

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УСТОЙЧИВОСТИ ЛЕСА

С.А. КОРОТКОВ, доц., зав. каф. лесоводства и подсочки леса МГУЛ, канд. биол. наук

caf-lesovod@mgul.ac.ru

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет леса»

141005, Московская обл., г. Мытищи-5, ул. 1-я Институтская, д. 1, МГУЛ

Устойчивость — одно из наиболее сложных и разносторонних понятий в лесной экологии. Имеется множество определений устойчивости природных комплексов. В большинстве случаев устойчивость экосистем рассматривается в общей форме («консервативные» определения устойчивости). «Динамические» толкования рассматривают устойчивость как способность противостоять внешнему воздействию или восстанавливаться после него. Устойчивость древесных ценозов во многом определяется их структурой. Превышение порогового уровня внешних воздействий на лесной биогеоценоз приводит к изменению структуры или смене данного сообщества другим. Оценка состояния и динамики лесов может проводиться на региональном и ландшафтном уровнях. Мозаика лесных массивов складывается из динамики лесных биоценозов. Проблему устойчивости и динамики лесов возможно рассмотреть на примере Московского региона в связи с интенсивным антропогенным воздействием. Комплексным показателем воздействия на лес может являться динамика лесистости и породный состав насаждений. Лесистость Московской области постепенно снижалась на всем протяжении XVIII и XIX вв., но в конце XIX — начале XX в. уничтожение лесов приняло угрожающий характер. Оценка устойчивости проводилась по ранговой структуре насаждений. Ранговая структура древостоя оценивалась с использованием методических положений Н.В. Третьякова (1927), К.К. Высоцкого (1962). Одним из показателей строения древостоя служил $\Delta D_{отн}$. Расчеты показателя $\Delta D_{отн}$ включают:

1. Построение ранжированного ряда по диаметрам от минимального до максимального.

2. Разделение полученного ряда на 10 классов с одинаковым числом деревьев в классе.

3. Определение среднего диаметра каждого класса — $D_{cp}(n)$.

4. Определение относительного диаметра каждого класса: $D_{отн}(n) = D_{cp}(n)/D_{cp}(6)$.

5. $\Delta D_{отн} = D_{отн}(10) - D_{отн}(1)$.

Данные наблюдений на постоянных пробных площадях Щелковского учебно-опытного лесного хозяйства и Национального парка «Лосиный остров» показывают, что пораженные короедом-типографом в 2010–2011 гг. ельники имеют низкие значения показателя строения древостоя $\Delta D_{отн}$. Процесс усыхания продолжился в 2012–2013 гг. и затронул все спелые ельники на наблюдаемых пробных площадях. Еловые древостои с низким показателем $\Delta D_{отн}$ усыхали первыми, но и другие спелые чистые ельники оказались неспособными противостоять катастрофической вспышке массового размножения короеда-типографа на фоне ослабления от засухи. Исследования в условиях засушливой погоды подтверждают меньшую устойчивость однородных систем с упрощенной структурой.

Ключевые слова: устойчивость леса, ранговая структура древостоя, усыхание ельников.

Устойчивость биологических систем — одна из ключевых проблем в современной экологии [1, 7, 10, 12, 14, 20, 26, 29]. Наряду с понятием «устойчивость» встречается термин «стабильность». Одни авторы используют их как синонимы [28], другие различают. М.А. Голубец, И.В. Царик (1992) различают устойчивость относительно конкретных воздействий, рассматривая стабильность как сумму разнообразных устойчивостей во времени. Стабильные системы не могут не быть устойчивыми, но системы, устойчивые к тому или иному фактору, не обязательно стабильны. Стабильность присуща, главным образом, коренным экосистемам.

Устойчивость — одно из наиболее сложных разносторонних понятий в лесной экологии. Оно рассматривается с различных точек зрения: устойчивость к абиотическим, биотическим и антропогенным факторам [17, 23, 25, 26, 28, 32]. Нередко лишь обозначается наличие, или нарушение устойчивости, либо дается градация по ее классам [22].

У.Р. Эшби сформулировал принцип порогового реагирования: «Переход системы из одного устойчивого состояния в другое сопровождается пороговым эффектом, вызванным понижением ее устойчивости в момент перехода» [40]. М.Г. Романовский отмечает, что при обсуждении проблемы устойчивости лесных экосистем, прежде всего, необходимо определить масштаб: уровень организации систем и подсистем, устойчивость которых оценивается, временный масштаб процессов и явлений [33].

К настоящему времени имеется множество определений устойчивости природных комплексов. В большинстве случаев устойчивость экосистем рассматривается в общей форме («консервативные» определения устойчивости) как их способность противостоять внешним воздействиям, возвращаться в исходное состояние после снятия нагрузки, сохранять структуру, либо просто даются варианты устойчивости математических моделей абстрактных систем, например

по Ляпунову, Лагранжу, Холлингу, Флейману и др. [11, 22, 24, 30, 34].

В.А. Липаткин выделяет ряд этапов в формировании представлений об устойчивости лесных экосистем.

Начальный этап – использование парных сравнений ценозов, причем к сообществу подходили как к сверхорганизму.

Второй этап – применение классификации (три класса биологической устойчивости). Один из критериев отнесения к классу – доля патологического отпада в древостое.

Третий этап – использование системного подхода и имитационного моделирования, когда общее понятие устойчивости стали разделять на множество частных.

На четвертом этапе в основе анализа стали использовать количественные отношения, когда устойчивость стали понимать как способность системы выдерживать внешнее воздействие или восстанавливаться после него [20].

Современные экологи предлагают «динамические» толкования, рассматривая устойчивость как способность противостоять внешнему воздействию или восстанавливаться после него [3, 29, 31]. Р. Маргалев [43] различает два типа стабильности:

1) стабильность, возникающая в результате внутренних взаимодействий;

2) устойчивость к внешним воздействиям.

В.Г. Суховольский (2008), рассматривая модель потери устойчивости экосистемы и ее трансформации, принимает за обратную величину устойчивости риск гибели экосистемы определенного типа (G). Он полагает, что общий риск гибели зависит как от рисков, связанных с локальными взаимодействиями между особями в экосистеме (близкодействием), так и от рисков, связанных с взаимодействием между отдаленными в пространстве компонентами экосистемы (дальнодействием). Общая функция риска G представляется в виде суммы двух парциальных функций риска E и H

$$G = E + H,$$

где E – риск численности в результате близкодействующих взаимодействий;

H – риск численности в результате дальнодействующих взаимодействий.

Устойчивость экологических систем зависит от ряда факторов. Среди важнейших факторов, как правило, фигурируют биоразнообразие и продуктивность.

Широко распространено убеждение, что увеличение разнообразия внутри экосистемы повышает ее устойчивость [8, 9]. Появилось выражение «разнообразие рождает устойчивость».

Компонентами биоразнообразия считают состав экосистемы, ее структуру и функции экосистемы [42]. Уровни биоразнообразия аналогичны уровням организации живого на Земле: генотипический, фенотипический, популяционный, видовой, экосистемный, биомный [44].

Однако накоплено достаточное количество фактов, противоречащих изложенным взглядам. По мере того как система усложняется по видовому составу и структурным взаимозависимостям, она становится динамически более хрупкой. Относительно стабильные условия среды позволяют существовать сложным тонко отлаженным экосистемам, тогда как непредсказуемая среда допускает устойчивое существование только структурно простых сообществ [5, 37].

Сказанное имеет прямое отношение к климатическим ценозам, традиционно интерпретируемым как весьма стабильные системы, но при условии активного вмешательства человека именно такие системы быстро замещаются производными типами и нередко уже не могут восстановиться [13]. С.А. Дыренков (1984) пришел к выводу, что «высокое видовое разнообразие не является прямым признаком устойчивости» [13].

Ю. Одум (1986), полагая, что между видовым разнообразием и устойчивостью вообще нет сколько-нибудь заметной корреляции, указывает, что функциональная сложность скорее, чем структурная, повышает устойчивость системы.

По мнению В.М. Роне (1980), эволюционные процессы сформировали два типа популяций.

Первый тип наблюдается в оптимальных условиях среды, когда выживаемости

генотипов способствовала их конкурентоспособность. Если это свойство коррелирует с быстротой роста, популяция должна состоять из быстрорастущих особей, приспособленных к определенным внешним условиям.

Второй тип формируется в неблагоприятных условиях (северные районы, высокогорье и пр.), где выживают особи, адаптированные к меняющимся экологическим условиям и обладающие высоким гомеостазом, но необязательно высокой продуктивностью.

На практике популяции древесных растений представляют собой разные сочетания обоих типов.

Устойчивость древесных ценозов во многом определяется их структурой (Лебков, 1989). Превышение порогового уровня внешних воздействий на лесной биогеоценоз приводит к изменению структуры или смене данного сообщества другим.

По выражению Н.В. Третьякова (1927), «все свойства дерева суть функции его ранга в насаждении». Ранг дерева достаточно точно определяется через его диаметр. Следовательно, исследование строения древостоев по диаметрам дает ценную информацию о свойствах этих древостоев, в том числе и об их стабильности. Можно предположить, что более стабилен тот древостой, в котором варьирование диаметров максимально. Варьирование диаметров складывается, прежде всего, из возрастного строения древостоя. Дальнейший анализ возможен на двух уровнях: 1) всей ценопопуляции, без учета отдельных поколений; 2) элемента леса [36].

В первом случае, очевидно, варьирование будет максимальным, и это подтверждает сделанное предположение: только полноценную ценопопуляцию можно считать действительно стабильной, так как она самовозобновляется.

Во втором случае причинами дифференциации по диаметрам являются: различный темп роста, обусловленный генетически; различные экотопические условия, способствующие либо препятствующие реализации жизненного потенциала особи в онтогенезе; фитоценотические факторы, как между- так и

внутривидовые. На структуру древостоя также оказывает влияние человек.

«Стрессовые» нагрузки на ценопопуляцию древесных растений, будь то рубки ухода или сильный пресс рекреации, уменьшают варьирование по диаметрам. Как правило, это происходит вследствие гибели угнетенных экземпляров (IV–V классов Крафта), либо вырубки их. Отсюда следует, что средний диаметр древостоя должен возрасти. Впоследствии прирост у оставшихся деревьев может увеличиться благодаря ослаблению внутривидовой конкуренции и даже превзойти таковой на контроле.

Если антропогенные нагрузки стали хроническими, дифференциация древостоя может усиливаться, опять «растягивая» ряд диаметров [38, 41]. В ельниках наблюдается дезинтеграция древостоя, его распад на обособленные биогруппы. Это может рассматриваться как адаптационный механизм [15].

Возможно, одним из критериев стабильности ценопопуляции в условиях стресса может служить количество деревьев IV–V классов Крафта. Однако с увеличением возраста древостоя этот критерий будет становиться все менее надежным. Деревья IV–V класса Крафта играют в насаждении определенную стабилизирующую роль [27, 21], проявляющуюся в трех аспектах:

1. Удержание физического пространства, что препятствует изреживанию древостоя и образованию «окон», которые в нарушенных насаждениях, как правило, не заселяются жизнеспособной древесной, и, по-видимому, имеют тенденцию к расширению.

2. Сдерживание развития более перспективных соседей, отчего ценопопуляция в целом медленнее проходит возрастные этапы. Известно [13], что выборка угнетенных экземпляров ускоряет рост и старение древостоев, т. е. увеличение продуктивности оборачивается сокращением сроков жизни и падением стабильности.

Высокий темп роста чреват для дерева гибелью в случае ухудшения условий экотопы. Особи с замедленным темпом роста, более угнетенные, имеют в таком случае больше шансов выжить

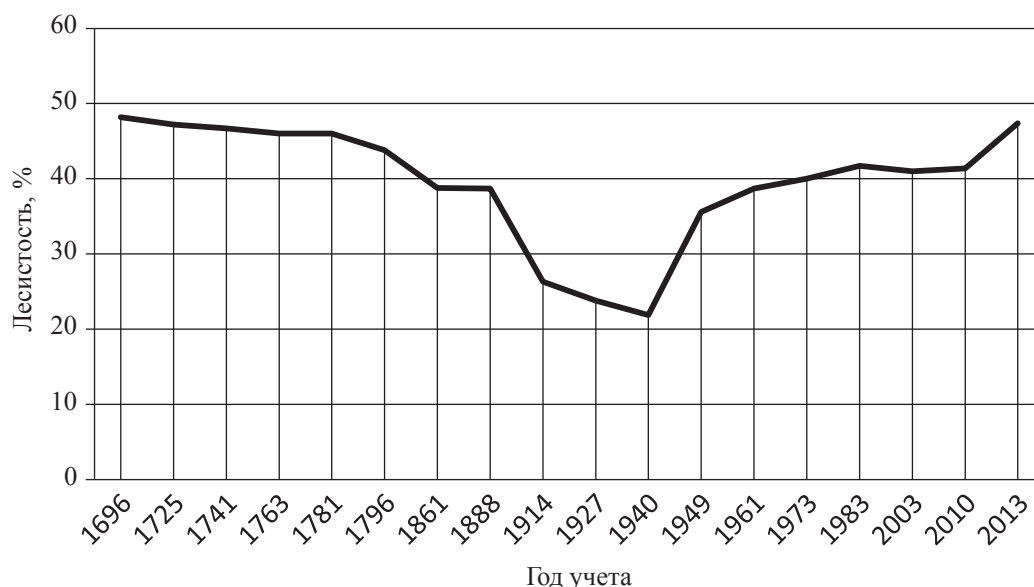


Рисунок. Динамика лесистости Московской области
Figure. The dynamics of the forest cover of the Moscow region

3. Эти деревья служат генетическим резервом, и их удаление обедняет генофонд популяции, уменьшает ее гетерогенность и сужает перспективы дальнейшего развития. Под антропогенным воздействием гибнут не только угнетенные особи, но и представители I класса Крафта. Это приводит к нивелировке древостоев по высоте и диаметру. Наименьшее падение прироста вследствие загрязнения воздуха зафиксировано у угнетенных деревьев, а наибольшее – у представителей высших классов роста [3].

Оценка состояния и динамики лесов может проводиться на региональном и ландшафтном уровнях. Мозаика лесных массивов складывается из динамики лесных биоценозов. Проблему устойчивости и динамики лесов можно рассмотреть на примере Московского региона в связи с интенсивным антропогенным воздействием.

Комплексным показателем воздействия на лес может являться динамика лесистости и породный состав насаждений. Лесистость Московской области постепенно снижалась на всем протяжении XVIII и XIX вв., но в конце XIX–начале XX в. уничтожение лесов приняло угрожающий характер (рисунок) [18, 39].

В последние десятилетия XX в. – начале XXI в. климат Земли заметно изменился (Оценочный доклад..., 2008). За последнее

время наиболее засушливые неблагоприятные для роста ели погодные условия складывались в 1992, 2002 и 2010 гг.

Весьма актуален поиск показателей, адекватно характеризующих устойчивость, в том числе в динамическом аспекте.

Оценка устойчивости проводилась по ранговой структуре насаждений. Ранговая структура древостоя оценивалась с использованием методических положений Н.В. Третьякова (1927), К.К. Высоцкого (1962). Одним из показателей строения древостоя служил $\Delta D_{отн}$ [16].

Расчеты показателя $\Delta D_{отн}$ включают:

1. Построение ранжированного ряда по диаметрам от минимального до максимального.

2. Разделение полученного ряда на 10 классов с одинаковым числом деревьев в классе.

3. Определение среднего диаметра каждого класса – $D_{cp}(n)$.

4. Определение относительного диаметра каждого класса:

$$D_{отн}(n) = D_{cp}(n) / D_{cp}(6).$$

$$5. \Delta D_{отн} = D_{отн}(10) - D_{отн}(1).$$

Были подобраны ельники разного возраста. Основными критериями выбора выделов служили состав и полнота (доля ели более 60 %, полнота 0,6 и выше).

Данные наблюдений на постоянных пробных площадях Щелковского учебно-опыт-

ного лесного хозяйства и Национального парка «Лосинный остров» показывают, что пораженные короедом-типографом в 2010–2011 гг. ельники имеют низкие значения $\Delta D_{\text{отн}}$. Процесс усыхания продолжился в 2012–2013 гг. и затронул все спелые ельники на наблюдаемых пробных площадях. Таким образом, еловые древостои с низким показателем $\Delta D_{\text{отн}}$ усохли первыми, но и другие спелые чистые ельники оказались неспособными в настоящее время противостоять катастрофической вспышке массового размножения короеда-типографа на фоне ослабления от засухи.

Можно констатировать, что исследуемые ельники характеризуются упрощенной структурой. Засушливая погода 2010 г. оказалась критической для большинства спелых и перестойных ельников Подмосковья. Это подтверждает меньшую устойчивость однородных систем.

Библиографический список

- Арманд, А.Д. Устойчивость (гомеостатичность) географических систем к различным типам внешних воздействий / А.Д. Арманд // Устойчивость геосистем. – М.: Наука, 1983. – С. 14–32.
- Арманд, А.Д. «Сильные» и «слабые» системы в географии и экологии / А.Д. Арманд // Устойчивость геосистем. – М.: Наука, 1983. – С. 50–61.
- Барткявичус, Э. Древесно-кольцевой анализ сосновых древостоев, поврежденных промышленными выбросами / Э. Барткявичус, А. Аугустайтис // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии: Тезисы докладов. – Свердловск, 1990. – С. 13–14.
- Бех, И.А. Антропогенная трансформация таежных лесов / И.А. Бех. – Новосибирск: Наука, 1992. – 200 с.
- Бигон, М. Экология. Особи, популяции и сообщества. В 2-х тт. / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таусенд. – М.: Мир, 1989. – Т. 1 – 667 с., Т. 2 – 447 с.
- Василевич, В.И. Статистические методы в геоботанике / В.И. Василевич. – Л.: Наука, 1969. – 232 с.
- Воронков, Н.А. Экология. Общая, социальная, прикладная (общеобразовательный курс): учебник / Н.А. Воронков. – М.: Агар, 2000. – 264 с.
- Воронков, Н.А. Основы общей экологии / Н.А. Воронков. – М.: Агар, 1997. – 87 с.
- Воронцов, А.И. Патология леса / А.И. Воронцов. – М.: Лесная пром-сть, 1978. – 272 с.
- Демаков, Ю.П. Диагностика устойчивости лесных экосистем (методологические и методические аспекты) / Ю.П. Демаков. – Йошкар-Ола, 2000. – 416 с.
- Дончева, А.В. Ландшафт в зоне воздействия промышленности / А.В. Дончева. – М., 1978. – 95 с.
- Дробышев, Ю.И. Устойчивость древостоев: структурные аспекты / Ю.И. Дробышев, С.А. Коротков, Д.Е. Румянцев // Лесохозяйственная информация. – 2003. – № 7. – С. 2–11.
- Дыренков, С.А. Структура и динамика таежных ельников / С.А. Дыренков. – Л.: Наука, 1984. – 174 с.
- Коротков, С.А. К вопросу о регулировании лесопользования в лесах, подверженных интенсивному воздействию человека (на примере ельников Подмосковья) / С.А. Коротков, Л.В. Стоноженко // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов: Научные труды. – М.: МГУЛ, 2000. – Вып. 303. – С. 132–135.
- Коротков, С.А. Структура еловых насаждений Клинско-Дмитровской гряды в условиях хронического загрязнения воздуха / С.А. Коротков, Ю.И. Дробышев, Ю.Г. Львов // Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов: Научные труды. – М.: МГУЛ, 1999. – Вып. 297. – С. 111–114.
- Коротков, С.А. Структура, устойчивость и естественная спелость ельников северо-восточного Подмосковья / С.А. Коротков, Л.В. Стоноженко // Проблемы и перспективы совершенствования лесоводственных мероприятий в защитных лесах: Международная научно-практическая конференция. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2014. – С. 96–99.
- Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 124 с.
- Лагунов, П.М. Динамика лесов Подмосковья / П.М. Лагунов, Е.Н. Гусев // Лесное хозяйство, 1990. – № 8. – С. 51–54.
- Лебков, В.Ф. Типы строения древостоев / В.Ф. Лебков // Лесоведение. – 1989. – № 4. – С. 12–21.
- Липаткин, В.А. Устойчивость экосистем: обсуждение понятий // Науч. тр. – М.: МГУЛ, 1996. – Вып. 283. – С. 24–37.
- Маслаков, Е.Л. Формирование сосновых молодняков / Е.Л. Маслаков. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 168 с.
- Матюк, И.С. Устойчивость лесонасаждений / И.С. Матюк. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 136 с.
- Мелехов, И.С. Лесоведение / И.С. Мелехов. – М.: Лесная пром-сть, 1980. – 406 с.
- Миркин, Б.М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии / Б.М. Миркин, Г.С. Розенберг, Л.Г. Наумова. – М.: Наука, 1989. – 223 с.
- Мозолевская, Е.Г. Система лесопатологического мониторинга в лесах России / Е.Г. Мозолевская // Лесное хозяйство. – 1995. – № 5. – С. 2–4.
- Морозов, Г.Ф. Учение о лесе / Г.Ф. Морозов. – М.-Л.: ГИЗ, 1928. – 365 с.
- Нестеров, Н.С. Очерки по лесоведению / Н.С. Нестеров. – М.-Л.: Гослестехиздат, 1933. – 247 с.
- Николаевский, В.С. Биологические основы газоустойчивости растений / В.С. Николаевский. – Новосибирск: Наука, 1979. – 280 с.
- Одум, Ю. Экология. В 2-х тт. / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. Т. 1 – 328 с., Т. 2 – 376 с.
- Полякова, Г.А. Антропогенное влияние на сосновые леса Подмосковья / Г.А. Полякова, Т.В. Малышева, А.А. Флееров. – М.: Наука, 1981. – 144 с.
- Риклефс, Р. Основы общей экологии / Р. Риклефс. – М.: Мир, 1979. – 424 с.
- Рожков, А.А. Устойчивость лесов / А.А. Рожков, В.Т. Козак. – М., 1989. – 238 с.
- Романовский, М.Г. Продуктивность, устойчивость и биоразнообразие равнинных лесов европейской России / М.Г. Романовский. – М.: МГУЛ, 2002. – 97 с.
- Сеннов, С.Н. Уход за лесом (экологические основы) / С.Н. Сеннов. – М.: Лесная пром-сть, 1984. – 128 с.

35. Таран, И.В. Устойчивость рекреационных лесов / И.В. Таран, В.Н. Спиридонов. – Новосибирск: Наука, 1981. – 240 с.
36. Третьяков, Н.В. Закон единства в строении насаждений / Н.В. Третьяков. – М. – Л.: Новая деревня, 1927. – 114 с.
37. Уиттекер, Р. Сообщества и экосистемы / Р. Уиттекер. – М.: Прогресс, 1980. – 327 с.
38. Хайретдинов, А.Ф. Рекреационное лесоводство / А.Ф. Хайретдинов, С.И. Конашева. – Уфа: БГАУ, 1994. – 223 с.
39. Цветков, М.А. Изменение лесистости Европейской России с конца XVII столетия по 1914 г. / М.А. Цветков. – М.: АН СССР, 1957. – 214 с.
40. Эшби, У.Р. Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Иностранная литература, 1959. – 432 с.
41. Юсупов, И.А. Состояние и устойчивость искусственных сосновых молодняков в условиях аэропромвыбросов на Среднем Урале: дисс. ... канд. с.-х. наук. – Екатеринбург, 1996. – 25 с.
42. Kimmins, J.P. Biodiversity and its relationship to ecosystem health and integrity. *The forestry chronicle*, 1997, vol. 73, N 2, p. 229–232.
43. Margalef, R. 1968. *Perspectives in ecological theory*. University of Chicago Press. 111 pp.
44. Perry, D.A. *Forest ecosystems*. Baltimore, London, 1994. 649 p.

THEORETICAL PROBLEMS OF FOREST SUSTAINABILITY

Korotkov S.A., Assoc. Prof. MSFU, Ph.D. (biol.)

caf-lesovod@mgul.ac.ru

Moscow State Forest University (MSFU), 141005, Moscow Region., Mytishchi-5, 1st Institutskaya st., 1

Sustainability is one of the most complicated and versatile notions in the forest ecology science. There are a lot of definitions of a natural complex sustainability. As a rule, an ecosystem sustainability is considered in a general form ("a conservative" definition of sustainability). "Dynamic" conceptions regard sustainability as an ability to resist some external forcing or to recover after it. The sustainability of forest biome is to a large extent determined by a stand composition (Lebkov, 1989). The most intensive forcing on forest biome which exceeds the maximum possible level may result in some drastic composition changes or in replacing the existing biome by another one. The estimation of forest state and its dynamic development can be carried out on a regional level or on a local landscape level. The inlay of forest stands involves the dynamic development of forest biome. The problem of forest sustainability and its dynamic development can be studied on the example of the Moscow region forests, taking into account the extremely intensive anthropogenic forcing on them. Certain complex indicators of the external forcing on the forests may include the dynamic changes in percent forest cover and natural stand composition. The percentage of forest cover in the Moscow region was gradually decreasing during the 18-th and 19-th centuries; however, in the late 19-th and early 20-th centuries the forests' destruction became menacing. The estimation of forest sustainability has been carried out according to a stand rank composition. A stand rank composition has been assessed by means of the methodological principles developed by N.V. Tretyakov (1927) and K.K. Vysotsky (1962). One of the key indicators of the stand structure is ΔD_{rel} .

Calculations of ΔD_{rel} include:

1. Creation of the ranged row of diameters from the minimal to the maximal one.
2. Division of the row obtained into 10 groups with the same number of trees in each group.
3. Defining the average diameter in each group – $D_{av}(n)$.
4. Defining the relative diameter in each group: $D_{rel}(n) = D_{av}(n)/D_{av}(6)$.
5. $\Delta D_{rel} = D_{rel}(10) - D_{rel}(1)$.

The observation data on some constantly monitored plots in Schelkovo Experimental Forest Enterprise and in the National Forest State Park of Losyny Ostrov have shown that the spruce forests badly damaged by eight-toothed bark beetles in 2010-2011 had a very low value of a stand composition index ΔD_{rel} . Their dieback continued in 2012-2013 and spread up covering all mature spruce forests on the above plots. The spruce forests with a low ΔD_{rel} index were the first to die, but the other mature pure spruce forests also turned out to be incapable of resisting the drastic outbreak of eight-toothed bark beetles infestation while spruce-trees were weakened by drought. The research carried out in drought conditions has confirmed the fact that pure forest stands with a homogenic composition are less resistant to any forcing.

Keywords: forest sustainability, a stand rank composition, spruce forest dieback.

References

1. Armand A.D. *Ustoychivost' (homeostaticity) geograficheskikh sistem k razlichnym tipam vneshnikh vozdeystviy* [Stability (homeostasis) of geographic systems to different types of external influences]. *Ustoychivost' geosistem* [Sustainability Geosystems]. Moscow: Nauka, 1983. pp. 14–32.
2. Armand A.D. «Sil'nye» i «slabye» sistemy v geografii i ekologii [«Strong» and «weak» systems in Geography and Ecology]. *Ustoychivost' geosistem* [Sustainability Geosystems]. Moscow: Nauka, 1983. pp. 50–61.
3. Bartkyavichus E., Augustaitis A. *Drevesno-kol'tsevoy analiz sosnovykh drevostoev, povrezhdennykh promyshlennymi vybrosami* [Tree-ring analysis of pine stands damaged by industrial emissions]. *Problemy dendrokronologii i dendroklimatologii: Tezisy dokladov*. Sverdlovsk, 1990. pp. 13–14.
4. Bekh, I.A. *Antropogennaya transformatsiya taezhnykh lesov* [Anthropogenic transformation of boreal forests]. Novosibirsk: Nauka, 1992. 200 p.
5. Bigon M., Harper J., Thausend K. *Ekologiya. Osobi, populyatsii i soobshchestva. V 2 t.* [Ecology. Individuals, populations and communities. In 2 vols.]. Moscow: Mir, 1989. Vol. 1. 667 p. Vol. 2. 447 p.
6. Vasilevich V.I. *Statisticheskie metody v geobotanike* [Statistical methods in Geobotany]. Leningrad: Nauka, 1969. 232 p.
7. Voronkov N.A. *Ekologiya. Obshchaya, sotsial'naya, prikladnaya (obshcheobrazovatel'-nyy kurs)* [Ecology. Overall, the social, the application (general education courses): Textbook]. Moscow: Agar, 2000. 264 p.
8. Voronkov, N.A. *Osnovy obshchey ekologii* [Fundamentals of General Ecology]. Moscow: Agar, 1997. 87 p.

9. Vorontsov A.I. *Patologiya lesa* [Forest pathology]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1978. 272 p.
10. Demakov Yu. P. *Diagnostika ustoychivosti lesnykh ekosistem (metodologicheskie i metodicheskie aspekty)* [Diagnostics of sustainability of forest ecosystems (methodological and methodical aspects)]. Yoshkar-Ola, 2000. 416 p.
11. Doncheva A.V. *Landshaft v zone vozdeystviya promyshlennosti* [The landscape in the area affected industry]. Moscow, 1978. 95 p.
12. Drobyshev Yu.I., Korotkov S.A., Rumyantsev D.E. *Ustoychivost' drevostoev: strukturnye aspekty* [The stability of the stands: structural aspects]. Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry information]. 2003. № 7. pp. 2–11.
13. Dyrenkov S.A. *Struktura i dinamika taezhnykh el'nikov* [Structure and dynamics of boreal spruce forests]. Leningrad: Nauka, 1984. 174 p.
14. Korotkov S.A., Stonozhenko L.V. *K voprosu o regulirovaniy lesopol'zovaniya v lesakh, podver-zhennykh intensivnomu vozdeystviyu cheloveka (na primere el'nikov Podmoskov'ya). Lesopol'zovanie i vosproizvodstvo lesnykh resursov* [On the issue of regulation of forest management in forests, subject to intensive human impact (for example, spruce forest of the Moscow region)]: Nauchnye Trudy [Scientific works]. Moscow: MGUL, 2000. V. 303. pp. 132–135.
15. Korotkov S.A., Drobyshev Yu.I., L'vov Yu.G. *Struktura elovykh nasazhdeniy Klinsko-Dmitrovskoy gryady v usloviyakh khronicheskogo zagryazneniya vozdukh. [The structure of spruce stands Klin-Dmitrov Ridge in chronic air pollution] Lesopol'zovanie i vosproizvodstvo lesnykh resursov: Nauchnye Trudy* [Forest management and reproduction of forest resources: Proceedings]. Moscow: MGUL, 1999. V. 297. pp. 111–114.
16. Korotkov S.A., Stonozhenko L.V. *Struktura, ustoychivost' i estestvennaya spelost' el'nikov se-vero-vostochnogo Podmoskov'ya* [Structure, stability and maturity natural spruce forests of the northeastern Moscow region] *Problemy i perspektivy sovershenstvovaniya lesovodstvennykh meropriyatiy v zashchitnykh lesakh: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Problems and prospects for improving silviculture in protection forests: International scientific and practical conference]. Pushkino: VNIILM, 2014. pp. 96–99.
17. Kulagin Yu.Z. *Drevesnye rasteniya i promyshlennaya sreda* [Woody plants and industrial environment]. Moscow: Nauka, 1974. 124 p.
18. Lagunov P.M., Gusev E.N. *Dinamika lesov Podmoskov'ya* [Dynamics of forest of Moscow region]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1990. № 8. pp. 51–54.
19. Lebkov V.F. *Tipy stroeniya drevostoev* [Structural types of stands]. *Lesovedenie* [Forestry]. 1989. № 4. pp. 12–21.
20. Lipatkin V.A. *Ustoychivost' ekosistem: obsuzhdenie ponyatiy* [The sustainability of ecosystems: a discussion of concepts]. *Nauch. tr.* [Scientific works]. Moscow: MGUL, 1996. Vol. 283. pp. 24–37.
21. Maslakov E.L. *Formirovaniye sosnovykh molodnyakov* [Formation of pine saplings]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1984. 168 p.
22. Matyuk I.S. *Ustoychivost' lesonasazhdeniy* [Stability of forest plantations]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1983. 136 p.
23. Melekhov I.S. *Lesovedenie* [Forestry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1980. 406 p.
24. Mirkin B.M., Rozenberg G.S., Naumova L.G. *Slovar' ponyatiy i terminov sovremennoy fitotsentologii* [Dictionary of terms and concepts of modern Fitotsenology]. Moscow: Nauka, 1989. 223 p.
25. Mozolevskaya E.G. *Sistema lesopatologicheskogo monitoringa v lesakh Rossii* [Pathology monitoring system in forests of Russia]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 1995. № 5. pp. 2–4.
26. Morozov G.F. *Uchenie o lese* [The doctrine of the forest]. Moscow-Leningrad: GIZ, 1928. 365 p.
27. Nesterov N.S. *Ocherki po lesovedeniyu* [Essays on forest science]. Moscow-Leningrad: Goslestekhizdat, 1933. 247 p.
28. Nikolaevskiy V.S. *Biologicheskie osnovy gazoustoychivosti rasteniy* [Biological basis of gas resistance of plants]. Novosibirsk: Nauka, 1979. 280 p.
29. Odum J. *Ekologiya. V 2 t.* [Ecology. In 2 vols.]. Moscow: Mir, 1986. Vol. 1. 328 p. Vol. 2. 376 p.
30. Polyakova G.A., Malysheva T.V., Fleerov A.A. *Antropogennoe vliyaniye na osnovnye lesa Podmoskov'ya* [Anthropogenic impact on the pine forests near Moscow]. Moscow: Nauka, 1981. 144 p.
31. Riklifs R. *Osnovy obshchey ekologiy* [Fundamentals of General Ecology]. Moscow: Mir, 1979. 424 p.
32. Rozhkov A.A., Kozak V.T. *Ustoychivost' lesov* [Sustainability of forests]. Moscow, 1989. 238 p.
33. Romanovskiy M.G. *Produktivnost', ustoychivost' i bioraznoobrazie ravninnykh lesov evropeyskoy Rossii* [Productivity, sustainability and biodiversity of the lowland forests of European Russia]. Moscow: MGUL, 2002. 97 p.
34. Sennov S.N. *Ukhod za lesom (ekologicheskie osnovy)* [Forest management (environmental bases)]. Moscow: Lesnaya promyshlennost'. 1984. 128 p.
35. Taran I.V., Spiridonov V.N. *Ustoychivost' rekreatsionnykh lesov* [Stability of recreation forests]. Novosibirsk: Nauka, 1981. 240 p.
36. Tret'yakov N.V. *Zakon edinstva v stroenii nasazhdeniy* [The law of unity in the structure of plants]. Moscow-Leningrad: Novaya derevnya, 1927. 114 p.
37. Witteker R. *Soobshchestva i ekosistemy* [Communities and ecosystems]. Moscow: Progress, 1980. 327 p.
38. Khayretidinov A.F., Konasheva S.I. *Rekreatsionnoye lesovodstvo* [Recreational Forestry]. Ufa: Izd-vo BGAU, 1994. 223 p.
39. Tsvetkov M.A. *Izmeneniye lesistosti Evropeyskoy Rossii s kontsa XVII stoletiya po 1914 g.* [Change in forest cover of European Russia since the end of the XVII century to 1914]. Moscow: Izd. AN SSSR, 1957. 214 p.
40. Ashbi W.Ross. *Vvedeniye v kibernetiku* [Introduction to Cybernetics]. Moscow: Izdatel'stvo inostrannoy literatury, 1959. 432 p.
41. Yusupov I.A. *Sostoyaniye i ustoychivost' iskusstvennykh osnovnykh molodnyakov v usloviyakh aeropromvybrosov na Srednem Urale* [Condition and stability of artificial pine saplings in the conditions of air industrial emissions in the Middle Urals]: *Avto-ref. dis. ... k. s.-kh. n.* [Abstract of thesis ... of PhD. agricultural Sciences]. Ekaterinburg, 1996. 25 p.
42. Kimmins J.P. Biodiversity and its relationship to ecosystem health and integrity. *The forestry chronicle*, 1997, vol. 73, N 2, pp. 229–232.
43. Margalef R. 1968. Perspectives in ecological theory. University of Chicago Press. 111 pp.
44. Perry D.A. *Forest ecosystems*. Baltimore, London, 1994. 649 p.