В.В.Фомин, С.А.Шавнин
Уральский лесотехнический университет, г.Екатеринбург

УДК 502.7

КОМПЛЕКСНОЕ ВЛИЯНИЕ ГОРНОГО РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ И АЭРОПРОМЫШЛЕННЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ НА БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Геоморфология территории является одним из основным факторов, влияющих на формирование атмохимических ореолов загрязнения районов расположения лесных экосистем. В результате проведенных исследований количественно установлены пространственные закономерности распределения параметров древостоев в зависимости от характеристик рельефа местности. Выявлено, что увеличение высоты местности над уровнем моря, расстояния до источников выбросов загрязняющих веществ в атмосферу и снижение освещенности макросклона сопровождается уменьшением средних диаметра и высоты древостоев. Дифференцирование степени влияния природных и техногенных факторов адекватно оценивается уравнением зависимости базовых лесотаксационных характеристик насаждений от параметров местоположения лесного участка.

The geomorphology of an area is one of the main factors, which influence the formation of atmospheric and chemical haloes, which contaminate woodland ecosystems. Spatial regularities of woodland parameters and their distribution, which depend on the relief characteristics above the sea level, a distance up to sources of pollutants emissions into the atmosphere, have been quantitatively established as result of research, the decrease in illuminating intensity of macroslope having been observed to be accompanied by the reduction in mean diameters and hight of trees stands. The differentiation of a degree of influence of environmental and technogenic factors is adequately estimated by an equation of relation of basic forest valuation characteristics of plantations to the parameters of woodland location.

В горной местности лесные экосистемы испытывают действие комплекса факторов внешней среды, связанных с рельефом. Он влияет на формирование лесорастительных условий, движение воздушных масс и выпадение осадков. Многочисленные работы, посвященные изучению пространственных закономерностей размещения лесных насаждений по элементам рельефа, носят в основном описательный характер. Современные геоинформационные технологии позволяют на качественно новом уровне изучать средообразующие функции рельефа. В условиях аэропромышленного загрязнения дополнительное влияние орографического фактора связано с перераспределением насыщенных поллютантами воздушных масс на территории вокруг источника выбросов. Количественная оценка степени воздействия факторов внешней среды на лесные экосистемы является важным условием для понимания процессов их развития и механизмов устойчивости к внешним воздействиям.

Объекты и методика исследований. Объектом исследования служили сосновые древостои естественного происхождения, произрастающие в условиях горно-увалистого рельефа на территории, прилегающей к Среднеуральскому медеплавильному заводу (г.Ревда). Район исследований представляет собой неправильный пятиугольник. Размеры наибольших взаимно перпендикулярных сторон составляют 7 и 9 км. Источником данных о лесных насаждениях служили материалы 1999 г. лесоустройства Ревдинского лесхоза Свердловского управления лесами.

При помощи геоинформационной системы (ГИС) ARC/INFO (ESRI Inc., США) была произведена регистрация и совмещение растровых изображений топографической карты масштаба 1:100 000 и плана ле-

сонасаждений Ревдинского лесничества масштаба 1:25 000. Они служили в качестве графической основы для создания линейного и полигонального покрытий (слоев) соответственно.

Для описания состояния лесных экосистем были использованы следующие характеристики древостоев и параметры их местоположения: средние возраст (A), высота (H) и диаметр (D), относительная полнота (P), бонитет (B), запас на гектар древостоя основного элемента леса (Z), расстояние до завода (R), высота местности над уровнем моря (E), экспозиция (Asp) и уклон склона (S). Статистическая обработка данных была произведена при помощи пакета «Statgraphics Plus».

Результаты и их обсуждение. Проведение факторного анализа методом главных компонент на основе комплекса вышеописанных параметров лесных насаждений позволило выделить три общих фактора, объясняющих 75,4 % суммарной дисперсии данных. На долю первого, второго и третьего факторов приходится 39,0, 24,1 и 12,3 % общей дисперсии соответственно. Параметры, имеющие наибольшие абсолютные значения нагрузок по первой главной компоненте, характеризуют основной элемент лесного фитоценоза - древостой. Расстояние до завода имеет относительно высокое положительное значение факторной нагрузки 0,387, свидетельствующее о наличии его взаимосвязи с вышеописанными характеристиками древостоев. С учетом этого факта, первую главную компоненту условно можно назвать антропогенно-фитоценотической.

Второй фактор, в основном, отражает связь продуктивности древостоев с рельефом местности. С увеличением высоты над уровнем моря, относительной полноты P и запаса Z, а также при снижении класса бонитета, возраста и кода экспозиции склона возрастает величина данной компоненты.

Пространственные закономерности распределения параметров древостоев и характеристик рельефа местности лесных участков на территории района исследований характеризует третий фактор. По отношению к исследуемым лесным насаждениям завод расположен ниже и на ровной местности. Этим объясняются высокие положительные значения факторных нагрузок S, R и E, значения которых составляют 0,789, 0,651 и 0,448 соответственно.

Проведение множественного линейного регрессионного анализа позволило найти количественную зависимость изменения среднего диаметра древостоя от параметров, характеризующих установленные ранее факторы. Это уравнение имеет вид

$$D^{1/2} = 2{,}150 + 0{,}040\mathrm{Asp} + 0{,}157R - \\ - 0{,}005E - 0{,}964P + 0{,}517A^{1/2}; \quad (1)$$
$$R^2 = 0{,}941,$$

где R^2 – коэффициент детерминации.

Константа и все коэффициенты при переменных статистически значимы с доверительной вероятностью 0,99 и выше. Значения t-статистики Стьюдента для константы и коэффициентов уравнения следующие: 8,0; 4,1; 8,5; 9,3; 57,7 и 6,7 соответственно. Проверка адекватности модели была выполнена на тестовой выборке. Величина средней квадратической ошибки 12,2 %. Наибольший вклад в общую вариацию значений D вносит возраст древостоя. Из уравнения следует, что с увеличением кода экспозиции, возраста и с удалением от завода средний диаметр растет, а при увеличении высоты местности над уровнем моря и относительной полноты снижается. Увеличение относительной полноты при фиксированном возрасте может означать как увеличение диаметров стволов при снижении густоты древостоя, так и снижение диаметров при увеличении густоты. В данной модели возрастание относительной полноты связано с увеличением густоты. Это увеличение означает усиление конкуренции между деревьями и сопровождается снижением среднего диаметра древостоя.

Зависимость средней высоты древостоя от изучаемых факторов имеет вид

$$H = -25{,}979 + 0{,}348\mathrm{Asp} + 1{,}159R - \\ 0{,}018E + 10{,}988\ln A; \quad (2)$$
$$R^2 = 0{,}956.$$

Константа в уравнении (2) и коэффициенты статистически достоверны на уровне значимости 0,01. Значения *t*-статистики Стьюдента для параметров модели (2) соответственно 23,4; 7,5; 12,6; 6.8 и 71,5. Средняя квадратическая ошибка, рассчитанная по тестовой выборке, 8,4 %. Знаки коэффициентов Asp, *R* и *E* в уравнениях (1) и (2) совпадают. Это свидетельствует о сходном влиянии параметров местоположения на величины *H* и *D*. Использование при проведении множественного регрессионного анализа варианта кодировки экспозиции, при которой минимальное значение имеют склоны северной, а максимальное южной экспозиции, а также варианта, учитывающего только ориентацию склонов относительно завода, не позволило получить регрессионные уравнения для *D* и *H* с достоверными коэффициентами для переменной Asp. Моделирование освещенности поверхности района исследований с помощью функции «теневая модель» (shaded model) позволило выделить участки территории, различающиеся по интенсивности и длительности освещения в течение светлого времени суток, и разработать конкретный вариант кодировки.

Лесоустроительные материалы несут достаточно ограниченный объем информации о лесных насаждениях, не отражающий в полной мере структуру и функционирование лесных экосистем. Этим обусловлен выбор модели типа «вход выход». При оценке адекватности таких моделей, в основном, рассматривают их праксеологичность. Достаточно высокая количественная адекватность, простота уравнений и хорошая интерпретируемость входящих в них параметров являются важными достоинствами моделей. ГИС ARC/INFO позволяет на основе алгебраических уравнений с помощью растрового моделирования получать покрытия с искомыми параметрами. На основе уравнения (2) были рассчитаны средние высоты сосновых насаждений в возрасте 100 лет на всей территории района исследований.

В результате проведенных исследований установлено влияние рельефа местности и аэропромышленных загрязнений на биометрические характеристики сосновых насаждений. Увеличение высоты местности над уровнем моря, расстояния до источника загрязнений и снижение освещенности макросклона сопровождается уменьшением средних диаметра и высоты древостоев. Уравнения зависимости базовых лесотаксационных характеристик насаждений от параметров местоположения лесного участка позволяют количественно дифференцировать степень влияния на них ведущих факторов внешней среды. Использование мультивариантных методов анализа и растрового моделирования с помощью ГИС позволяет оценить потери прироста древесины, вызванные действием аэропромышленных загрязнений. Совершенствование моделей и расчет прогнозных карт базовых таксационных характеристик лесных насаждений на основе регрессионных уравнений и растрового моделирования с помощью ГИС в перспективе позволит увеличить ревизионный период между повторным лесоустройством и снизить затраты на его проведение.

Работа выполнена благодаря финансовой поддержке Министерства образования РФ (грант 05.01.022) и техническому обеспечению от компаний «Дата+» (Россия) и ESRI (США).