исследований в области создания



Рисунок 3

Схема, иллюстрирующая этап работ, связанный с автоматизированным выделением паттернов, на основе анализа характеристик лесного полога на космических снимках высокого пространственного разрешения

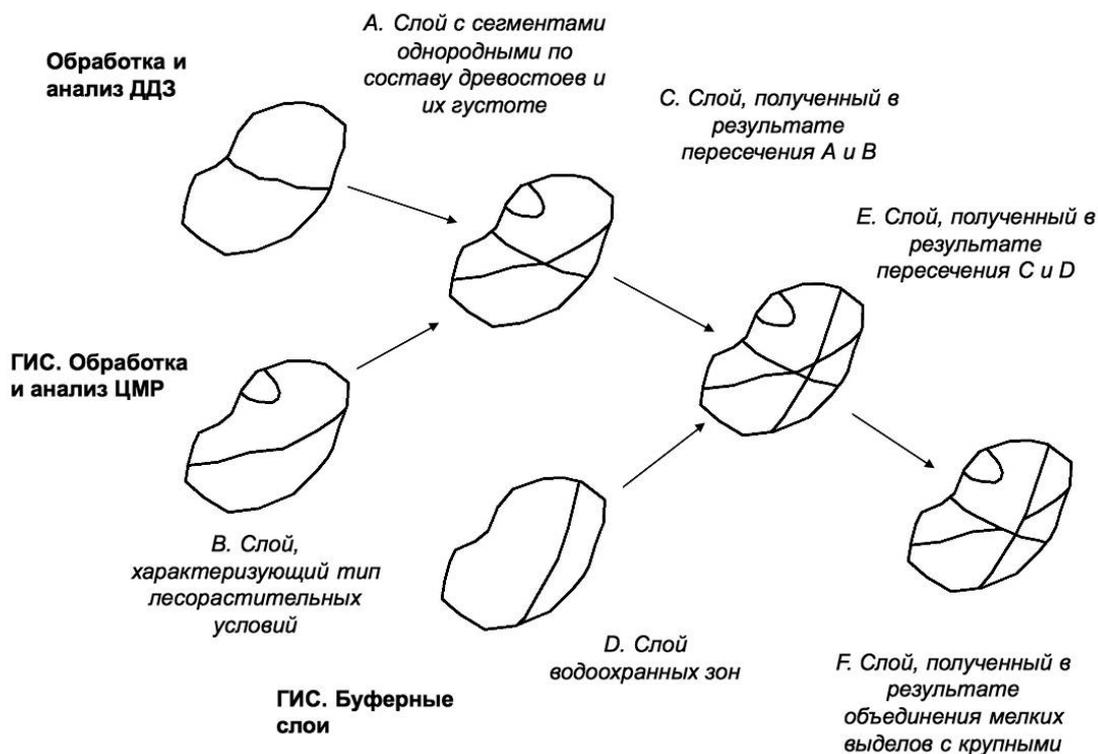


Рисунок 4

Схема обработки пространственных данных в геоинформационной системе и системе автоматизированного анализа данных дистанционного зондирования для получения границ лесных выделов



Рисунок 5  
Схема получения прогнозных сценариев динамики лесных насаждений

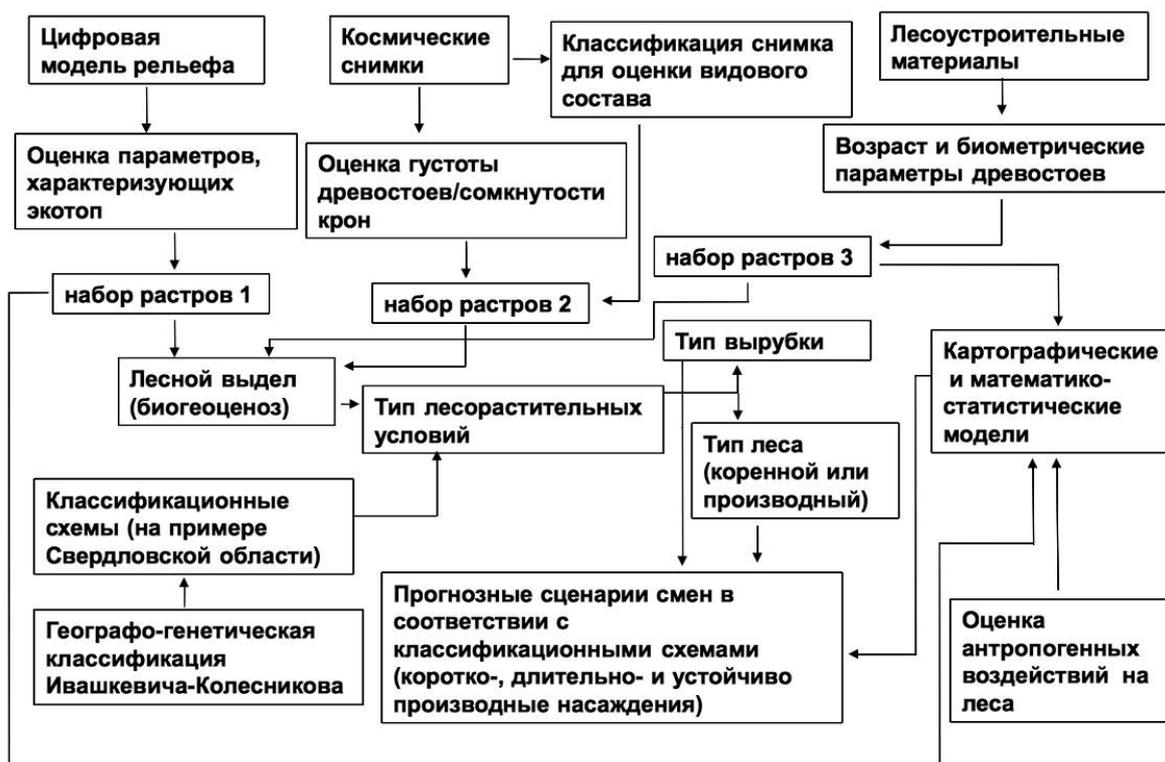


Рисунок 6  
Обобщенная схема, иллюстрирующая предлагаемый подход к автоматизации этапов лесохозяйственных работ и созданию прогнозных сценариев динамики лесов в рамках географо-генетического подхода



лесотипологических схем для выделения типов леса в рамках географо-генетического подхода с использованием геоинформационных технологий позволил определить несколько направлений перспективных исследований в области совершенствования технологии лесоустраительных работ:

— разработка алгоритмов автоматизированного выделения лесорастительных условий на основе анализа цифровой модели рельефа;

— разработка алгоритмов автоматизированного выделения типичных паттернов, характеризующих однородные по составу участки леса, и определения густоты древостоев с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения;

— разработка технологии оценки зарастания сельскохозяйственных земель древесной растительностью: разработка алгоритмов автоматизированной

оценки густоты и встречаемости подростка с использованием космических снимков высокого пространственного разрешения;

— доработка классификационных схем географо-генетической типологии Б. А. Ивашкевича — Б. П. Колесникова, учитывающих характер смен древесных пород на горяях;

— установление взаимосвязи между текстовыми описаниями типов лесорастительных условий по особенностям рельефа, почвам и другим признакам, приведенным в разработанных ранее схемах классификации типов лесорастительных условий и типов леса [1], и количественными характеристиками, полученными на основе анализа ЦМР в ГИС;

— установление трансформации типов леса под влиянием антропогенных воздействий (осушительная мелиорация, аэропромышленные загрязнения, рекреационные нагрузки).

*Работа выполнена благодаря финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ № 5.530.2011 и 5.265.2011 грантов РФФИ № 11-04-12114 и 14-04-01256.*

### Литература

1. Колесников Б. П., Зубарева Р. С., Смолоногов Е. П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области. Свердловск : УНЦ АН СССР, 1974. 176 с.
2. Рыжкова В. А., Корец М. А., Данилова И. В. Картографирование лесного покрова на основе принципов генетической типологии с использованием ГИС. Генетическая типология, динамика и география лесов России : матер. Всерос. конф. Екатеринбург, 2009. С. 184–187.
3. Смолоногов Б. П. Комплексное районирование Урала // Леса Урала и хозяйство в них. 1995. Вып. 18. С. 24–42.
4. Смолоногов Б. П. Лесообразовательный процесс и генетическая классификация типов леса. 1995. Вып. 18. С. 43–58.
5. Смолоногов Е. П. Основные положения генетического подхода при построении лесотипологических классификаций // Экология. 1998. № 4. С. 256–261.
6. Седых В. Н. Ландшафтно-типологическая основа для проведения лесоустройства на территории Сибири // Лесная таксация и лесоустройство. 2005. Вып. 1 (34). С. 70–77.

### References

1. Kolesnikov B. P., Zubareva R. S., Smolonogov E. P. Forest conditions and forest types of the Sverdlovsk region. Sverdlovsk : USC, Academy of Sciences of the USSR, 1974. 176 p.
2. Ryzhkova V. A., Koretz M. A., Danilova I. V. Mapping of forest cover on basis of genetic typology using GIS. Genetic typology, dynamics and geography of Russian forests : mater. All-Russian conf. Ekaterinburg, 2009. P. 184–187.
3. Smolonogov B. P. Comprehensive zoning of the Urals // Forests and forestry in the Urals. 1995. Issue 18. P. 24–42.
4. Smolonogov B. P. Forest forming process and genetic classification of forest types. 1995. Issue 18. P. 43–58.
5. Smolonogov E. P. Key provisions of the genetic approach to the construction of forest-typology // Ecology. 1998. № 4. P. 256–261.
6. Sedykh V. N. Landscape-typology base of forest management planning in Siberia // Forest valuation and forest management. 2005. Issue 1 (34). P. 70–77.