

Изучению пространственно-временной динамики высокогорных лесотундровых, лесолуговых и лесных сообществ в настоящее время уделяется большое внимание в связи с необходимостью количественной оценки их реакции на изменения климата и антропогенные воздействия (Капралов и др., 2006; Kullman, 1990; Körner, 1999; Bugmann, Pfister, 2000; Holtmeier, 2003; Shiyatov, 2003). Древесная и кустарниковая растительность, произрастающая на верхнем пределе своего распространения в экстремальных почвенно-климатических условиях, наиболее чутко реагирует на изменение условий среды и чаще всего используется для оценки и индикации этих изменений (Горчаковский, Шиятов, 1985). Особый интерес представляют растительные сообщества, формирующие верхнюю границу древесной растительности в высокоширотных горных районах, где они до сих пор испытывают слабое влияние антропогенных факторов и происходят наиболее существенные изменения климатических условий (Arctic Climate..., 2005).

Обычно для исследования пространственно-временной динамики древесной растительности в высокогорьях используются прямые и косвенные методы, основными из которых являются: 1) метод постоянных высотных профилей и пробных площадей, на которых через определенные промежутки времени детально описываются и анализируются состав и структура ценопопуляций древесных и кустарниковых видов; 2) картографический метод, позволяющий выявлять закономерности распространения лесных, лесотундровых, лесолуговых и кустарниковых сообществ; 3) дистанционные методы, использующие разновременные аэро- и космоснимки для оценки изменений в составе, структуре и пространственном положении крупных хорологических единиц растительности; 4) метод исторических ландшафтных фотографий в целях выявления изменений в составе, структуре и пространственном положении мелких и средних хорологических единиц растительности; 5) палинологический и ботанический методы, позволяющие на основе анализа сохранившихся остатков растений в различного рода отложениях реконструировать длительные региональные изменения в составе древесных и кустарниковых видов; 6) дендрохронологический метод, позволяющий оценивать изменения годовичного радиального прироста деревьев и кустарников и датировать календарное время жизни как ныне живущих, так и отмерших деревьев (Александрова, 1964; Миркин и др., 1989; Шиятов, Мазепа, 2007).

Из перечисленных методов наиболее редко применяется метод повторных ландшафтных (наземных) фотографий, что связано с плохой сохранностью старых снимков и трудностью нахождения прежних точек съемки. Кроме того, этот метод можно использовать в основном при анализе динамики древесной растительности открытых ландшафтов, где имеются хорошо заметные наземные ориентиры, расположенные на разном удалении от точки съемки. Наиболее перспективны в этом отношении горные районы, а в пределах горного района – верхняя граница распространения древесной и кустарниковой растительности.

Повторные ландшафтные фотографии стали использовать для оценки изменений в растительности горных территорий в 1970-х годах, но наиболее интенсивно этот метод стал применяться в последнее время. Л. Куллман (Kullman,

- 4 1979) одним из первых применил этот метод для оценки состояния и вертикальных сдвигов древесной растительности в Скандинавских горах на основании фотоснимков и описаний древесной растительности, сделанных в начале прошлого века Г. Смитом (Harry Smith) и другими исследователями. Сравнив состояние, размеры, возраст и высоту произрастания отдельных особей и куртин березы извилистой (*Betula pubescens* Ehrh. s.l.), он пришел к заключению, что на большинстве обследованных участков верхняя граница распространения этого вида поднялась выше в горы под влиянием потепления климата и улучшения почвенно-грунтовых условий. Исторические ландшафтные фотоснимки для оценки вертикальных сдвигов верхней границы распространения сосны, ели и березы в Скандинавских горах Л. Куллман использовал и в более поздних работах (Kullman, 1988, 1997).

В последние годы появилось довольно много работ, в которых рассматривается пространственно-временная динамика лесолуговых и лесных сообществ, произрастающих в высокогорьях Северной и Южной Америки. Ф. Класснер и Д. Фарге (Klassner, Farge, 2002) в результате сопоставления изображений на разновременных дистанционных и наземных фотографиях показали, что за последние 70 лет в Национальном парке Глейшер (штат Монтана) увеличились площадь и густота субальпийских лесов из *Abies lasiocarpa*, а переход от леса к тундре стал более резким. Д. Мунро (Munroe, 2003) по 6 ландшафтным фотографиям, сделанным в 1870 г., проанализировал изменения в высотном положении верхней границы леса, густоте древостоев и облесенности территории в горах Юинта (штат Юта) за последние 130 лет. За это время верхняя граница леса поднялась на 60–180 м (в среднем на 100 м), густота древостоев значительно увеличилась, а площадь, занимаемая луговыми сообществами, сократилась примерно на 75 %. На основании этих данных Д. Мунро пришел к заключению, что температура июля увеличилась в среднем на 0,7 °С. К. Тейп (Tape, 2006) с помощью разновременных ландшафтных фотографий и аэроснимков показал, что в течение последних 50 лет на территории Северной Аляски происходило увеличение площади, занимаемой кустарниками, особенно на склонах холмов и в долинах рек. Повторные наземные фотоснимки для оценки изменений в древесной и кустарниковой растительности в горных районах были использованы в работах Д.Л. Зайера и В.Л. Бейкера (Zier, Baker, 2006), Г.Р. Эллиотта и В.Л. Бейкера (Elliott, Baker, 2004), Д.Р. Батлера и др. (Butler et al., 1994), А.С. Байерса (Byers, 2000) и др. Выпущена книга (Turner et al., 2003), посвященная анализу изменений растительности в засушливых и полузасушливых районах Северной Америки, основанному на использовании около 290 ландшафтных снимков, сделанных на 100 фототочках в конце XIX в., в начале, середине и конце XX в. В Лаборатории пустынь (Тусон, Аризона) создан банк данных, в котором собрано около 6500 исторических ландшафтных фотографий по различным национальным паркам Юго-Запада США. Старейшие фотографии сделаны в 1863 г., около 20 % снимков – между 1880 и 1910 гг. (Webb, Boyer, 2004).

В последнее время метод повторных ландшафтных фотографий применялся для оценки изменений в древесной и кустарниковой растительности Центральной Азии (Nüsser, 2000, 2001; Moseley, 2006), Южной Африки (Duncan et al., 2006) и Австралии (Pickard, 2002).

На территории нашей страны первые работы по использованию старых ландшафтных фотографий для оценки состояния древесной растительности были проведены в высокогорьях Южного Урала. В 1975–1976 гг. С.Г. Шиятовым были проанализированы изменения в составе, структуре и высотном положении верхней границы древесной растительности на массиве Ирмель по снимкам, сделанным Л.Н. Тюлиной в 1927, 1929 и 1930 гг. (Шиятов, 1983). Ана-

лиз изображений на снимках показал, что за прошедшие 50 лет на этом массиве произошло значительное продвижение верхней границы распространения древесной растительности выше в горы, увеличились густота и продуктивность древостоев, а также степень облесенности территории в подгольцовом поясе. В более поздних работах (Moiseev, Shiyatov, 1999, 2003) на основе метода повторных фотоснимков была оценена динамика древесной растительности на верхнем пределе ее произрастания в горах Полярного и Южного Урала. Исторические и современные ландшафтные фотографии неоднократно использовались для иллюстрации современной экспансии древесной растительности в горах Урала (Шиятов и др., 2001; Shiyatov, 2003; Ваганов, Шиятов, 2005; Шиятов, Мазепа, 2007).

Метод повторных ландшафтных снимков довольно часто применяется для оценки динамики других компонентов ландшафта, в частности ледников (Lillquist, Walker, 2006; Zumbühl, 1980), эрозии берегов рек (Elliott, Jacobson, 2004), схода оползней (Hapke, 2002), при оценке контролируемых пожаров (Yallop et al., 2006).

Одним из наиболее перспективных горных районов для изучения реакции древесной растительности на изменения климата является Полярный Урал (Шиятов, 1965; Шиятов и др. 2002; Shiyatov, 1993, 2003; Шиятов, Мазепа, 2007). Для этого района характерна сильная изменчивость климатических условий различной длительности (Шиятов, 1986), а высокогорная растительность не испытывает существенных антропогенных воздействий. На верхней границе леса произрастают простые по составу древостои, состоящие в основном из лиственницы сибирской, что намного облегчает изучение их климатогенной динамики. Кроме того, в течение последних 40–50 лет по данному району накоплен большой материал, характеризующий состав и структуру древесной растительности, что дает возможность использовать прямые свидетельства для подтверждения происшедших изменений.

Цель настоящей работы заключалась в качественной и количественной оценке изменений в составе, структуре и распределении лесотундровых, лесных и кустарниковых сообществ, произрастающих на верхнем пределе их распространения в горах Полярного Урала, которые произошли в течение последних 45 лет. Оценка этих изменений производилась при помощи редко используемого в нашей стране метода ландшафтных фотографий, сделанных с одних и тех же точек в разное время. Анализировались также результаты исследований, полученные ранее для этого района такими методами, как метод постоянных пробных площадей и высотных профилей, дендрохронологический и картографический, морфометрический анализ деревьев и кустарников (Шиятов, 1962, 1965, 1966, 1986; Shiyatov, 1993, 2003; Шиятов и др., 2005, 2007; Шиятов, Мазепа, 2007).

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 99-04-48984, 02-04-48148 и 08-04-00208) и научно-образовательных центров (контракт 02.740.11.0279). Большую помощь при проведении полевых работ оказали В.С. Мазепа, П.А. Моисеев и М.М. Терентьев, которым автор выражает свою искреннюю благодарность.