МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФГБОУ ВПО «ПОВОЛЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ЦЕНТР УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ И ДИСТАНЦИОННОГО
МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА:

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ

Материалы международной конференции

14-15 октября 2015 г.

FOREST ECOSYSTEMS UNDER CLIMATE CHANGE:

BIOLOGICAL PRODUCTIVITY AND REMOTE MONITORING

Proceedings of the International conference

14-15 October 2015

Йошкар-Ола
2015

УДК 630
ББК 43:20.18
Л 50

Редакционная коллегия:

Э. А. Курбанов, д-р. с.-х. наук, профессор (отв. редактор)
И. Гитас, д-р наук, профессор
С. А. Барталев, д-р техн. наук, профессор
О. Н. Воробьев, канд. с.-х. наук, доцент
С. А. Лежнин, канд. с.-х. наук

Электронное издание подготовлено по решению оргкомитета конференции и редакционно-издательского совета ПГТУ

Л 50 **Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг:** материалы международной конференции (14-15 окт. 2015 г.) / Отв. ред. проф. Э.А. Курбанов [Электронный ресурс]. − Электрон. дан.− Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2015. − 121 с. − URL: http://www.volgatech.net/international-cooperation-department/centre-for-sustainable-management-and-remote-monitoring-of-forests/publications/

ISSN 2500-4263

В сборнике представлены доклады участников международной сетевой конференции, состоявшейся 14-15 октября 2015 года на базе Поволжского государственного технологического университета, посвященной актуальным вопросам исследования лесных экосистем в условиях изменения климата и особенно таким аспектам, как биологическая продуктивность и дистанционный мониторинг лесов.

УДК 630
ББК 43:20.18

ISSN 2500-4263

© Поволжский государственный технологический университет, 2015
© Центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов, 2015

ACKNOWLEDGEMENT

Сборник подготовлен на базе Центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов Поволжского государственного технологического университета по проекту № 2394 «Дистанционный мониторинг устойчивости лесных экосистем» в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки Российской Федерации 2014-2016 гг.

Конференция проводилась при поддержке Европейского института леса (Йоэнсуу, Финляндия).

EFI ASSOCIATED EVENT

СОДЕРЖАНИЕ

Katagis T., Gitas I. Establishment of a National Observatory of Forests (NOF)…… 6

Демаков Ю.П., Пуряев А.С. Моделирование развития древостоев и распределения потока ассимилянтов на основе материалов лесоустройства…….. 6

Хлюстов В.К. Применение аэрофотограмметрических комплексов IDM-200 (600) и VISION MAP A3 для инвентаризации и мониторинга лесов дистанционными методами зондирования Земли…….. 19

Глушко С.Г., Прохоренко Н.Б. Трактовка понятия экологическая катастрофа применительно к лесам Среднего Поволжья……. 30

Полевщикова Ю.А., Демишева Е.Н. Пространственная динамика лесного покрова на примере Кировской области по данным дистанционного зондирования…… 34

Исаев А.В. Структура фитомассы различных фракций древостоев в пойме реки Большая Кокшага…… 39

Алгаева А.А., Воробьева Н.О., Курбанова А.Э. Оценка состояния растительного покрова Марийского Заволжья по вегетационным индексам на основе спутниковых данных…….. 46

Шевелев Д.А. Дистанционные методы изучения лесоводственного эффекта гидролесомелиорации с использованием геоинформационных технологий……. 50

Демишева Е.Н., Полевщикова Ю.А. Дистанционная оценка влияния полигонов твердых бытовых отходов РМЭ на лесные насаждения санитарно-защитных зон…… 55

Смирнова Л.Н. Экологическая оценка градостроительства с использованием спутниковых снимков на примере г. Йошкар-Олы..…….. 61

Боровлев А.Ю., Елсаков В.В. Спутниковые съемки в анализе показателя сомкнутости лесных фитоценозов на примере предгорных и равнинных лесов Припечорья…….. 66

Краснов В.Г. Закономерности динамики структуры фитомассы деревьев дуба в лесах Марийского Присурья……..…….. 70

Хлюстов В.К., Лебедев А.В., Ефимов О.Е. Возрастная динамика биологической продуктивности сосновых древостоев по типам леса Костромской области……... 77

Рахматуллина И.Р., Рахматуллин З.З., Габделхаков А.К. Ландшафтно-экологический анализ геосистем Бугульминско-Белебеевской возвышенности (в пределах Республики Башкортостан)……. 85

Тарасова Л.В. Использование данных дистанционного зондирования Земли при экологическом мониторинге недропользования в Республике Марий Эл……. 94

Валеева А.Р., Латыпова Р.В. Экологические свойства декоративных древесных и кустарниковых растений на территории Башкирского ГАУ и их положительное влияние на меняющийся климат……... 100

Цветкова Е.М., Салдаева Е.Ю. Нормативное обеспечение качества зеленой биотехнологии……. 104

Шевченко А.С. Оценка экологического воздействия трассы «Формула-1» в г. Сочи……... 107

Лежнин С.А. Определение зарастания залежей Марийского Заволжья древесной растительностью по данным ДЗЗ……..…… 114

Шевченко А.С., Смирнова Л.Н. Оценка динамики площадей несанкционированных полигонов твердых бытовых отходов методами дистанционного зондирования (на примере Республики Марий Эл)……. 118

ESTABLISHMENT OF A NATIONAL OBSERVATORY OF FORESTS (NOF)

T. Katagis, I. Gitas
Aristotle University of Thessaloniki, Greece

The main goal of this research project is the establishment and pilot operation of a Forest Observatory, aiming at the creation of an inventory of all available forest management plans of Greece, and ensuring accessibility of the digital forest data through a web-based application.

Forest management plans are the main source of information for the Greek forest ecosystems. Both medium and long-term management planning of forests under public as well as private ownership is based on these plans. Greece is one of the few European countries that support sustainable management of forest ecosystems with the use of forest management plans. These plans, which are compiled either by the forest service or by foresters working in the private sector, since the beginning of the last century, are still used by the Forest Service, exclusively, for the management of the forest complexes at a local level.

Consequently, the information included in these plans is not available at regional or national level. This is further accentuated by the lack of a central storage and management system for these plans. Hence, the central forest agency is rendered incapable of generating general statistics, which could be further utilized by the Greek government to meet national and international commitments. In addition, due to the current situation this information cannot be used in any decision support system regarding rural development, at local, regional or national level.

The ambition of the NOF project is to fill in this gap, with the establishment of an integrated forest data management system. The vision of the establishment and pilot operation of the National Observatory of Forests is to significantly contribute in:

- the improvement of the Forest Service operations,
- the promotion of forest information included in the management plans, by ensuring the online accessibility of the digital forest data,
- providing updated and accurate forest data to researchers and professionals for conducting forest-related research and assessments (biomass estimation, climate-driven change assessment, etc.)

УДК 630*181:581.5

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ДРЕВОСТОЕВ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПОТОКА АССИМИЛЯНТОВ НА ОСНОВЕ МАТЕРИАЛОВ ЛЕСОУСТРОЙСТВА

Ю. П. Демаков, А. С. Пуряев
Поволжский государственный технологический университет

Приведены математические уравнения, отражающие закономерности развития древостоев семи различных пород в свежих дубравах Предкамья Республики Татарстан и распределения потоков ассимилянтов в них, вычисленные на основе материалов лесоустройства. Даны примеры их применения для оценки эффективности использования древостоями ресурсов среды.

Ключевые слова: *древостои, фитомасса, оценка, рост и развитие, математическое и имитационное моделирование.*

MODELING THE DEVELOPMENT OF STANDS AND FLOW DISTRIBUTION OF ASSIMILATES ON THE BASIS OF FOREST MANAGEMENT

Y. P. Demakov, A. S. Puryaev
Volga State University of Technology

The article describes mathematical equations which reflect the pattern of forest stands growth of seven different types of young oak forests in Tatarstan Republic Predkamja and assimilant streams distribution within them. The equations were established on the base of forest inventory materials. The examples of equations procedure for estimation of utilization effectiveness of environmental resources by forest stands are given.

Key words: *forest stands, phytomass, growth and development, mathematical and imitational modeling.*

Введение. Решение задачи рационального использования эколого-ресурсного потенциала лесов, которые являются не только источником множества ценных продуктов, но и мощным стабилизатором глобальных биосферных процессов, возможно лишь на основе глубокого познания закономерностей структурной организации и развития древостоев, базирующегося на данных полевых исследований, использовании методов математической статистики и имитационного моделирования. Биогеоценология хотя и располагает сейчас огромнейшим материалом о различных сторонах жизни леса, однако он далеко не всегда выражен в надлежащей форме, иногда фрагментарен и противоречив. Это приводит к тому, что выбор наилучших вариантов лесовыращивания и лесопользования осуществляется часто «вслепую», методом проб и ошибок, носит интуитивный и субъективный характер. Необходимо, следовательно, обобщить всю имеющуюся информацию и разработать эмпирические математические модели, наилучшим образом описывающие зависимость параметров биопродуктивности от наиболее типичных и простых таксационных показателей древостоев. Математические модели выступают при этом не только как средство описания конкретных эмпирических данных, но и как метод познания анализируемых объектов или явлений. При разработке математических моделей всегда нужно стремиться к максимально возможному их упрощению, даже жертвуя в некоторых случаях небольшой потерей точности оценки. Чем сложнее модель, тем меньше её возможности для объяснения сути анализируемого процесса или объекта, тем меньше вероятность её использования на практике.

Для решения этой задачи могут быть использованы два способа сбора исходной информации: первый основан на натурной оценке состояния биогеоценозов с использованием пробных площадей, второй – на данных таксационных описаний насаждений (Демаков, 2009). Первый подход очень трудоемок и не позволяет во многих случаях получить достаточно обширный и репрезентативный материал. Второй же подход по трудозатратам и представительности исходных данных более предпочтителен. Он хотя и уступает по своей точности натурной оценке, но при достаточно большой базе исходных данных, когда начинает действовать закон больших чисел, позволяет использовать приемы математической статистики и выявления некорректных величин. Значение таксационных описаний насаждений в качестве источника информации для биогеоценологии пока еще недооценивается, и многие исследователи до сих пор предпочитают закладывать пробные площади и обмерять модельные деревья, затрачивая массу времени и получая недостаточно представительные данные.

Цель работы – разработка алгоритма моделирования развития древостоев на основе материалов лесоустройства, а также поиск таксационных параметров, позволяющих достаточно просто оценить их фитомассу и распределение потока ассимилянтов.

Материал и методика. Исходным материалом для расчетов, проведенных на ПК с использованием прикладных программ и стандартных методов математической статистики, служили таксационные описания лесов Предкамья Республики Татарстан (более 115 тыс. выделов общей площадью 400 тыс. га), а также таблицы динамики биологической продуктивности древостоев основных лесообразующих пород России, представленные в капитальной монографии В.А. Усольцева (Усольцев, 2002), в которой обобщен труд многих исследователей. При решении задачи использовали хорошо отработанную нами информационную технологию (Демаков, Козлова, 2007; Демаков, Исаев, 2009; Демаков и др., 2011; Демаков, Медведкова, 2010; Демаков, Симанова, 2014; Демаков и др., 2015; Демаков, Исаев, 2015). Первым и наиболее трудоемким этапом работы по использованию таксационных описаний насаждений для анализа структуры и динамики лесов является создание в среде Excel матрицы исходных данных, которая представляет собой систему строк, соответствующих только одному таксационному выделу, и столбцов, отражающих только один из многочисленных таксационных параметров насаждения. Дальнейшая работа с исходной базой данных заключалась в последовательной сортировке исходных данных по типу леса, возрасту и древесной породе с последующим вычислением для каждой выделенной группы средних значений высоты, диаметра, полноты, класса бонитета и запаса древостоев.

Результаты и их обсуждение. Результаты работы проиллюстрируем на примере древостоев Предкамья Республики Татарстан (РТ), произрастающих здесь в свежих дубравах (ТЛУ D_2), занимающих 157 тыс. га (39,3 % площади лесов этого района). Расчеты показали, что изменение средней высоты древостоев (H, м) с их возрастом (t, лет) наилучшим образом описывает уравнение Митчерлиха $H = K\times[1 - exp(-a\times t)]^b$, все параметры которого имеют конкретный биологический смысл. Параметр K характеризует предельную высоту деревьев, к которой они стремятся в процессе роста, параметр a отображает скорость роста деревьев, а параметр b показывает степень сопротивления среды их росту. По величине параметра K доминируют лиственничники и сосняки (табл. 1), которые имеют искусственное происхождение. Замыкают ранговый ряд по пределу высоты древостоев дубняки и липняки, являющиеся здесь коренными формациями. Наивысшие значения параметра a имеют березняки и осинники, а наименьшие – ельники и лиственничники. По величине параметра b доминируют дубняки, за которыми следуют ельники. Наименьшее же значение этого параметра отмечается у лиственничников и липняков.

Анализ результатов расчетов показал, что дуб, который для данных условий произрастания считается наиболее хозяйственно ценной породой, значительно уступает по высоте всем остальным породам деревьев (рис. 1), испытывая в смешанных насаждениях с их стороны угнетение, для снижения которого необходимо проводить лесоводственный уход, особенно в возрасте до 35-40 лет. Лидируют по высоте в возрасте до 5-7 лет осинники, затем березняки, которые после 65 лет уступают своё место лиственничникам.

Изменение среднего диаметра деревьев (D, см) с их возрастом (t, лет) наилучшим образом описывает степенное уравнение $D = a\times t^b$, в котором параметр a отображает скорость их роста (исходный импульс), b – её ускорение или торможение. Наивысшее значение параметра a имеет сосна, а наименьшее – дуб. По величине же параметра b положение пород диаметраль-

Таблица 1

Параметры уравнений динамики таксационных показателей древостоев в ТЛУ D_2 Предкамья РТ

Параметр уравнения*	Значения параметров уравнений для древостоев различных пород						
	сосны	ели	лиственницы	березы	осины	липы	дуба
Средняя высота деревьев, $H = K\times[1 - exp(-a\times 10^{-3}\times t)]^b$, м							
K	34,1	29,5	36,0	29,8	28,5	25,7	26,7
a	25,59	23,19	21,78	35,40	34,78	25,80	26,37
b	1,321	1,552	1,169	1,258	1,220	1,096	1,679
R^2	0,997	0,996	0,994	0,988	0,997	0,997	0,992
Средний диаметр деревьев, $D = a\times t^b$, см							
a	1,434	0,534	0,957	1,212	0,803	0,819	0,443
b	0,707	0,909	0,821	0,759	0,857	0,802	0,958
R^2	0,963	0,976	0,969	0,975	0,993	0,996	0,980
Средний запас древостоев, $M = a\times t^{b-1}\times exp(-c\times 10^{-5}\times t^b)$, м^3							
a	4,418	3,314	8,613	3,034	2,812	2,348	2,514
b	2,111	2,047	1,900	2,124	2,206	2,162	2,046
c	4,708	4,213	2,916	4,818	5,470	3,349	5,234
$t_{кз}$, лет	85	100	165	80	65	90	90
$M_{кз}$, м^3/га	352	244	530	246	250	250	165
R^2	0,981	0,924	0,962	0,926	0,975	0,993	0,962

***Примечание:** K, a, b, c – безразмерные коэффициенты регрессии; $t_{кз}$ – возраст наступления кульминации наличного запаса древостоя, лет; $M_{КЗ}$ – наличный запас древостоя в момент наступления кульминации его величины, м^3/га; R^2 – коэффициент детерминации модели.

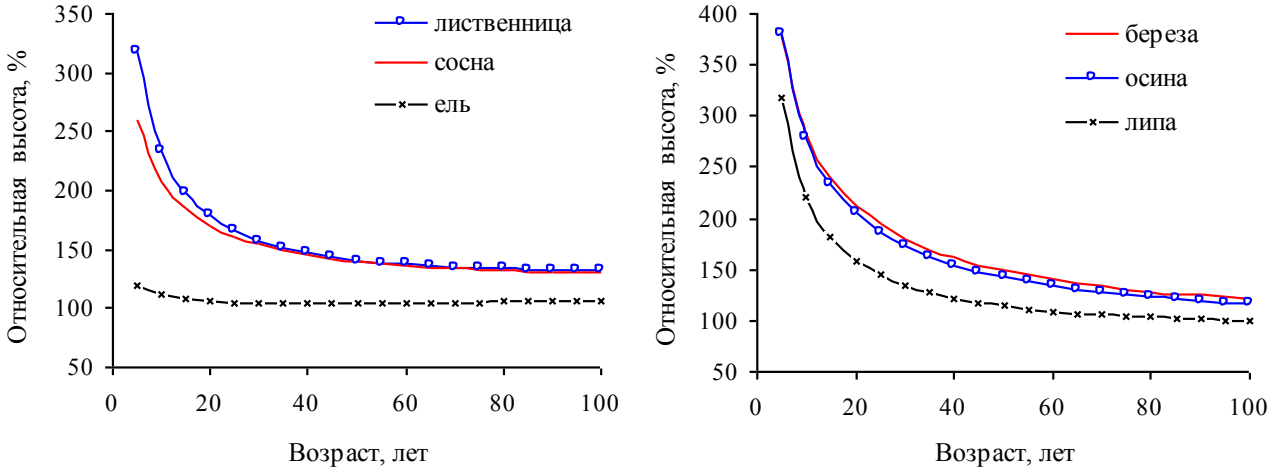


Рис. 1. Динамика высоты деревьев разных пород по отношению к высоте деревьев дуба

но противоположное. Древостои всех пород в возрасте до 100 лет имеют, как показали расчеты, значительно более высокий средний диаметр деревьев, чем дубняки (рис. 2). Лишь ельники и липняки после 50-55 лет несколько уступают им. Наиболее высокий диаметр в возрасте до 30 лет имеют сосняки, которые передают лидерство березнякам, уступающим после 45 лет своё место лиственничникам.

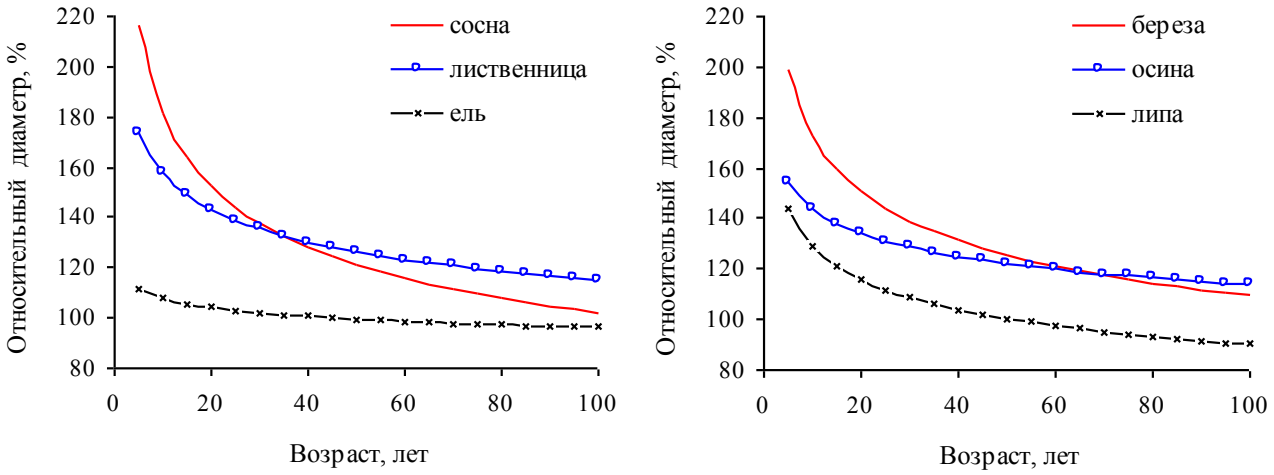


Рис. 2. Динамика среднего диаметра деревьев разных пород по отношению к диаметру деревьев дуба

Одним из главнейших показателей эколого-ресурсного потенциала древостоев является запас стволовой древесины, который, как показали расчеты, увеличивается с возрастом лишь до определенного момента, а затем неуклонно снижается, что связано с их изреживанием под воздействием естественных и антропогенных факторов. Изменения наличного запаса древесины (M, м^3/га) с возрастом (t, лет) наилучшим образом описывает функция оптимума $M = a \times t^{b-1} \times exp(-c \times 10^{-5} \times t^{b})$, значения параметров которой сугубо специфичны для каждой древесной породы. Кульминация запаса древесины раньше всех наступает в осинниках, а позднее – в лиственничниках; его же величина в этот момент наибольших значений достигает в лиственничниках, а наименьших – в дубняках. Древостои всех пород в возрасте до 100 лет имеют, как показали расчеты, значительно более высокий запас стволовой древесины, чем дубняки (рис. 3). Наиболее высокий запас в возрасте до 25 лет имеют культуры лиственницы, которые передают лидерство соснякам, уступающим после 60 лет своё место опять лиственничникам.

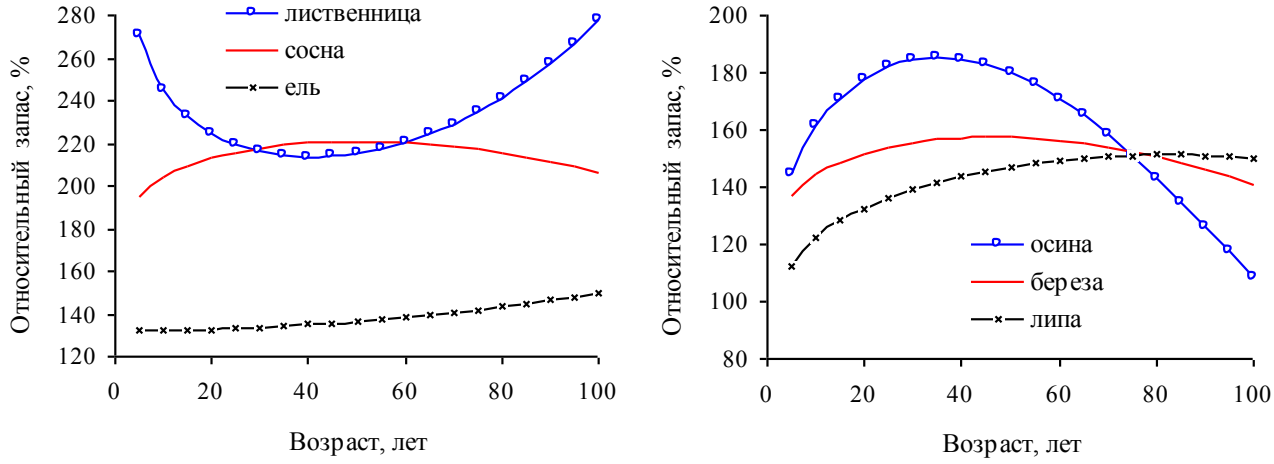


Рис. 3. Динамика наличного запаса древостоев разных пород по отношению к запасу дубняков

Древесный запас далеко не в полной мере подходит для оценки эколого-ресурсного потенциала насаждений, так как плотность древесины у разных пород далеко не одинакова. Лучше всего для этой цели подходит фитомасса, которая является мерой поглощения растениями солнечной энергии и элементов питания, депонирования углерода, выделения кисло-

рода и транспирации воды. Для перевода объема стволовой древесины в фитомассу рядом исследователей (Замолодчиков и др., 1998; Замолодчиков, Уткин, 2000; Замолодчиков и др., 2005; Уткин и др., 1996) разработаны математические модели конверсионно-объемных коэффициентов. Проведенные нами расчеты показали, что для оценки фитомассы различных фракций древостоев лучше всего использовать аллометрические уравнения (Демаков и др., 2015). Надежную аппроксимацию исходных данных по объему и абсолютно сухой массе ствола, а также общей и надземной фитомассе дерева, его коры и ветвей обеспечивает уравнение $Y = a \times h^b \times (d + 1)^2$, объясняющее более 99 % общей дисперсии значений зависимых переменных. Фитомассу же ассимиляционного аппарата (листвы или хвои) и корней определяет только диаметр ствола. Аллометрическое уравнение в этом случае имеет такой вид: $Y = a \times (d + 1)^b$. Добавление единицы к значению диаметра дерева обусловлено необходимостью коррекции получаемых оценок в том случае, когда величина этого таксационного параметра приближается к нулю (измерение диаметра ствола деревьев проводят, как известно, на высоте 1,3 м от поверхности почвы).

Значения параметров уравнений регрессии, как нами было установлено, сугубо специфичны для каждой древесной породы (табл. 2).

Таблица 2

Параметры уравнений по оценке объема ствола и фитомассы различных фракций деревьев

Параметр уравнения	Значения параметров уравнений для различных пород деревьев						
	сосны	ели	лиственницы	березы	осины	липы	дуба
Объем ствола дерева, $V = a \times 10^{-5} \times h^b \times (d + 1)^2$, м^3							
a	5,180	3,583	3,936	3,551	2,997	4,591	6,849
b	0,868	0,992	0,969	0,967	1,036	0,910	0,809
Общая абсолютно сухая масса дерева, $M = a \times 10^{-2} \times h^b \times (d + 1)^2$, кг							
a	4,906	3,410	4,591	3,381	3,262	4,775	6,011
b	0,743	0,841	0,873	0,858	0,855	0,770	0,776
Фитомасса ствола дерева без коры, $M = a \times 10^{-2} \times h^b \times (d + 1)^2$, кг							
a	2,013	1,368	1,519	1,342	1,137	1,700	2,744
b	0,891	0,992	1,077	1,018	1,033	0,929	0,886
Фитомасса коры, $M = a \times 10^{-3} \times h^b \times (d + 1)^2$, кг							
a	9,983	4,551	6,244	5,793	5,437	2,168	10,71
b	0,270	0,527	0,630	0,629	0,698	1,084	0,528
Фитомасса ветвей, $M = a \times 10^{-3} \times h^b \times (d + 1)^2$, кг							
a	9,608	8,090	4,702	3,035	5,445	6,427	14,36
b	0,415	0,509	0,811	0,886	0,620	0,707	0,715
Фитомасса ассимиляционного аппарата дерева (листвы / хвои), $M = a \times 10^{-3} \times (d + 1)^b$, кг							
a	22,31	18,54	72,53	5,820	9,567	36,52	17,73
b	1,777	2,109	1,395	2,160	1,853	1,462	1,873
Фитомасса корней дерева, $M = a \times 10^{-3} \times (d + 1)^b$, кг							
a	20,86	11,97	30,24	34,60	27,99	153,8	29,03
b	2,484	2,568	2,460	2,225	2,372	1,862	2,106

Примечание: *h* – высота дерева, м; *d* – диаметр ствола на высоте 1,3 м, см; степень достоверности всех уравнений очень высокая ($p < 0{,}001$).

Так, в уравнениях оценки объема ствола, общей и надземной фитомассы деревьев, массы ствола, коры и ветвей наибольшую величину параметра *a*, отображающего начальную величину импульса движения в ходе увеличения высоты дерева, имеет дуб, а наименьшую в большинстве случаев – осина. Лишь в уравнениях по оценке фитомассы коры величина параметра минимальна у липы, а по оценке фитомассы ветвей – у березы. В уравнениях по оценке фитомассы ассимиляционного аппарата деревьев самое высокое значение параметра *a* отмечается у лиственницы, а самое низкое – у березы. В уравнениях же фитомассы корней деревьев первое место по величине этого параметра занимает липа, а последнее – ель.

Значения параметра *b*, характеризующего изменение скорости движения (ускорения) зависимой переменной по мере возрастания величины предиктора, изменяются в гораздо меньшей степени, чем параметра *a,* и ранговое положение различных пород деревьев по его величине является в уравнениях крайне неустойчивым.

Лидером по массе ствола среднего дерева в возрасте 100 лет является, как показали расчеты, интродуцированная в этот регион лиственница (рис. 4). Следом за ней в ранговом ряду располагаются аборигенные породы деревьев: осина, береза и сосна. Медленнее всего увеличиваются с возрастом эти показатели у деревьев липы. Доля массы ветвей в надземной фитомассе дерева с увеличением возраста изменяется довольно слабо (рис. 5).

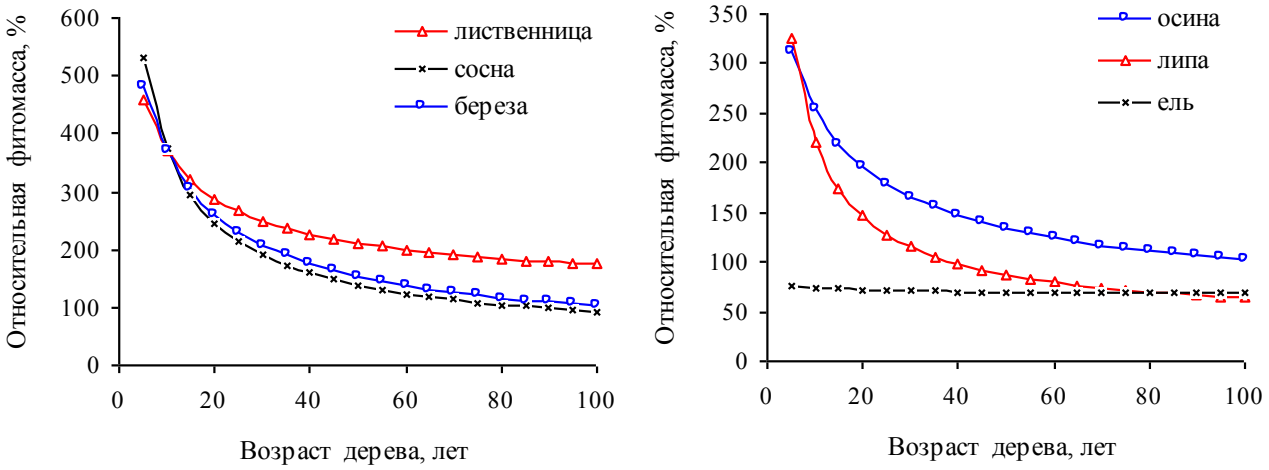


Рис. 4. Динамика абсолютно сухой фитомамассы разных пород деревьев по отношению к дубу в ТЛУ D_2 Предкамья Республики Татарстан

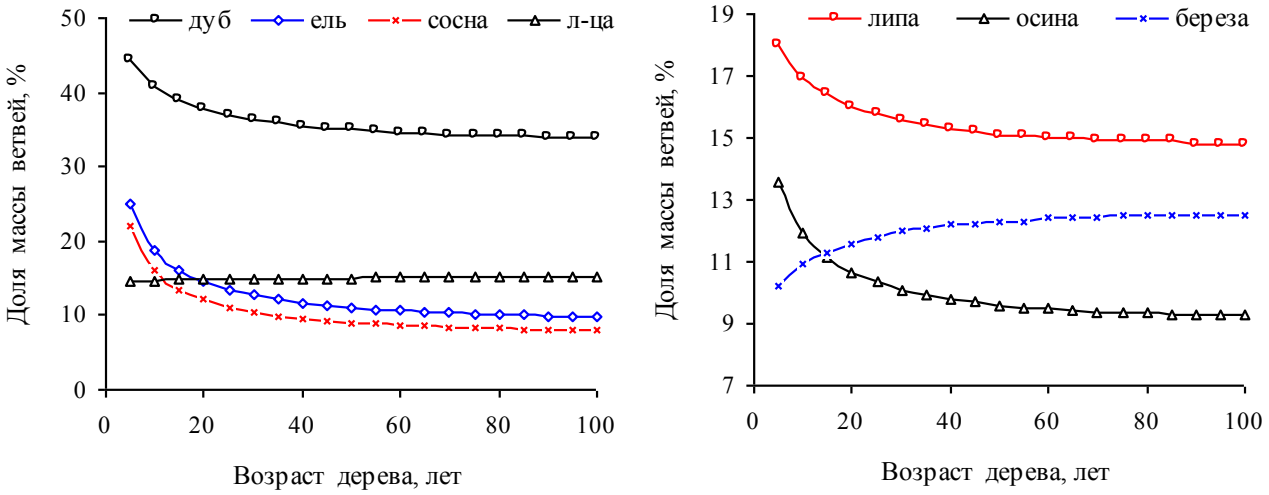


Рис. 5. Закономерности изменения доли ветвей в надземной фитомассе деревьев различных пород в ТЛУ D_2 Предкамья Республики Татарстан

У дуба она значительно больше, чем у других пород, а у осины, сосны и ели самая низкая. У березы и лиственницы, в отличие от остальных пород деревьев, её величина с возрастом увеличивается, хотя и не очень значительно.

Доля массы корней в общей фитомассе у всех пород деревьев резко снижается до возраста 30-35 лет, а в дальнейшем стабилизируется на определенном уровне, составляя наибольшую величину у липы, а наименьшую – у дуба (рис. 6).

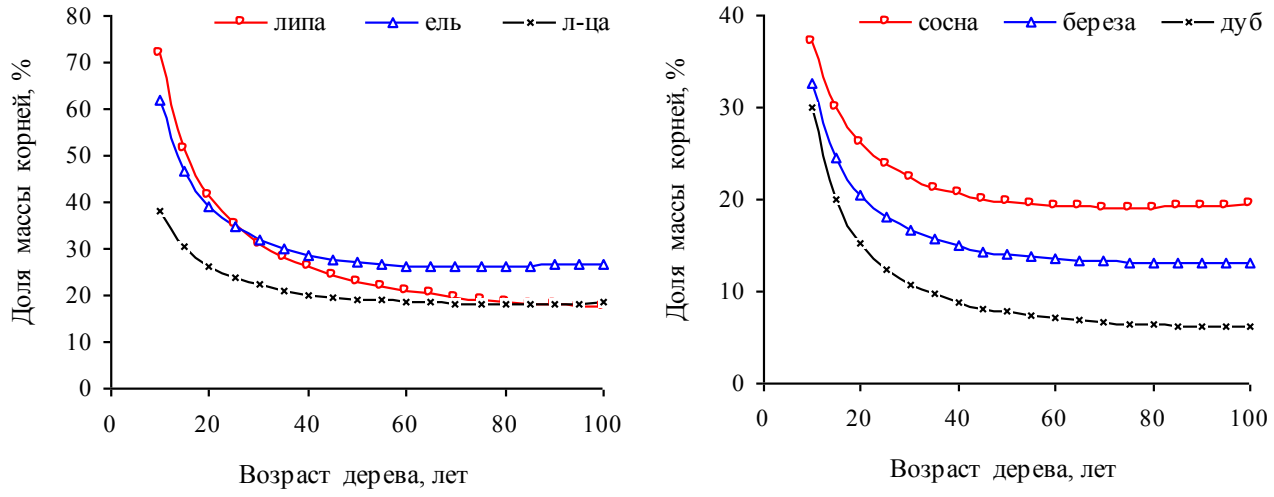


Рис. 6. Закономерности изменения доли корней в общей фитомассе деревьев различных пород в ТЛУ D_2 Предкамья Республики Татарстан

На основе полученных уравнений можно также оценить изменение потока ассимилянтов между различными органами деревьев в ходе их роста, что сделать путем прямых натурных экспериментов очень сложно. Для этого необходимо оценить величину годичного прироста массы всех фракций деревьев, которая, кроме листвы (хвои), представляет разность между значениями вычисляемого показателя в текущем и предыдущем годах. Величина же годичного прироста фитомассы ассимиляционного аппарата у листопадных деревьев равна его текущей массе, поскольку она ежегодно обновляется. У сосны же ежегодно обновляется около 1/3 массы хвои, а у ели – 1/5.

Расчеты, основанные на этих исходных положениях, показали, что по приросту общей абсолютно сухой фитомассы среднего дерева в насаждении лидером является лиственница сибирская (рис. 7), которая наиболее эффективно использует солнечную энергию и энергичнее всех других пород депонирует углекислоту. Ей немногим уступает береза повислая. Меньше всего годичный прирост фитомассы до возраста 55 лет у деревьев ели, а после этого – у липы.

Расход ассимилянтов на образование годичного прироста фитомассы различных органов деревьев не остается постоянным в течение их жизни, а изменяется нелинейно в процессе их развития. Так, динамика расхода ассимилянтов на образование годичного прироста фитомассы ствола у деревьев всех пород отображается куполообразной кривой (рис. 8) с максимумом в возрасте от 25 лет (у березы) до 55 лет (у лиственницы). Характер динамики расхода ассимилянтов на образование листвы (хвои) у деревьев иной (рис. 9). У лиственницы до 40-45 лет он резко снижается, а затем очень медленно увеличивается. У липы и дуба увеличение его величины с возрастом происходит более значительно, а у березы и осины – еще сильнее.

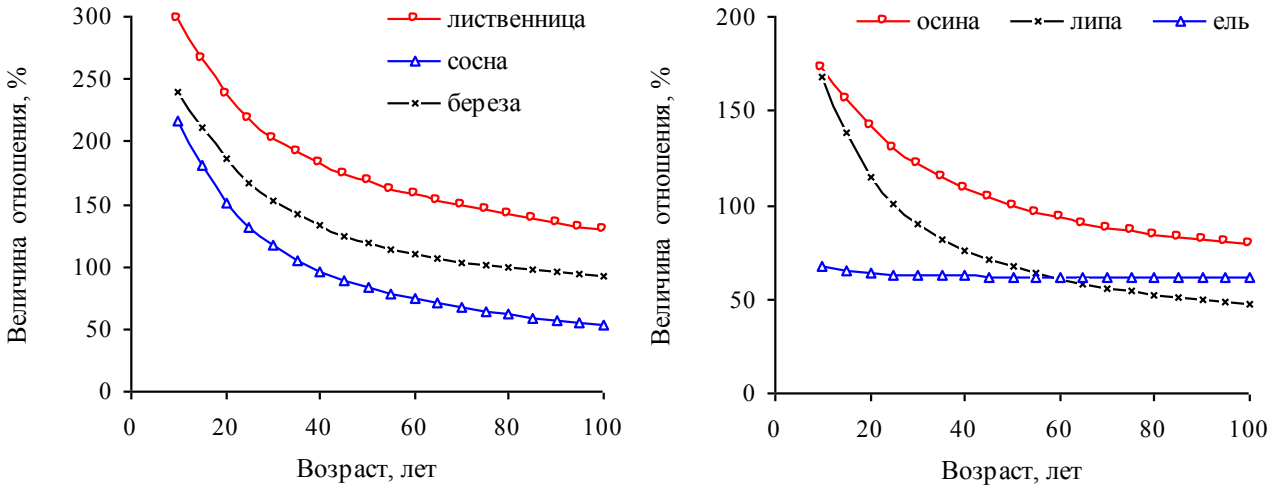


Рис. 7. Динамика годичного прироста абсолютно сухой фитомамассы разных пород деревьев по отношению к дубу в ТЛУ D_2 Предкамья Республики Татарстан

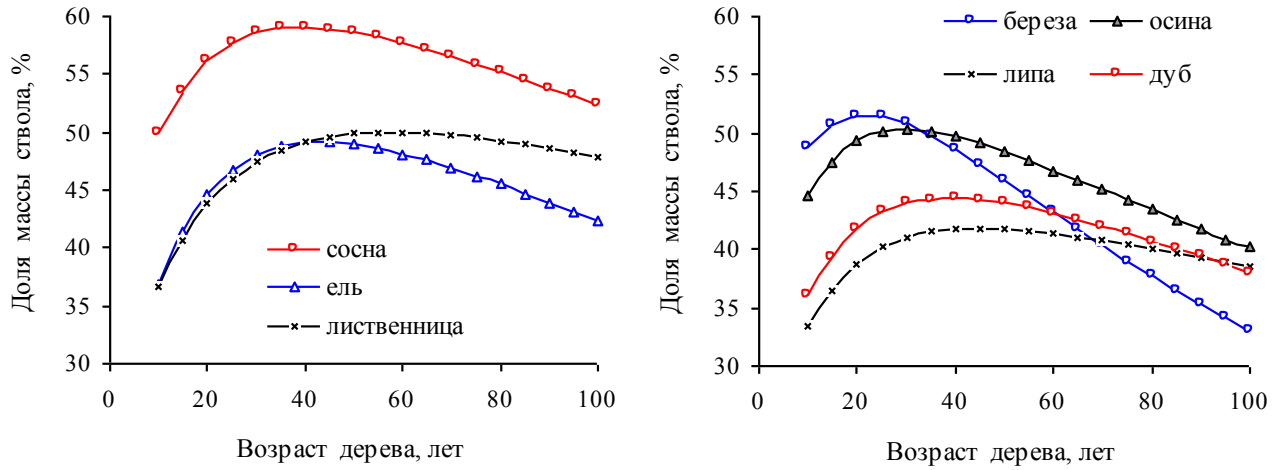


Рис. 8. Закономерности динамики доли годичного прироста массы ствола в общей величине прироста всей фитомассы у деревьев различных пород в ТЛУ D_2 Предкамья Республики Татарстан

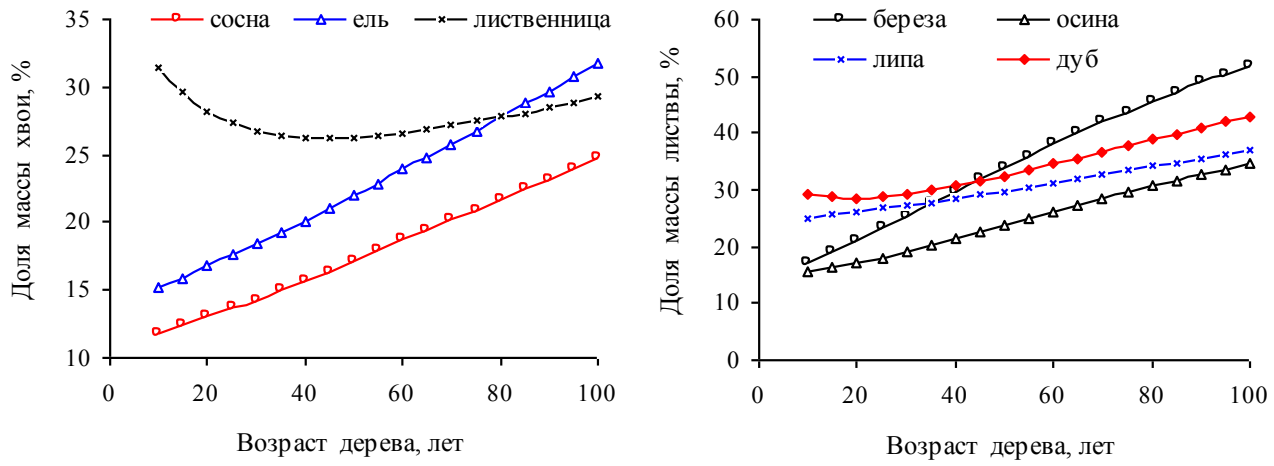


Рис. 9. Закономерности динамики доли годичного прироста массы листвы в величине прироста всей фитомассы у деревьев различных пород в ТЛУ D_2 Предкамья Республики Татарстан

Больше всего ассимилянтов на образование стволовой древесины идёт у деревьев сосны, которые в любом возрасте значительно превосходят в этом отношении все остальные древесные породы, особенно дуб и липу (рис. 10). По характеру изменения потока ассимилянтов с возрастом резко выделяется среди остальных пород береза: в возрасте 30 лет она лишь немногим уступает сосне, а в 80 лет – замыкает ранговый ряд. Распределение пород по величине потока ассимилянтов на образование листвы (хвои) диаметрально противоположное (рис. 11).

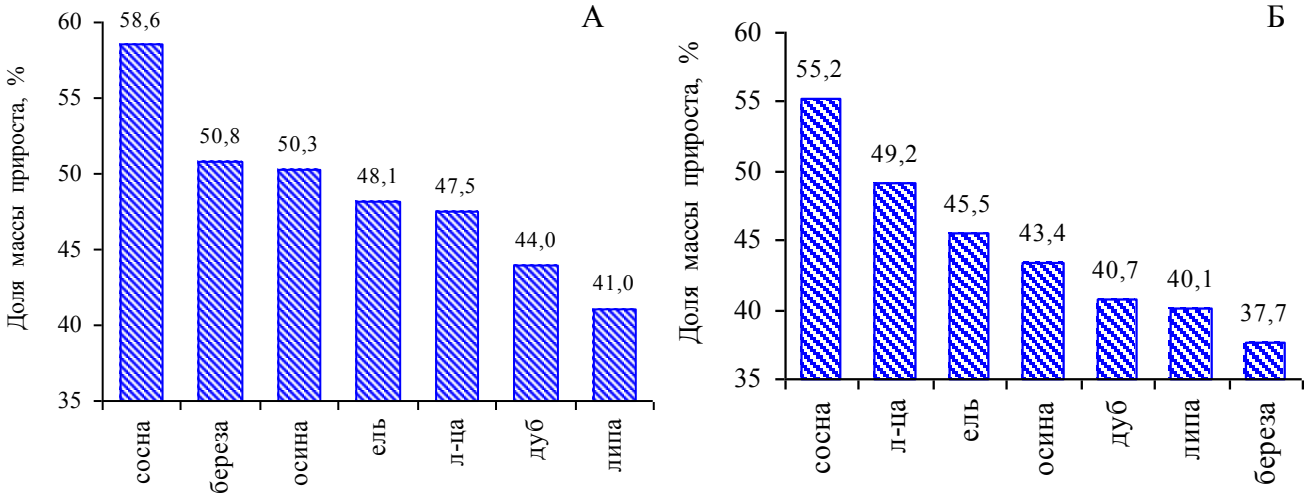


Рис. 10. Ранговое распределение древесных пород по доле годичного прироста массы ствола в приросте всей фитомассы дерева: А – в возрасте 30 лет, Б – в возрасте 80 лет

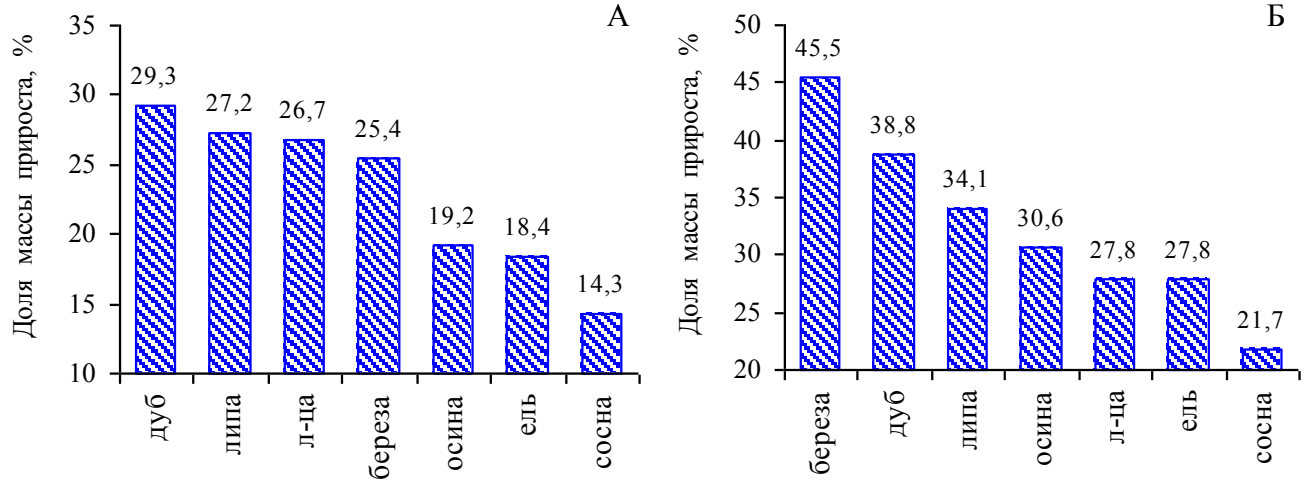


Рис. 11. Ранговое распределение древесных пород по доле годичного прироста массы листвы в приросте всей фитомассы дерева: А – в возрасте 30 лет, Б – в возрасте 80 лет

Расчеты показали, что у деревьев всех пород с увеличением их возраста происходит неуклонное снижение полезного действия (эффективности работы) ассимиляционного аппарата, единица массы которого производит все меньше и меньше единиц массы стволовой древесины (рис. 12).

Производительность ассимиляционного аппарата в молодом возрасте выше всего у деревьев осины, которая постепенно уступает свое место лиственнице (рис. 13).

Ниже всего эффективность работы ассимиляционного аппарата в течение всей жизни деревьев у сосны, а особенно у ели. Производительность ассимиляционного аппарата особенно сильно снижается с возрастом у деревьев березы, которая со второго места в ранговом ряду пород постепенно перемещается на предпоследнее.

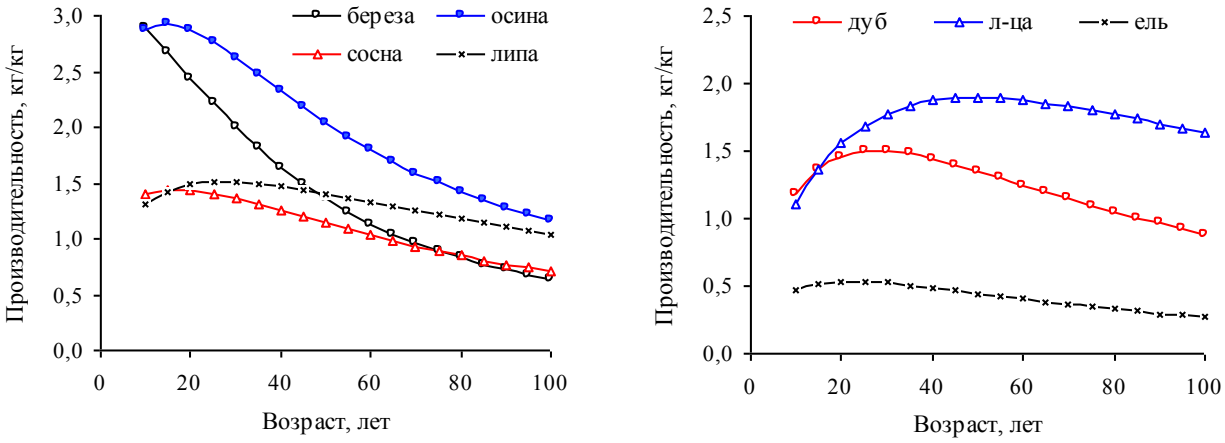


Рис. 12. Динамика производительности ассимиляционного аппарата у деревьев различных пород в ТЛУ D_2 Предкамья Республики Татарстан

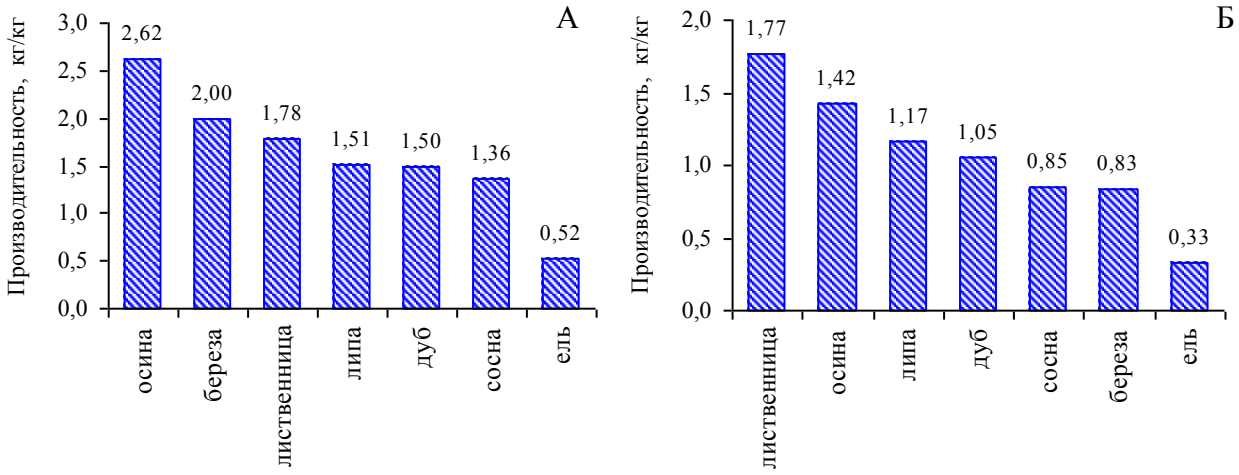


Рис. 13. Ранговое распределение древесных пород по производительности ассимиляционного аппарата деревьев разных пород: А – в возрасте 30 лет, Б – в возрасте 80 лет

С увеличением возраста деревьев постоянно возрастает нагрузка на их водопроводящую систему, которой всё труднее и труднее обеспечивать влагой и питательными веществами ассимиляционный аппарат. Величина нагрузки на водопроводящую систему больше всех у деревьев ели (рис. 14 и 15), что приводит к их массовому отмиранию во время засух, а меньше всех – у осины и липы.

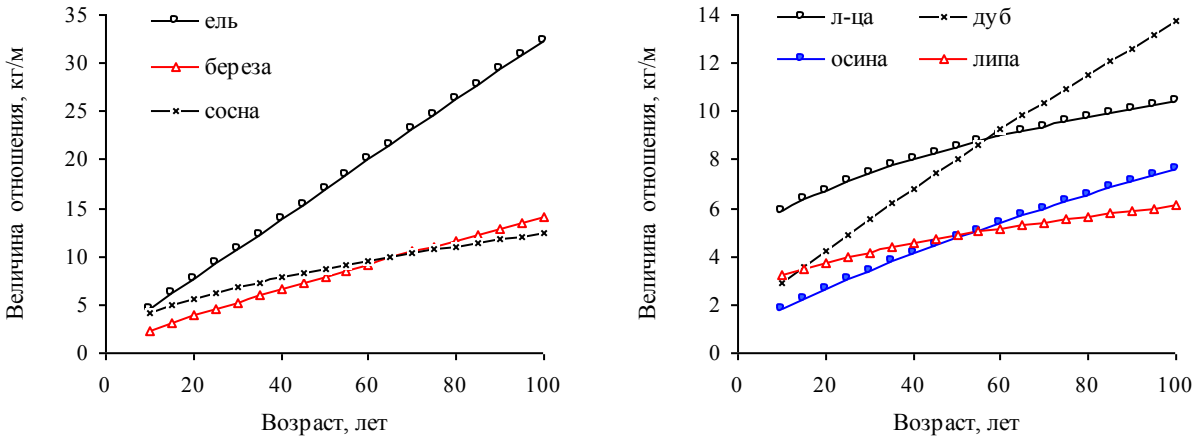


Рис. 14. Динамика отношения массы листвы к длине окружности ствола у деревьев различных пород в ТЛУ D_2 Предкамья Республики Татарстан

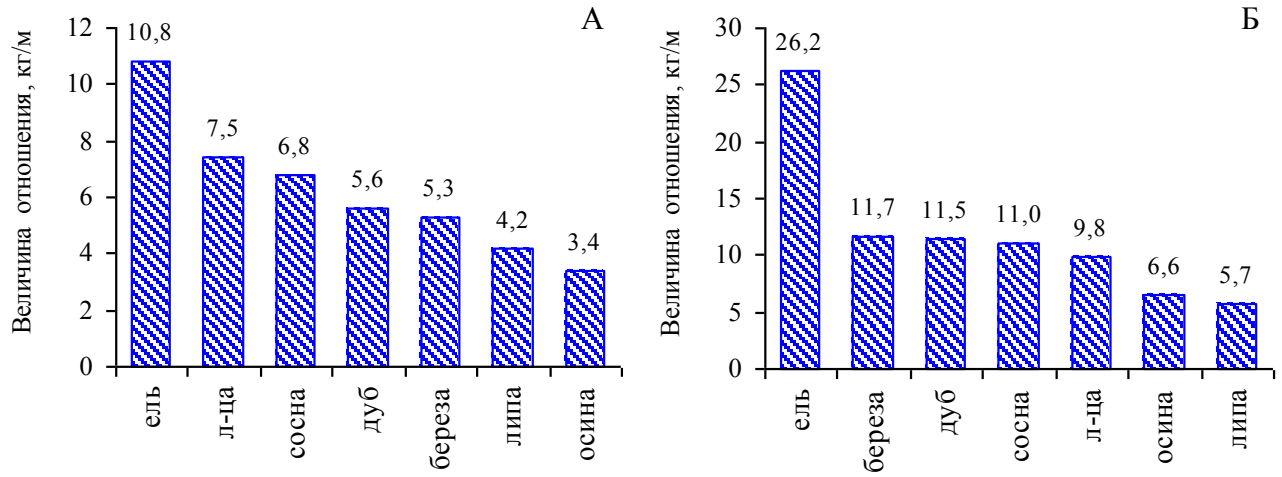


Рис. 15. Ранговое распределение древесных пород по величине отношения массы листвы к длине окружности ствола: А – в возрасте 30 лет, Б – в возрасте 80 лет

На основе данных по запасу древостоев и объему ствола среднего дерева в них можно без особых затруднений найти значения их густоты и фитомассы различных фракций. Расчеты показали, что наиболее густыми в возрасте до 50 лет являются ельники, которые затем уступают свои позиции липнякам (рис. 16). Наименьшую же густоту в возрасте до 70 лет имеют березняки, а после этого – осинники.

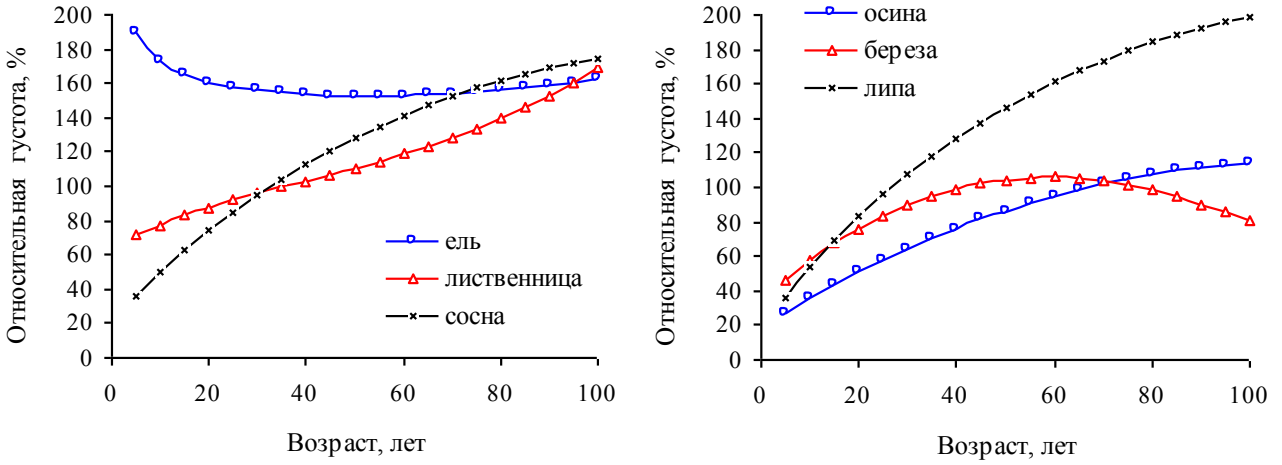


Рис. 16. Динамика густоты древостоев разных пород по отношению к дубнякам

В результате взаимодействия двух противоположно направленных процессов – увеличения массы деревьев и уменьшения их числа – общая фитомасса древостоя и его отдельных фракций изменяется с возрастом куполообразно, достигая в определенный момент времени максимального значения, а затем неуклонно снижаясь. Наиболее производительными на протяжении всего цикла лесовыращивания являются лиственничники искусственного происхождения, которые по наличной фитомассе стволовой древесины превосходят дубняки в 2,3-3,0 раза (рис. 17). Только в осинниках после 85 лет фитомасса стволов меньше, чем в дубняках. По фитомассе же ассимиляционного аппарата лидируют ельники, превосходящие дубняки в 3-3,5 раза (рис. 18). Уступают дубнякам лишь осинники, липняки и березняки, причем последние из них только до возраста 40 лет.

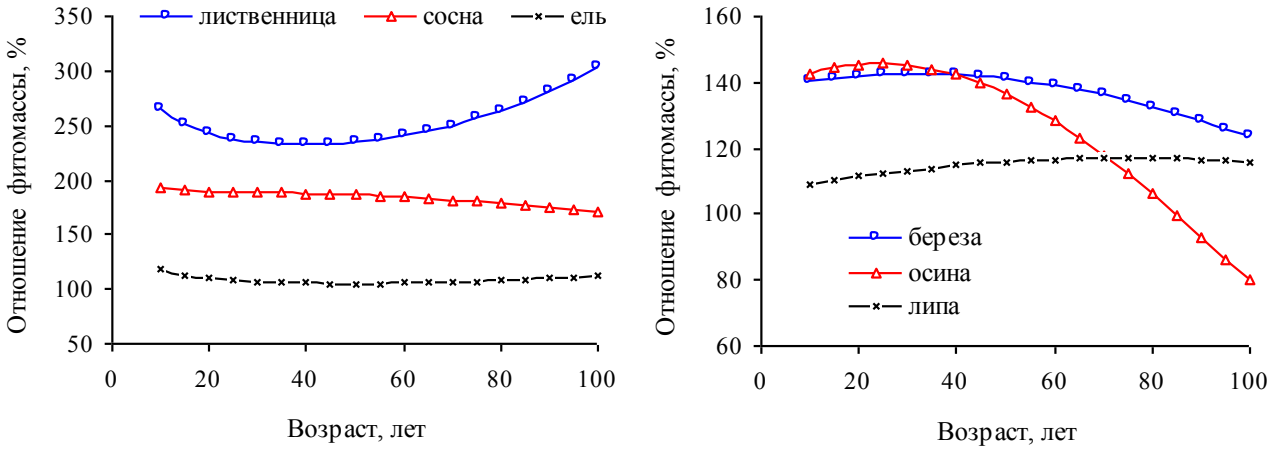


Рис. 17. Динамика фитомассы стволов в древостоях разных пород по отношению к дубнякам

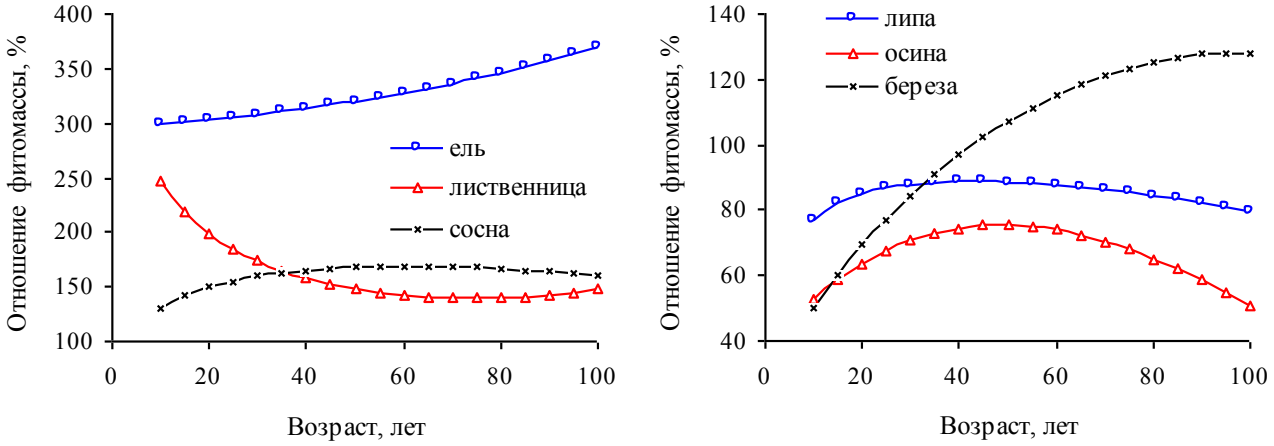


Рис. 18. Динамика фитомассы листвы в древостоях разных пород по отношению к дубнякам

Выводы:

1) таксационные описания насаждений являются вполне надежной основой для анализа существующей структуры лесов, выявления закономерностей развития древостоев и создания математических моделей, позволяя значительно сократить трудозатраты на сбор исходного материала;

2) объем ствола и фитомассу различных фракций деревьев можно достаточно легко и надежно оценить расчетным путем по их высоте и диаметру, используя соответствующие аллометрические уравнения, которые с успехом можно применять для выявления закономерностей динамики потока ассимилянтов между различными фракциями древостоев, что сделать путем прямых натурных экспериментов очень сложно, а также для выбора наиболее перспективных в хозяйственном или экологическом отношениях пород;

3) снижение прироста у деревьев происходит в результате больших затрат на восстановление ассимиляционного аппарата и увеличения нагрузки на их водопроводящую систему;

4) наиболее перспективной породой для лесовыращивания в условиях D_2 Предкамья Республики Татарстан является лиственница сибирская, которой по производительности значительно уступает широко распространенный здесь дуб черешчатый.

Библиографический список

1. Демаков, Ю. П. Методика использования таксационных описаний насаждений для анализа структуры и динамики древостоев / Ю.П. Демаков // Наука в условиях современности. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. С. 6–8.

2. Демаков, Ю.П. Математические модели хода роста культур сосны для различных типов леса Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, И.А. Козлова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2007. № 2 (6). – С. 83-91.

3. Демаков, Ю.П. Динамика производительности и состава древостоев в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага» / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 4. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. С. 24–67.

4. Демаков, Ю.П. Структура, продуктивность и динамика осинников Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков, А.Е. Смыков, Н.Н. Гаврицкова // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 2. – С. 24–38.

5. Демаков, Ю.П. Структура и динамика естественных лесных биогеоценозов Ботанического сада МарГТУ / Ю.П. Демаков, Е.А. Медведкова // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – Вып. 1. – С. 16–28.

6. Демаков, Ю.П. Структура ельников Республики Марий Эл и закономерности распространения елей рода Picea в её лесном фонде / Ю.П. Демаков, А.А. Симанова // Хвойные бореальной зоны. – 2014. – № 5-6. – С. 29-35.

7. Демаков, Ю.П. Закономерности развития древостоев в сураменях Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, А.А. Симанова // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 1. – С. 43-57.

8. Демаков, Ю.П. Закономерности развития древостоев в суборях Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Вестник Удмуртского государственного университета. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2015. – Т. 25, вып. 2. – С. 58-70.

9. Демаков, Ю.П. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики / Ю.П. Демаков, А.С. Пуряев, В.Л. Черных, Л.В. Черных // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 19-36.

10. Замолодчиков, Д.Г. Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам / Д.Г. Замолодчиков, А.И. Уткин, Г.Н. Коровин // Лесоведение. – 1998. – № 3. – С. 84-93.

11. Замолодчиков, Д.Г. Система конверсионных отношений для расчета чистой первичной продукции лесных экосистем по запасам насаждений / Д.Г. Замолодчиков, А.И. Уткин // Лесоведение. – 2000. – № 6. – С. 54-63.

12. Замолодчиков, Д.Г. Конверсионные коэффициенты фитомасса/запас в связи с дендрометрическими показателями и составом древостоев / Д.Г. Замолодчиков, А.И. Уткин, Г.Н. Коровин // Лесоведение. – 2005. – № 6. – С. 73-81.

13. Усольцев, В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 762 с.

14. Аллометрические уравнения для фитомассы по данным деревьев сосны, ели, березы и осины в европейской части России / А.И Уткин, Д.Г. Замолодчиков, Т.А. Гульбе, Я.И. Гульбе // Лесоведение. – 1996. – № 6. – С. 36-46.

УДК 581.5:630.587

ПРИМЕНЕНИЕ АЭРОФОТОГРАММЕТРИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ IDM-200 (600) И VISION MAP A3 ДЛЯ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ И МОНИТОРИНГА ЛЕСОВ ДИСТАНЦИОННЫМИ МЕТОДАМИ ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

В. К. Хлюстов

Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К. А. Тимирязева

Рассмотрены вопросы создания технологической платформы, автоматизированной инвентаризации земель лесного фонда, лесных ресурсов, ведения оперативного лесопожарного и лесопатологического мониторинга, обнаружения мест нелегальных рубок.

Ключевые слова: *инвентаризация насаждений, биологическая продуктивность, технологическая платформа, аэрофотограмметрический комплекс*

USE OF AIRPHOTOGRAMMETRIC COMPLEXES IDM-200 (600) AND VISION MAP A3 FOR FOREST INVENTORY AND MONITORING BY REMOTE SENSING

V. K. Khlustov

Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

The paper deals with the problems of creating a technology platform of automated inventory of forest lands, forest resources, forest fireproof and forest pathology monitoring maintenance, detection of illegal logging places.
Keywords: *inventory of plantations, biological productivity, technology platform, airphotogrammetric complex*

Современный уровень развития мирового лесного хозяйства требует создания технологической платформы, автоматизированной инвентаризации земель лесного фонда, лесных ресурсов, ведения оперативного лесопожарного и лесопатологического мониторинга, обнаружения мест нелегальных рубок (Воробьев и др., 2014).

Существующие технологии дистанционного зондирования лесов аэро- и космическими методами не позволяют автоматизировать процесс инвентаризации лесных насаждений.

Следует указать на то, что основу инвентаризации лесов составляют лесотаксационные нормативы. В настоящее время существуют нормативы в виде таблиц хода роста, сортиментных, товарных таблиц и таблиц биологической продуктивности, которые не вписаны в единую систему и не увязаны между собой. Они, как правило, построены по бонитетам и не имеют экологической основы. Эти нормативы характеризуют таксационные показатели в основном чистых по составу, одновозрастных, сомкнутых древостоев, которых в лесном фонде Российской Федерации не более 10%. Уже общепризнано, что они морально устарели и не позволяют решать задачи инвентаризации древостоев во всем их многообразии по породной, возрастной и пространственной структуре с учётом многообразия лесорастительных условий.

Устранить указанные недостатки можно только на основе глубокого системного анализа закономерностей с разработкой комплекса многомерных статистических моделей роста, строения, общей, товарной, биологической продуктивности насаждений. Решение задач комплексной оценки лесных ресурсов при инвентаризации насаждений должно обязательно учитывать экологические условия местообитания (Курбанов и др., 2014; Курбанов и др., 2013).

Аналитическая часть платформы должна быть построена на методах имитационного моделирования, которые положены в основу информационно-справочных систем лесотаксационных нормативов (Хлюстов и др., 2011). Эти системы на несколько порядков информативнее ранее разработанных нормативов, представленных в общепринятых лесотаксационных справочниках.

Критика базового варианта технологии

Базовый вариант по аналитическому компоненту представляет собой работу с аэрофотоснимками. По снимкам определяются значения дешифрируемых признаков: верхняя высота древостоя, сомкнутость полога. Затем по парным уравнениям регрессии находятся значения запаса для соответствующей полноты и верхней высоты древостоя. Средний диаметр древостоя определяется по регрессии взаимосвязи со средней высотой, взаимосвязанной с верхней высотой.

Другие таксационные показатели древостоев через дешифрируемые показатели не определяются.

Традиционный метод получения ортофотопланов и матриц высот – трудоёмкий, дорогостоящий и длительный процесс. А чтобы получить данные о рельефе местности геодезическими измерениями, необходимы квалифицированные специалисты, дорогостоящее оборудование и продолжительное время на их проведение.

Применение аэрофотосъёмки снижает нагрузку на геодезистов, но существенно усложняет организацию работ из-за необходимости привлечения подрядчиков – собственников летательных аппаратов и аэрофотосъёмочного оборудования, специалистов, владеющих методами обработки материалов аэрофотосъёмки.

В качестве базового сценария рассмотрим использование аэрофотосъёмочного комплекса компании Vision Map A3 (Израиль), приобретённого и испытанного филиалом «Севзаплеспроект» ФГУП «Рослесинфорг» в 2012 году. Материалы авиасъёмки были продемонстрированы на семинаре «Повышение эффективности использования фотограмметрического комплекса Vision Map A3», 17-18 октября 2013 года, «Севзаплеспроект» г. Санкт-Петербург.

Согласно экспертному заключению ведущих специалистов по дистанционному зондированию Земли, фотограмметрический комплекс Vision Map A3 не в состоянии решать задачи, связанные с автоматизированной инвентаризацией лесов по следующим причинам.

Фотограмметрический комплекс Vision Map A3 предназначен для решения задач военного ведомства. Целевое назначение его заключается в оперативном обнаружении боевой техники (самолётов, ракетных комплексов, бронетехники и прочих объектов на открытых пространствах) с высоты не ниже 18500 футов (5500 м). При такой высоте требуется обязательная герметизация салона самолёта.

Следует учитывать и тот факт, что разведывательный комплекс Vision Map A3 успешно работает с самолётов только в ясную и безоблачную погоду, которая на Ближнем Востоке насчитывает от 172 дней (Багдад) до 225 дней (Каир).

Что касается использования непрофильной для лесного и сельского хозяйства авиасъёмочной аппаратуры Vision Map A3, то необходимо учесть неоправданно высокие расходы на аренду специально оборудованного самолёта. Его простои неизбежны, так как многолетняя статистика числа ясных дней свидетельствует не в пользу этого фотограмметрического комплекса.

В Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации в летние месяцы (июнь, июль, август) число ясных дней при наличии общей облачности насчитывает от 1 дня в Сыктывкаре до 3 дней в Вологде и Петрозаводске. В Центральном федеральном округе число ясных дней – от 2 (Кострома) до 7 дней (Москва). В Приволжском федеральном округе – от 3 (Ижевск) до 11 дней (Казань). В Уральском федеральном округе – от 2 (Курган) до 3 дней (Екатеринбург). В Сибирском федеральном округе – от 6 (Красноярск) до 9 дней (Томск). В Дальневосточном федеральном округе – от 3 (Якутск) до 4 дней (Хабаровск).

В выступлениях и презентациях, продемонстрированных на семинаре, позвучало, что съёмка проводилась с борта самолёта Ан-30 при высоте полёта от 5500 до 7000 м. Следует особо подчеркнуть, что камера Vision Map A3 имеет всего лишь одну линзу 300 мм, которая не позволяет осуществлять съёмку с высоты ниже 5500 м. Ширина полосы съёмки этой камерой, по утверждению докладчиков, составляет 2500 м.

Обратим внимание на тот факт, что общедоступная международная программа в Интернет «Weather Spark Beta» даёт полную характеристику облачности по всему миру в течение всего календарного года.

Проведём сопоставление высоты нижней облачности по Федеральным округам с возможной высотой съёмки камерами Vision Map A3, IDM200 (600) (рис. 1, 2).

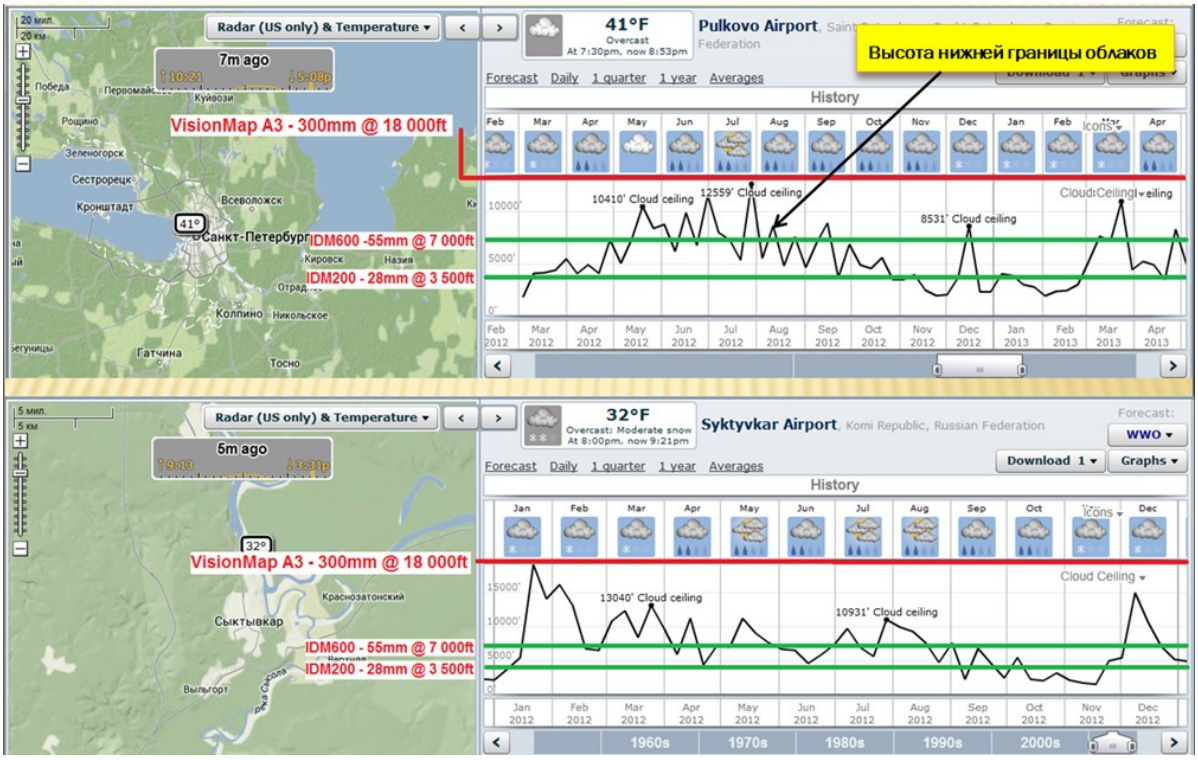


Рис. 1. СЗФО: Сопоставление возможности съёмки разными камерами в Санкт-Петербурге и Сыктывкаре

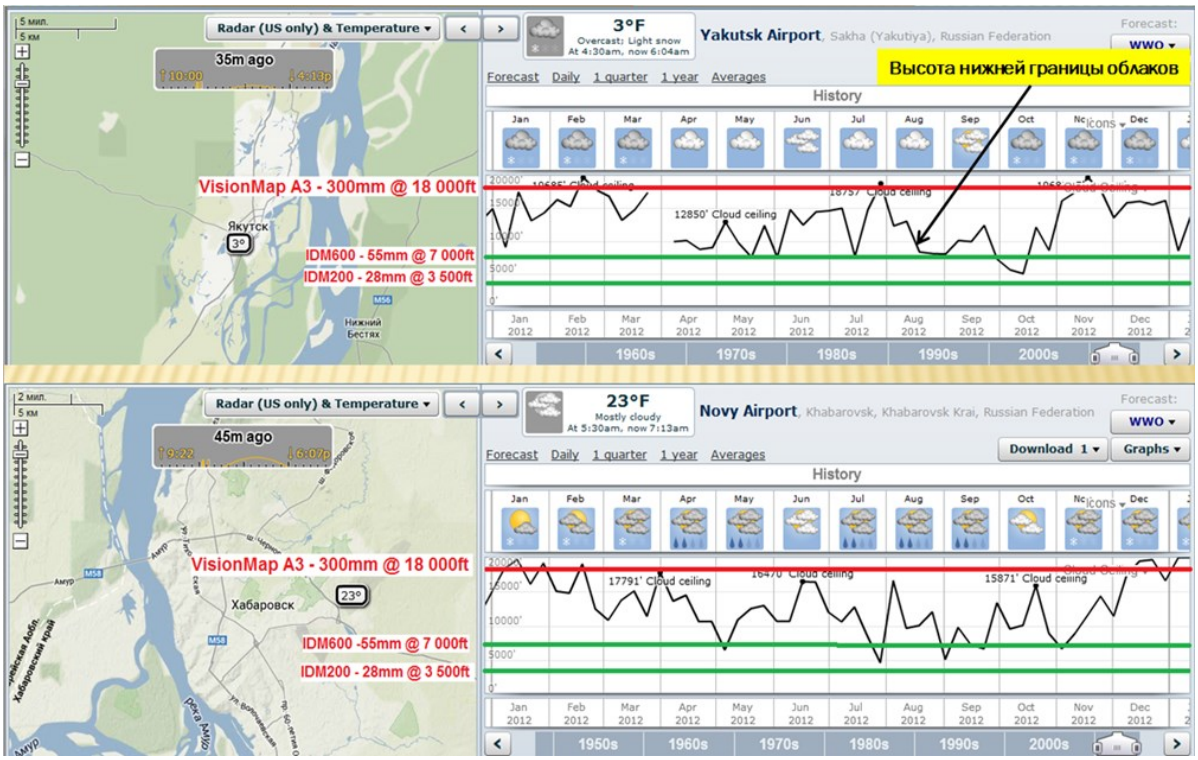


Рис. 2. ДФО: Сопоставление возможности съёмки разными камерами в Якутске и Хабаровске

Судя по высотным отметкам облачности и высоты съёмки тремя видами камер следует признать ошибочным приобретение камеры Vision Map A3 и отдать предпочтение камерам IDM-200 (600). Свидетельством тому является сравнение технических характеристик камер, представленных на рисунках 3, 4, 5 и в комментариях к ним.

Comparison analysis IDM (Icaros) Vs. A3 (VisionMap)/ Сравнительный анализ IDM (Icaros) и A3 (VisionMap)

№	Technical characteristics / **Техническая характеристика**	ICAROS/ IDM200, IDM600	VisionMap/ A3	Примечание
1	Band/ **диапазон съемки**	RGB, NIR, Thermal	RGB, CIR	A3 has no Thermal option/**A3 не имеет тепловой опции**
2	Swath / **пикселей в полосе съемки**	19 500 pixel	30 000 pixel	See item 5 below for actual swath/**См. пункт 5 ниже фактической полосы**
3	Lans combination / **Комбинация линз**	28mm, 55mm, 80mm, 110mm, 210mm	300mm	In the A3 is no combination of lenses/**В A3 отсутствует комбинация линз**
4	Flight altitude (20cm GSD) / **Высота съемки при разрешении пикселя 20 см**	28mm=3 500ft (3 500*0,3 =1050 м) 55mm= 7 000ft (2 100м) 80mm= 10 000ft (3 000м) 110mm= 13 500ft (4 050м)	18 500ft (5 550 м)	Flight alt. is one of the major challenges for this mission, above 18 500 the requirement for a preasurised airplane, and the issue of cloud ceiling that prevents the collection at this altitude for~80% of the time (increased operational cost with airplane and crew downtime) / **Для съемки с высоты 18 500 футов (5 550 м) требуется специальный оборудовый самолет (необходима герметичность салона), что при регулярной низкой облачности приводит к 80% потерь во времени съемки и простоя самолета и экипажа**
5	Angle from Nadir/ **угол съемки от надира**	28mm= 51deg / total 102 deg 55mm= 32deg / total 64deg 80mm= 23.5deg / 47deg	53deg / total **106 deg**	This means that close to 1/2 of the footpring achived by A3 is not usable due to accessive angular view of the ground, which does not enable the performance of the data analysis that requires close to Nadir view as the prefferance is to see the forest not from an angular view that reduces the ability for clasification, biomass analysis or any other post processing application on the collected data./ **При большом угле съемки A3 (размах 106 градусов) достигается высокая производительность съемки, однако для решения задач классификации лесной растительности, определения объемов биомассы и др. показателей для классификации растительности и ее параметров использовать полученный материал невозможно из-за большого отклонения от надира. При предъявляемых требованиях к съемке лесных массивов это преимущество A3 не имеет никакого значения.**

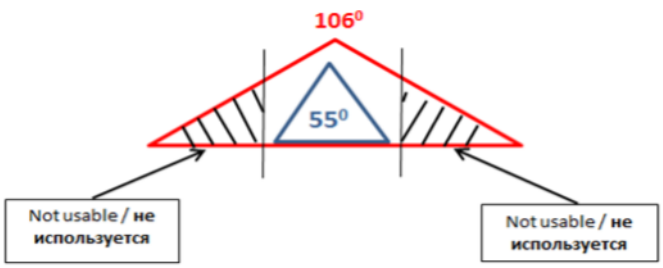


Рис. 3. Сравнительный анализ фотограмметрических комплексов IDM200, IDM600 и Vision Map A3 (часть1)

Комментарии:

П.1 указывает на то, что у камеры Vision Map A3 диапазон съёмки уже, так как она не приспособлена для тепловизорной съёмки, как у камер IDM-200 (600).

П.2 и П.5 указывают на различие в числе пикселей в полосе съёмки. Угол съёмки у камеры Vision Map A3 составляет 106º, при котором 2/3 полосы захвата (заштрихованная область) существенно отклонены от надира, что не позволяет в этой зоне оценивать вертикальную и горизонтальную структуру древостоев.

П.3 и П.4 указывают на преимущество камер IDM-200 (600), которые могут комбинировать размеры линз и менять высоту съёмки от 1050 до 4050 м. Камера Vision Map A3 имеет одну линзу размером 300 мм, что регламентирует высоту съёмки не ниже чем 5500 м.

П.6 указывает на то, что при высоте съёмки 7000 футов (2100 м) облачный покров составляет в среднем 38%, а при высоте 20000 футов (6000 м) 89%. Показан фрагмент нижней границы облаков в 2013 году по месяцам в районе аэропорта Домодедово, а также сопоставление (красные линии) высоты съёмки сравниваемыми камерами.

П.7 указывает на мобильность камер IDM200 (600) при использовании малой и средней авиации без специального оборудования. Для камеры Vision Map A3 требуется специально оборудованный самолёт и герметизация салона.

П.8 указывает на существенную разницу в стоимости одного полётного часа.

Comparison analysis IDM (Icaros) Vs. A3 (VisionMap)/ Сравнительный анализ IDM (Icaros) и A3 (VisionMap)

№	Technical characteristics / **Техническая характеристика**	ICAROS/ IDM200, 600	VisionMap/ A3	Примечание
6	Cloud coverage (%)/ **Облачный покров (%)**	~38% @ 7 000ft	~89% @ 20 000ft	**Процент покрова облачности при разной высоте съемки**
7	Airplane / **Самолет**	All small and medium airplanes, non presurised /**Малая и средняя авиация**	Air presurised airplane / **Специально оборудованные крупные авиаборты**	On top of the significantly increased operational cost with the A3 system, the availablity of certified airfields for such a large airplane creats an additional logistical challenge for the ferry flights for the collection / **Высокие затраты на эксплуатационные расходы использования системы A3 связаны с необходимостью эксплуатировать крупные спецоборудованные авиаборты, требующие наличия сертифицированных аэродромов для их использования (в $ указана стоимость полетного часа)**
8	Airplane price per h/ **Стоимость полета за 1 час**	$300-$750	$1500-$4500	

Рис. 4. Сравнительный анализ фотограмметрических комплексов IDM200, IDM600 и Vision Map A3 (часть 2)

П.9 указывает на возможность добиваться камерами IDM-200 (600) разрешения пикселя меньше 5 см, что требуется при классификации и идентификации растительности.

П.10 указывает на размер пикселя. Чем меньше размер пикселя, тем лучше качество изображения.

П.11 указывает на размер диафрагмы камеры. Чем меньше диафрагма, тем лучше изображение и выше производительность в условиях низкой освещённости.

П.12 указывает на преимущество центрального затвора перед глобальным при решении задач сельского и лесного хозяйства.

П.13 указывает на мобильность системы и оперативное получение результатов авиасъёмки.

Изложенное технико-экономическое обоснование выбора наиболее эффективного средства дистанционного зондирования Земли для нужд лесного и сельского хозяйства свидетельствует о существенном преимуществе фотограмметрических авиасъёмочных комплексов IDM200 (600) перед Vision Map A3.

Comparison analysis IDM (Icaros) Vs. A3 (Visionmap)/ Сравнительный анализ IDM (Icaros) и A3 (Visionmap)

№	Technical characteristics / **Техническая характеристика**	ICAROS/ IDM200, 600	Visionmap/ A3	Примечание
9	Roll out option for non designated airplanes	Yes	No	Roll out option enables the use of the system
10	Minimum GSD/ **Разрешение пикселя**	1cm	5cm	<5cm might be required for plant identification & classification/**При решении задач по идентификации и классификации растений и ее состояния может потребоваться (зачастую необходимо) разрешение пикселя< 5 см**
11	Pixel size/**Размер пикселя**	5.2µm	9µm	smaller pixel size increases the image quality/ **При меньшем размере пикселя увеличивается качество изображения**
12	Aperture /**Размер диафрагмы**	f/2.8	f/4.5	Lower aperture improves image performance in low light condition/ **Нижняя диафрагма улучшает изображение и производительность в условиях низкой освещенности**
13	Exposure principle / **Принцип экспозиции**	Leaf Shutter / **центральный затвор (механический)**	Global Shutter (electronic)/ **Глобальный затвор (электронный)**	Leaf Shutter improves photogrammetric quality for collected data (important in forestry and agriculture applications where small details counts)/ **Центральный затвор для фотограмметрии улучшает качество собранных данных (важно для лесного и сельского хозяйства, где необходимо получать большее количество информации (большую детализацию))**
14	Processing (IPS) / **Процесс обработки**	Open Archtecture including on site processing by Laptop / **Открытая архитектура, возможно использовать переносные компьютеры (ноутбуки)**	Closed Archtecture Processing only in Central processing station/ **Закрытая архитектура ПО. Требует наличия мощной центральной станции для обработки полученных изображений**	Mobility of the system and the efficient delivery of aerial survey results/**Мобильность системы и оперативное получение результатов авиасъемки**

Рис. 5. Сравнительный анализ фотограмметрических комплексов IDM200, IDM600 и Vision Map A3 (часть3)

Более того, сотрудничество кафедры лесоводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с компанией ICAROS Geosystems по разработке совместных программных продуктов автоматизированной оценки лесных ресурсов является взаимовыгодным и перспективным направлением деятельности.

Устранение недостатков базового варианта

При дистанционных методах инвентаризации лесов следует использовать технологию автоматизированного выделения контуров не покрытых лесом площадей, площадей элементов морфологии лесных массивов (дорог, вырубок, гарей, полян, лесотаксационных выделов в соответствии с принятой градацией таксационных показателей).

Требования, предъявляемые к системе дистанционного зондирования, геопозиционирования и дешифрирования лесных объектов и таксационных показателей насаждений для запуска автоматизированной системы инвентаризации лесов, сводятся к следующему.

1. Система должна быть высокопроизводительной и обеспечивать оптимальное разрешение аэрофотоснимков в соответствии с требованиями лесного хозяйства.

2. Система должна быть универсальной и монтироваться на летательных аппаратах лёгкой и средней авиации, вертолётах и БЛА с целью минимизации затрат на проведение аэрофотосъёмки.

3. Система должна быть мобильной с возможностью вести съёмку с разной высоты при общей и низкой облачности в любое время года.

4. Система должна иметь спектрозональную систему с возможностью пополнения библиотеки цветов.

5. Система должна быть многофункциональной и использоваться при сплошной инвентаризации лесов, ведении оперативного и периодического лесопожарного, лесопатологического мониторинга, при обнаружении нелегальной заготовки древесины.

6. Система должна обеспечивать тепловизионную съёмку, обеспечивающую особую детализацию природных объектов, в том числе выявление контуров площадей, подверженных техногенному загрязнению.

7. Система должна обеспечивать передачу данных аэрофотосъёмки в режиме онлайн в Центр обработки лесохозяйственной информации.

9. Система должна быть способна к обучению с целью распознавания природных объектов (представителей флоры и фауны).

10. Система дистанционного дешифрирования таксационных показателей по выделам должна быть связана с информационно-справочной системой экологических лесотаксационных нормативов роста, строения, общей, товарной и биологической продуктивности древостоев для проведения автоматизированной инвентаризации лесов.

В настоящее время Рослесхозу представлено на выбор два варианта авиасъёмочных комплексов для решения задач автоматизированной инвентаризации лесов, ведения оперативного лесопожарного, лесопатологического мониторинга, обнаружения мест нелегальной заготовки древесины. Первый вариант представлен камерами IDM-200 (600) компании ICAROS. Второй вариант – камерой А3 компании Vision Map.

Полагаем, что проект с камерой А3 компании Vision Map был запущен без должного технико-экономического обоснования, не содержал анализа затрат и предполагаемых результатов.

Альтернативный вариант технологии

С 2010 года кафедра лесоводства РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева предлагает Федеральному агентству лесного хозяйства осуществить модернизацию лесоустройства и Государственной инвентаризации лесов внедрением в производство аэрофотограмметрических комплексов типа IDM-200 (600) ICAROS Geosystems.

Стыковка программных продуктов, заложенных в авиасъёмочном комплексе с информационно-справочными системами лесотаксационных нормативов, разработанных кафедрой лесоводства, позволяет устранить недостатки базового варианта.

Фотограмметрический комплекс IDM-200 (600) разработан для получения ускоренной обработки результатов аэрофотосъёмочных работ для нужд сельского хозяйства, картографии, лесного хозяйства, гражданского строительства и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, оценки фактического состояния транспортных магистралей (автомобильные и железные дороги). Позволяет проводить съёмочные работы с малых высот и не зависеть от высоты облачности.

Техническое оснащение комплекса дает возможность выполнять авиасъёмочные работы для измерения геометрических размеров объектов на земле, менять съёмочные модули и объективы непосредственно в полёте в зависимости от требуемых режимов съёмки.

Высокое качество материалов аэрофотосъёмки, особенно крупных и средних масштабов, позволяет увеличивать их изображения в десятки раз без потери точности информации.

Благодаря этому можно получать тематические карты крупных масштабов (1:500, 1:1000, 1:5000 и 1:25000).

Спектрозональная система комплекса позволяет проводить авиасъёмочные работы для наблюдения за состоянием растительности, определять степень её созревания, заболеваемость, поражение вредителями и т.д.

Инфракрасная система способна уловить разницу температур объектов на земле в пределах 0,05 градуса.

Аналитический компонент проекта

Аналитический компонент представляет собой принципиально новые информационно-справочные системы (ИСС) многомерных экологических лесотаксационных нормативов, применяемых для наземных методов инвентаризации насаждений. Разработанные системы нормативов зафиксированы авторскими свидетельствами Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам (Хлюстов и др., 2011; Хлюстов и др., 2012).

В перспективе предусматривается найти технические решения по стыковке программных продуктов ИСС лесотаксационных нормативов с фотограмметрическим программным комплексом IDM-200 (600).

Высокая точность определения верхней высоты (X_1), сомкнутости, полноты (X_2), долевого участия породы в составе древостоев (X_3) в зафиксированных границах условий местообитания позволит провести текущую актуализацию таксационных показателей древостоев по следующим блокам:

1. Блок текущей актуализации возраста древостоя по элементам леса в разрезе типов леса или ТЛУ ($У_1$) и среднего диаметра древостоев ($У_2$) по элементам леса.

2. Блок текущей актуализации таксационных показателей хода роста по элементам леса ($У_3$-$У_{13}$).

3. Блок текущей актуализации и возрастной динамики распределения деревьев по классам толщины ($У_{14}$-$У_{16}$).

4. Блок текущей актуализации и возрастной динамики высот деревьев, объёмов стволов и выхода категорий крупности древесины, дров и отходов из древесных стволов по элементам леса ($У_{17}$-$У_{22}$):

5. Блок текущей актуализации и возрастной динамики распределения общего запаса и выхода категорий крупности древесины, дров и отходов по элементам леса ($У_{23}$-$У_{27}$).

6. Блок текущей актуализации и возрастной динамики показателей биологической продуктивности деревьев по элементам леса (стволы, ветви, хвоя/листва, кора, корни) ($У_{28}$-$У_{32}$).

7. Блок текущей актуализации и возрастной динамики распределения показателей биологической продуктивности деревьев по классам толщины элементов леса ($У_{33}$-$У_{37}$).

8. Блок текущей актуализации и возрастной динамики распределения углерода по классам толщины деревьев в древостоях различного возраста, полноты, состава и типам лесорастительных условий ($У_{38}$-$У_{47}$).

Технологический компонент проекта

В 2010 году появился новый метод дистанционного зондирования Земли, позволяющий кардинально сократить трудоёмкость и стоимость работ по инвентаризации насаждений. Этот метод основан на самых современных технических достижениях – аэрофотосъёмочных роботах и системах искусственного интеллекта.

Аэрофотосъёмочный робот все делает автоматически – от расчёта маршрутов полётов с заданным перекрытием до обработки полученных фотоматериалов в ортофотопланы и создания ЦМР лесной растительности в формате 3D.

Компонент предлагаемой технологии представляет собой роботизированную систему, состоящую из АФС комплексов типа IDM-200 (600), центра оперативной обработки информации и обслуживания самих комплексов (ремонт, регламентные работы, поддержка программного обеспечения и т.д.) и требуемого количества беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) самолётного типа. БПЛА способны летать над контролируемыми лесными массивами не менее 12 часов по программе, задаваемой специально подготовленными специалистами. Беспилотная платформа состоит из авианосителя и съёмочной аппаратуры, позволяющей осуществлять съёмку по заданной программе без участия человека на борту. Информация, полученная в ходе съёмки, передается по каналу связи в аналитический центр обработки, а на следующий день в обработанном виде поступает к заказчику.

Обоснование затрат и ожидаемые выгоды

Базовый вариант по своим методическим решениям не имеют должной аналитической основы и не в состоянии решать задачи, связанные с автоматизацией инвентаризации лесов методами дистанционного зондирования и геопозиционирования. Более того, он является малоэффективным, так как ограничен применением парных регрессионных уравнений, имеющих малую информативность и низкую точность. Аэрофотоснимки обрабатываются вручную с низкой точностью и производительностью.

Что же касается разработки принципиально новых многомерных экологических моделей текущей актуализации таксационных показателей древостоев, то они впервые разработаны для Центрального лесотаксационного района и в сочетании с программными продуктами авиасъёмочного комплекса IDM200 (600) позволяют обеспечить технологический прорыв в области сплошной и выборочной инвентаризации лесов.

Предлагаемые методические решения требуют выполнения следующих работ:

1. Аналитический обзор методов моделирования закономерностей текущей актуализации таксационных показателей роста, строения, общей, товарной и биологической продуктивности древостоев разной породной, возрастной и пространственной структуры.
2. Сбор, анализ и систематизация массового материала по почвенно-типологическим условиям, морфометрическим таксационным показателям, общей, товарной, биологической продуктивности древостоев по фракциям фитомассы (стволы, ветви, хвоя/листва, кора, корни).
3. Статистическое моделирование взаимосвязи таксационных показателей роста, строения, общей, товарной и биологической продуктивности древостоев по фракциям фитомассы (стволы, ветви, хвоя/листва, кора, корни) с дешифрируемыми признаками насаждений по типам леса и типам лесорастительных условий.
4. Разработка имитационных моделей инвентаризации древостоев разного породного состава, возраста, полноты по типам леса и типам лесорастительных условий.
5. Разработка алгоритмов и программ, увязывающих модульную структуру аналитического компонента (ИСС) с технологическим компонентом дистанционной регистрации данных дешифрируемых признаков.

Альтернативный вариант выгодно отличается от базового, так как основан на глубоком научном обосновании многомерных взаимосвязей, имеющих более высокую точность и достоверность получаемых результатов дистанционной таксации насаждений. Он охватывает

все многообразие лесообразующих пород региона с различным долевым участием в запасе древостоев, произрастающих при разной сомкнутости в разных условиях местообитания. Техническая составляющая проекта превосходит по своим характеристикам все имеющиеся аналоги и позволяет одновременно решать весь комплекс задач, связанных с оценкой древесных ресурсов, ведением оперативного лесопатологического, пожарного мониторинга, незаконной лесозаготовительной деятельности.

Глобальные экологические выгоды

Использование авиасъёмочных модулей на беспилотных летательных аппаратах позволит вести одновременно процесс инвентаризации лесов, оперативный лесопатологический и пожарный мониторинг, выявление мест незаконной лесозаготовительной деятельности даже при низкой облачности непрерывно в течение 12 часов. Указанные возможности недоступны другим технологическим схемам. Внедрение предлагаемых технических решений принесёт явные экологические выгоды мировому лесному хозяйству. Оперативные средства передачи видеоинформации позволяют принимать управленческие решения в борьбе с лесными пожарами как на момент их обнаружения, так и в период их ликвидации, патрулирования и дотушивания. Повторная съёмка фотограмметрическим комплексом IDM-200 (600) одного и того же лесного массива позволяет автоматически обнаруживать малейшие изменения в лесном фонде, что недоступно другим технологиям дистанционного зондирования Земли.

Инновационность и потенциал для крупномасштабного копирования

Высокая точность и производительность фотограмметрического процесса позволят осуществить технологический прорыв в проведении инвентаризации лесов не только в России, но и за рубежом.

Инновационность предлагаемых решений направлена на разработку принципиально новых информационно-справочных систем зональных экологических нормативов для автоматизированного определения таксационных показателей насаждений методами дистанционного зондирования и геопозиционирования. Их технологическое единство с программными продуктами фотограмметрического комплекса IDM-200 (600) направлено на автоматизацию процесса составления таксационных описаний.

Крупномасштабное внедрение аналитической и технологической платформы автоматизированной инвентаризации насаждений для целей лесоустройства, оперативного лесопожарного, лесопатологического мониторинга, обнаружения нелегального лесопользования методами дистанционного зондирования и геопозиционирования позволит существенно повысить наукоёмкость выполняемых работ при существенном снижении затрат на их проведение.

Библиографический список

1. Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 года в Среднем Поволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – № 4 (11). – 2014. – С. 217-229.
2. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. - № 1(21). – С.18-32.
3. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – № 3. – 2013. – С. 72-82.
4. Хлюстов В.К., Устинов М.М., Хлюстов Д.В. Справочная система лесоводственно-таксационных нормативов для инвентаризации древостоев по элементам леса. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011615418, регистрация 12 июля 2011 г.

5. Хлюстов В.К., Устинов М.М., Хлюстов Д.В. Автоматизированная система лесоводственно-таксационных нормативов для инвентаризации древостоев по элементам леса. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2012613879. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 25 апреля 2012 г.
6. Хлюстов, В.К. Многомерные закономерности текущей актуализации таксационных показателей древостоев. Лесотаксационный справочник: учебное пособие / В.К. Хлюстов, М.М. Устинов, Д.В. Хлюстов. – М.: Издательство РГАУ-МСХА, 2013. – 141 с. (гриф УМО)
7. Khlyustov, V.K. Information system of forest growth and productivity by site quality type and elements of forest. Austria Center Vena (Bruno-Kreisky-Platz 1, 1220 Vena, Austria). EGU General Assembly 2012/ 22.04.12-27.04.2012.

УДК 630*907.1

ТРАКТОВКА ПОНЯТИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ КАТАСТРОФА ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЛЕСАМ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

С. Г. Глушко[1], Н. Б. Прохоренко[2]
[1]Казанский государственный аграрный университет
[2]Казанский (Приволжский) федеральный университет

Показано, что деградация лесов приводит к ухудшению состояния окружающей среды, условий экономической деятельности и жизни людей. Обосновано, что совершенствование оценки лесных экосистем – важнейшая задача лесного хозяйства.

Ключевые слова: *регион Среднего Поволжья, экологическая безопасность, гибель лесов, исследование лесов.*

INTERPRETATION OF THE CONCEPT ECOLOGICAL DISASTER APPLIED TO FOREST MIDDLE VOLGA

S . G. Glushko[1], N. B. Prokhorenko[2]
[1]Kazan State Agricultural University
[2]Kazan Federal University

Forest degradation leads to the deterioration of the environment, the conditions of economic activity and people's lives. Improvement of forest ecosystems assessment is one of the important tasks of forestry.

Key words: *the Middle Volga region, environmental safety, forest degradation, research forests.*

Экологическая катастрофа понимается сейчас как процесс широкомасштабного и необратимого изменения природных комплексов, связанного с массовой гибелью живых организмов. В лесоведении процессы ухудшения качественных характеристик леса называют деградацией. В отдельных случаях под деградацией стали понимать естественные смены в лесах, например, на стадии распада старшего поколения главного лесообразователя в коренных лесах или на этапе промежуточного распада пионерно-серийного древостоя в ходе лесовосстановительной сукцессии и т.п. В статье приводятся факты, свидетельствующие о процессах широкомасштабной, необратимой деградации лесов, о процессах, значимых для всего региона, сопоставимых, на наш взгляд, с понятием экологическая катастрофа (Галиуллин, Глушко, 2012; Глушко, 2014).

Происходящие в природе масштабные, явные, необратимые и действительно значимые для биоты процессы необходимо зафиксировать в научной литературе. Во-первых, осознание

природных явлений способно стать «движущей силой» для формулирования предложений о сохранении и восстановлении природных систем, а во-вторых, лесная наука и предназначена для оценки лесообразовательных процессов, которые есть «объективная реальность, данная всем в ощущениях». На предназначение науки и учёного указывал еще М.В. Ломоносов.

В 1930-1970 гг. лесная наука в лице президента АН СССР В.Л. Комарова, академиков В.Н. Сукачева и В.Б. Сочавы, члена-корреспондента АН СССР Б.П. Колесникова и многих других геоботаников-лесоводов в значительной мере определяла развитие теоретических исследований России. Существующие проблемы оценки биологической продуктивности и мониторинга лесов тесно связаны с современной историей лесной науки.

Ресурсы наземных зелёных растений оцениваются в 2400 млрд тонн, что составляет более 99% всей биомассы Земли, причём большая их часть – это именно лесная биота. Леса определяют функционирование биоты и в существенной мере состояние всей биосферы Земли. Развитие биогеоценологии определило основные объекты лесоведения – лесные биогеосистемы, представляющие системное единство био- и абио(гео)форм материи в биосфере Земли (Глушко, 2010). В данной связи факты обширной и необратимой (в исторической перспективе) деградации лесов заслуживают серьёзного отношения со стороны специалистов лесного дела, имеющих отношение к биосфере.

Леса Поволжского региона изучены достаточно детально. Исследования лесов в регионе Среднего Поволжья имеют давнюю историю и связаны с именами С.И. Коржинского, П.Н. Крылова, А.Я. Гордягина, В.И. Баранова, В.С. Порфирьева, М.В. Маркова, Е.Л. Любарского и многих других учёных, формировавших Казанскую лесоводственно-геоботаническую школу.

Анализ имеющихся в научной литературе сведений и результаты собственных исследований позволяют нам обратить внимание на ряд важных особенностей лесообразовательного процесса, характеризующих состояние лесов в регионе Среднего Поволжья (Галиуллин, Глушко, 2012; Глушко, 2010; Глушко, 2014; Прохоренко, 2015; Воробьев и др., 2012; Курбанов и др., 2013).

1. Леса района исследований относятся преимущественно к зоне хвойно-широколиственных лесов (Курнаев, 1958). Эти так называемые подтаёжные леса представляют смешение таёжного и широколиственного типов растительности (с фрагментами растительности степной), которые в рассматриваемом случае образуют своеобразный экотон, или буферную – переходную зону на границе леса. Хвойно-широколиственные леса региона вытянулись узкой полосой с запада на восток. Многие лесные системы, расположенные на границах своего ареала, отличаются неустойчивостью, что в полной мере относится и к лесам Среднего Поволжья.

2. Сведение лесов на южной границе леса приводит к олуговению и остепнению непокрытых лесом земель. Подтаёжные леса равнинного муссонного Предуралья и Среднего Поволжья на грани исчезновения, но здесь в отличие от равнинного сибирского континентального Зауралья сохраняется широколиственный тип растительности. Для региона Среднего Поволжья можно констатировать распространение лесостепной зоны с участием широколиственных лесов (липняки и остатки дубрав) за счёт деградирующих хвойно-широколиственных подтаёжных лесов.

3. Современное состояние лесов характеризуется их крайней фрагментарностью, причём не только территориальной, но и структурно-функциональной (типологической). Практически все смешанные хвойно-широколиственные лесные сообщества, как правило, производны

и крайне неустойчивы, исчезают коренные леса. Зональные типы леса (по С.Ф. Курнаеву), такие как «сложный пихтовый ельник», практически не сохранились.

4. Динамика условий местообитания и лесорастительных условий в регионе изучена слабо, но уже можно констатировать деградацию экологической ниши обеспечивавшей совместное (в ценозе) устойчивое произрастание хвойных и широколиственных пород, деградацию хвойно-широколиственных лесов.

5. На природные условия региона существенно влияет необратимое уничтожение, сведение лесов: например, около 8% Республики Татарстан затоплено водами водохранилищ. Масштабы антропогенного разрушения лесов в Татарстане характеризуются трёхкратным снижением лесистости, с 54% на начало XIX века до 18% к началу XXI века. Лесистость региона может быть существенно увеличена за счёт «вновь возникающих лесов» в окрестностях Казани или, например, на 25% пахотных угодий Республики Марий Эл.

6. В возрастной структуре лесного фонда молодняки и средневозрастные древостои занимают до 70%. Породный состав лесов можно считать классически малоценным – около 60% лесов относятся к мягколиственному хозяйству.

7. Подавляющая часть хвойных лесов в южной части региона имеет искусственное происхождение и отличается крайней неустойчивостью. Устойчивость культур твёрдолиственных пород (дуб) вызывает большие сомнения, их товарность оставляет желать лучшего. Программа восстановления дубрав ждёт своего исследования.

8. Массовое усыхание ельников, гибель дубрав, распад культур сосны на стадии средневозрастности, усыхание березняков и другие явления заставляют обратить серьёзное внимание на состояние основных лесоообразователей, главных, доминантных, эдификаторных - индикаторных пород.

9. Индикатором условий является стратегия жизни, комплексная характеристика поведения или проявления лесоводственных свойств основных лесообразующих пород (Глушко, 1996; Глушко, 1997; Глушко, 2014; Прохоренко, 2015). Поведение лесов в регионе вполне пионерное, так как в составе лесов преобладают эксплерентные лесообразователи («шакалы» по Л.Г. Раменскому). Лесообразовательный процесс в регионе приобретает восстановительный характер, чему способствует преобладание относительно молодых лесов. Восстановление лесов связано с их нестабильностью, которая может стать причиной неустойчивости, устойчивой производности и деградации лесов.

10. Деградация лесов, в нашем понимании, есть процесс необратимый. Необратимость в исторически обозримой перспективе становится вероятной при существенном и масштабном изменении лесорастительных условий. Повсеместное уничтожение лесов, изменение их породного состава и возрастной структуры приводят к изменению биотической составляющей лесорастительных условий региона.

11. На изменение условий жизни леса указывает кардинальное изменение стратегии типично коренных лесообразующих пород. Индикаторные породы «коренного леса» (сосна, ель, дуб) меняют свою стратегию с виолентной на серийно-пионерную, приближенную к эксплерентной. Бонитировка лесных угодий региона становится нестабильной (Прохоренко, 2015).

Можно продолжить изложение данной аргументации, разворачивая вышеперечисленные пункты в статьи, монографии и т.п. При наличии финансирования можно повысить уровень образования специалистов путём сбора доказательств перечисленного, удовлетворяя частное

любопытство. Но более рационально, на наш взгляд, исследование особенностей деградации лесов в целях выяснения причин происходящих процессов и поиска наиболее эффективных компенсационных мероприятий, существенно снижающих негативные последствия.

Резюмируя вышесказанное, считаем теоретически вероятным развитие катастрофических экологических изменений в регионе Среднего Поволжья. Данное предположение основано на признании большой роли лесной биоты и тесной взаимосвязанности всех биосферных компонентов. Данных, позволяющих локализовать и определить конкретные параметры изменений, выявить редукцию происходящих процессов по разным уровням организации природных систем, у нас нет. Набор такого рода информации требует необходимой комплексности исследований, соответствующей организации исследовательских работ.

При отсутствии должного практического обоснования, использование понятия «экологическая катастрофа» применительно к региону Среднего Поволжья пока возможно только в виде гипотезы. К сожалению, жанр научной гипотезы не приветствуется, так как не соответствует «положению в биологической науке». «Экологическая катастрофа» для Среднего Поволжья есть теоретическая модель, описывающая гипотетически вероятное развитие событий, а использование понятия «деградация лесов» позволяет утилитарно моделировать природные процессы, имеющие большое прикладное значение.

Имеющаяся информация и накопленный опыт работы дают нам возможность с определённой степенью уверенности говорить о широких масштабах и серьёзности изменений, происходящих в лесах региона. Лесообразовательный процесс здесь характеризуется дестабилизацией стратегии жизни доминирующих, эдификаторных (и индикаторных) лесообразующих пород, что свидетельствует об утрате лесами устойчивости, о вероятной необратимости происходящих изменений (Прохоренко, 2015). Последнее обстоятельство считаем решающим для констатации деградации лесов.

Деградация лесов выводит лесное хозяйство региона на новый уровень, связанный с восстановлением основ и сохранением традиционных форм взаимодействия лесоуправления, лесной науки, лесного образования, лесного хозяйствования. Сохранение лесной биоты (воспроизводство жизни) выходит за рамки товарно-денежных рыночных отношений, являясь гораздо более важной задачей лесного хозяйства, государства и общества, требуя дальнейшего совершенствования методов оценки лесных экосистем.

Библиографический список

1. Галиуллин, И.Р. Безопасность жизнедеятельности. Вопросы лесного хозяйства и экологии / И.Р. Галиуллин, С.Г. Глушко. – Казань: ФГБОУ ВПО Казанский ГАУ. 2012. – 40 с.
2. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник ПГТУ. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет. – № 1. – 2012. – С. 12-22.
3. Глушко, С.Г. Исследование устойчивости и стабильности в лесообразовательном процессе // Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока: международная конференция / С.Г. Глушко. – Хабаровск, 1996. – С. 14-15.
4. Глушко, С.Г. Лесоводственные свойства древесных пород как фактор лесообразовательного процесса / С.Г. Глушко // Мониторинг лесных и сельскохозяйственных земель Дальнего Востока. – Владивосток: РАН, Дальневосточное отделение Докучаевского общества почвоведов, 1997. – С. 34-45.
5. Глушко, С.Г. О соотнесении понятий биогеоценоз и биогеосистема / С.Г. Глушко // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и адаптационные технологии: материалы международной конференции с элементами научной школы для молодёжи [Электронный ресурс]. - Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. – С. 24–27. – URL: http://csfm.marstu.net/publications.html.
6. Глушко, С.Г. Изучение основ экологической безопасности специалистами лесного дела / С.Г. Глушко // Современные проблемы безопасности жизнедеятельности: материалы III международной научно-практической

конференции в рамках форума «Безопасность и связь».- Казань: ГБУ «Научный центр безопасности жизнедеятельности», 2014. – Ч. 2. – С. 635-637.

7. Глушко, С.Г. Лесоводственные свойства лесообразующих пород / С.Г. Глушко, Н.Б. Прохоренко // Вестник Казанского государственного аграрного университета, 2014. – № 3 (33). – С. 120-122.

8. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – № 3. – 2013. – С. 72-82.

9. Курнаев, С.Ф. Лесорастительное районирование подзоны южной тайги и хвойно-широколиственных лесов европейской части СССР / С.Ф. Курнаев. – М.: Типография МЛТИ, 1958. – 22 с.

10. Прохоренко, Н.Б. Комплексный показатель стабильности лесов / Н.Б. Прохоренко, С.Г. Глушко // Лес, лесной сектор и экология: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2015. – С. 102-107.

УДК 581.5:630.587

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ДИНАМИКА ЛЕСНОГО ПОКРОВА НА ПРИМЕРЕ КИРОВСКОЙ ОБЛАСТИ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Ю. А. Полевщикова, Е. Н. Демишева
Поволжский государственный технологический университет

Описываются степень изменений и тенденции пространственного распределения лесного покрова на примере Кировской области за период 2001-2014 гг. Для оценки изменений использованы спутниковые снимки Landsat среднего разрешения. Методы классификации изображений с визуальным дешифрированием объединены для оценки точности тематических карт. Точность полученных результатов определялась с помощью независимой оценки согласованности выборки экспертных данных с тематическими данными.

Ключевые слова: *лесной покров, пространственное распределение, спутниковые снимки, дистанционное зондирование, тематическая карта.*

SPATIAL DYNAMICS OF FOREST COVER ON THE EXAMPLE OF THE KIROV REGION ON REMOTE SENSING DATA

Y. A. Polevshikova, E. N. Demisheva
Volga State University of Technology

The research describes the level of changes and tendency of forest spatial distribution on example of the Kirov Region during 2001-2014. For changes measurement Landsat satellite images of medium resolution were used. The methods of images classification with visual interpretation were joined for estimation the accuracy of thematic maps. The accuracy of obtained results was checked with independent estimation of expert sample data with thematic mapping.

Key words: *forest cover, spatial distribution, satellite images, remote sensing, thematic map.*

Введение

Леса имеют важное значение для населения планеты в условиях меняющегося климата (Курбанов и др., 2008, Хлюстов, Устинов, 2012). Лесной покров является неотъемлемым составляющим при экологической оценке, выявлении изменений лесопользования, мониторинге лесов и оценке качества растительного покрова. За последние четыре десятилетия данные мультиспектральных изображений с использованием дистанционного зондирования стали основным источником информации о пространственных и временных изменениях лесо- и землепользования (Курбанов и др., 2014; Ji et al., 2015; Russel et al., 2015; Хлюстов, Лямебор-

шай, 2014). Сегодня разновременные спутниковые снимки находят незаменимое применение при оценке динамики растительного покрова как на глобальном, так и региональном уровне.

Цель нашего исследования – провести оценку пространственного распределения площадей лесного покрова в динамике на примере Кировской области с использованием данных спутниковой съемки среднего разрешения.

Для решения данной цели были поставлены следующие **задачи**:

- провести анализ территории исследования;
- подобрать спутниковые снимки на исследуемую территорию;
- сформировать тематические карты лесного покрова;
- выполнить пространственный анализ распределения классов лесного покрова за 2001-2014 в среде ArcGIS.

Материалы и методы

Территория исследования

Кировская область занимает центрально-восточную часть Европейской России Приволжского федерального округа и находится на северо-востоке Русской равнины. Климат характеризуется умеренно континентальным характером, местность имеет всхолмлённый рельеф с небольшим наклоном поверхности.

В работе исследовалась юго-западная часть Кировской области, которая входит в изучаемую сцену спутникового снимка (рис. 1). Объектом исследования стали площади лесных насаждений.

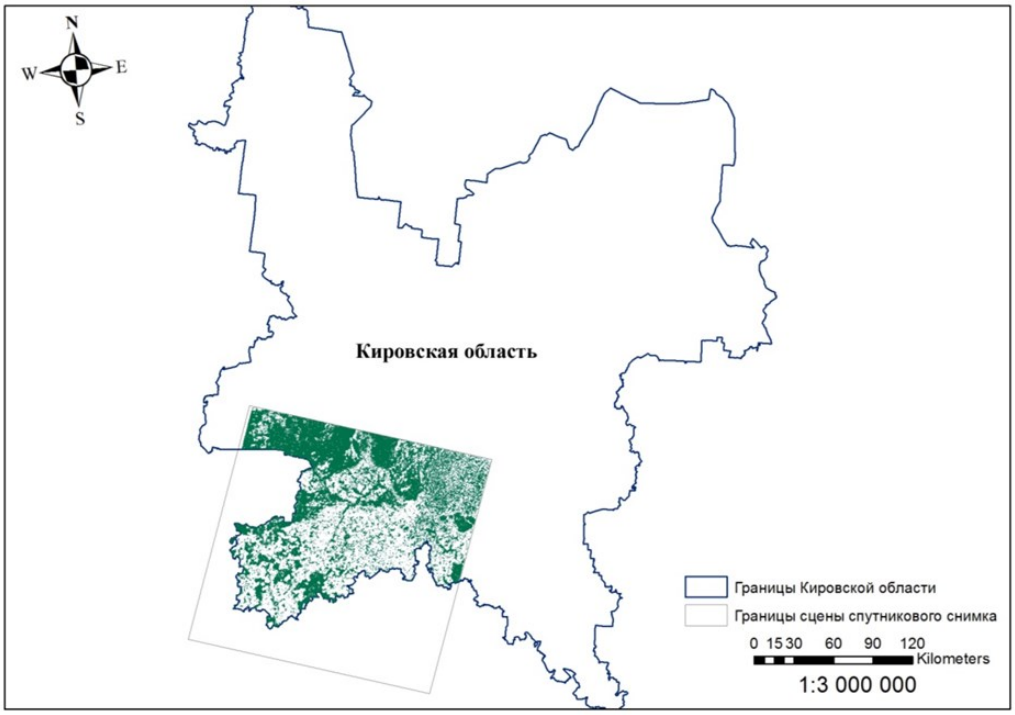


Рис. 1. Изучаемая территория исследования Кировской области лесного покрова в пределах сцены спутникового снимка Landsat 172p20r

Исследование было сосредоточено на оценке пространственного распределения площадей лесного покрова. Единицами лесного покрова стали следующие классы: светлохвойные насаждения, мелколиственные насаждения и смешанные насаждения.

Спутниковые данные

Для работы были подобраны мультиспектральные спутниковые снимки среднего разрешения Landsat TM (ETM+) 2001 и 2014 гг. (см. таблицу), используемые для тематического картирования и дистанционного мониторинга изменений (Fichera et al., 2012; Курбанов и др., 2013). Пространственное разрешение данных составляет 30 метров и охватывает юго-западную часть лесного покрова Кировской области. Обработка спутниковых снимков включала в себя атмосферную и геометрическую коррекцию, а также линейное преобразование Tasseled Cap (Воробьев, 2015; Liu et al., 2015).

Спутниковые снимки, использованные для оценки лесного покрова

Спутниковый датчик Landsat	TM	ETM+
Path/row	172p20r	172p20r
Пространственное разрешение	30 м	30 м
Год	2001	2014

Тематические данные

Работа со спутниковыми изображениями проводилась в ПК ENVI 5.2 и ArcGIS 10.3. Дешифрирование объектов основывалось на использовании дополнительных материалов полевых исследований и спутниковых снимков высокого разрешения. Неуправляемый метод Iso-Data (Ceccarelli et al., 2013; Курбанов и др., 2012) позволил проклассифицировать изображения и разделить лесной покров по породному составу. На рисунке 2 представлены фрагменты спутниковых снимков и тематических карт за 2001 и 2014 гг.

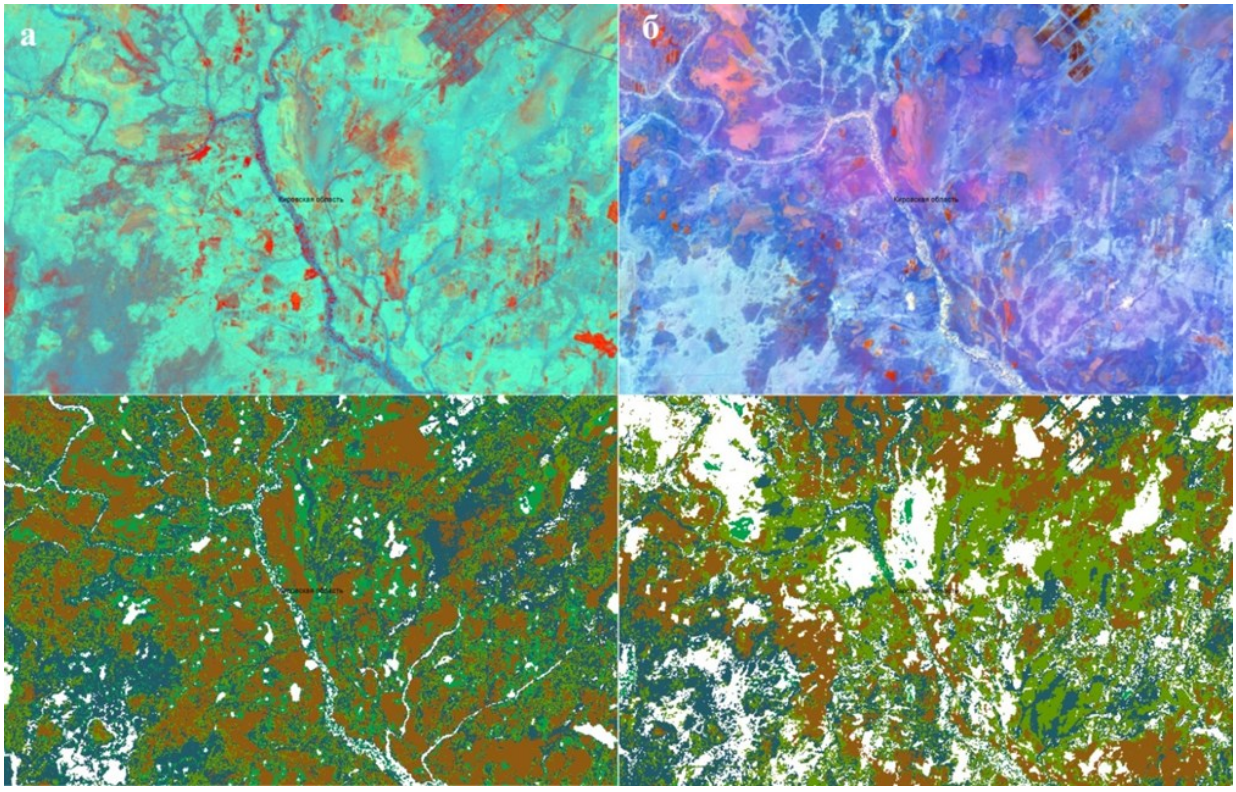


Рис. 2. Пример фрагментов спутниковых снимков Landsat и тематических карт 2001 (а) и 2014 (б) с классами соответствующих цветов легенды: коричневый = «светлохвойные», синий = «мелколиственные», зеленый = «смешанные» насаждения

Проводя визуальный анализ полученных тематических карт, можно выявить изменения площадей, сопровождающиеся уменьшением территории лесного покрова в 2014 году в местах, пройденных пожарами 2010 года, рубок лесных насаждений. В то же время с течением времени наблюдается увеличение лесного покрова за счет зарастания молодой лесной растительностью сгоревших площадей (Курбанов и др., 2010; Курбанов и др., 2011). В целом распределение лесных насаждений в пределах изучаемой территории достаточно однородное. Наблюдается переход от класса мелколиственных насаждений к светлохвойным лесам с юга на север исследуемой сцены спутникового изображения.

Пространственный анализ изменений

Для выявления пространственных изменений границ классов лесного покрова был проведен сравнительный анализ сформированных тематических карт. Для этого использовался дополнительный модуль в ПК ArcGIS «Spatial Analyst». Бинарные карты, создаваемые посредством присвоения каждому классу персонального кода, представляли собой тематические слои, один из которых принадлежит определенному классу лесного покрова, а второй – выполняет роль «фона» (background). Наложение разновременных бинарных карт представляло собой своеобразную классификацию, отражающую в результате пространственную динамику классов лесного растительного покрова. Оценка точности итоговых результатов выполнялась на основе матрицы ошибок и коэффициента Каппа (Воробьев и др., 2012).

Результаты и выводы

В предложенной работе приведена методика оценки пространственного распределения изменений лесного покрова на территории Кировской области за период 2001-2014 гг.

Применяемые в работе спутниковые снимки прошли обработку и процедуру линейного преобразования спектральных каналов для максимально оптимального дешифрирования классов лесного покрова.

Сформированы тематические карты с использованием неуправляемого метода классификации IsoData. Площади распределяются по следующим классам лесного покрова: светлохвойные, мелколиственные и смешанные лесные насаждения.

Качество классификации оценивалось с помощью комплексного подхода, который показал значительную степень соответствия полученных данных результатам наземных исследований. Коэффициент Каппа достиг 0,86 и 0,88 для тематических карт 2001 и 2014 гг. соответственно. Общая точность (в том числе, точность производителя и точность пользователя) составила выше 85%, что позволяет использовать данные карты для дальнейшего анализа в области дистанционного мониторинга изменений.

Итоговый результат сравнения тематических карт представлен в виде тематической карты динамики площадей классов лесного покрова (рис. 3).

Полученная карта предоставляет возможность отследить изменение границ и выявить площади неизменного состояния лесных территорий, «увеличения» (gain) и «уменьшения» (loss) классов лесного покрова. Значения площадей изучаемых классов колеблются как в численном виде, так и в пространственном отношении. Различия в пространственном распределении площадей лесного покрова представлены с разной степенью однородности в пределах изучаемой территории.

Результаты проводимого исследования призваны помочь получить детальные картографические данные об изменении лесного растительного покрова.

Рис. 3. Фрагмент классификации лесного покрова, представляющий пространственное изменение границ площадей классов

Материалы тематического картирования динамики границ площадей могут использоваться при анализе долгосрочных изменений в лесном хозяйстве и природопользовании.

Работа выполнена по проекту № 2394 «Дистанционный мониторинг устойчивости лесных экосистем» в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки Российской Федерации 2014-2016 гг.

Библиографический список

1. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева, В.О. Коптелов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1(25). – С.5-21.
2. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1. – С. 12-22.
3. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С.18-32.
4. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3. – С. 72-82.
5. Решение вопросов космического мониторинга лесных гарей в комплексных пакетах ENVI и ArcGIS / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Геоматика. – Москва: «Совзонд». – 2012. – № 4. – С. 82-92.
6. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Т.Ф. Мифтахов, С.А. Незамаев, Ю.А. Полевщикова // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 3. – С. 17-24.
7. Использование космических снимков Alos для выявления площадей бывших сельскохозяйственных угодий, зарастающих лесом / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, А.В. Губаев, С.А. Лежнин // Геоматика. – Москва: «Совзонд». – 2010. – № 4. – С. 68-72.
8. К вопросу об углерододепонирующих насаждениях / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, Л.С. Мошкина, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2008. – №3. – С. 5-17.

9. Хлюстов, В.К. Корректировка нормативов текущего прироста по запасу в условиях глобального изменения климата. Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искусственные системы: засуха 2010 года в Поволжье России: материалы международной научной конференции NASA и семинара GOFC-GOLD/NEESPI [Электронный ресурс] / В.К. Хлюстов, М.М. Устинов. – Йошкар-Ола: Поволжский государственный технологический университет, 2012. – С.148-151. – URL: http://csfm.marstu.net/publications.html

10. Хлюстов, В.К. Информационные технологии устойчивого управления лесами. / В.К. Хлюстов, С.Х. Лямеборшай // Palmarium Academic Publishing, 2014. – 120 с.

11. Land cover data from Landsat single-date imagery: an approach integrating pixel-based and object-based classifiers / T. Ceccarelli, D. Smiraglia, S. Bajocco, S. Rinaldo, A.a De Angelis, L. Salvati, L. Perini // European Journal of Remote Sensing. – 2013. – Vol. 46. – P. 699-717.

12. Fichera, C.R. Land cover classification and change-detection analysis using multi-temporal remote sensed imagery and landscape metrics / C.R. Fichera, G. Modica, M. Pollino // European Journal of Remote Sensing. – 2012. – Vol. 45. – P. 1-18.

13. Ji, L. Spatially explicit estimation of aboveground boreal forest biomass in the Yukon River Basin, Alaska / L. Ji, B.K. Wylie // International Journal of Remote Sensing. – 2015. – Vol. 36. – No. 4. – P. 939-953.

14. Liu, Q. Comparison of tasseled cap transformations based on the selective bands of Landsat 8 OLI TOA reflectance images / Q. Liu, G. Liu, C. Huang, C. Xie // International Journal of Remote Sensing. – 2015. – Vol. 36. – No. 2. – P. 417-441.

15. Russel, J.M. Remote sensing provides a progressive record of vegetation change in northern KwaZulu-Natal, South Africa, form 1994 to 2005 / J.M. Russel, D. Ward // International Journal of Remote Sensing. – 2015. – Vol. 35. – No. 3. – P. 904-926.

УДК 630.5(470.343)

СТРУКТУРА ФИТОМАССЫ РАЗЛИЧНЫХ ФРАКЦИЙ ДРЕВОСТОЕВ В ПОЙМЕ РЕКИ БОЛЬШАЯ КОКШАГА

А. В. Исаев
Природный заповедник «Большая Кокшага»

Приведены данные по структуре фитомассы пойменных древостоев, произрастающих в условиях центральной части поймы среднего течения реки Большая Кокшага, вычисленные по математическим уравнениям. Установлено, что структура фитомассы разных древесных пород между собой достаточно схожа: доминирует стволовая часть (62%), затем следует подземная – корни (14%), а замыкает ранговый ряд фитомасса ассимиляционного аппарата (2%). В создании фитомассы пойменных древостоев лидирует липа, ей значительно уступают дуб и вяз. Ель способна накапливать значительное количество фитомассы только в условиях кратковременного затопления. Наибольшая величина индекса транспирационной активности свойственна деревьям ели (0,35), а наименьшая – липы (0,06).

Ключевые слова: *пойменные древостои, фитомасса.*

PHYTOMASS STRUCTURE OF DIFFERENT STANDS' FRACTIONS IN THE FLOODPLAIN BOLSHAYA KOKSHAGA

A. V. Isaev
Nature reserve «Bolshaya Kokshaga »

The article presents the data on phytomass structure of floodplain forest stands p under the conditions of central part of Bolshaya Kokshaga River middle reaches. It was found that phytomass structure of different tree species is quite similar to each other: tree bole part dominates (62%), then follows the underground part– roots (14%), the range closes with phytomass of assimilatory unit (2%). In phytomass creation of floodplain forest stands the leading species is lime tree, followed by oak and elm trees. Spruce is capable to collect large amounts of phytomass under condi-

tions of short-time flooding. The highest index value of transpiration activity is usual for spruce (0,35), while the lowest index value is typical for lime trees (0,06).

Key words: *floodplain forest, phytomass, spruce.*

Введение. Леса выполняют важные средообразующие функции, в том числе по депонированию углерода, основной мерой которого является чистая первичная продукция фитоценозов, что способствует поддержанию устойчивости климатической системы Земли. Неслучайно поэтому их изучению уделяется большое внимание. Лесоводством и лесной таксацией накоплен значительный объем данных по запасам стволовой древесины. Данных же по фитомассе значительно меньше, так как ее оценка сопряжена с большими сложностями. Особенно слабо изучены в этом отношении пойменные древостои, которые весьма специфичны по своей структуре и характеру развития (Денисов, 1954, 1979; Максимов, 1974; Миркин, 1974; Шаталов, 1984; Новосельцев, Бугаев, 1985; Демаков и др., 1991; Калиниченко, 2000; Восточно-европейские, 2004; Исаев, 2008; и др.), а также менее всего нарушены хозяйственной деятельностью человека, поскольку режим пользования в них давно ограничен.

В изучение дубовых формаций Республики Марий Эл значительный вклад внес А.К. Денисов (1954, 1979). Им были вскрыты естественные закономерности развития пойменных дубрав, разработана шкала выносливости основных древесных и кустарниковых пород лесной зоны к затоплению составлена классификация типов пойменных лесов южноевропейской тайги и дана их характеристика. К поздним работам следует отнести исследования, проведенные Ю.П. Демаковым, А.Ф. Агафоновым и А.В. Ивановым (1991), О.И. Евстигнеевым, М.В. Почитаевой, С.Е. Желонкиным (1993), Т.Ю. Браславской (2004, 2006), А.В. Исаевым (2008). Однако в этих работах данные по структуре фитомассы не приводятся. Вопросы накопления фитомассы древостоев и депонирования ими углерода детально рассмотрены в работах Э.А. Курбанова (2002, 2007, 2009, 2010), однако они в основном касаются хвойных формаций. Таким образом, пойменные фитоценозы в данном аспекте не изучены, что оставляет место актуальности настоящего исследования.

Цель работы. Оценка фитомассы и ее фракционного состава пойменных древостоев, находящихся на территории заповедника «Большая Кокшага».

Методика и объекты. Материал собран на пяти постоянных пробных площадях, заложенных в пределах заповедника «Большая Кокшага» в условиях центральной части поймы р. Большая Кокшага согласно ОСТ 56-69-83. На них проведен перечет деревьев с обмером с помощью рулетки длины окружности ствола на высоте 1,3 м, а также выборочный замер высоты с помощью прибора Haglof у 20-30 экземпляров, что позволило довольно точно вычислить параметры функции H = f(D). Возраст деревьев был оценен путем взятия кернов буравом Пресслера. Таксационная характеристика пробных площадей приведена в табл. 1. Расчет фитомассы древостоя проведен на основе математических моделей, приведенных в работе Ю.П. Демакова (2015). Несомненным достоинством этого способа является возможность определения фитомассы различных фракций деревьев и древостоев в целом через значения высоты и диаметра. Обработка исходных данных проведена с использованием прикладных программ Excel, позволивших проанализировать состав фитомассы древостоев.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев пробных площадей

Элемент древостоя		Средний возраст, лет	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Густота, экз./га	Запас, $м^3$/га
Ярус	Порода					
ППП-1, состав по числу деревьев – 50Лп41Е6Д3Вз, по запасу – 58Е22Лп19Д1В						
1	Липа	70	23,4	28,16	88	60,5
	Дуб	140	27,8	50,4	24	64,0
	Ель	113	27,6	38,1	112	165,0
2	Липа	-	16,2	13,1	100	11,6
	Ель	-	17,6	21,4	41	12,7
	Вяз	58	20	16,6	12	2,9
В целом		**-**	**-**	**-**	**377**	**316,7**
ППП-2, состав по числу деревьев - 82Лп11Вз4Д3Е, по запасу – 80Лп16Д2Е2Вз						
1	Липа	116	27,6	37,1	203	277,0
	Дуб	-	29,1	55,2	22	72,7
	Ель	95	25,4	35,6	9	10,7
2	Липа	63	19,8	18	250	62,7
	Ель	-	11,7	13,8	9	0,8
	Вяз	67	15,5	14,1	59	8,5
В целом					**552**	**432,4**
ППП-3, состав по числу деревьев - 91Лп6Ос2В1Д, по запасу – 77Лп19Ос4Д ед. В						
1	Липа	66	26,7	32,4	267	271,7
	Осина	67	30,1	45,2	43	80
	Дуб	-	26,5	66,8	5	22,3
2	Липа	-	18,7	17,4	343	76,6
	Вяз	-	10,7	12,4	14	1,2
В целом		**-**	**-**	**-**	**672**	**451,8**
ППП-15, состав по числу деревьев 87Лп8Д5В, по запасу – 56Лп43Д1В						
1	Дуб	162	29,5	68,8	31	159,9
2	Липа	-	21,1	19,5	637	197,1
	Дуб	68	21,9	25,2	23	13,1
	Вяз	-	12,9	12,1	37	3,4
В целом					**728**	**373,5**
ППП-20, состав по числу деревьев 74Лп11Д12В3Е, по запасу – 50Лп42Д6Е2В						
1	Липа	130	29,6	47,2	45	104,7
	Дуб	180	30,1	62,6	27	117,5
	Ель	75	29,3	47,8	9	21,9
2	Липа	55	20,3	23	233	95,4
	Дуб	106	22,3	38,2	48	62,3
	Ель	97	18,5	25	12	5,3
3	Липа	-	12,2	10,2	258	14,5
	Дуб	-	11,8	11	9	1,1
	Вяз	40	12	13,4	88	9,3
В целом					**729**	**432**

Результаты и обсуждение. Установлено, что исследуемые древостои достаточно сильно отличаются по комплексу всех оцененных параметров (табл. 2). Наименьшие их значения выявлены на ППП-1 в ельнике липовом, что обусловлено отпадом значительного количества деревьев ели и части деревьев липы после засухи 2010 года. В результате этого густота древостоя здесь сравнительно невысокая, запас не превышает 316 $м^3$/га, а общая фитомасса немногим более 200,0 т/га. На остальных пробных площадях массового усыхания дере-

вьев не отмечено, в связи с этим значения параметров достигают значительных величин. Так густота древостоя на остальных пробных площадях превышает 550 экз./га, а запас и общая фитомасса 373 м^3/га и 272,5 т/га соответственно.

Таблица 2

Характеристика таксационных параметров и структуры фитомассы древостоев

Параметр	Значение параметра на различных ППП				
	1	2	3	15	20
Густота, экз./га	377	552	672	728	729
Запас, м^3/га	316,5	432,4	451,8	373,5	432,0
Общая фитомасса, т/га	202,8	294,8	303,3	272,5	308,8
Надземная фитомасса, т/га	172,8	253,3	253,2	237,6	270,7
Фитомасса стволов, т/га	129,9	180,2	184,9	168,8	192,6
Фитомасса ветвей, т/га	23,7	37,6	33,1	41,8	46,4
Фитомасса листвы, т/га	6,57	3,49	5,45	3,74	4,71
Фитомасса корней, т/га	30,1	41,5	50,1	34,9	38,1

В структуре общей фитомассы древостоев на ППП доминирует надземная часть, доля которой составляет в среднем 86% (рис. 1). Причем на фитомассу стволов приходится до 62% от общей ее части, тогда как на долю ассимиляционного аппарата – лишь 2%.

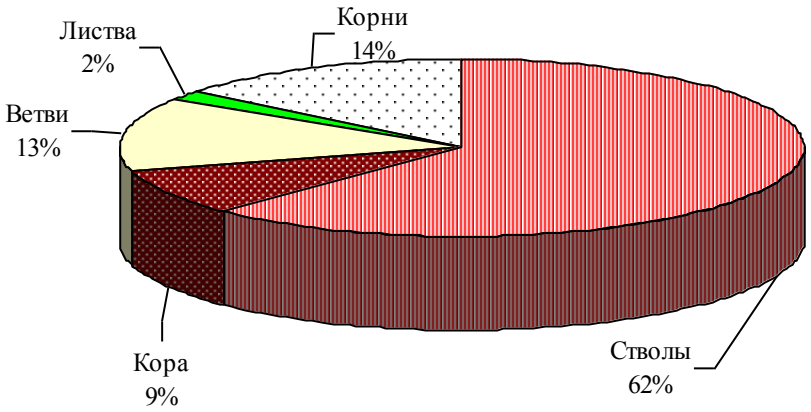


Рис. 1. Структура фитомассы древостоя на пробных площадях

Структура фитомассы разных древесных пород между собой достаточно схожа: на стволовую часть приходится от 59 (деревья липы) до 66% (остальные древесные породы) (рис. 2). Дуб значительно уступает другим породам по фитомассе корней (5%), однако превосходит их по фитомассе ветвей (19%). Доля фитомассы ассимиляционного аппарата деревьев ели и осины в пять раз больше чем у дуба и липы.

Пойменные древостои в большинстве своем разновозрастны, в результате чего формируется ярусность, играющая определенную роль в накоплении и перераспределении фитомассы. В большинстве случаев на долю первого яруса приходится более 80% от созданной древостоем общей фитомассы, хотя густота его редко превышает 50% (табл. 3). Первый ярус занимает господствующее положение, состоит из наиболее крупных деревьев, как по высоте, так и по диаметру. Второй ярус, хотя и состоит в большинстве случаев из доминирующего количества особей, имеет низкие таксационные показатели, что и определяет невысокую его продуктивность.

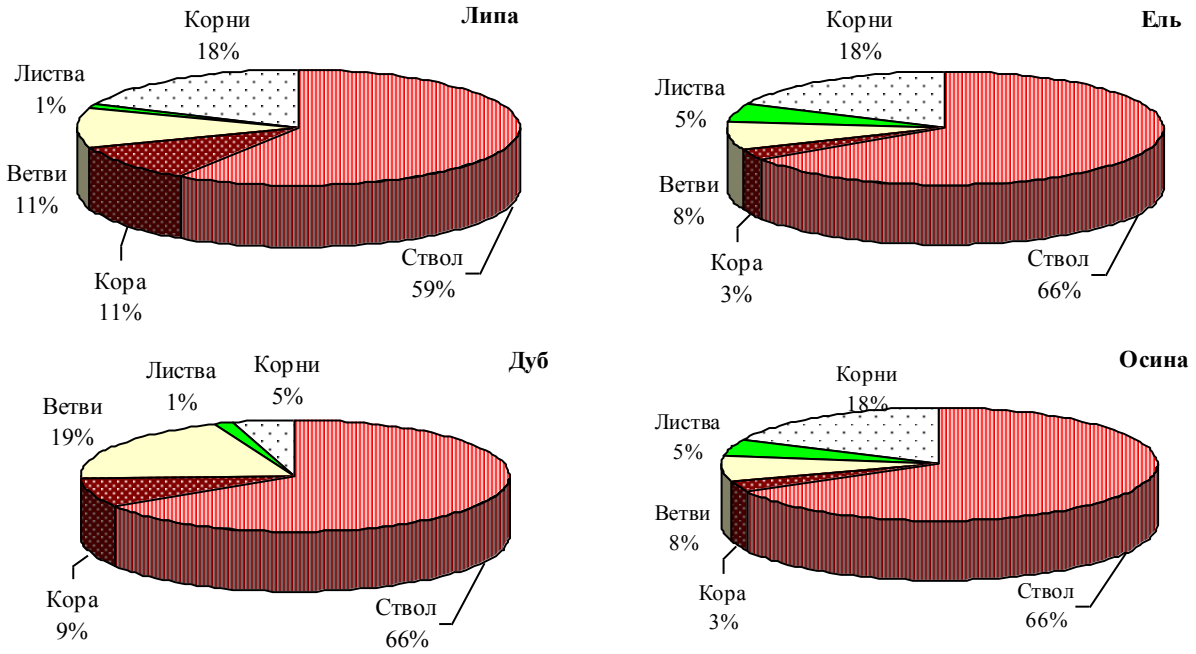


Рис. 2. Структура фитомассы древесной породы

Иногда первый ярус фитоценоза состоит из сверхгосподствующих экземпляров, как на ППП-15, где он представлен исключительно деревьями дуба, имеющими среднюю высоту 29,5 м и диаметр 68,8 см, что существенно превосходит основной массив, слагающий дендроценоз. Однако количество таких деревьев, приходящееся на один гектар, весьма мало (31 экз.), в связи с чем доля этого яруса в накоплении общей фитомассы относительно невысока (46,1%), по сравнению с другими ППП.

Таблица 3

Вклад деревьев первого яруса в накоплении фитомассы древостоя

Параметр	Доля первого яруса от общего на различных ППП, %				
	1	2	3	15	20
Густота	59,4	42,4	46,9	4,3	11,1
Запас	91,4	83,4	82,8	42,8	56,5
Общая фитомасса	91,0	82,9	82,3	46,1	55,9
Надземная фитомасса	91,6	84,0	83,5	49,9	57,6
Фитомасса стволов	91,7	83,9	83,5	49,2	57,6
Фитомасса ветвей	91,2	83,4	81,5	58,3	56,6
Фитомасса листвы	88,6	74,2	83,3	41,7	47,1
Фитомасса корней	87,6	76,2	76,0	19,7	43,8

Липа, дуб и вяз относятся к породам, активно осваивающим пойменные экотопы, – они встречаются повсеместно. Однако липа, благодаря высокой теневыносливости, способности к вегетативному размножению и быстрому росту, активно захватывает жизненное пространство, препятствуя естественному возобновлению деревьев дуба, поэтому почти повсеместно доминирует в древостоях (Демаков, 2007; Исаев, 2008). Ее густота достигает 637 экз./га, а запас почти 350 м^3/га (табл. 4).

Таблица 4

Распределение фитомассы деревьев в различных биотопах

№ ппп	Порода	Значения параметра							
		густота, экз./га	запас, $м^3$/га	общая фито-масса, т/га	надзем-ная фи-томасса, т/га	фито-масса стволов, т/га	фито-масса ветвей, т/га	фито-масса листвы, т/га	фито-масса корней, кг
1	Липа	188	72,1	48,8	39,4	28,4	5,4	0,61	9,37
2		453	339,7	224,1	187,5	133,8	24,59	2,2	36,64
3		610	348,3	231	190,9	136,8	25,41	2,52	40,1
15		637	197,1	133,8	106,7	77,3	14,8	1,92	27,1
20		536	214,6	143,5	117,2	84,4	15,84	1,68	26,29
1	Ель	153	177,6	102,6	84,7	67,6	8,19	5,25	17,85
2		18	11,5	7,1	5,8	4,6	0,59	0,39	1,27
20		21	27,2	15,7	12,8	10,4	1,26	0,82	2,95
№ ппп	Порода	Значения параметра							
		густота, экз./га	запас, $м^3$/га	общая фито-масса, т/га	надзем-ная фи-томасса, т/га	фито-масса стволов, т/га	фито-масса ветвей, т/га	фито-масса листвы, т/га	фито-масса корней, кг
1	Дуб	24	64,0	49,3	46,6	32,5	9,62	0,67	2,74
2		22	72,7	56,8	53,7	37,6	11,0	0,73	3,07
3		5	22,3	16,7	16,5	10,9	3,27	0,33	0,23
15		54	173,0	135,9	128,4	89,8	26,46	1,74	7,53
20		84	180,9	142,0	133,9	93,2	27,71	1,98	8,13
1	Вяз	12	2,9	2,2	2,1	1,4	0,44	0,04	0,14
2		59	8,5	6,8	6,3	4,2	1,38	0,17	0,52
3		14	1,2	1,0	0,9	0,6	0,2	0,03	0,1
15		37	3,4	2,8	2,5	1,7	0,57	0,08	0,24
20		88	9,3	7,5	6,8	4,5	1,55	0,23	0,7
3	Осина	43	80	54,6	44,9	36,6	4,19	2,57	9,66

Соответственно доля участия липы в создании фитомассы пойменных фитоценозов по запасу стволовой древесины, общей фитомассе и фитомассе стволов составляет более 50%, а по фитомассе корней – более 70% (табл. 5). Ей значительно уступает дуб, который находится на втором месте в ранговом ряду по доле участия в формировании структуры древостоя. Количество его деревьев на один гектар сравнительно невелико (от 5 до 84 экз./га), однако запас стволовой древесины и фитомассы на некоторых ППП достигают значительных величин (173-180 $м^3$/га ППП-15 и 20) за счет высоких таксационных показателей.

Вяз, хотя и относится к поймостойким породам (Денисов, 1954), в большинстве случаев встречается в виде сопутствующей породы, он не отличается высоими таксационными показателями, а также накоплением стволового запаса и фитомассы в древостое, и в большинстве своем поражен голландской болезнью. Ель, по сути не относящаяся к поймостойким породам (Денисов, 1954), не принимает повсеместного участия в сложении пойменных фитоцено-

Таблица 5

Доля участия пород в формировании структуры древостоя

Параметр	Участие древесной породы в сложении древостоя, %					
	Липа	Дуб	Ель	Осина	Вяз	Всего
Густота	79,3	6,2	6,3	1,4	6,9	100
Запас	58,4	25,6	10,8	4,0	1,3	100
Общая фитомасса	56,5	29,0	9,1	4,0	1,5	100
Надземная фитомасса	54,0	31,9	8,7	3,8	1,6	100
Фитомасса стволов	53,8	30,8	9,6	4,3	1,4	100
Фитомасса ветвей	47,2	42,8	5,5	2,3	2,3	100
Фитомасса листвы	37,3	22,7	27,0	10,7	2,3	100
Фитомасса корней	71,7	11,1	11,3	5,0	0,9	100

зов, а встречается только на возвышенных ее сегментах (ППП-1). Тем не менее, здесь она находит благоприятные для роста почвенно-грунтовые условия и способна формировать высокопродуктивные древостои и накапливать значительное количество фитомассы. В этих условиях густота может достигать более 150 экз./га, а запас свыше 170 м^3/га. Возможно, она достигла бы и более высоких показателей, однако периодически повторяющиеся засухи серьезно этому препятствуют. Условия поймы благоприятствуют росту деревьев осины, о чем свидетельствуют высокие таксационные показатели (см. табл. 1). Однако в силу того, что она не имеет повсеместного распространения в условиях поймы, вклад ее в накопление общей фитомассы изученных древостоев весьма не велик.

Полученные данные позволили провести анализ транспирационной активности, рассчитанный как отношение фитомассы ассимиляционного аппарата к длине окружности среднего дерева первого яруса древостоя. В результате установлено, что наибольшая его величина у ели – 0,35, а наименьшая – у липы 0,06 (рис. 3).

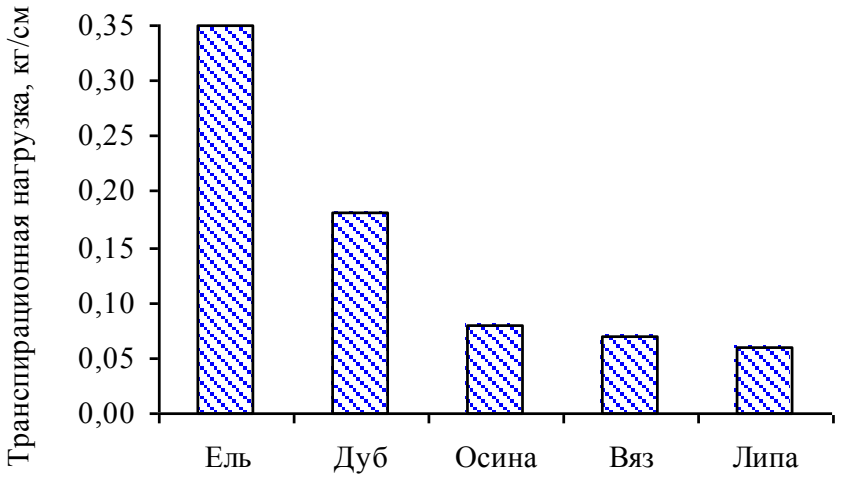


Рис. 3. Распределение древесных пород по транспирационной нагрузке

Это свидетельствует о том, что для обеспечения жизнедеятельности дерева ели на корни приходится большая нагрузка, чем у других пород. Возможно, это и определило низкую степень ее выносливости к засухе, особенно сильно проявившуюся в 2010 году.

Заключение. Изученные постоянные пробные площади не исчерпывают всего разнообразия пойменных древостоев, что свидетельствует о необходимости дальнейшего проведе-

ния исследований в этом направлении. Представленные материалы отображают структуру фитомассы древостоев лишь в статике, поэтому требуется проведение исследований динамики развития древостоев.

Библиографический список

1. Браславская, Т.Ю. Структура и динамика растительного покрова в поймах рек лесного пояса / Т.Ю. Браславская // Восточно-европейские леса. – М.: Наука, 2004. – С. 384-473.
2. Браславская, Т.Ю. Мониторинг старовозрастных пойменных лесов в заповеднике «Большая Кокшага» / Т.Ю. Браславская // Проблемы экологии и природопользования в бассейнах рек Республики Марий Эл и сопредельных регионов. – Йошкар-Ола, 2006. – С. 31-33.
3. Восточно-европейские леса: история в голоцене и современность: в 2-х кн. / отв. ред. О.В. Смирнова. – М.: Наука, 2004. – кн. 1. – 478 с.; кн. 2. – 575 с.
4. Демаков, Ю.П. Состояние пойменных дубрав Марийской ССР и принципы ведения хозяйства в них / Ю.П. Демаков, А.Ф. Агафонов, А.В. Иванов // Научные основы ведения лесного хозяйства в дубравах: тез. докл. Всесоюз. конф. – Воронеж, 1991. – Ч.1. – С. 73-74.
5. Демаков, Ю.П. Структура земель и лесов заповедника / Ю.П. Демаков // Научные труды Государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 2. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2007. – С. 9-49.
6. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики / Ю.П. Демаков, А.С. Пуряев, В.Л. Черных, Л.В. Черных // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 19-36.
7. Денисов, А.К. Пойменные дубравы лесной зоны / А.К. Денисов. – М.: Гослесбумиздат, 1954. – 84 с.
8. Денисов, А.К. Типология пойменных лесов южной европейской тайги: учеб. пособие / А.К. Денисов. – Горький, 1979. – 47 с.
9. Евстигнеев, О.И. Популяционная организация и антропогенные преобразования пойменной дубравы реки Большая Кокшага / О.И. Евстигнеев, М.В. Почитаева, С.Е. Желонкин // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. – 1993. – Т. 98, вып. 5. – С. 80-87.
10. Исаев, А.В. Формирование почвенного и растительного покрова в поймах речных долин Марийского Полесья (на примере территории заповедника «Большая Кокшага») / А.В. Исаев. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2008. – 240 с.
11. Калиниченко, Н.П. Дубравы России / Н.П. Калиниченко. – М.: ВНИИЦ лесресурс, 2000. – 536 с.
12. Курбанов, Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района: науч. изд. / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2002. – 300 с.
13. Курбанов, Э.А. Углерододепонирующие насаждения Киотского протокола / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 184 с.
14. Курбанов, Э.А. Моделирование бюджета углерода лесных насаждений на примере сосняков Поволжья / Э.А. Курбанов // Лесной журнал, 2009. – № 2. – С. 7-15.
15. Пространственная динамика фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, Л.С. Устюгова, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // Лесной журнал. – Архангельск: Архангельский государственный технический университет. – 2010. – №3. – С. 8-14.
16. Максимов, А.А. Структура и динамика биоценозов речных долин / А.А. Максимов. – Новосибирск: Наука. Сибир. отд-ние, 1974. – 260 с.
17. Миркин, Б.М. Закономерности развития растительности речных пойм / Б.М. Миркин. – М.: Наука, 1974. – 174 с.
18. Новосельцев, В.Д. Дубравы / В.Д. Новосельцев, В.А. Бугаев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 214 с.
19. ОСТ 56-69-83 Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки.
20. Шаталов, В.Г. Пойменные леса / В.Г. Шаталов, И.В. Трещевский, И.В. Якимов. – М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 160 с.

УДК 581.5:630.587

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА МАРИЙСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ ПО ВЕГЕТАЦИОННЫМ ИНДЕКСАМ НА ОСНОВЕ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ

А. А. Алгаева[1], Н. О. Воробьева[1], А. Э. Курбанова[2]

[1]Поволжский государственный технологический университет

[2]Марийский государственный университет

Рассматривается анализ современных методик оценки состояния и пространственного распределения лесного покрова с использованием основных вегетационных индексов, полученных по спутниковым данным в Марийском Заволжье.

Ключевые слова: *вегетационные индексы, аэрозольная оптическая толщина, пространственный анализ*

ASSESSMENT OF VEGETATION COVER IN MARI ZAVOLZHIE BY VEGETATION INDEX BASED ON SATELLITE DATA

[1]A. A. Algaeva, [1]N. O. Vorobieva, [2]A. E. Kurbanova
[1]Volga State University of Technology
[2]Mari State University

The paper studies the analysis of modern evaluation methods of forest cover spatial distribution using principal vegetation indexes derived from satellite data in Mari Zavolzhie.

Keywords: *vegetation indexes, aerosol optical depth, spatial analysis*

Актуальность исследований. В последние десятилетия наблюдается усиливающееся влияние биотических и абиотических факторов на окружающую среду (Курбанов, Воробьев, 2014). Особенно влияние таких факторов заметно на примере лесных экосистем Российской Федерации. Происходящие процессы можно оценить, используя современные подходы и методики, позволяющие анализировать и прогнозировать состояние и динамику растительных экосистем на глобальном, региональном и локальном уровнях (Лабутина, 2011; Курбанов и др., 2014а; Хлюстов, 2011). Региональный спутниковый мониторинг в совокупности с наземными исследованиями помогает оценить происходящие изменения состояния лесного покрова в контексте пространственно-временной динамики. Критериями таких оценок служат индикаторы растительности в виде вегетационных индексов состояния и нарушенности лесных экосистем, полученных по данным спутниковых наблюдений (Курбанов и др. 2011).

Объектом исследования являются лесные насаждения Марийского Заволжья.

Цель работы – анализ современных методик оценки состояния и пространственного распределения лесного покрова с использованием основных вегетационных индексов, полученных по спутниковым данным в Марийском Заволжье.

Для достижения данной цели были поставлены следующие **задачи**:

1) провести анализ отечественной и зарубежной литературы по теме исследования;
2) получить данные вегетационных индексов по спутниковым снимкам для выявления пространственно-временных трендов состояния лесного покрова.

Методика исследований. По результатам анализа литературных источников было выявлено, что эффективным средством изучения лесных экосистем на больших территориях с целью оценки их изменений является применение данных дистанционного зондирования с использованием ключевых индикаторов в виде вегетационных индексов (Митрофанов, Шашнев, 2012; Курбанов и др. 2014б; Воробьев, Курбанов, 2013).

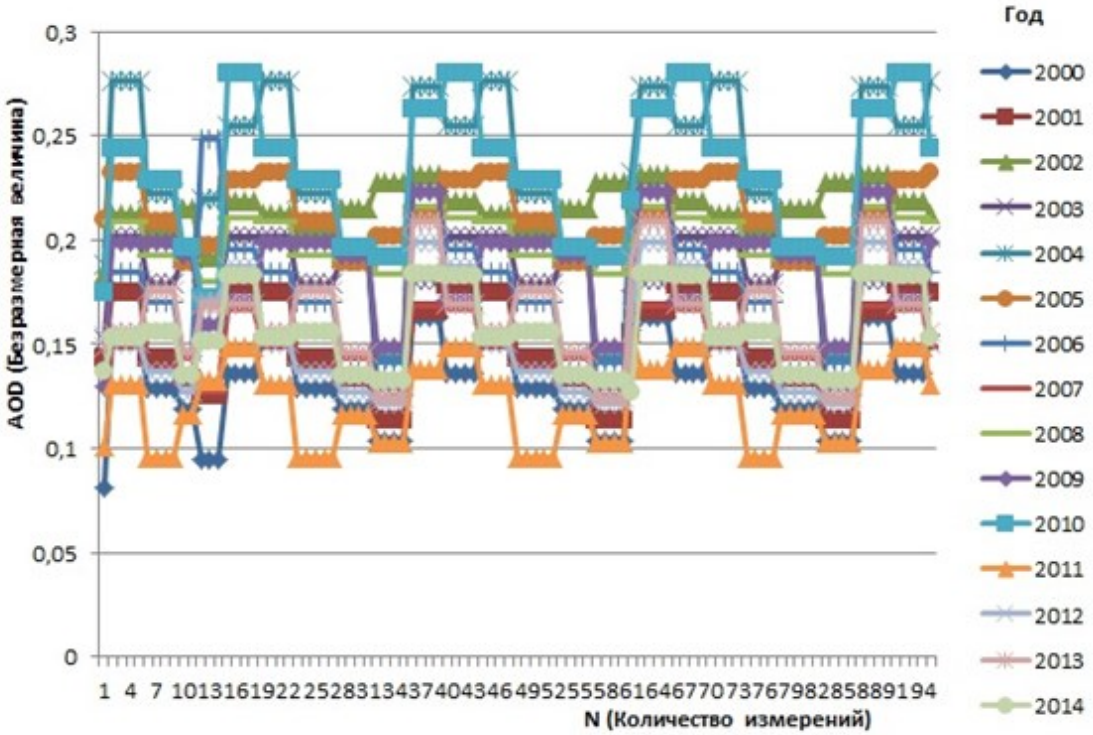
Одним из самых широко используемых индексов, по которому определяется долговременное негативное влияние на лесонасаждение различных факторов окружающей среды, включая анализ изменений (change detection), является нормированный относительный индекс растительности (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index):

$$NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red). \quad (1)$$

По разностным значениям этого индекса в красной (Red) и инфракрасной (NIR) зоне спектра оценивается содержание хлорофилла в растительности и выявляются аномальные изменения, позволяющие выявить деградацию древостоев по спутниковым данным (Курбанов и др., 2012; Sow et al, 2013). В свою очередь методы тематического картирования состояния лесных экосистем помогают сделать точную оценку произошедших изменений по разновременным спутниковым снимкам (Zoran, 2014; Курбанов и др., 2013).

В качестве показателя аэрозольного загрязнения используется аэрозольная оптическая толщина (AOD - Aerosol Optical Depth). Данный индекс характеризует один из ключевых факторов, свидетельствующих о физических характеристиках аэрозолей, и относится к важным оптическим параметрам при оценке концентраций аэрозолей, выявления уровня загрязнения атмосферы и воздействия аэрозолей на климат и лесные экосистемы (He et al, 2014; Корец 2006, Воробьев и др., 2015).

Результаты исследований. В результате анализа российских и зарубежных литературных источников для изучения степени воздействия на лесные экосистемы природных и антропогенных факторов были приняты вышеперечисленные индексы. Адаптирована методика оценки пространственного анализа взаимосвязи этих показателей на территории исследования. Определены значения индексных показателей изменений в виде матричных таблиц большого объема. Построены приближенные тренды изменений индексных показателей за большой промежуток времени (см. рисунок).



Фрагмент значений сезонных показателей AOD (безразмерная величина) на основе «сети учетных точек, май» на территории исследования (по данным MODIS)

По остальным значениям индексов получены аналогичные тренды. Построены карты плотности индексных показателей, позволяющих проводить пространственно-временной анализ динамики изменений структуры растительного покрова на территории Марийского Заволжья.

Комплексная оценка полученных значений всех индексов проводится в программных пакетах Statistica и MatLab с использованием модулей пространственного анализа программного комплекса ArcGis. Полученные результаты позволят проводить прогнозный анализ динамики состояния лесных экосистем на базе фактических данных и будут полезны профильным организациям для принятия решений для проведения инвентаризации, дистанционного контроля вырубок, оценки последствий пожаров, лесопатологического мониторинга и научных исследований.

Библиографический список

1. Воробьев, О.Н. Мониторинг состояния растительного покрова на территории Республики Марий Эл с использованием ENVISAT MERIS /О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов// Вестник МГУЛ – Москва: Московский государственный университет леса. – 2013. – № 7(99). – С. 42–45.
2. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева, В.О. Коптелов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1(25). – С. 5-21.
3. Корец, М. А. Оценка состояния растительного покрова в зоне воздействия промышленных предприятий с использованием данных ENVISAT-MERIS и SPOT-Vegetation/ М. А. Корец, В. А. Рыжкова, С. А, Барталев // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: «Азбука-2000», 2006. – Т 2. – С. 330-334.
4. Курбанов, Э.А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: учебное пособие. Рекомендовано УМО по образованию в области лесного дела / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев/ Йошкар-Ола: ПГТУ, 2014. – 254 с.
5. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014а. – № 1(21).– С. 18-32.
6. Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 г. в Среднем Поволжье / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014б. – Т. 11. – № 4. – С. 217–229.
7. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3. – С. 82-92.
8. Решение вопросов космического мониторинга лесных гарей в комплексных пакетах ENVI и ArcGIS / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Геоматика. – Москва: «Совзонд». – 2012. – № 4. – С. 82-92.
9. Лабутина, И.А., Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ/ И.А. Лабутина, Е.А. Балдина // Всемирный фонд дикой природы (WWF России). Проект ПРООН/ГЭФ/МКИ «Сохранение биоразнообразия в российской части Алтае-Саянского экорегиона»: методическое пособие. – М., 2011. – 88 с.
10. Митрофанов, Е.В. О применении узкоспектральных вегетационных индексов для оценки состояния лесной растительности / Е.В.Митрофанов, И.В. Шашнев // Вестник МГОУ. Серия «Естественные науки».– 2012. – № 4. – С. 118-122.
11. Хлюстов, В.К. Лесное хозяйство России: инновационные технологии по комплексной оценке лесных ресурсов // Лесное хозяйство.– 2011. – №5. – С. 19-20.
12. Aerosol Indices Derived from MODIS Data for Indicating Aerosol-Induced Air Pollution / J. He, Y. Zha, J. Zhang, J. Gao // Remote Sensing. – 2014. – №6. – P.1587-1604.
13. Estimation of Herbaceous Fuel Moisture Content Using Vegetation Indices and Land Surface Temperature from MODIS Data / M.Sow, C. Mbow, C. Hély, R. Fensholt, B.Sambou // Remote Sensing. – 2013. – №5. – PP. 2617-2638.
14. Remote sensing of periurban forest vegetation Biophysical variables using time-series MODIS Satellite data / M. Zoran, R.Savastru, D. Savastru, M. Tautan, B.Laurentiu // EARSeL 34th Symposium Proceedings. – 16-20 June 2014. – P. 636 – 645.

УДК 630*237

ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЛЕСОВОДСТВЕННОГО ЭФФЕКТА ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Д. А. Шевелев
Сыктывкарский лесной институт

В статье рассмотрены методы использования геоинформационных технологий для изучения влияния гидролесомелиорации на повышение производительности древостоев на избыточно увлажненных лесных землях.

Ключевые слова: *гидромелиорация, геоинформационные системы, дистанционное зондирование*

REMOTE METHODS OF STUDYING SILVICULTURAL RECLAMATION EFFECT WITH THE USE OF GIS TECHNOLOGIES

D. A. Shevelev
Syktyvkar Forest Institute

The article describes methods of using geo-information technologies to study effects of forest hydromelioration on improvement of forest stands productivity on the wet forest lands.

Key words: *hydromelioration, geo-informational systems, remote sensing*

Повышение производительности древостоев на избыточно увлажненных лесных землях является перспективным методом лесохозяйственных мероприятий, направленных на рациональное и неистощительное лесопользование. По сути гидролесомелиорация должна служить методом вовлечения непригодных для освоения лесных площадей в хозяйственный оборот, тем самым решая проблему дефицита доступного древесного сырья. Применительно к территории Республики Коми площадь заболоченных и болотных лесов составляет 11,7 млн га. (Сабо и др., 1981). Первые работы по осушению заболоченных лесов в Республике Коми провели еще в 1969 году, и сейчас около 2/3 всей осушенной площади приходится на сосновые древостои.

Исследования, связанные с изучением лесоводственной эффективности осушения сосны обыкновенной на территории Республики Коми, проводятся с 80-х годов XX века. Так, за 35 лет исследований получены данные о величине дополнительного прироста в осушенных сосняках различного типа леса, дано лесоводственное обоснование по интенсивности осушения сосновых насаждений, изучена производительность сосновых древостоев на участках с различной мощностью торфа, созданы региональные нормы лесоосушения. В то же время появление и развитие компьютерных технологий открывают новые возможности изучения влияния гидролесомелиорации на рост древостоев наряду с традиционными методами.

Целью работы являлось изучение влияние осушения заболоченных земель на рост сосны обыкновенной с использованием традиционных методов исследования, а также современных компьютерных технологий, таких как дистанционное зондирование Земли и геоинформационные системы (ГИС). Исследования проводились на осушенном участке верхового болота, расположенном на водораздельной территории с преобладанием в составе насаждения сосны обыкновенной. Осушенный участок находится в средней подзоне тайги Республики Коми, в

Корткеросском лесничестве, в квартале 48 и представляет собой серию осушительных каналов, собирательного и магистрального канала. Расстояние между осушителями составляет от 100 до 160 м, глубина канала в настоящее время варьируется от 0,9 м до 1 м. Глубина магистральных каналов и собирателей по измерениям составляет 1,1-1,5 м. Работы по осушению данного участка проводились в 1970-1971 гг.

Для изучения лесоводственной эффективности осушения было заложено 10 пробных площадей в соответствии с общепринятыми методиками (Рубцов, Книзе, 1977). Перед закладкой пробных площадей были проведены рекогносцировочные работы, изучены топографические карты различных масштабов и космические снимки сверхвысокого и высокого разрешения, проанализированы данные лесоустройства. На опытных участках произрастают в основном спелые древостои, представленные сосняками сфагново-долгомошными, кустарничко-сфагновыми и сфагновыми.

На пробных площадях 1-10 проводили сплошную перечислительную таксацию, дополнительно на каждой пробной площади закладывали по 2 круговые реласкопические площадки. У каждого дерева измеряли высоту и диаметр на высоте 1,3 м. Для изучения мощности торфа по периметру пробных площадей через каждые 10 метров замеряли глубину торфа. Всего было проведено 112 измерений, затем для каждой пробной площади выводили среднее значение мощности торфа. Наблюдение за динамикой почвенно-грунтовых вод проводили на пробных площадях 1,3,4,5,6,7, 10. На всех пробных площадях были взяты пробы торфа на различных глубинах для последующего анализа в лабораторных условиях.

Все данные, полученные в ходе полевых работ и последующей камеральной обработки, заносились в базу геоданных, анализировались и визуализировались посредством ГИС приложения.

Анализ таксационных характеристик насаждений на пробных площадях показал, что изменения среднего запаса насаждения происходят по мере удаления от осушительного канала. Так, для серии пробных площадей 1-5 наблюдается снижение среднего значения запаса по мере удаления от канала. Средний запас на пробных площадях 1,5 составляет 121м^3/га и 181 м^3/га соответственно, тогда как для пробной площади 3, находящейся на середине межканальной полосы, – 116 м^3/га. Для серии пробных площадей 6-10 такая зависимость не прослеживается, возможно, это объясняется низкой мощностью торфа и наличием супеси в качестве подстилающей породы, что обуславливает лучшие лесорастительные условия. Средние значения мощности торфа для пробных площадей 6-10 составляют 20-22 см, тогда как для пробных площадей 1-5 – 21-30 см. Стоит отметить также, что на пробных площадях 1,2,3 с максимальными средними значениями глубины торфа (30-31 см) в качестве подстилающей породы выступает суглинок либо супесь тяжелая. Наряду с этим, пробные площади 1,2,3 имеют минимальные средние запасы – 121, 120, 116 м^3/га соответственно. Целесообразно изучение степени разложения и зольность торфа на пробных площадях как факторов, оказывающих влияние на продуктивность древостоев. Таксационная характеристика насаждений и средние значения мощности торфа на пробных площадях 1-10 представлены в таблице.

Характеристика насаждений на пробных площадях №1-10

Номер пробной площади	Порода	Характеристика древостоев элемента леса				Характеристика ярусов			Текущий класс бонитета	Тип леса	Мощность торфа, см
		Д, см.	Н, м.	А, лет	М, м3/га	Состав	Р отн.	Запас, м3/га			
1	С	14,3	12,2	80	116	10Сед.Бед.Е	0,9	121	V	С.сф.	30
	Б	9,3	8,4	82	4						
	Е	9,7	8,3	82	1						
2	С	14,6	11,9	80	116	10Сед.Б	1	120	V	С.сф.	31
	Б	9,8	8,7	80	4,2						
3	С	16,5	12,5	83	116	10С+Б	0,9	116	V	С.дм.	30
	Б	9,5	10	80	5						
4	С	16,9	12,5	80	169	10Сед.Б	1	174	V	С.сф.	26
	Б	10,5	9,5		5,5						
5	С	17,3	13,2	85	184	10Сед.Б	1	190	V	С.дм.	22
	Б	9,02	8,4	82	6						
6	С	19,3	13,4	80	132	10Сед.Б	1	138	V	С.чер.	22
	Б	10,7	10,1	82	6						
7	С	22,5	15,1	81	240	9С1Осед.Бед.Е	1	263	IV	С.дм.	23
	Б	11,8	8,9		6						
	Е	13,2	10,8		7						
	Ос	16,1	10		10						
8	С	18	14	82	106	8С1Ос1Е+Б	1	138	IV	С.дм.	23
	Б	12,3	10,7		6						
	Е	12,6	10	80	8						
	Ос	16,3	13,5		17						
9	С	18,9	14,4	102	144	9С1Ос+Б ед.Е	1	168	V	С.дм.	22
	Б	12,2	9,4	100	7						
	Е	10,9	10,4		3						
	Ос	18,1	15,4		14						
10	С	17,1	14,6	100	240	9С1Б+Е+Ос	1	274	V	С.дм.	23
	Б	11,8	11	101	18						
	Е	15,1	10		9						
	Ос	18,1	10		9						

Наряду с анализом таксационных характеристик, изучение изменения запасов в зависимости от удаления от осушительных каналов возможно с использованием спутниковых данных и их последующей обработки и интерпретации (Курбанов и др., 2014). Одним из методов изучения растительности посредством данных дистанционного зондирования являются спектральные преобразования. Спектральные преобразования позволяют получать необходимое пространство признаков, имеющее определенное преимущество перед исходным спектральным пространством. Одним из способов спектральных преобразований является расчет вегетационных индексов (Воробьев и др., 2012; Курбанов и др., 2013) .

В данной работе использовали нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI как наиболее подходящий для задач данного исследования. Для расчета NDVI использовали цветосинтезированный снимок WorldView-2 с разрешением пикселя 0,5 метров (дата съемки – 17.07.2013 г.) и спектрозональный снимок Канопус-В с разрешением 10 метров (дата съемки – 10.07.2013 г.). Расчет средних значений индекса производили для 191трансекты, расположенных на различном удалении от каналов. Средние значения индекса для трансект 1-87 и 88-174 вычисляли на основе снимка WorldView-2, для трансект 175-191 – на основе снимка Канопус-В. Размер каждой трансекты составил 200x1 пиксель. Высокое и сверх-

высокое разрешение снимка может дать определенные преимущества перед случаем, когда в границах пробных площадей учитывается несколько рядов пикселей с более низким разрешением. В последнем случае может наблюдаться некоторая неопределенность в определении расстояния до ближайшего канала (Шевелев, 2014).

На рисунках 1-3 приведены диаграммы зависимости изменения средних значений индекса NDVI от расстояния до ближайшего канала.

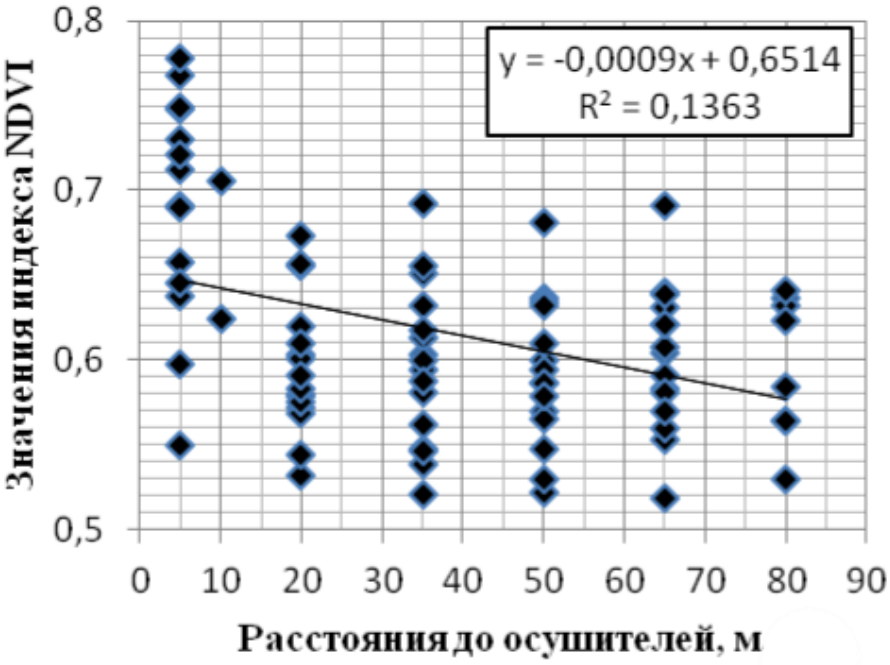


Рис. 1. Зависимость индекса NDVI от расстояния до осушительных каналов для трансект 1-87 ($R=0,37; R_{0,05}=0,21$; N=87)

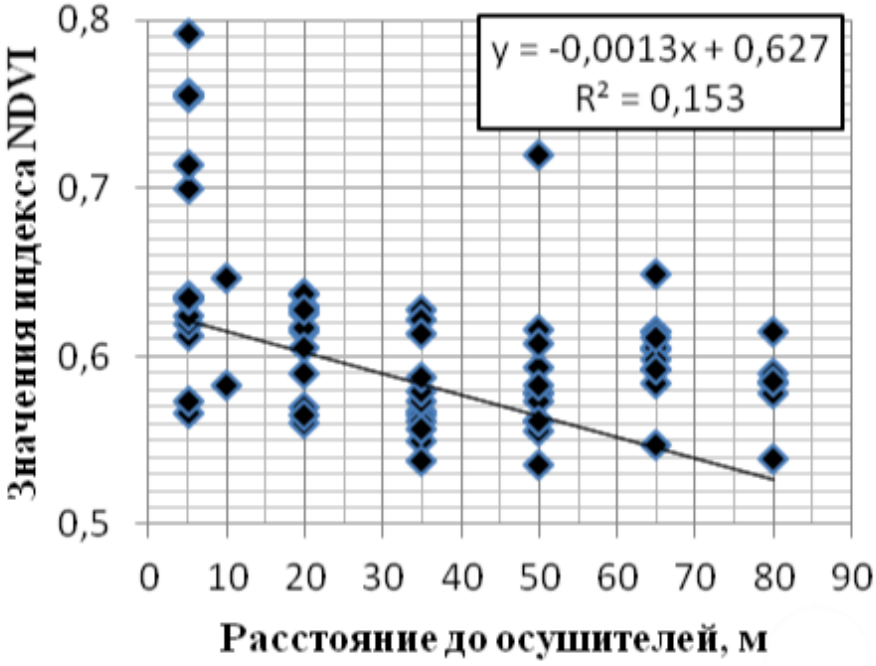


Рис. 2. Зависимость индекса NDVI от расстояния до осушительных каналов для трансект 88-174 ($R=0,39$; $R_{0,05}=0,21$; N=86)

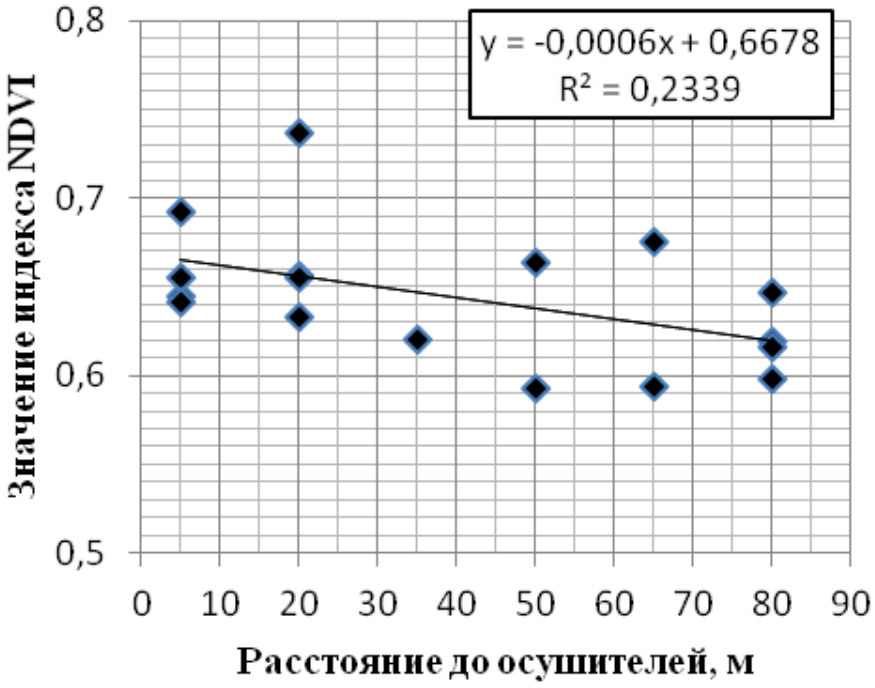


Рис. 3. Зависимость индекса NDVI от расстояния до осушительных каналов для трансект 175-191 ($R=0,48$; $R_{0,05}=0,47$; $N=16$)

Анализируя диаграммы, можно говорить о том, что для серии трансект 1-87 и 88-174 наблюдается уменьшение среднего значения индекса NDVI по мере удаления от осушительного канала. Данное положение согласуется с результатами ранее проводившихся исследований (Пахучий, 2013) и представлением о том, что при выраженном лесоводственном эффекте осушения количественные значения фитомассы больше вблизи каналов. Для серии трансект 175-191 прослеживается такая же закономерность. Во всех случаях связь отрицательная, теснота связи – средняя. Полученные результаты также могут свидетельствовать о том, что для изучения биологически активной фитомассы пригодны данные дистанционного зондирования как сверхвысокого, так и высокого пространственного разрешения.

Аналогичные результаты были получены для пробных площадей 1-10. Между NDVI и расстоянием от середины пробной площади до ближнего канала установлена отрицательная связь, достигающая по тесноте средней величины (R=0,36-0,56) (Шевелев, 2014).

В заключение стоит отметить, что исследования гидролесомелиоративных объектов с использованием традиционных лесоводственных методов могут успешно дополняться информацией дистанционного зондирования, а использование геоинформационных технологий открывает новые возможности предоставления и анализа пространственной информации.

Средние значения индекса NDVI для сосновых насаждений средней тайги Республики Коми увеличиваются по мере приближения к осушительному каналу, что свидетельствует о большем запасе фитомассы вблизи каналов. Следует учитывать, что при расчете вегетационных индексов свой вклад в формирование значений индекса вносит подпологовая растительность и напочвенный покров. Поэтому есть смысл для хвойных насаждений производить расчет вегетационных индексов на основе зимних снимков.

Использование вегетационного индекса NDVI как относительного показателя продуктивности древостоя позволяет получать дополнительную информацию об эффективности осушения, выявлять участки вторичного заболачивания. Индекс NDVI целесообразно использо-

вать и для выявления участков с недостаточным эффектом осушения, где в будущем можно рекомендовать сгущение гидромелиоративной сети.

Библиографический список

1. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. – 2012. – № 1. – С. 12-22.
2. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. - № 1(21). – С.18-32.
3. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3. – С. 72-82.
4. Пахучий, В.В. Опыт использования вегетационных индексов при комплексных исследованиях на объектах гидролесомелиорации / В.В. Пахучий // Лесовосстановление в Поволжье: состояние и пути совершенствования: сборник статей, Йошкар-Ола. – 2013. – С.338- 342
5. Рубцов, В.Г. Закладка и обработка пробных площадей в осушенных насаждениях / В.Г. Рубцов, А.А. Книзе. – Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1977. – 44 с.
6. Сабо, Е.Д. Справочник гидролесомелиоратора / Е.Д. Сабо, Ю.Н. Иванов, Д.А. Шатилло. – М.: Лесная пром-сть, 1981. – 200 с.
7. Шевелев, Д.А. Исследование влияния осушения на рост сосны с использованием ГИС и ДДЗ / Д.А. Шевелев // Сборник материалов научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сыктывкарского лесного института по итогам научно-исследовательской работы в 2013 г. – Сыктывкар, 2014. – С.283-286.

УДК 630.587.002.68 (470.343)

ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ РМЭ НА ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ САНИТАРНО-ЗАЩИТНЫХ ЗОН

Е. Н. Демишева, Ю. А. Полевщикова
Поволжский государственный технологический университет

Проведен мониторинг лесных насаждений санитарно-защитных зон (СЗЗ) полигонов твердо-бытовых отходов (ТБО) РМЭ по спутниковым снимкам высокого пространственного разрешения с использованием индекса NDVI и спектрального канала Red Edge.

Ключевые слова: *мониторинг лесов, санитарно-защитные зоны, полигон ТБО, спутниковый снимок RapidEye, NDVI, Red Edge.*

REMOTE ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LANDFILLS POLYGON IN THE REPUBLIC MARI EL ON THE FOREST STAND OF SANITARY PROTECTION ZONES

E. N. Demisheva, Y. A. Polevshchikova
Volga State University of Technology

Monitoring of the forest stands in sanitary protection zones of landfills polygon of the Republic of Mari El was conducted. Satellite images of high resolution, vegetation index (NDVI) and spectral channel Red Edge were used in study.

Key words: *forest monitoring, sanitary protection zones, landfills, satellite images, RapidEye, NDVI, Red Edge.*

Введение. В последние десятилетия все более актуальным становится изучение состояния растительного покрова в связи с меняющимся климатом и возрастающим влиянием на них человека (Курбанов и др., 2010). Воздействию подвергаются пресные подземные и поверхностные воды, почвенно-растительный покров, атмосферный воздух. В связи с этим большую опасность представляют собой полигоны ТБО. Отходы, обладая токсичностью, являются одним из сильнейших источников загрязнения окружающей среды. Рост населения планеты Земля приводит к увеличению количества отходов (в том числе и твердо-бытовых) и соответственно к отрицательному влиянию полигонов ТБО на окружающую среду, что может привести к необратимым последствиям для здоровья человека.

Для решения широкого спектра задач по оценке растительного покрова активно используются данные дистанционного зондирования со спутников среднего и высокого разрешения (Курбанов и др., 2014; Воробьев и др., 2015; Черных и др., 2013). Широкое применение в исследованиях состояния растительности получили вегетационные индексы. В настоящее время ученые используют около 160 вариантов таких показателей. Одним из самых распространенных и используемых индексов является нормализованный относительный индекс растительности NDVI (Nouri et., 2014; Воробьев и др., 2012; Sahebjalal et al., 2013). Также исследования последних лет подтверждают эффективность использования снимков высокого разрешения – RapidEye. Уникальная особенность этих снимков в наличии «крайнего красного» канала (Red Edge), который все активнее используется при мониторинге состояния растительного покрова (Conrad et al., 2012; Курбанов и др., 2013а).

Цель исследования – оценка степени влияния полигонов ТБО Республики Марий Эл на растительный покров санитарно-защитных зон по снимкам высокого разрешения RapidEye. Для выполнения этой цели были решены следующие **задачи**:

1) выявить полигоны ТБО на спутниковых снимках для проведения полевых исследований;

2) заложить тестовые участки на исследуемой территории;

3) получить векторный слой полигонов ТБО и сформировать их буферные зоны в среде ArcGIS;

4) получить значения вегетационного индекса NDVI и спектрального канала Red Edge для оценки лесных насаждений в санитарно-защитных зонах полигонов ТБО.

Объектом исследования явились растительный покров санитарно-защитных зон полигонов ТБО РМЭ. Сбор полевого материала осуществлен методом закладки 25 тестовых и 25 контрольных участков на исследуемой территории.

Методика исследований

Полевые исследования проведены в летне-осенний период 2013 года. В основу исследований положена методика закладки тестовых участков методом глазомерно-измерительной таксации (Курбанов, 2002; Курбанов и др., 2012). Тестовые участки закладывались в пределах санитарно-защитных зон полигонов ТБО, а контрольные участки – за пределами предполагаемого загрязнения. Визуальное определение санитарного состояния насаждений проводилось путем глазомерной оценки по состоянию крон деревьев. Насаждения делились: на 1 – здоровые (без признаков ослабления); 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные.

При проведении полевых исследований оценивались такие важные показатели, как:

- антропогенная нарушенность (наличие выгоревших участков, вырубок, подъездных путей);

- степень физического повреждения (повреждение коры, деформация сучьев, деградация и гибель подроста и живого напочвенного покрова).

Порядок мониторинга лесных насаждений включал в себя ряд следующих этапов работ:

1) подбор спутниковых изображений на исследуемую территорию;

2) создание тематической карты СЗЗ полигонов ТБО методом неуправляемой классификации способом «IsoData» в ПК ENVI 5.3;

3) формирование тематического слоя «Полигоны ТБО» и их буферных зон в среде ArcGIS;

4) получение значений вегетационного индекса NDVI и спектрального канала Red Edge в ПК ENVI – 5.3;

5) корреляционный анализ полученных значений.

Результаты исследования

В ходе полевых исследований было заложено 25 тестовых участков и 25 контрольных участков на исследуемой территории. Тестовые участки закладывались в пределах санитарно -защитных зон полигонов ТБО, а контрольные участки – за пределами предполагаемого загрязнения. Все данные заносились в учетные ведомости, которые содержали координаты участка, таксационные показатели древостоя и визуальную оценку древостоя (Курбанов, Воробьев, 2008).

Таким образом, визуальная оценка древостоя на некоторых тестовых участках выявила незначительные нарушения растительного покрова вокруг полигонов ТБО, что в последующем подтвердилось снимками высокого разрешения.

Для оценки породного состава и групп возраста древостоя в пределах СЗЗ была проведена неуправляемая классификация, результатом которой стала тематическая карта (рис. 1) с разделением лесных массивов на хвойные: молодняки, средневозрастные, приспевающие и лиственные: молодняки, средневозрастные, приспевающие (Курбанов и др., 2013б).

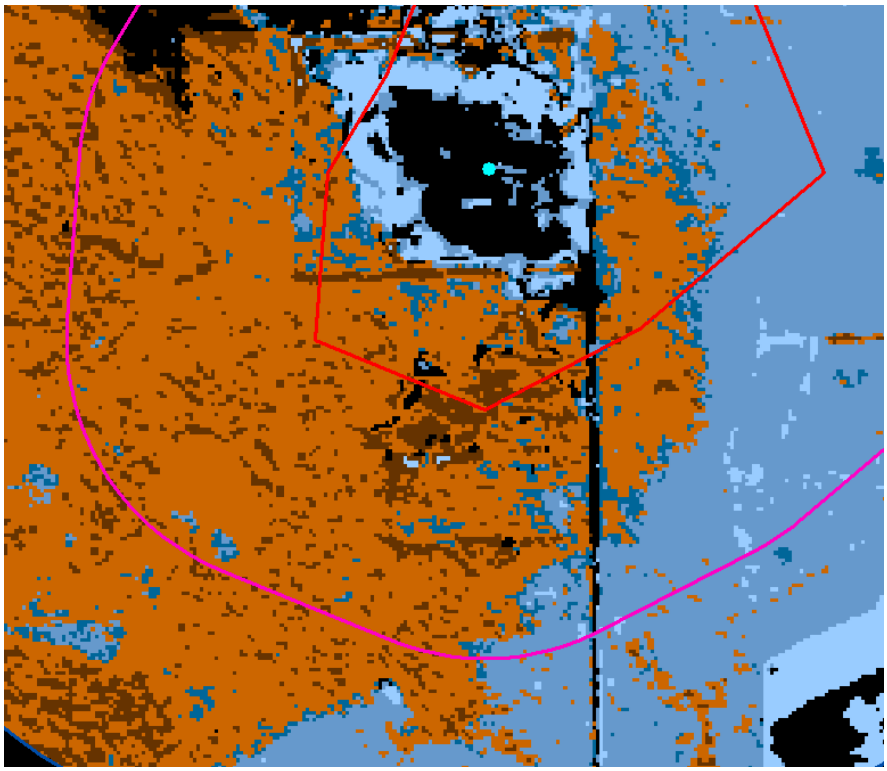


Рис. 1. Фрагмент тематической карты (оранжевый цвет – хвойные насаждения, синий – лиственные)

Анализ тематической карты показал, что породный состав древостоя санитарно-защитных зон полигонов ТБО весьма не однороден. В основном преобладают лиственные средневозрастные насаждения. Полигон ТБО вблизи деревни «Полевая» находится в хвойных насаждениях, что нежелательно, так как лиственные леса значительно устойчивее к загрязнению, чем хвойные.

Формирование векторного слоя «полигоны ТБО» и их буферных зон в среде ArcGIS

Вокруг каждого полигонов ТБО строились санитарно-защитные зоны (СЗЗ) по формуле

$$\mathrm{L} = \frac{L_0 \times P}{P_0},$$

где L – уточненный размер СЗЗ в направлении противоположном розе ветров, м;

L_0 – нормативный размер СЗЗ, полученный на основании проведенных расчетов;

P – среднегодовая повторяемость рассматриваемого направления ветра,%;

P_0 – повторяемость направлений ветров при круговой розе ветров (при восьмирумбовой розе ветров = 12,5%).

Для дальнейшей оценки растительности вокруг полигонов ТБО были сформированы контрольные буферные зоны 500 м и 1000 м (рис. 2). При построении буферного полигона от каждой вершины объекта, при помощи одинакового алгоритма вычисляется буферное смещение. Выходной буферный полигон строится из полученных смещений.

Рис. 2. Пример построения СЗЗ (красным цветом) и буферной зоны вокруг нее (розовым)

В начале данного этапа работы определялись стороны максимального загрязнения. Для этого в направлении розы ветров строились три трансекты (30-градусный сектор) (рис. 3). В результате оценки выделялась трансекта с наибольшим отклонением от средних значений. Точки (тестовые участки), с которых снимались значения NDVI и Red Edge, располагались через каждые 80 м. Особое внимание уделялось участку трансекты от опушки леса до 150-200 м как объекту с максимальным загрязнением. Кроме того, снимались значения с точек, полученных в результате полевых работ. Они также были включены в общую выборку.

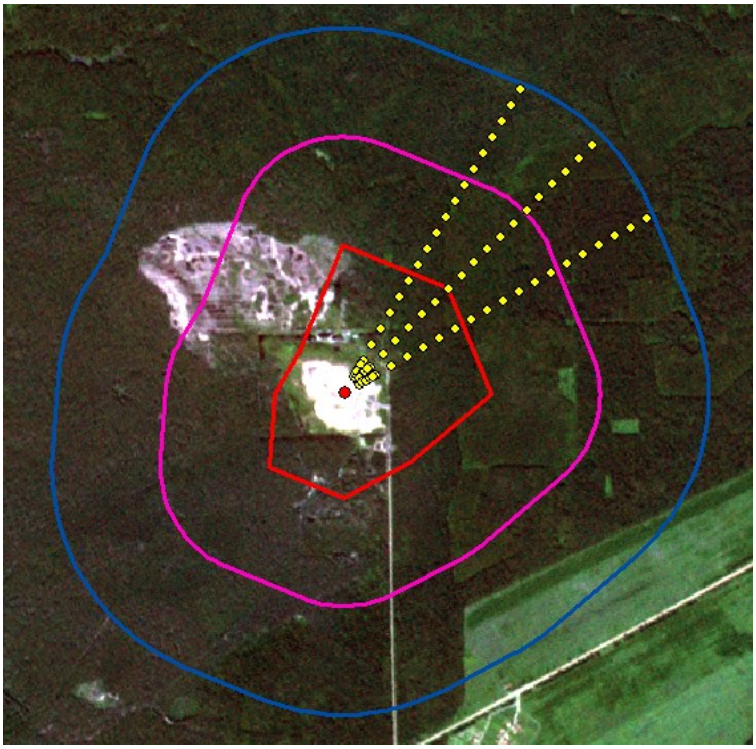


Рис. 3. Расположение трансект, направленных в сторону предполагаемого загрязнения

В каждой точке построенных трансект определялись значения вегетационного индекса NDVI и спектрального канала Red Edge в ПК ENVI – 5.3 (табл. 1).

Таблица 1

Значения NDVI и RE для тестовых участков полигона ТБО п. Голубой (фрагмент)

№	Расстояние от центра полигона ТБО, м	NDVI	RE	Категория
120	130	0,37	5003	decidious middle
121	147	0,46	4291	decidious middle
2	165	0,47	3613	decidious middle
3	250	0,58	2749	decidious middle
4	334	0,64	2820	decidious mature

На примере полигона ТБО п. Голубой дана возможность оценки влияния полигона ТБО на растительность. По полученным значениям можно сказать, что от опушки леса до 150 м выявлен участок максимального негативного влияния ТБО на растительность. Это выражено в низких значениях вегетационного индекса NDVI на данном участке трансекты. Последующие значения выравниваются и соответствуют стандартным значениям здоровой растительности. Та же самая оценка была проведена по спектральному каналу RE. Полученные результаты выявили полное соответствие влияния ТБО на растительность, что проявляется в высоких значениях данного канала.

Получение значений с контрольных участков, находящихся за пределами буферных зон происходило аналогичным образом. Проведенный сравнительный анализ тестовых и контрольных участков показал, что значения NDVI и RE на контрольных участках соответствуют здоровой растительности.

Ухудшение состояния растительности можно проследить на следующих объектах исследования: полигон ТБО п. Кучки, полигон ТБО п. Голубой, полигон ТБО п. Суслонгер, полигон ТБО д. Полевая, полигон ТБО д. Аксаркино.

Корреляционный анализ полученных значений

Для статистической оценки полученных данных тестовых и контрольных участков был проведен корреляционный анализ (табл. 2).

Таблица 2

Коэффициент корреляции между тестовыми и контрольными участками полигонов ТБО

Вид насаждений	п.Кучки	п.Голубой	п.Суслонгер	д.Полевая	п.Аксаркино
лиственные молодняки	0,26				
лиственные средневозр.		0,32			
лиственные спелые	0,24				
хвойные средневозр.			0,22	0,23	
хвойные спелые			0,26	0,24	0,22

Проведенный корреляционный анализ выявил слабую зависимость между тестовыми и контрольными участками, что говорит о влиянии полигонов ТБО на древостой, расположенный в пределах буферных зон. Таким образом, древостой, произрастающий рядом с полигоном ТБО, существенно отличаются по своим спектральным характеристикам от древостоя, находящегося за пределами загрязнения.

Выводы

При расчете вегетационного индекса NDVI и спектрального канала RedEdge по снимкам 2011 г. получены следующие результаты: тестовые участки вблизи полигона ТБО (не дальше 250 м от центра полигона ТБО) имеют низкие значения индекса NDVI и высокие значения спектрального канала Red Edge, что говорит о низком содержании хлорофилла в растительности на данном участке исследования. Это подтверждается проведенным корреляционным анализом, который выявил слабую зависимость между тестовыми и контрольными участками, что говорит о влиянии полигонов ТБО на древостой, расположенный в пределах буферных зон. Таким образом, оценка данных дешифрирования свидетельствует о тенденции к ухудшению состояния растительности в зоне влияния полигонов ТБО.

Стоит отметить, что подобные результаты характерны не для всех объектов исследования. Это можно объяснить тем, что структура древостоя вокруг ТБО отличается существенным разнообразием. Ухудшение состояния растительности можно проследить на следующих объектах исследования: полигон ТБО п. Кучки, полигон ТБО п. Голубой, полигон ТБО п. Суслонгер, полигон ТБО д. Полевая, полигон ТБО д. Аксаркино.

С целью уменьшения негативного воздействия полигонов ТБО на растительность можно рекомендовать следующее:

1. При проектировании полигонов ТБО необходимо выбирать площадки на землях, занятых малоценными сельхозугодиями, незаселенных или покрытых лесами низших категорий.

2. При складировании отходов проводить контроль состава отходов, поступающих на захоронение, поскольку нарушение этого принципа может привести к негативным экологическим последствиям и к разрушению некоторых природоохранных элементов полигона.

3. Проводить мониторинг окружающей среды на всех этапах функционирования полигонов ТБО.

4. Заменять технологии складирования твердых бытовых отходов (ТБО) на технологию промышленной переработку ТБО.

Работа выполнена по проекту № 2394 «Дистанционный мониторинг устойчивости лесных экосистем» в рамках государственного задания в сфере научной деятельности Министерства образования и науки Российской Федерации 2014-2016 гг.

Библиографический список

1. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева, В.О. Коптелов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1(25). – С.5-21.
2. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1. – С. 12-22.
3. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21).– С. 18-32.
4. Оценка загрязнений древостоями отходами силикатного производства по снимку Rapid Eye / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013а. – Т. 10. – № 2.– С. 88-97.
5. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013б. – № 3. – С. 72-82.
6. Решение вопросов космического мониторинга лесных гарей в комплексных пакетах ENVI и ArcGIS / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Геоматика. – Москва: «Совзонд». – 2012. – № 4. – С. 82-92.
7. Пространственная динамика фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, Л.С. Устюгова, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // Лесной журнал. – Архангельск: Архангельский государственный технический университет. – 2010. – №3. – С. 8-14.
8. Курбанов, Э.А. Пространственное распределение крупного древесного детрита в сосняках Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев // Экология. – 2008. – №2. – С. 103-109.
9. Курбанов, Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола, 2002. – 300 с.
10. Черных, В.Л. Информационные технологии в лесоустройстве: учебное пособие / В.Л. Черных, В.К. Хлюстов, М.М. Устинов. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2013. – 184 с.
11. Potenziale des Red Edge Kanals von RapidEye zur Unterscheidung und zum Monitoring landwirtschaftlicher Anbaufrüchte am Beispiel des usbekischen Bewässerungssystems Khorezm / C. Conrad; S. Fritsch, S. Lex, F. Löw, G. Rücker, G. Schorcht, M. Sultanov, J.P. Lamers // RapidEye Science Archive (RESA) - Vom Algorithmus zum Produkt, 4. RESA Workshop, Neustrelitz, Germany. – 2012. – P. 203-214.
12. High Spatial Resolution WorldView-2 Imagery for Mapping NDVI and its Relationship to Temporal Urban Landscape Evapotranspiration Factors / H. Nouri, S. Beecham, S. Anderson, P. Nagler // Remote Sensing. – 2014. – №6. – P. 580-602.
13. Sahebjalal, E. Analysis of land use-land covers changes using normalized difference vegetation index (NDVI) differencing and classification methods / E. Sahebjalal, K. Dashtekian // African Journal of Agricultural Research. – 2013. – Vol.8 (37). – P. 4614-4622.

УДК 630*181.351

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ НА ПРИМЕРЕ г. ЙОШКАР-ОЛЫ

Л. Н. Смирнова
Поволжский государственный технологический университет

Рассмотрены вопросы совершенствования методов оперативной оценки и мониторинга экологического состояния городских территорий в условиях изменения климата. Особое внимание уделено динамике лесных экосистем на участках строительства в г.Йошкар-Оле.

Ключевые слова: *тематическое картирование, городские леса, мониторинг, антропогенная нагрузка*

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF URBAN DEVELOPMENT WITH THE USE OF SATELLITE IMAGERY ON THE EXAMPLE OF YOSHKAR-OLA

L. N. Smirnova
Volga State University of Technology

The paper studies the matter of improving the methods for prompt assessment and monitoring of the ecological state of urban areas in the conditions of changing climate. Particular attention is paid to dynamics of forest ecosystems in construction sites of Yoshkar-Ola.

Keywords: *thematic mapping, urban forests, monitoring, anthropogenic pressure.*

Введение. Современное экологическое состояние городов требует постоянного мониторинга и совершенствования методов оценки экологических последствий урбанизации и влияния техногенных факторов. Поэтому оперативный мониторинг изменений растительного покрова урбанизированных территорий очень важен для разработки эффективных мер по охране окружающей среды в городах (Воробьев и др., 2015; Хлюстов, 2011).

Говоря об экологической оценке в городах, нельзя не уделить внимание соответствующей законодательной базе градостроительства. Основным законодательным актом в этой области является Градостроительный кодекс РФ от 29 декабря 2004 г., в котором определены основные направления градостроительной деятельности. Приоритетное значение отведено следующим показателям: экологически безопасному развитию городов, рациональному землепользованию и охране природы, развитию курортных, санаторных и рекреационных территорий. Положения этого кодекса развиваются и конкретизируются в других законодательных актах. Например, Закон РФ «Об охране окружающей природной среды» выдвигает экологические требования по трем направлениям градостроительства: планирование, планировка и застройка городов; санитарная охрана городов; охрана защитно-озеленительной растительности и зеленых зон (Федеральный закон.., 2002).

В законе «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 01.01.2007 в развернутой форме содержатся соответствующие требования в области градостроительства. Они затрагивают вопросы планировки и застройки городов, санитарной охраны окружающей среды, размещения производственных и бытовых отходов, организации санитарно-защитных зон (Закон о санитарно-эпидемиологическом.., 1993). Согласно статье 102 Лесного кодекса Российской Федерации городские леса относятся к защитным лесам. В частности, к ним относятся леса, расположенные на землях городских поселений, предназначенные для отдыха населения, проведения культурно-оздоровительных и спортивных мероприятий, а также для сохранения благоприятной экологической обстановки. Согласно статье 133 Лесного кодекса РФ порядок ведения лесного хозяйства, а также использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, расположенных на землях городских поселений, устанавливается органами государственной власти субъектов РФ в соответствии с Лесным кодексом РФ.

Для оценки влияния растительности на качество жизни в городах используется индекс UQL (Urban Quality of Life) (Jensen et al., 2004). Для его расчета необходимо учитывать запас фотосинтетически активных листьев. Существующие наземные методы измерения этого показателя очень трудоемки, подвержены сильному влиянию погодных условий и зачастую контактные, что приводит к повреждению или уничтожению растительности.

Обеспечение объективной информации о состоянии и динамике лесных экосистем на обширных площадях наиболее эффективно может быть реализовано применением аэрокосми-

ческих методов мониторинга земной поверхности (Курбанов и др., 2012). Задачи мониторинга больших территорий стимулируют интенсивное развитие соответствующих технических средств, особенно в космическом секторе. По данным Американского общества фотограмметрии и дистанционного зондирования (ASPRS) (Stoney et al., 2006), только 17 стран мира имеют спутники с аппаратурой дистанционного зондирования земли (ДЗЗ) среднего и высокого разрешения.

Современные данные дистанционного зондирования находят свое применение в различных областях лесного хозяйства. К ним относятся изучение лесных экосистем, инвентаризация и картографирование лесов, регистрация текущих изменений в лесном фонде, анализ долгосрочной динамики лесного покрова, оценка соблюдения правил рубок главного пользования, состояния лесовозобновления на вырубках, состояния насаждений в зоне промышленного загрязнения (Малышева, 2002; Курбанов и др., 2008; Курбанов и др., 2010; Воробьев и др., 2012).

Очевидна целесообразность использования современных научно-прикладных исследований и принятие решений по устойчивому ведению лесного хозяйства на новый технологический уровень с использованием геоинформационных систем и данных ДДЗ (Курбанов и др., 2014; Нургалиев и др., 2010; Kathleen et al., 2007). Дистанционное зондирование обеспечивает временные и пространственные тренды в исследовании растительного покрова, которые необходимы при моделировании и планировании, при застройке территории города (Воробьев и др., 2013).

Американская система спутников Landsat с 70-х годов прошлого века предоставляет снимки поверхности Земли из космоса. Ученые всего мира применяют эти данные для работы в самых разнообразных областях - от сельского хозяйства и землеустройства до экологического прогнозирования и ликвидации последствий катастроф. В США по разновременным спутниковым снимкам Landsat на основе семи тематических классов методом общей классификации и выявления изменений (Change detection) была получена карта динамики городских лесов нескольких городов штата Миннесота (Yuan et al., 2005).

Целью исследования является оценка экологических показателей и динамики лесных экосистем в процессе строительства вокруг г. Йошкар-Олы.

Для достижения данной цели решаются следующие **задачи**:

- подбор спутниковых снимков на изучаемую территорию;
- тематическое картирование динамики лесных экосистем вокруг г. Йошкар-Олы;
- оценка влияния экологических показателей на произошедшие изменения.

Объектом исследований явились леса «зеленой зоны», расположенные на территории муниципального образования «Город Йошкар-Ола» Республики Марий Эл (рис. 1).

Протяженность территории городских лесов с севера на юг – 2,1 км, с востока на запад – 1,1 км. По официальным данным, в Йошкар-Оле, городе с населением в 271,2 тыс. человек и площадью территории 101,8 км^2, увеличивается количество экологических проблем, связанных с урбанизацией, несмотря на отсутствие крупных промышленных предприятий. За последние годы облик столицы Республики Марий Эл сильно изменился: появилось много новых зданий, реконструируются бульвары, благоустраиваются улицы, водоохранная и прибрежная территории. Урбанизация подавляет и разрушает естественную природную среду как с количественной (захват новых земель), так и с качественной стороны (ухудшение состояния окружающей среды).

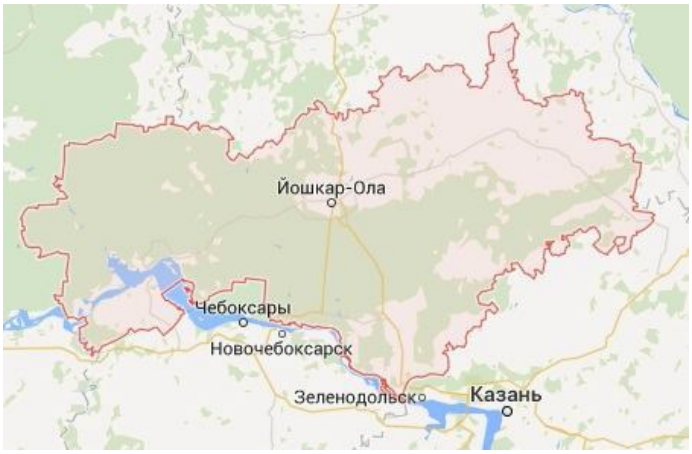


Рис. 1. Местоположение г. Йошкар-Ола на карте

Общая площадь всех зеленых массивов и насаждений Йошкар-Олы составляет 1600 га. В городскую территорию включены лесные массивы (Сосновая роща, Дубовая роща, Ботанический сад), расположенные за пределами городской застройки. Однако проводимая в течение последнего десятилетия вырубка деревьев в зеленой зоне и на придомовых территориях для жилищной застройки значительно уменьшает площадь зеленых насаждений.

Наиболее высокой рекреационной нагрузке подвержены участки зеленых зон, расположенные в непосредственной близости от городской застройки и транспортных коридоров.

Методика исследований. Для оценки изменений растительного покрова (зеленых зон) в пределах границ городского округа были использованы разновременные мультиспектральные спутниковые снимки среднего разрешения Landsat за разные временные периоды, полностью покрывающие территорию исследования. Все спутниковые снимки прошли радиометрическую и атмосферную коррекцию. Работа со снимками проводилась в программном пакете ENVI-5.3. Окончательный картографический материал степени нарушенности лесных экосистем для территории г. Йошкар-Олы сформирован в программном пакете ArcGIS-10.3.

В качестве материала исследования использованы следующие данные:

- материалы лесоустройства (планы лесонасаждений г. Йошкар-Олы);
- топографические карты на территорию г. Йошкар-Олы;
- спутниковые снимки Landsat (1989, 2001, 2015 гг.) с границами г. Йошкар-Олы (рис. 2).

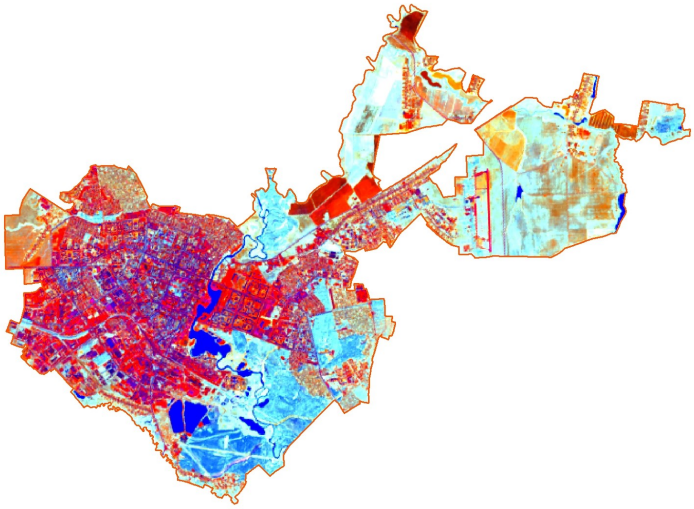


Рис. 2. Фрагмент спутникового снимка Landsat 2015 года на исследуемую территорию

Результаты исследований. При проведении экспертного анализа и оценке результатов классификации спутниковых снимков использовались следующие материалы: топографические карты, планы лесонасаждений, кадастровые планы, снимки высокого разрешения и данные полевых исследований.

После проведения всех работ в комплексных пакетах ENVI-5.3 и ArcGIS-10.3 получены тематические карты распределения лесных насаждений на 1989, 2001 и 2015 гг.

Анализ тематических карт показал, что с 1989 года по настоящее время наблюдается устойчивое снижение площади зеленой зоны на территории исследований (рис. 3). Большая часть городских лесов была фактически переведена в класс «сооружения» и «лишенные растительности» земли.

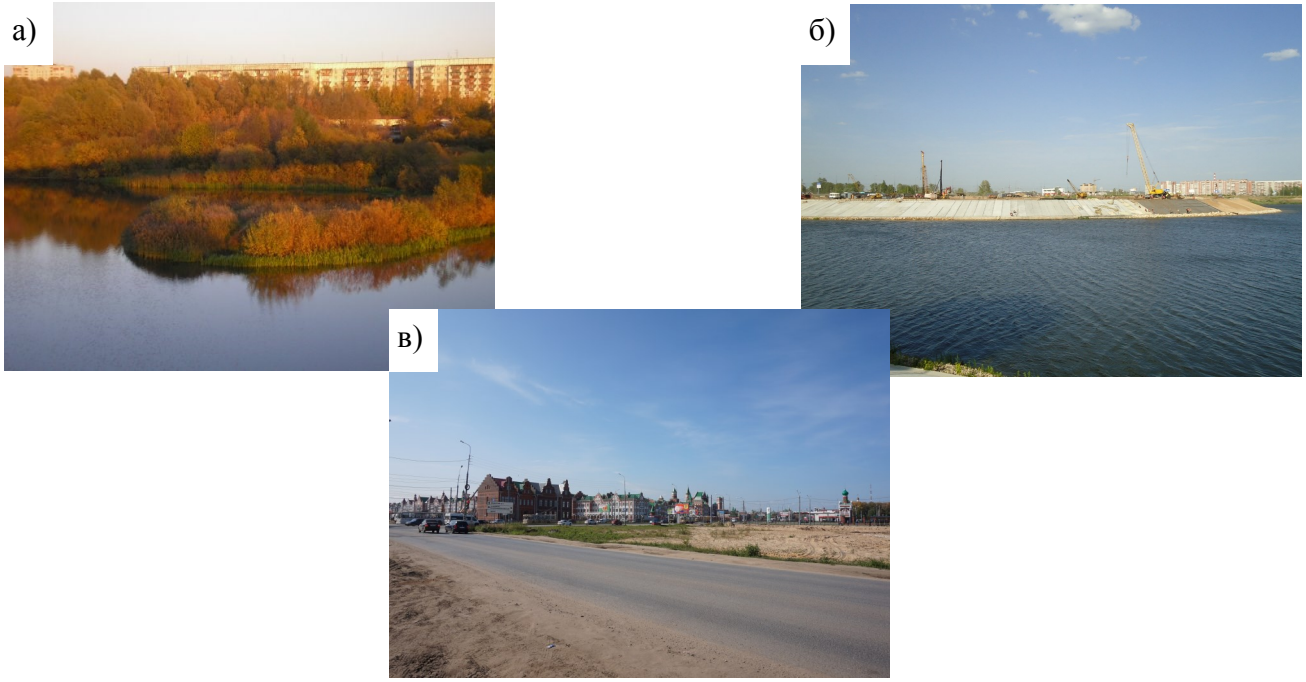


Рис. 3. Уменьшение площадей зеленой зоны, расположенных на территории набережной р. Малая Кокшага города Йошкар-Олы за период с 1989 (а) по 2015 (б, в) гг.

В целом в городском округе наблюдаются явное сокращение площади городских лесов и увеличение степени изолированности отдельных участков растительного покрова, что в будущем увеличит риски их нарушений при постоянно возрастающей антропогенной нагрузке.

По итогам исследований будет разработана база данных ГИС экологической обстановки города, сделаны выводы о факторах, обусловливающих динамику лесных экосистем под влиянием градостроительства.

Библиографический список

1. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева, В.О. Коптелов // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. - № 1(25). – С.5-21.

2. Воробьев, О.Н. Мониторинг состояния растительного покрова на территории Республики Марий Эл с использованием ENVISAT MERIS / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013.– № 7(99). – С. 42–-45.

3. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1. – С. 12-22.

4. Закон о санитарно-эпидемиологическом благополучии населения РФ от 02.06.1993. – №5076-1 // Собр. Законодательства РФ. – 1993. – 11 с.

5. Решение вопросов космического мониторинга лесных гарей в комплексных пакетах ENVI и ArcGIS / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Геоматика. – Москва: «Совзонд». – 2012. – № 4. – С. 82-92.

6. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновле¬ния и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев и др., А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Т.Ф. Мифтахов, С.А. Незамаев, Ю.А. Полевщикова // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2011. – № 3. – С. 17–-24.

7. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21).– С. 18-32.

8. Оценка зарастания земель запаса Республики Марий Эл лесной растительностью по спутниковым снимкам / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев, Т.А. Александрова // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2010. – № 2(9). – С. 14-20.

9. К вопросу об углерододепонирующих насаждениях / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, Л.С. Мошкина, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2008. – №3 – С. 5-17.

10. Малышева, Н.В. Дистанционное зондирование для изучения лесных экосистем, учета, контроля и управления лесными ресурсами / Н.В. Малышева // Лесохозяйственная информация. – 2002. – №1. – С. 31-62.

11. Космические образовательные технологии: инвестиции в будущее / И.С. Нургалиев, Д.С. Стребков, И.И. Тюхов, А.М. Шахраманьян // Труды международной научно-технической конференции «Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве». – 2010. – Т. 1. – С. 406-412.

12. Об охране окружающей среды: федеральный закон Российской Федерации от 10.01.2002. – №7 ФЗ // Собр. законодательства РФ. – 2002. – № 30. – С.40-59.

13. Хлюстов, В.К. Автоматизация комплексной оценки лесных ресурсов и мониторинг состояния лесов дистанционными методами нового поколения / В.К. Хлюстов // Лесное хозяйство. – 2011. – №6. – С. 13-14.

14. Miller, R.W. Urban Forestry: Planning and Managing Urban Greenspaces / R.W. Miller // Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1988. – 404 p.

15. Using remote sensing and geographic information systems to study urban quality of life and urban forest amenities / R. Jensen, J. Gatrell, J. Boulton, B. Harper // Ecology and Society. – 2004. – Vol. 9. – № 5. – P. 5.

16. Kathleen, T.W. Geospatial methods provide timely and comprehensive urban forest information /T. W. Kathleen, G.R. Johnson // Urban Forestry and Urban Greening. – 2007. – № 6. – P. 15-22.

17. Stoney, W.E. ASPRS guide to land imaging satellites / W.E. Stoney // Updated for the NOAA commercial remote sensing symposium. USA, 2006.

18. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing / F. Yuan, K.E. Sawaya, B.C. Loeffelholz, M.E. Bauer // Remote Sensing of Environment. – 2005. – № 98. – P. 317–328.

УДК 581.5:630.587

СПУТНИКОВЫЕ СЪЕМКИ В АНАЛИЗЕ ПОКАЗАТЕЛЯ СОМКНУТОСТИ ЛЕСНЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ НА ПРИМЕРЕ ПРЕДГОРНЫХ И РАВНИННЫХ ЛЕСОВ ПРИПЕЧОРЬЯ

А. Ю. Боровлев[1], В. В. Елсаков[2]

[1]Фонд «Серебряная тайга»

[2]ФГБУН РАН Институт биологии Коми НЦ УрО РАН

В статье описано тестирование методики оценки показателя сомкнутости крон лесных фитоценозов на участках различных территорий с использованием разногодовых материалов дистанционного зондирования высокого разрешения (Landsat TM 4,5)

Ключевые слова: *дистанционное зондирование, сомкнутость, фитоценоз, линейное смешивание спектра*

SATELLITE ACQUISITIONS IN ANALYSIS OF DENSITY INDICATORS OF FOREST COMMUNITY IN THE CONTEXT OF PIEDMONT AND LOWLAND FORESTS OF PRIPECHORYE

A. Y. Borovlev[1], V. V. Elsakov[2]
[1]Komi Regional Non-Profit Foundation "Silver Taiga"
[2]Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS

The article describes testing of evaluation method of forest communities crown density indicator on site of different territories using high resolution remote sensing materials of different years (Landsat TM 4,5)

Keywords: *remote sensing, density, phytocoenosis or plant community, linear mixing of spectrum.*

Материалы спутниковых наблюдений все чаще выступают в качестве важных информационных источников при характеристике растительных сообществ, их ландшафтной приуроченности, выявлении изменений под влиянием естественных и антропогенных причин (Воробьев и др., 2012; Курбанов и др., 2013). Наиболее крупномасштабными причинами, изменяющими характеристики растительного покрова, являются климатические и погодные флуктуации. Даже недолговременные климатические вариации напрямую влияют на продуктивность экосистем и динамику растительного покрова. В качестве наиболее важного показателя, используемого для выявления временных изменений лесных фитоценозов, рассматривается характеристика сомкнутости древостоев. В многоярусных лесных фитоценозах формирование значений отражения для конкретных пикселей изображения определяется вкладом в суммарный спектр величин, полученных от растений различных жизненных форм, однако в спелых хвойных насаждениях определяется в основном автотрофной частью древостоя. Так, для ельника черничного данная величина составила порядка 85,9% (Тужилкина и др., 1998). Данная величина может быть охарактеризована прямыми и косвенными методами, с привлечением материалов различных сенсоров. Предварительный анализ данных показал, что достоверность выявления показателей сомкнутости возрастает при использовании зимних изображений, что связано, с одной стороны, с маскированием многих форм микрорельефа земной поверхности снежным покровом, с другой – отсутствием листвы и погребением лишайниково-мохового, травяно-кустарничкового и частично кустарникового яруса, что приводит к большей контрастности исследуемых компонент.

Цель настоящей работы – тестирование методики оценки показателя сомкнутости крон лесных фитоценозов на участках различных территорий с использованием разногодовых материалов ДЗЗ высокого разрешения (*Landsat TM 4,5*).

Материалы и методы

Предобработку спутниковых изображений высокого разрешения *Landsat* TM для выделенных модельных участков, локализованных в пределах лесных фитоценозов горных (Национальный парк «Югыд-Ва») и равнинных (басс. р. Роговая) участков, провели общепринятыми методами, включая пространственную, радиометрическую и топографическую коррекцию (Елсаков., Тетерюк, 2012; Курбанов и др., 2014). Для учета сомкнутости крон древесного и кустарникового ярусов территории территории лесных фитоценозов проведено сравнение результатов тематической обработки изображений по двум тестовым участкам высокого разрешения (30 м) *Landsat* TM5, второй половины зимнего периода наблюдений. Высота снежного покрова в данный период времени максимальна и варьирует в пределах 120-140 см.

При обработке изображений использовали принципы декомпозиции спектральных смесей (метод SMA, *Spectral Mixed Analysis*), исходя из положения, что доля компонент при этом принимается пропорционально их площади в проекции на земную поверхность (Барталев и др., 2009). Это позволяет количественно оценить вклад отдельных компонент в отражательную способность элементов изображения. Общий принцип оценки доли отдельных компонент для линейного смешивания спектров осуществляли согласно выражению:

$$DN_c = \sum_{i=1}^{n} F_i * DN_{i,c} + E_c \quad , \qquad (1)$$

учитывая ряд ограничений:

$$\sum_{i=1}^{n} F_i = 1 \qquad 0 \le F_i \le 1, \qquad (2)$$

где DN_c – числовое выражение значения пиксела в канале *c*, F_i – доля *i*-го эталона в смеси, DN_{ic} – числовое выражение значений *i*-го эталона в смеси в канале *c*, *n* – количество эталонов , E_c – ошибка оценки для канала *c*.

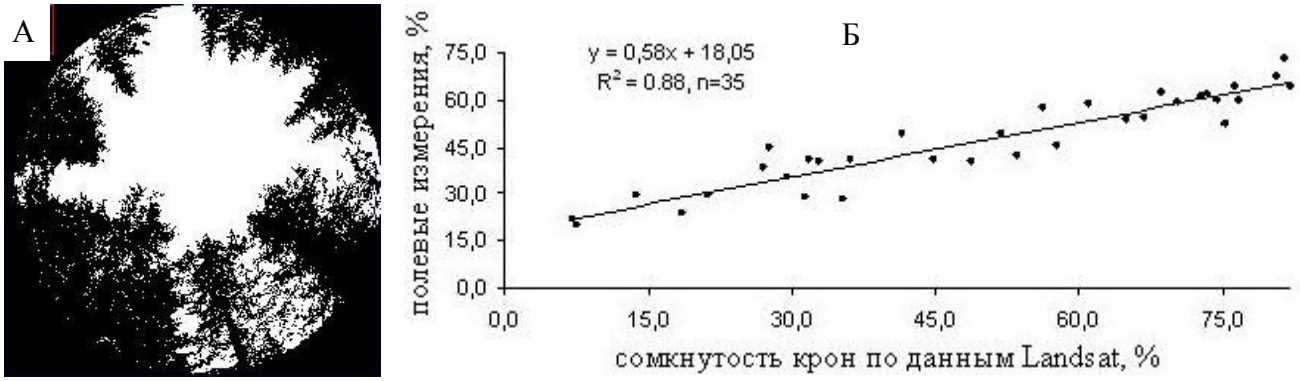
Абсолютное доминирование в формировании значений «древесной» компоненты на модельных участках относится к ели европейской и лиственнице сибирской, в качестве примеси отмечены береза извилистая, ольховник кустарниковый, древовидные виды ив. В качестве «чистых компонент» использовали параметры, полученные для открытых пологих заснеженных участков (сомкнутость крон равна 0) и характеристики участков с максимально-сомкнутым древостоем (сомкнутостью крон 0.9-0.95). Расчет значений компоненты «сомкнутости древостоев» для пикселов изображения по крайним элементам значений (0-100%) выполнен с использованием возможностей программного пакета ENVI 4.6.1.

Калибровка построенной модели и проверка ее точности выполнена на основании анализа сходимости полученных величин и пространственно привязанных данных, зафиксированных с использованием GPS приемника, фотографической камеры Canon EOS-60D и объектива «Fish-eye» в ходе зимних полевых исследований модельного участка.

Результаты работы

Реализация пакетной обработки фотографических изображений (35 по первому участку, 34 по второму) выполнена в среде разработки Visual Basic. Алгоритм обработки включал: 1) обработку фотографического изображения функциями программного продукта ENVI, модулем спектрального анализа «Scatter Plot» для выделения областей, относящихся к древостою; 2) использование классификатора «Decision Tree» («дерево решений») для кластеризации пикселей изображения на два класса с помощью оператора отношений GT; 3) обучение классификатора с использованием модельной области (ROI, «region of interest») – в нашем случае сферическое изображение; 4) аналитическую обработку результатов оценки, включающую перерасчет ROI (сфера) и все изображение прямоугольника. В результате выполнения данного алгоритма для каждого фотографического изображения получали значение «древесной» и «недревесной» компонент (%).

Полученные величины были координатно (с использованием GARMIN GPS) привязаны к участкам получения изображений и после введения в виде точечных объектов были позиционированы на тематическое изображение сомкнутости крон древостоя, полученного по спутниковым изображениям. Между полученными показателями отмечена значимая положительная коррелятивная связь (r=0,94) (см. рисунок).



Изображение с объектива «Fish Eye» после дискретизации на два класса (А); корреляция показателей сомкнутости по спутниковым материалам и полевыми измерениями (Б)

В результате выполненной работы получены уравнения регрессии, связывающие величины, рассчитанные по спутниковым данным и инструментальным измерениям с использованием объектива «Fish-eye»:

- для лесных фитоценозов Приполярного Урала:

$Y = 0{,}58x+18{,}0$ ($R^2=0{,}88$; $n=35$), (3)

- для равнинных лесов Припечорья подзоны крайнесеверной тайги:

$Y = 0{,}61x + 18{,}0$ ($R^2=0{,}70$; $n=34$), (4)

Для обоих параметров установлены тесные значимые положительные коррелятивные связи. Анализ сходимости полученных уравнений регрессии показывает, что для лесных, территориально разделенных фитоценозов закономерности формирования изображения определяются фотогравиметрическими условиями получения изображений и в меньшей степени составом лесов и экологическими условиями их произрастания.

Работа выполнена при поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Живая природа» Разнообразие растительного мира и почвенного покрова ландшафтов, перспективных для включения в состав объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Девственные леса Коми» (проект № 15-12-4-1).

Библиографический список

1. Барталев, С.А. Использование спутниковых изображений для оценки потерь углерода лесными экосистемами в результате вырубок / С.А. Барталев, Т.С. Ховратович, В.В. Елсаков // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – М.: ООО «Азбука-2000», 2009. – Вып. 6. – Т.2. – С. 343-352.
2. Дистанционный мониторинг лесных гарей в Марийском Заволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2012. – № 1. – С. 12-22.
3. Елсаков, В.В. Спутниковые изображения в изучении влияния рельефа на формирование флористического своеобразия фитоценозов карстовых ландшафтов европейского северо-востока России / В.В. Елсаков, Л.В. Тетерюк // Исследование Земли из космоса. – 2012. – №3. – С.78-93.
4. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. - № 1(21). – С.18-32.
5. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3. – С. 72-82.
6. Тужилкина В.В. Оценка баланса углерода лесного фитоценоза / В.В. Тужилкина, К.С. Бобкова, З.П. Мартынюк // Физиология растений. – 1998. – Т. 45. – С. 914-918.

УДК 630.5(470.343)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДИНАМИКИ СТРУКТУРЫ ФИТОМАССЫ ДЕРЕВЬЕВ ДУБА В ЛЕСАХ МАРИЙСКОГО ПРИСУРЬЯ

В. Г. Краснов
Поволжский государственный технологический университет

В работе использована электронная повыдельная база данных, содержащая детальную таксационную характеристику древостоев, произрастающих на территории Марийского Присурья. Получены различные уравнения зависимости фракций фитомассы дуба от исследуемых таксационных показателей насаждений.

Ключевые слова: *фитомасса, таксационное описание, запас насаждения, дуб обыкновенный.*

DYNAMICS PATTERN OF OAK TREE FOREST PHYTOMASS STRUCTURE IN MARI PRISURYE

V. G. Krasnov
Volga State University of Technology

The study examines electronic data base of polygons, which includes detail characteristics of forest stands in Mari Prisurye. Different types of mathematical regressions of patterns between forest stands characteristics and fractions of oak trees have been developed.

Key words: *phytomass, forest stands characteristics, stand volume, oak*

Введение. В условиях изменения климата меняются устойчивость и продуктивность многих лесных экосистем (Курбанов, Воробьев, 2014; Курбанов и др., 2010; Курбанов, 2009; Курбанов, 2002). В результате воздействия комплекса неблагоприятных факторов сильно пострадали дубовые насаждения в Среднем Поволжье. Дуб черешчатый, или летний (Quercus robur L.) является одной из наиболее долговечных и хозяйственно ценных древесных пород (Чеведаев, 1963; Лосницкий, 1981; Пчелин, 2007; Усольцев, 2014). В соответствующих лесорастительных условиях он образует смешанные по составу и сложные по структуре высокопродуктивные насаждения, успешно выполняющие многие средообразующие и средоохранные функции (Денисов, 1954; Молчанов, 1975; Новосельцев, Бугаев, 1985; Глебов и др., 1998; Яковлев, Яковлев, 1999; Калиниченко, 2000; Ерусалимский, 1995). Лесоводы всегда стремились к сохранению дубрав и повышению их продуктивности, проводя соответствующие хозяйственные мероприятия, однако не смогли остановить процесс их деградации и отмирания, начавшийся уже более 100 лет назад и резко ускорившийся в последние десятилетия (Разумовский, 1981; Лесной фонд..., 2003; Царалунга, 2003), свидетельствующий о том, что дуб черешчатый уступает позиции другим древесным породам, покидая свою экологическую нишу. Возможно, что это временное явление, связанное с цикличностью климата и развития живой природы (Скрябин, 1960; Турманина, 1970).

Ценность и редкость дубняков в лесах Марий Эл указывают на необходимость их сохранения и, по возможности, расширенного воспроизводства, что можно сделать только на основе познания закономерностей их строения и развития.

Цель работы – познание закономерностей динамики фитомассы деревьев дуба черешчатого в лесах Марийского Присурья и распределения потока ассимилянтов между различными их фракциями.

Объект и методика исследования. Материалом для анализа служила электронная повыдельная база данных, содержащая детальную таксационную характеристику древостоев (более 3 тыс. выделов общей площадью 10166 га), произрастающих на территории Марийского Присурья, которое входит в состав Ветлужско-Унжинской провинции лесной зоны Русской равнины подзоны широколиственных лесов (Курнаев, 1973; Агроклиматические ресурсы…, 1972), являясь частью Приволжской возвышенности и краем Чувашского овражного плато.

При решении задачи использовали методику проф. Ю. П. Демакова, основанную на системном анализе данных массовой таксации насаждений и математическом моделировании биоценотических процессов (Демаков, 2009; Демаков, Исаев, 2009; Демаков, Медведкова, 2010; Демаков и др., 2011; Демаков, Симанова, 2014; Демаков и др., 2015; Демаков, Исаев, 2015). Обработку материала проводили стандартными методами, используя прикладные программы математической статистики.

Результаты. Анализ исходного материала показал, что древостои с участием дуба черешчатого произрастают в Марийском Присурье на площади 6698,6 га (65,9 % лесного фонда этого района). По составу они в основном сложные, состоящие из 4-5 пород деревьев, из которых чаще всего встречаются липа (35,0 %), береза (14,2 %) и осина (10,4 %). Доля участия в них дуба изменяется от 1 до 10 единиц, составляя в среднем 32,1 %. Преобладание дуба отмечено на 39,4 % площади древостоев с его участием (2636,3 га). Дуб произрастает в древостоях с I по V классов бонитета (средний класс бонитета составляет 1,92) полнотой от 0,3 до 1,0 (в среднем 0,63), возраст которых может достигать 200 лет. В возрастном спектре древостоев, имеющем волновой характер, четко выделяется ряд пиков, связанных с процессами их распада и возникновения (рис. 1). Первый небольшой по величине пик приходится на возраст 25 лет. Наиболее высоко представлены 90-100-летние древостои, которые возникли в 1905-1910 годах. Небольшая по мощности волна возникновения древостоев отмечалась в 1815-1845 годах (современный их возраст составляет 160-190 лет). Очень мала представленность древостоев в возрасте 10-20, 35-45 и 140-150 лет, что указывает на слабые изменения структуры лесов в 1985-1995, 1960-1970 и 1855-1865 гг.

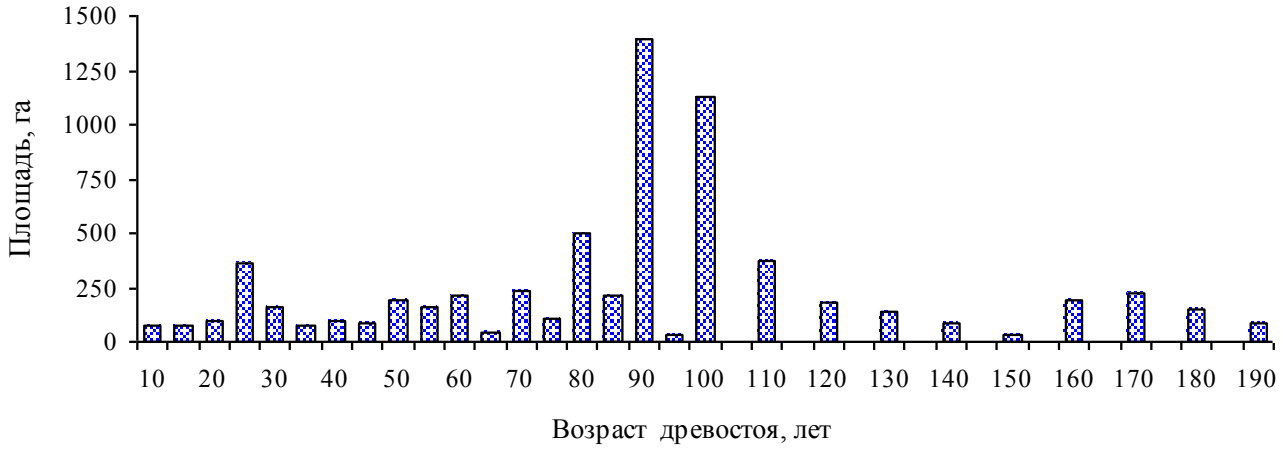


Рис. 1. Возрастная структура древостоев с участием дуба черешчатого в Марийском Присурье

Параметры состояния древостоев не остаются стабильными на протяжении всей их жизни, а определенным образом изменяются во времени. Так, полнота древостоев до возраста 80 лет неуклонно снижается, а после 120 лет стабилизируется на отметке 0,48 (рис. 2).

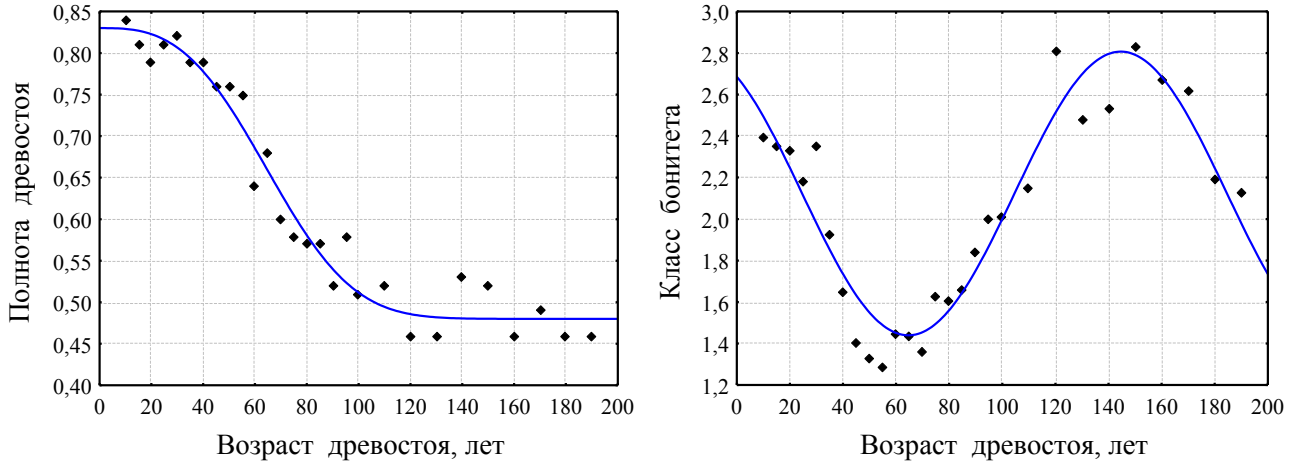


Рис. 2. Динамика полноты (слева) и среднего класса бонитета древостоев с участием дуба

Среднее значение класса бонитета древостоев, как свидетельствуют приведенные данные, изменяется волнообразно с периодом 160 лет: до возраста 55 лет его значения снижаются с 2,39 до 1,29, затем до возраста 150 лет увеличиваются, а потом опять понижаются. Это явление связано, на наш взгляд, со сложными изменениями породного состава древостоев, а также условий внешней среды. Его динамику в древостоях с присутствием дуба, произрастающих в Марийском Присурье, наилучшим образом описывает синусоидальная функция $Y = 0{,}68\times\sin(2\times\pi\times A/160 + 2{,}174) + 2{,}12$ ($R^2 = 0{,}898$; $p < 0{,}01$), в которой Y – класс бонитета древостоев, A – возраст древостоев, лет.

Изменение средней высоты (H, м) и среднего диаметра деревьев (D, см) с возрастом древостоев (A, лет) наилучшим образом описывают уравнения регрессии:

$H = 25{,}5\times[1 - \exp(-15{,}81\times10^{-4}\ A^{1{,}786})]$; $R^2 = 0{,}994$; $p < 0{,}001$;

$D = 2{,}47\times(A - 7)^{0{,}577}$; $R^2 = 0{,}971$; $p < 0{,}01$.

Анализ этих математических моделей показывает, что высота древостоев вплотную приближается к своему биологическому пределу, ограниченному в Марийском Присурье условиями среды, уже в возрасте 60-70 лет и после чего практически не увеличивается (рис. 3). Значения же среднего диаметра деревьев увеличиваются в течение всей их жизни, хотя текущий годичный прирост неуклонно снижается. Максимум текущего годичного прироста деревьев в высоту, составляющий 55 см, отмечается в возрасте 25 лет, а затем он резко снижается.

Нормативный запас стволовой древесины предельно сомкнутых древостоев полнотой 1,0 с участием дуба вплотную приближается к своему пределу, составляющему в условиях Марийского Присурья 430 $м^3$/га, в возрасте 80-90 лет (рис. 4). Математической моделью изменения его величины (M, $м^3$/га) с возрастом насаждений (A, лет) является уравнение:

$M_{норм.} = 429{,}2\times[1 - \exp(-65{,}77\times10^{-5}\ A^{1{,}955})]$; $R^2 = 0{,}995$; $p < 0{,}001$;

Наличный же запас стволовой древесины достигает максимальной величины, составляющей 264 $м^3$/га, уже в возрасте 65 лет, а затем в результате отпада деревьев под действием различных факторов постепенно снижается. После 100-115 лет наступает субклимаксовая стадия развития древостоя, которая может продолжаться до 250-300 лет. Запас древесины в

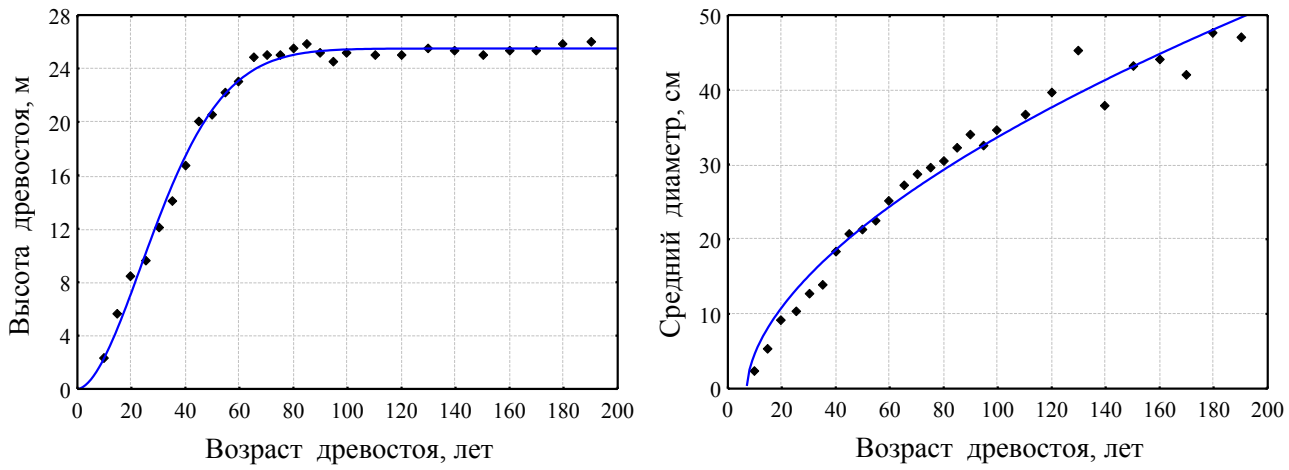


Рис. 3. Динамика средних значений высоты (слева) и диаметра древостоев с участием дуба

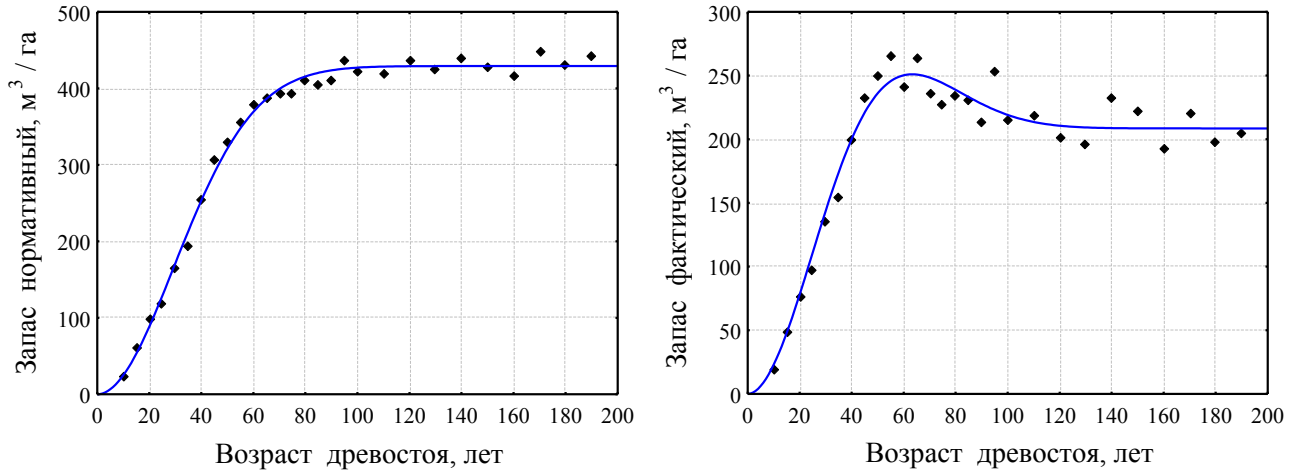


Рис. 4. Динамика нормативного (слева) и фактического запаса древостоев с участием дуба

этот период флуктуирует вокруг среднего уровня, составляющего 200-220 м^3/га. Математическую модель динамики наличного запаса можно представить уравнением следующего вида:

$M_{налич.} = M_{норм.} - 220{,}7\times[1 - \exp(-22{,}29\times10^{-6}\times A^{2{,}554})]$; $R^2 = 0{,}957$; $p < 0{,}01$.

Его анализ показывает, что кульминация величины среднего годичного прироста запаса древостоя, составляющая 5,00 м^3/га, наступает в возрасте 37-40 лет, а текущего годичного прироста – в 15 лет (6,65 м^3/га). После 65 лет прирост запаса древостоя практически прекращается и даже на какое-то время в результате отпада деревьев становится отрицательным.

По мере развития древостоев определенным образом изменяются не только размерные показатели деревьев дуба, но и состав фитомассы различных их фракций, а также характер распределения потока ассимилянтов между ними, расчетными параметрами для которых являются высота и диаметр [30]. Так, фитомасса различных фракций деревьев, начиная с возраста 30-35 лет увеличивается практически линейно. В возрасте 100 лет общая фитомасса среднего дерева составляет 895,1 кг, а масса ствола – 583,3 кг, масса ветвей – 175,5 кг, корней – 51,1 кг, листвы – 13,7 кг (рис. 5).

Фитомасса годичного прироста меняется не линейно. Прирост общей фитомассы до 50 лет растет быстро, а затем замедляется. Максимум текущего годичного прироста ствола и ветвей дуба достигается в 45-50 лет, а затем снижается (рис. 6).

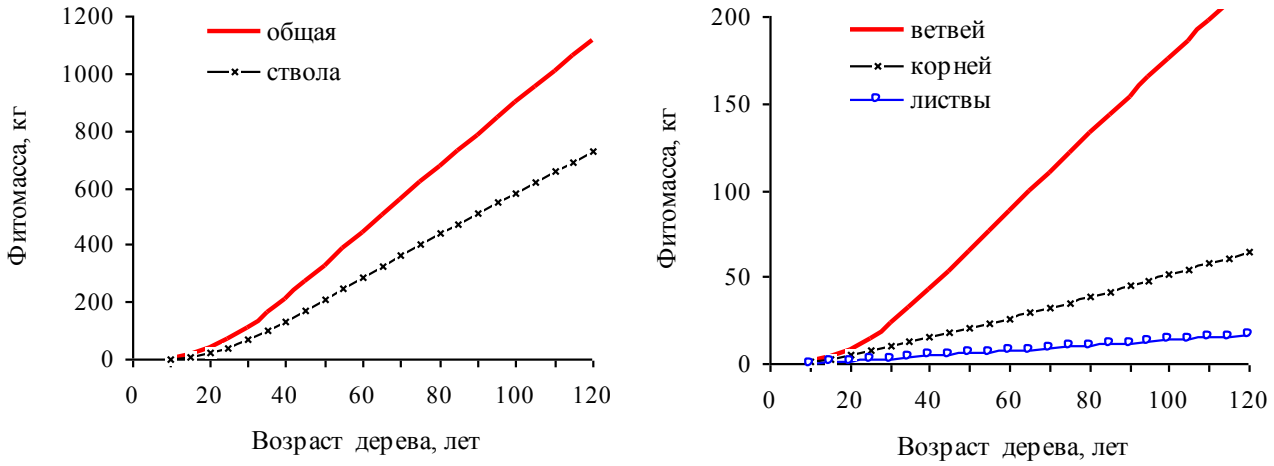


Рис. 5. Динамика фитомассы различных фракций среднего дерева дуба

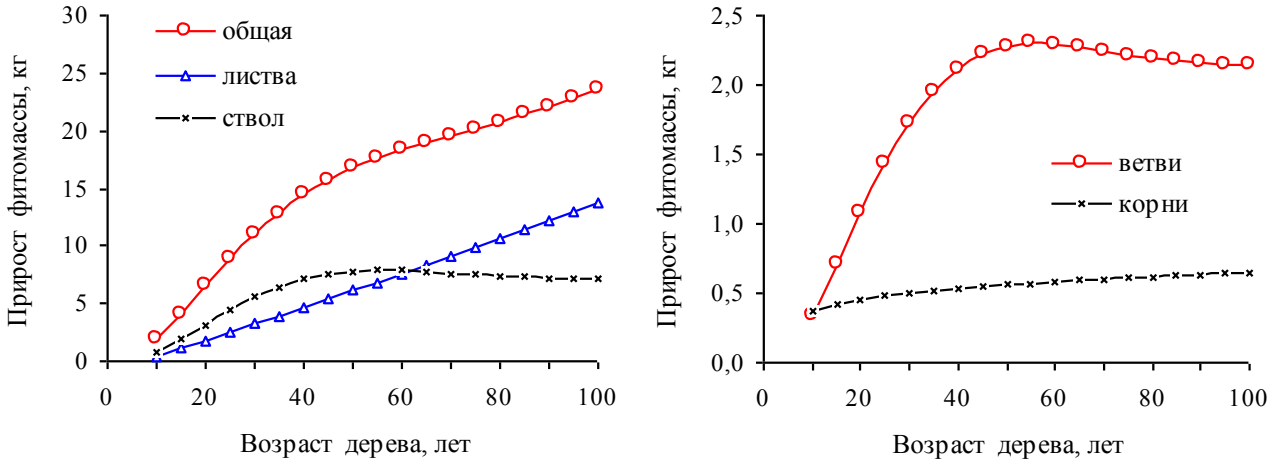


Рис. 6. Динамика годичного прироста фитомассы различных фракций среднего дерева дуба

Структура фитомассы среднего дерева остается непостоянной. Основная доля приходится на ствол. В возрасте 20 лет – 59%, а в возрасте 100 лет – 71% (рис. 7). Доля ветвей, корней и листвы с возрастом снижается (рис. 8).

На рис. 9 показана структура фитомассы деревьев дуба в возрасте 20 и 100 лет. Из полученных данных видно, что основной поток ассимилянтов больше идет на ствол и меньше всего на корни.

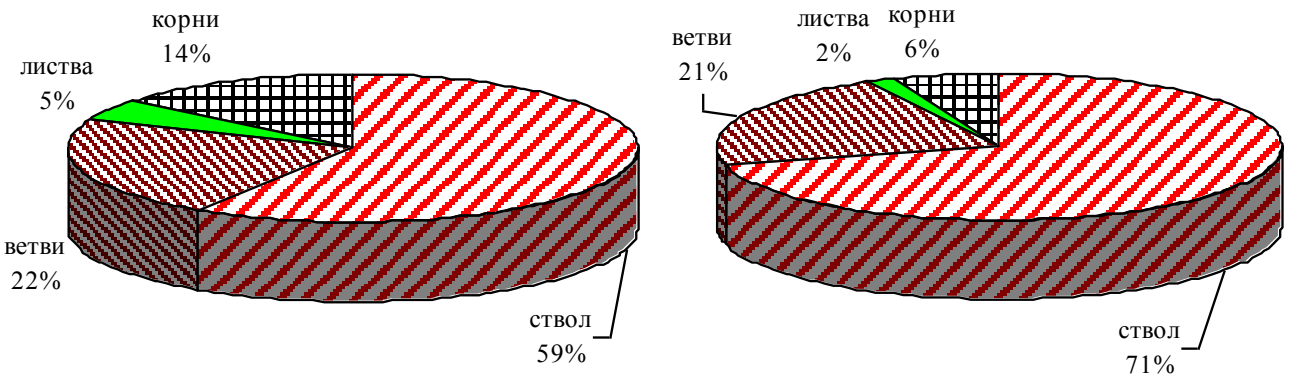


Рис. 7. Структура фитомассы деревьев дуба в возрасте 20 (слева) и 100 лет

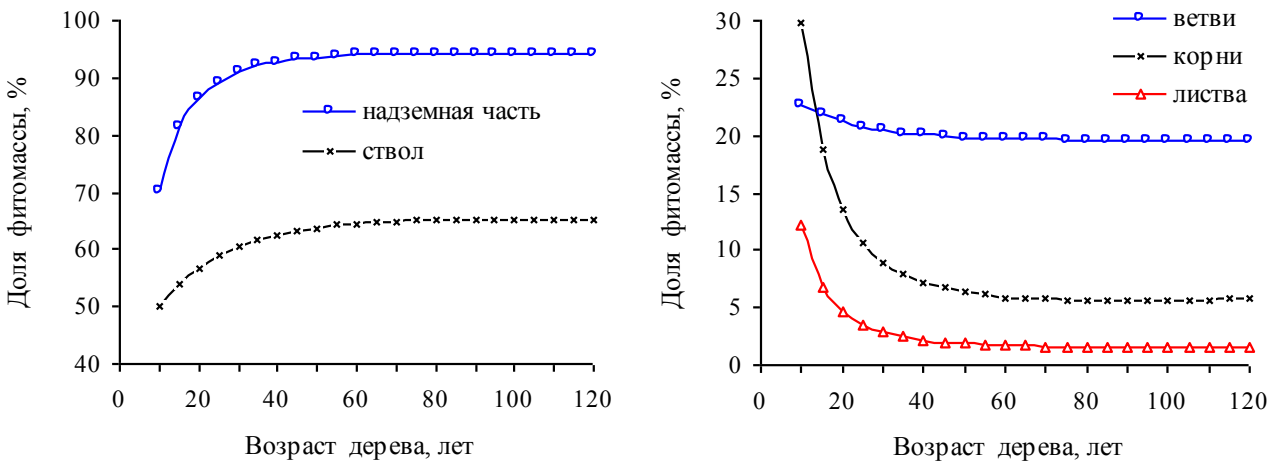


Рис. 8. Динамика доли массы различных фракций среднего дерева дуба в общей фитомассе

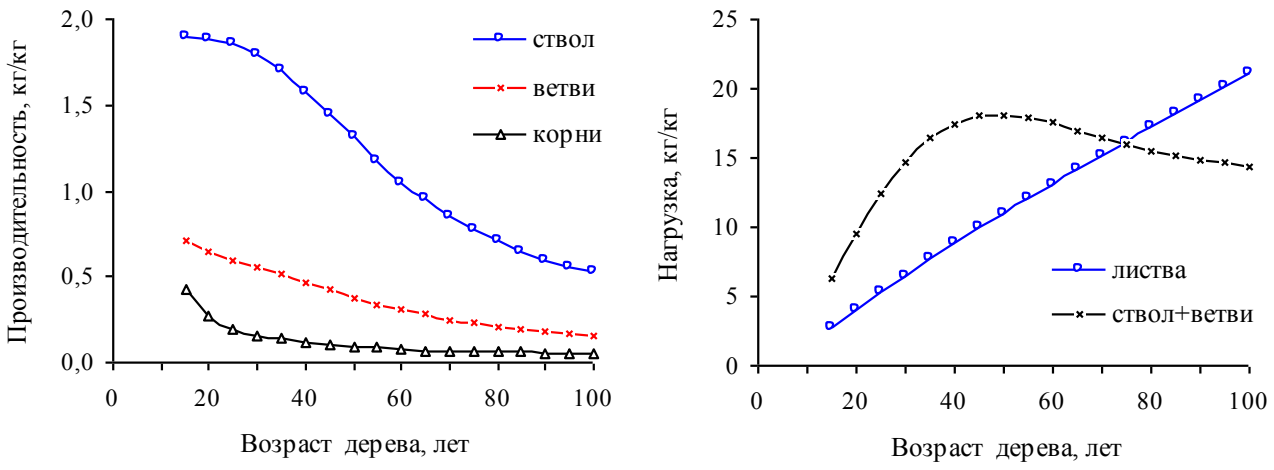


Рис. 9. Динамика производительности листвы (слева) деревьев дуба и нагрузки у них на корни

Результаты проведенного исследования показали, что по мере развития древостоев определенным образом изменяются не только размерные показатели деревьев дуба, но и состав фитомассы различных их фракций, а также характер распределения потока ассимилянтов между ними, расчетными параметрами для которых являются высота и диаметр.

Выводы.

1) Таксационные описания насаждений являются вполне надежной основой для оценки существующей структуры лесов и выявления закономерностей их развития.

2) Полнота древостоев с участием дуба до возраста 80 лет неуклонно снижается, а после 120 лет стабилизируется на отметке 0,48, а класс их бонитета изменяется волнообразно с периодом 160 лет, что связано со сложными изменениями породного состава древостоев и условий их произрастания.

3) Высота древостоев с участием дуба вплотную приближается к своему биологическому пределу, ограниченному в Марийском Присурье условиями среды, уже в возрасте 60-70 лет, после чего уже практически не увеличивается. Значения же среднего диаметра деревьев увеличиваются в течение всей их жизни, хотя текущий годичный прирост неуклонно снижается. Максимум текущего годичного прироста деревьев в высоту, составляющий 55 см, отмечается в возрасте 25 лет, а затем он резко снижается.

4) Нормативный запас стволовой древесины предельно сомкнутых древостоев полнотой 1,0 с участием дуба вплотную приближается к своему пределу, составляющему в условиях

Марийского Предволжья 430 $м^3$/га, в возрасте 80-90 лет. Наличный же запас достигает максимальной величины, составляющей 264 $м^3$/га, уже в возрасте 65 лет, а затем в результате отпада деревьев постепенно снижается. После 100-115 лет наступает субклимаксовая стадия развития древостоя, которая может продолжаться до 250-300 лет. Запас в этот период флуктуирует вокруг среднего уровня, составляющего 200-220 $м^3$/га. Кульминация величины среднего годичного прироста запаса, составляющая 5,00 $м^3$/га, наступает в возрасте 37-40 лет, а текущего годичного прироста – в 15 лет (6,65 $м^3$/га). После 65 лет прирост запаса древостоя практически прекращается и даже на какое-то время в результате отпада деревьев становится отрицательным.

5) Фитомасса различных фракций деревьев начиная с возраста 30-35 лет увеличивается практически линейно. Фитомасса годичного прироста меняется не линейно. Прирост общей фитомассы до 50 лет растет быстро, а затем замедляется. Максимум текущего годичного прироста ствола и ветвей дуба достигается в 45-50 лет, а затем снижается

6) Древостои с участием дуба в Марийском Предволжье далеко не в полной мере реализуют свою потенциальную производительность, для повышения которой необходимо регулировать их густоту и породный состав с помощью рубок ухода. Сомкнутость полога в молодняках не должна превышать 40-50 %, а высота сопутствующих пород деревьев, лучшей из которых является липа, должна быть ниже дуба на 1-1,5 м. Присутствие в дубняках осины, березы, клена и вяза нежелательно. Весьма перспективно создание лиственнично-дубовых насаждений.

Библиографический список

1. Агроклиматические ресурсы Марийской АССР. – Л.: Гидрометеоиздат, 1972. – 107 с.
2. Глебов, В.П. Дубравы Чувашии / В.П. Глебов, П.М. Верхунов, Г.Н. Урмаков. – Чебоксары: Чувашия, 1998. – 176 с.
3. Демаков, Ю.П. Динамика производительности и состава древостоев в различных экотопах заповедника «Большая Кокшага» / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Научные труды государственного природного заповедника «Большая Кокшага». Вып. 4. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – С. 24–67.
4. Демаков, Ю.П. Закономерности развития древостоев в суборях Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев // Вестник Удмуртского государственного университета. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2015. – Т. 25. – Вып. 2. – С. 58-70.
5. Демаков, Ю.П. Закономерности развития древостоев в сураменях Марийского Заволжья / Ю.П. Демаков, А.В. Исаев, А.А. Симанова // Сибирский лесной журнал. – 2015. – № 1. – С. 43-57.
6. Демаков, Ю.П. Использование аллометрических зависимостей для оценки фитомассы различных фракций деревьев и моделирования их динамики / Ю.П. Демаков, А.С. Пуряев, В.Л. Черных, Л.В. Черных // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 2 (26). – С. 19-36.
7. Демаков, Ю.П. Методика использования таксационных описаний насаждений для анализа структуры и динамики древостоев / Ю.П. Демаков // Наука в условиях современности. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2009. – С. 6–8.
8. Демаков, Ю.П. Структура ельников Республики Марий Эл и закономерности распространения елей рода Picea в её лесном фонде / Ю.П. Демаков, А.А. Симанова // Хвойные бореальной зоны. – 2014. – № 5-6. – С. 29-35.
9. Демаков Ю.П. Структура и динамика естественных лесных биогеоценозов Ботанического сада МарГТУ / Ю.П. Демаков, Е.А. Медведкова // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2010. – Вып. 1. – С. 16–28.
10. Демаков, Ю.П. Структура, продуктивность и динамика осинников Республики Марий Эл / Ю.П. Демаков, А.Е. Смыков, Н.Н. Гаврицкова // Вестник Марийского государственного технического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 2. – С. 24–38.
11. Денисов, А. К. Пойменные дубравы лесной зоны / А.К. Денисов. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1954. – 84 с.
12. Ерусалимский, В.И. Дубравы зоны широколиственных лесов / В.И. Ерусалимский // Лесное хозяйство. – 1995. – № 4. – С. 26-29.
13. Разумовский, С.М. Закономерности динамики биоценозов / С.М. Разумовский. – М.: Наука, 1981. – 232 с.

14. Калиниченко, Н.П. Дубравы России / Н.П. Калиниченко. – М.: ВНИИЦлесресурс, 2000. – 536 с.
15. Курбанов, Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района / Э.А. Курбанов. – Йошкар -Ола, 2002. – 300 с.
16. Курбанов, Э.А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: учебное пособие; рекомендовано УМО по образованию в области лесного дела / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев // Йошкар-Ола, ПГТУ. – 2014. – 254 с.
17. Курбанов, Э.А. Моделирование бюджета углерода лесных насаждений на примере сосняков Поволжья / Э.А. Курбанов // Лесной журнал, 2009. – № 2. – С. 7-15.
18. Курнаев, С.Ф. Лесорастительное районирование СССР / С.Ф. Курнаев. – М.: Наука, 1973. – 201 с.
19. Лесной фонд России: справочник. – М.: Государственная лесная служба, 2003. – 637 с.
20. Лосицкий, К.Б. Дуб / К.Б. Лосицкий. – М.: Лесная промышленность, 1981. – 101 с.
21. Молчанов, А.А. Дубравы лесостепи в биогеоценотическом освещении / А.А. Молчанов. – М.: Наука, 1975. – 374 с.
22. Новосельцев, В. Д. Дубравы / В.Д Новосельцев, В.А. Бугаев. – М.: Агропромиздат, 1985. – 214 с.
23. Пространственная динамика фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, Л.С. Устюгова, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // Лесной журнал. – Архангельск: Архангельский государственный технический университет. – 2010. – №3. – С. 8-14.
24. Пчелин, В. И. Дендрология / В.И. Пчелин. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. – 519 с.
25. Скрябин, М.П. Дубовые леса и вековые циклы в природных условиях / М.П. Скрябин // Научные записки Воронежского ЛТИ. – Воронеж: ВЛТИ, 1960. – Т. 20. – С. 211-217.
26. Турманина, В.И. Влияние на растительность внутривековых ритмов увлажненности / В.И. Турманина // Вопросы географии. Вып. 79: Ритмы и цикличность в природе. – М.: Мысль, 1970. – С. 168-181.
27. Усольцев, В.А. Лесные арабески, или Этюды из жизни наших деревьев / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: Уральский государственный лесотехнический университет, 2014. – 161 с.
28. Царалунга, В.В. Санитарные рубки в дубравах: обоснование и оптимизация / В.В. Царалунга. – М.: МГУЛ, 2003. – 240 с.
29. Чеведаев, А.А. Дуб, его свойства и значение / А.А. Чеведаев. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1963. – 233 с.
30. Яковлев, А.С. Дубравы Среднего Поволжья / А.С. Яковлев, И.А. Яковлев. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 1999. – 352 с.

УДК 630.56

ВОЗРАСТНАЯ ДИНАМИКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ ПО ТИПАМ ЛЕСА КОСТРОМСКОЙ ОБЛАСТИ

В. К. Хлюстов, А. В. Лебедев, О. Е. Ефимов
Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К. А. Тимирязева

Исследована система типовых кривых годовой NEP продуктивности сосновых древостоев. Особое внимание уделено методам определения фитомассы отдельных фракций древостоев. Результаты позволяют установить соответствие между ростовыми процессами и типами условий произрастания древостоев.

Ключевые слова: *биологическая продуктивность, фитомасса, фракции древостоев*

AGE DYNAMICS OF PINE STANDS BIOLOGICAL PRODUCTIVITY ON FOREST TYPES IN KOSTROMA REGION

V. K. Khlustov, A. V. Lebedev, O. E. Efimov
Russian State Agrarian University - Moscow Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev

System of typical curves of annual NEP biological productivity of pine stands was studied. Special attention was paid to the methods of different phytomass fractions of forest stands determination. The results show compatibility between growth processes and forest stands' growth conditions.

Key words: *biological productivity, phytomass, forest stand fractions*

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) является одной из основных лесообразующих пород Костромской области. Она произрастает на площади 1013 тыс. га (23,3%) и уступает лишь березе и ели.

В последние десятилетия проводятся широкомасштабные исследования, посвященные изучению биологической продуктивности лесов, в том числе связанные с оценкой их роли в глобальных экологических циклах и регуляции климата (Курбанов, 2002, 2009; Курбанов и др., 2010). Но несмотря на это в настоящее время наблюдается крайне низкая изученность биологической продуктивности лесов Костромской области. Так, например, оценки фитомассы в сосновых насаждениях приводятся в работах Н.П. Поликарпова (1962) для молодняков Макарьевского района, А.В. Письмерова с соавторами (1979) для хвойных молодняков Костромского района и А.И. Старцева (2006) для 92- и 122-летних древостоев Красносельского района в черничном и брусничном типах леса соответственно.

А.И. Уткин (2003) в качестве основополагающего экологического направления XX века и основы современного научного направления, посвященного изучению углеродного цикла биосферы, рассматривает изучение биологической продуктивности лесов. Под биологической продуктивностью при этом понимается:

1) фитомасса лесного насаждения, выражаемая в тоннах абсолютно сухого вещества на единицу площади;

2) первичная продукция, характеризующая общее количество фитомассы, произведенной насаждением за единицу времени на единице площади.

В.А. Усольцев (2014) под понятием биологической продуктивности лесов понимает совокупность трех количественных характеристик лесной экосистемы:

1) фитомассы, выражаемой в тоннах абсолютно сухого вещества на единицу площади;

2) чистой первичной продукции, которая определяется количеством фитомассы, продуцируемой на единице площади в год с учетом потерь на дыхание;

3) удельной чистой первичной продукции, которая определяется как отношение чистой первичной продукции к величине фитомассы (Базилевич и др., 1986; Гульбе и др., 2010).

Чистая экосистемная продукция (*Net Ecosystem Production*, *NEP*) древостоя представляет собой величину годичного прироста по наличной фитомассе. Определение фитомассы древостоев является не тривиальной задачей, так как точность результатов зависит, в первую очередь, от методов оценки фитомассы деревьев и древостоев.

На протяжении длительного времени расчет фитомассы древостоев производился по данным обмера среднего дерева, но теория среднего дерева является справедливой лишь в случае её применения к древостоям с рядами распределения деревьев по толщине, близким к нормальным. На практике получается, что дерево со среднеквадратическим диаметром, являющееся средним по диаметру, не является средним по другим таксационным показателям, особенно по показателям фракций фитомассы. При этом в ряду распределения даже по одному признаку место среднего дерева не является постоянным, а обладает определенной изменчивостью, на что обращают внимание в своих работах А.А. Макаренко (1984), М.Г. Семечкина (1978). Поэтому метод среднего дерева при определении фитомассы древостоев обладает низкой точностью.

Помимо метода среднего дерева наиболее распространенными являются метод оценки соотношения площадей сечений модельных деревьев и площадей сечений древостоев, метод выравнивания значений фитомассы модельных деревьев при помощи регрессионного анали-

за, с охватом максимально возможного разнообразия морфометрических форм деревьев на пробной площади.

В общем случае точность экспериментальных данных по оценке фитомассы древостоев зависит от ошибок отбора проб и измерений, репрезентативности пробных площадей, а также от выбора формы регрессий взаимосвязи фитомассы от размеров дерева.

В.В. Кузьмичевым (2013) была проведена проверка степени соответствия текущего прироста фитомассы нормальных древостоев в разрезе классов бонитета семенных древостоев по М.М. Орлову материалов, приведенных в работах В.А. Усольцева (2002) и А.З. Швиденко и др. (2006). Сравнение показало, что текущий прирост наличного древостоя II класса бонитета в среднем в работе А.З. Швиденко выше на 30%, чем в работе В.А. Усольцева.

Таким образом, «при одинаковой оценке по бонитетной шкале скрывается разная продуктивность по приросту надземной фитомассы, причем данные разных авторов не согласуются между собой» (Кузьмичев, 2013).

Для оценки фитомассы фракций сосновых древостоев были использованы данные 517 пробных площадей (Усольцев, 2001; Усольцев, 2010), охватывающих европейскую часть России (рис. 1). Распределение пробных площадей по регионам является неравномерным, наибольшее их количество приходится на Республику Карелию, Архангельскую, Московскую и Тамбовскую области, на которые суммарно приходится 53,7% от общего числа.

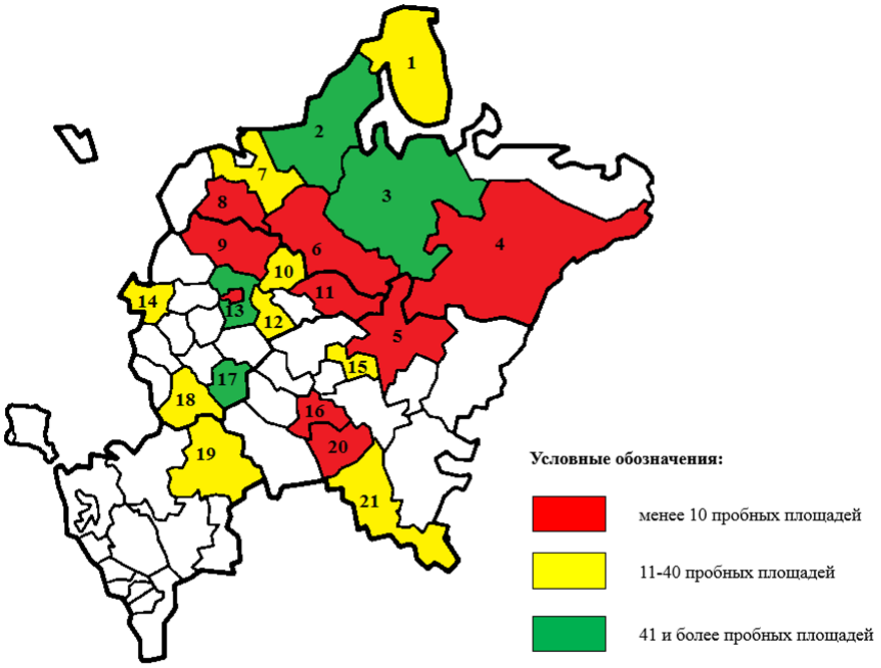


Рис. 1. Охват пробными площадями европейской части России

***Условные обозначения*: 1 – Мурманская обл., 2 – Респ. Карелия, 3 – Архангельская обл., 4 – Респ. Коми, 5 – Кировская обл., 6 – Вологодская обл., 7 – Ленинградская обл., 8 – Новгородская обл., 9 – Тверская обл., 10 – Ярославская обл., 11- Костромская обл., 12 – Владимирская обл., 13 – Московская обл. и г. Москва, 14 – Брянская обл., 15 – Респ. Марий Эл, 16 – Ульяновская обл., 17 – Тамбовская обл., 18 – Воронежская обл., 19 – Волгоградская обл., 20 – Самарская обл., 21 – Оренбургская обл.**

Моделирование фитомассы фракций сосновых древостоев осуществлено с использованием множественной аллометрии от среднего диаметра и средней высоты:

$$PM_i = N \cdot \exp(c_0 + c_1 lnD + c_2 lnH), \quad (1)$$

где PM_i – фитомасса i-ой фракции, т·га$^{-1}$; N – число стволов, шт.·га$^{-1}$; D – средний диаметр древостоя, см; H – средняя высота древостоя, м; c – численные коэффициенты уравнения.

Статистические параметры уравнения (1) получены методом наименьших квадратов. Численные коэффициенты регрессионных уравнений фитомассы фракций (ствол в коре, кора ствола, ветви, хвоя, корни) и их статистическая значимость приведены в таблице.

Параметры моделей фитомассы и их достоверность

Фракция	Параметр	МНК-оценка	*t*-значение	R^2
Ствол в коре	c_0	-10,11587	-167,1	0,972
	c_1	1,71728	24,5	
	c_2	0,98497	13,4	
Кора ствола	c_0	-11,02787	-80,8	0,919
	c_1	1,51616	10,9	
	c_2	0,65297	4,2	
Ветви	c_0	-11,13743	-112,5	0,904
	c_1	1,74425	15,2	
	c_2	0,52931	4,4	
Хвоя	c_0	-10,38492	-146,2	0,917
	c_1	1,54815	19,2	
	c_2	0,17675	2,0	
Корни	c_0	-11,19144	-188,3	0,982
	c_1	2,40603	35,2	
	c_2	0,14983	2,1	

Полученные регрессии являются достоверными и позволяют охватить от 90,4% до 98,2% вариации зависимой переменной. Для уравнений фитомассы корней ($R^2=0,982$) и фитомассы ствола в коре ($R^2=0,972$) получено наибольшее соответствие значений фитомассы, рассчитанных по модели, исходным данным. Регрессионные коэффициенты являются статистически значимыми на 5%-ом уровне значимости ($t_{факт}>t_{0,05}\approx 1,96$).

Сочетание уравнения (1) с ранее полученными моделями возрастной динамики средних высот, средних диаметров и самоизреживания древостоев (Хлюстов, 2015) позволило построить лесотипологическую шкалу хода роста сосновых древостоев Костромской области по наличной фитомассе для различных типов условий произрастания (рис. 2). Максимальным значением наличной фитомассы характеризуются мезогигрофильные сосняки кисличные (в 100 лет – 310 т·га$^{-1}$), а минимальным – ультрагигрофильные сосняки сфагновые (в 100 лет – 160 т·га$^{-1}$). Разница в предельных значениях наличной фитомассы составляет 150 т·га$^{-1}$.

С целью выявления взаимосвязи механизма протекания ростовых процессов по наличной фитомассе с типами условий произрастания был осуществлен переход к индексам наличной фитомассы, представляющих отношение наличной фитомассы в возрасте *A* к значению наличной фитомассы в 100-летнем возрасте (рис. 3).

Ранжированный ряд условий произрастания по типам роста от имеющих максимальную скорость роста в молодом возрасте с ранним выходом кривой на асимптоту до имеющих минимальную скорость роста в молодом возрасте с поздним выходом кривой на асимптоту выстраивается следующим образом: мезогигрофильные сосняки кисличные, мезофильные сосняки кисличные, мезогигрофильные сосняки черничные, гигрофильные сосняки травяно-сфагновые, мезофильные сосняки брусничные, ультрагигрофильные сосняки травяно-сфагновые, гигрофильные сосняки долгомошные, мезоксерофильные сосняки лишайниковые, ультрагигрофильные сосняки сфагновые.

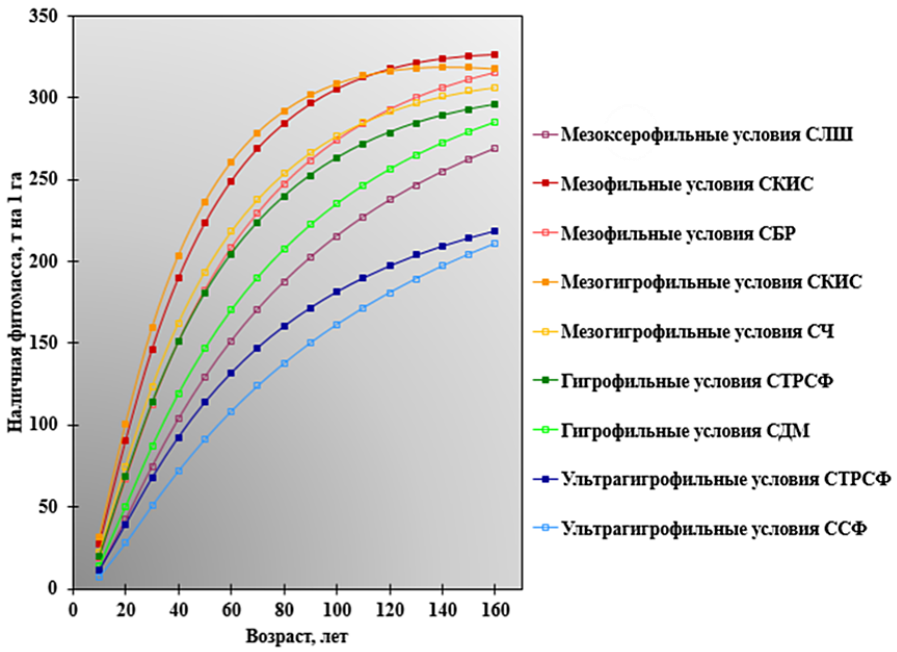


Рис. 2. Возрастная динамика наличной фитомассы чистых сомкнутых сосновых древостоев

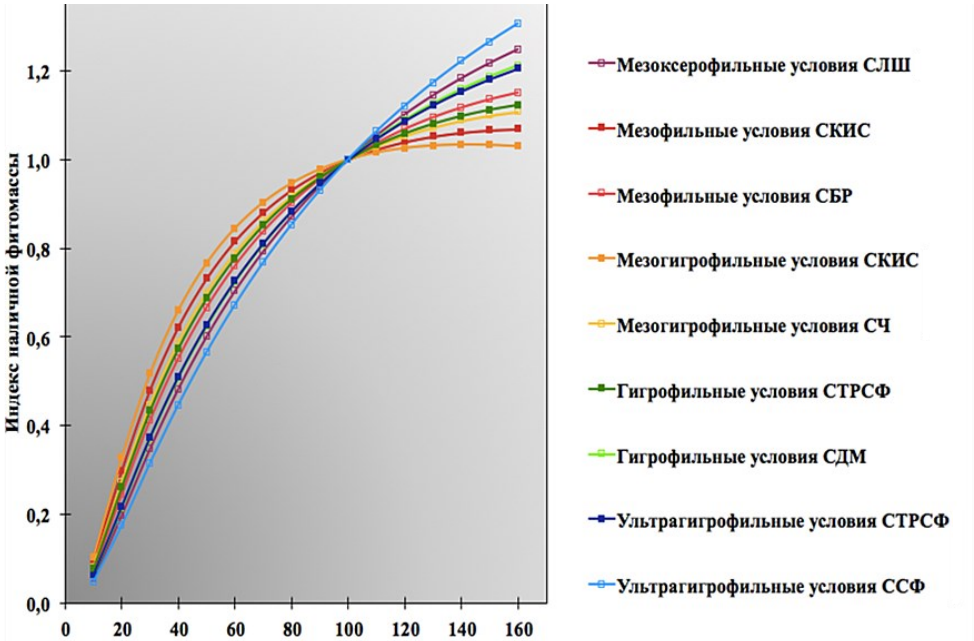


Рис. 3. Индексы наличной фитомассы сосновых древостоев (наличная фитомасса в 100 лет принята за 1,0)

Таким образом, для роста древостоев в нормированных единицах можно выявить следующую закономерность: чем быстрее протекает рост в молодости, тем меньше будут конечные значения. Например, в наилучших условиях произрастания (мезогигрофильные сосняки кисличные) в молодости идет интенсивный рост, при этом к 100-летнему возрасту ростовая кривая выходит на асимптотическое значение, в то время как в экстремальных условиях (ультрагигрофильные сосняки сфагновые) с замедленным ростом в молодом возрасте после 100 лет продолжается рост по наличной фитомассе.

Кроме итоговых значений наличной фитомассы, особый интерес представляет её фракционная структура, которая для мезогигрофильных сосняков кисличных и ультрагигрофильных сосняков сфагновых показана на рисунках 4 и 5 соответственно.

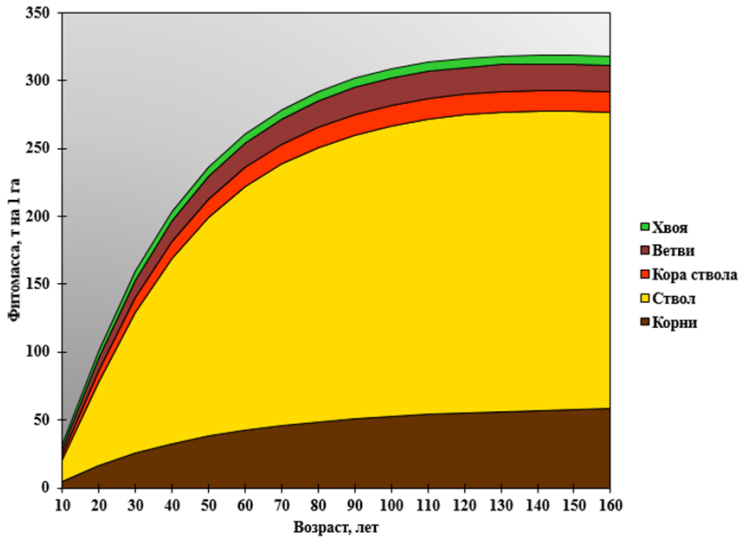


Рис. 4. Возрастная динамика фракционной структуры наличной фитомассы древостоев в мезогигрофильных сосняках кисличных

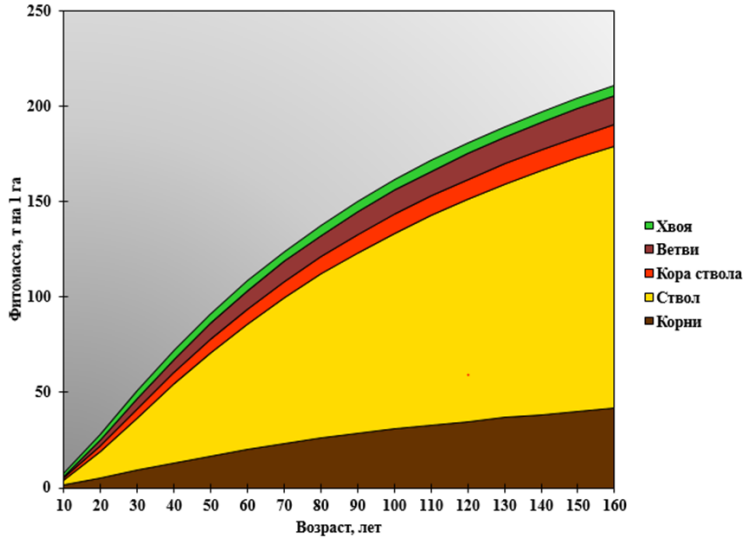


Рис. 5. Возрастная динамика фракционной структуры наличной фитомассы древостоев в ультрагигрофильных сосняках сфагновых

Наибольшая доля фитомассы приходится на стволовую древесину (без коры). В мезогигрофильных сосняках кисличных на нее в 50-летнем возрасте приходится 160 т·га$^{-1}$ (68,1%) и в 100-летнем возрасте – 215 т·га$^{-1}$ (69,4%). В ультрагигрофильных сосняках сфагновых на фитомассу стволовой части в 50-летнем возрасте приходится 55 т·га$^{-1}$ (59,2%) и в 100-летнем возрасте значение увеличивается до 100 т·га$^{-1}$ (63,6%).

Таким образом, с возрастом происходит увеличение доли фитомассы стволовой части, а в худших эдафических условиях доля фитомассы стволов от общей фитомассы составляет меньшую часть, чем в лучших условиях.

Потребление растениями из почвы воды с растворенными в ней питательными веществами происходит за счет работы корневой системы, а образование органического вещества – за счет работы ассимиляционного аппарата. Представляет интерес рассмотрение зависимости фитомассы, приходящейся на корни и хвою, от качества эдафических условий. Так, в 100-летнем возрасте в мезогигрофильных сосняках кисличных на фитомассу корней приходится 52 т·га$^{-1}$ (17,1%) и хвои – 6,6 т·га$^{-1}$ (2,1%), в ультрагигрофильных сосняках сфагновых на фитомассу корней приходится 31 т·га$^{-1}$ (19,1%) и хвои – 5,6 т·га$^{-1}$ (3,5%).

Таким образом, в худших эдафических условиях для производства единицы органического вещества требуется большая работа ассимиляционного аппарата и корневой системы по сравнению с лучшими условиями, чем и объясняется то, что в ультрагигрофильных сосняках сфагновых доля фитомассы хвои и корней выше, чем в мезогигрофильных сосняках кисличных.

Возрастная динамика NEP сосновых древостоев Костромской области представлена как в абсолютных единицах (рис. 6), так и в нормированных (рис. 7).

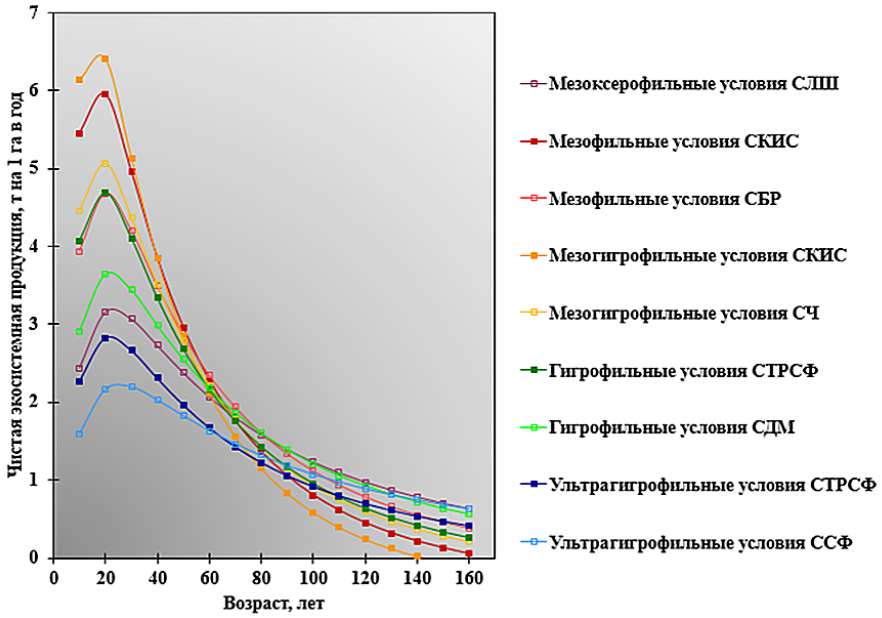


Рис. 6. Возрастная динамика годовой чистой экосистемной продукции чистых сомкнутых сосновых древостоев

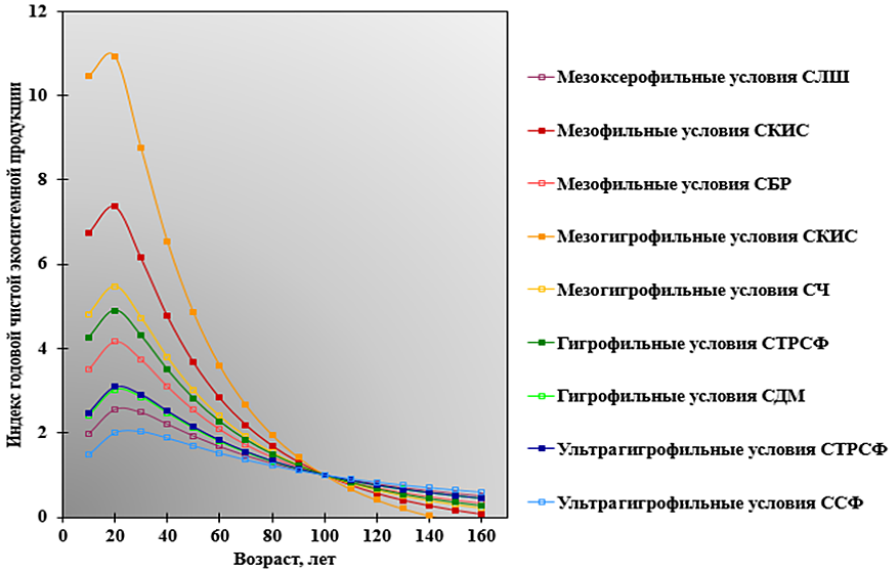


Рис. 7. Индексы годовой чистой экосистемной продукции сосновых древостоев (NEP в 100 лет принята за 1,0)

Максимальным значением NEP характеризуются мезогигрофильные сосняки кисличные (5,95 т·га$^{-1}$·год$^{-1}$ в 20 лет), а минимальным – ультрагигрофильные сосняки сфагновые (2,19 т·га$^{-1}$·год$^{-1}$ в 30 лет). Разница максимальных значений годовой NEP в лучших и худших эдафических условиях составляет 3,76 т·га$^{-1}$·год$^{-1}$.

Система типовых кривых годовой NEP древостоев позволяет установить соответствие между ростовыми процессами и типами условий произрастания древостоев. Ранжирование типов условий произрастания от характеризующихся более ранним возрастом кульминации кривых NEP к характеризующимся более поздним возрастом кульминации кривых NEP выстраивается в следующий ряд: мезогигрофильные сосняки кисличные, мезофильные сосняки кисличные, мезогигрофильные сосняки черничные, гигрофильные сосняки травяно-сфагновые, мезофильные сосняки брусничные, ультрагигрофильные сосняки травяно-сфагновые, гигрофильные сосняки долгомошные, мезоксерофильные сосняки лишайниковые, ультрагигрофильные сосняки сфагновые.

Библиографический список

1. Базилевич, Н.И. Географические закономерности структуры и функционирования экосистем / Н.И. Базилевич, О.С. Гребенщиков, А.А. Тишков. – М.: Наука, 1986. – 297 с.
2. Кузьмичев, В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 2013. – 208 с.
3. Курбанов, Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола, 2002. – 300 с.
4. Курбанов, Э.А. Моделирование бюджета углерода лесных насаждений на примере сосняков Поволжья / Э.А. Курбанов // Лесной журнал. – 2009. – № 2. – С. 7-15.
5. Макаренко, А.А. Структура фитомассы молодняков сосны ленточных боров Казахстана / А.А. Макаренко, А.А. Маленко // Вестник с.-х. науки Казахстана. – 1984. – №6. – С. 79-82.
6. Письмеров, А.В. Продуктивность фитомассы хвойных и хвойно-широколиственных молодняков / А.В. Письмеров, Р.С. Письмерова, П.М. Воробей // Лесоведение. – 1979. – № 1. – С. 68-72.
7. Поликарпов, Н.П. Формирование сосновых молодняков на концентрированных вырубках / Н.П. Поликарпов. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – 171 с.
8. Пространственная динамика фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, Л.С. Устюгова, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // Лесной журнал. – Архангельск: Архангельский государственный технический университет. – 2010. – №3. – С. 8-14.
9. Семечкина, М.Г. Структура фитомассы сосняков / М.Г. Семечкина. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1978. – 166 с.
10. Старцев, А.И. Структура фитомассы и чистой первичной продукции древостоев сосны в Костромской области / А.И. Старцев // Леса Урала и хоз-во в них. Вып. 28. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2006. – С. 221-225.
11. Таблицы и модели хода роста и продуктивности насаждений основных лесообразующих пород Северной Евразии. Нормативно-справочные материалы / А.З. Швиденко, Д.Г. Щепащенко, С. Нильсон, Ю.И. Булуй. – М.: Федеральное агентство лесного хозяйства, 2006. – 803 с.
12. Удельная продуктивность фитомассы древостоев основных лесообразующих пород / Я.И. Гульбе, Т.А. Гульбе, А.Я. Гульбе, Л.С. Ермолова // Лесные экосистемы в условиях изменения климата: биологическая продуктивность, мониторинг и адаптационные технологии: материалы международной конференции. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2010. – С. 197-200.
13. Усольцев В.А. География удельной первичной продукции фитомассы лесов и неопределенности ее оценки и интерпретации / В.А. Усольцев // Эко-потенциал. – 2014. – № 1(5). – С. 139-163.
14. Усольцев, В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2010. – 570 с.
15. Усольцев, В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 708 с.
16. Усольцев, В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии. Нормативы и элементы географии / В.А. Усольцев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2002. – 762 с.
17. Уткин, А.И. Изучение пулов и потоков углерода на уровнях экосистемы и территориального комплекса / А.И. Уткин // Стационарные лесоэкологические исследования: методы, итоги, перспективы. – Сыктывкар, 2003. – С. 9-12.
18. Хлюстов, В.К. Комплексная оценка и управление древесными ресурсами: модели-нормативы-технологии / В.К. Хлюстов. – М.: Изд.-во РГАУ-МСХА, 2015. – 848 с.

УДК 630*181.351

ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ГЕОСИСТЕМ БУГУЛЬМИНСКО-БЕЛЕБЕЕВСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ (В ПРЕДЕЛАХ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРТОСТАН)

И. Р. Рахматуллина[1], З. З. Рахматуллин[2], А. К. Габделхаков[2]
[1]Башкирский государственный педагогический университет им. М.Акмуллы
[2]Башкирский государственный аграрный университет

В статье рассмотрены вопросы оценки экологической стабильности территории Бугульминско-Белебеевской возвышенности в условиях антропогенной нагрузки. Особое внимание уделено созданию карт современного использования ландшафтов в зависимости от типа землепользования.

Ключевые слова: *ландшафтный комплекс, землепользование, антропогенные изменения.*

LANDSCAPE ECOLOGICAL ANALYSIS OF GEOSYSTEMS BUGULMA-BELEBEY UPLAND (WITHIN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

I. R. Rakhmatullina[1], Z. Z. Rakhmatullin[2], A. K. Gabdulkhakov[2]
[1]M. Akmullah Bashkir State Pedagogical University
[2]Bashkir State Agrarian University

The article deals with questions of ecological stability of the Bugulma-Belebey Upland territory under anthropogenic pressure. Particular attention is paid to the creation of maps of landscape modern use depending on the type of land-use.

Keywords: *landscape complex, land management, anthropogenic changes.*

Введение

В ходе хозяйственного освоения территорий природные ландшафты подвергаются в различной степени антропогенным нагрузкам (Курбанов, Воробьев, 2014; Курбанов и др., 2013, 2014). Чрезвычайно актуальна данная проблема для Бугульминско-Белебеевской возвышенности (в пределах Республики Башкортостан), которая занимает западную приподнятую окраину республики (рис. 1), включает в себя семь административных районов (табл. 1) и является одним из наиболее промышленно развитых, густонаселенных и лесодефицитных районов.

Рис.1. Бугульминско-Белебеевская возвышенность в пределах Республики Башкортостан

Промышленность представлена нефтедобычей, нефтепереработкой, нефтехимией (ООО «Башнефть-Добыча», НГДУ «Туймазынефть», ОАО «Туймазытехуглерод», ООО «Газоперерабатывающее предприятие»), машиностроительной (ОАО «Белебеевский завод «Автонормаль»), металлообрабатывающей (ОАО АК «ОЗНА», ООО «Октябрьский завод нефтепромыслового оборудования)», стекольной и фарфоровой отраслями

Таблица 1

Экологические показатели использования земель Бугульминско-Белебеевской возвышенности

Район	Сельскохозяйственная освоенность, %	Распаханность, %	Доля пашни в сельскохозяйственных угодьях, %	Лесистость, %	Соотношение пашня: луг: лес	Коэффициент экологической стабильности
Бакалинский	63,4	35,5	56,1	32,8	5: 1: 4	0,55
Белебеевский	58,8	34,1	58,0	37,0	4,5: 0,5: 5	0,56
Бижбулякский	76,2	42,4	55,6	16,2	7: 1: 2	0,42
Ермекеевский	78,8	41,8	53,0	14,9	6: 2: 2	0,43
Миякинский	75,0	40,7	54,2	19,6	6: 1: 3	0,46
Туймазинский	58,9	32,0	54,2	31,5	5: 1: 4	0,52
Шаранский	70,4	38,0	53,9	25,5	5: 2: 3	0,51
Итого	68,2	37,5	55,0	25,7	5,5: 1: 3,5	0,49

(ООО «Башкирский фарфор»), коммунальным хозяйством (ОАО «Октябрьсктеплоэнерго», МУП «Белебеевский коммунальщик»). При этом по возвышенности проходит важный транспортный узел на западе Республики Башкортостан (железная дорога Челябинск–Москва, автомагистраль Челябинск–Самара–Москва, трансконтинентальные трубопроводы, несущие нефть и газ Западной Сибири в Поволжье и в центральные области страны) (Гос.доклад…, 2014).

Помимо промышленности на процесс трансформации ландшафтов оказывают влияние особенности климата региона (атмосферные осадки в виде ливневых дождей, бурное снеготаяние, сильные ветры), рельефа (сильная расчлененность, развитие глубоких базисов эрозии, многочисленные склоны различной крутизны), а также хозяйственная деятельность человека (массовое уничтожение на огромных площадях лесов, вовлечение вышедших из-под них земель в пашню, низкий уровень агротехники в прошлом).

Исследуемый регион, являясь объектом разноаспектных наблюдений, изучен разносторонне, с различной детализацией и с достаточной полнотой. Однако антропогенная трансформация ландшафтов и их средообразующие функции изучены весьма слабо. В связи с этим исследование антропогенного воздействия на ландшафты, определение особенностей природопользования, оценка средообразующих функции ландшафтов и ландшафтно-экологический анализ геосистем являются актуальными, приоритетными задачами, имеющими важное значение для рационального использования земельных угодий и оптимизации природопользования.

Материалы и методы исследования

Для оценки антропогенных изменений геосистем Бугульминско-Белебеевской возвышенности в пределах Республики Башкортостан анализировались структура землепользования, антропогенная нагрузка, средообразующие функции ландшафтов.

Основной метод – оверлейный анализ (операции наложения). Операция основана на наложении разноименных картографических слоев и создании производных объектов, возникающих при их геометрическом наложении. Реализация этого метода осуществляется с помощью программного продукта ГИС «ИнГео» (ЗАО «Центр системных исследований «Интегро», г.Уфа).

В ходе исследований был использован картографический материал из Атласа Республики Башкортостан (2005): ландшафтная карта (М 1: 1 500 000), административных районов (М 1:500 000), овражная эрозия (М 1: 6 000 000), расчлененность территории эрозионными

склоновыми процессами (М 1: 5 000 000), эрозия почв (М 2 500 000), а также картографические данные из электронного ресурса Яндекс.Карты (https://maps.yandex.ru).

Информационной базой для анализа структуры землепользования послужили материалы Государственного доклада о состоянии и использовании земель в Республике Башкортостан [2014]. При этом рассчитывались такие показатели, как лесистость, сельскохозяйственная освоенность, распаханность, доля пашни в сельскохозяйственных угодьях и т.д.

Для оценки антропогенного влияния на ландшафты использовались ландшафтно-экологические индексы: коэффициент экологической стабильности и коэффициент антропогенной преобразованности территории (Волков, 2001).

Для исследования эрозионной ситуации рассчитывались площади с проявлением овражной эрозии, с проявлениями эрозионных склоновых процессов, а также степень эродированности почв от общей площади сельскохозяйственных угодий.

Результаты и их обсуждение

Климат Бугульминско-Белебеевской возвышенности континентальный. Зима холодная, продолжительная и многоснежная с частыми метелями. Лето вследствие обилия солнечного света и тепла сухое и даже жаркое. Переходные сезоны – весна и осень – короткие. В весенне-летний период возможны поздние весенние и ранние осенние заморозки, засухи и суховейные ветры, неустойчивость погоды по временам года, резкие колебания суточного и годового хода температуры.

В почвенном покрове возвышенности преобладают почвы черноземных типов (57% почвенного покрова). Меньшую площадь занимают серые лесные (28%), дерново-карбонатные (4%), почвы пойменного ряда (7%), смытые почвы составляют 4% почвенного покрова. Черноземы представлены двумя подтипами: выщелоченными и типичными. По видовым признакам встречаются главным образом среднемощные, в большинстве случаев эродированные их варианты. По механическому составу в основном тяжело- и реже среднесуглинистые черноземы (Белебеевская возвышенность, 1987).

Современные ландшафты Бугульминско-Белебеевская возвышенности начали свое формирование в конце третичного и начале четвертичного периодов в результате поднятия двух сводов кристаллического фундамента Русской платформы. Ввиду географического стыкового расположения здесь наблюдается взаимное проникновения горно-лесных, лесных, лесостепных и степных ландшафтов. При этом возвышенность служит важным водораздельным узлом, хорошо выраженный осевой водораздел проходит от г. Октябрьский к г. Белебей, между реками Усень и Кидаш. От него в различных направлениях отходят водоразделы второго и третьего порядков, с широкими увалами, расчлененными глубокими сухими или с небольшими постоянными водотоками из родников.

На состояние ландшафтных комплексов существенное влияние оказывает структура земельных угодий. Распределение земель Белебеевской возвышенности по категориям показывает преобладание в структуре земельного фонда земель сельскохозяйственного назначения (71,3%), а также земель лесного фонда (23,6%). На долю земель населенных пунктов приходится 3,6%, промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания и иного специального назначения – 1,3%. Земли водного фонда и земли запаса занимают по 0,1%. Основная часть площади возвышенности (68,2%) занята сельскохозяйственными угодьями, в составе которых преобладает пашня. Наибольшая сельскохозяйственная освоенность наблюдается в Ермекеевском (78,8%), наименьшая в Туймазинском (58,9%) районах. В сельскохозяйственном производстве заняты 7,9% сенокосов, 22,5% пастбищ, 23,8% лесов.

При средней лесистости республики около 39,7% лесистость исследуемой территории составляет 25,7%. Наименьшая доля лесных территорий в Ермекеевском районе (15%), при этом леса здесь размещены крайне неравномерно: юг и юго-запад практически безлесны. К районам с лесистостью ниже экологических нормативов относятся также Бижбулякский (16,2%) и Миякинский (19,6%) районы. Относительно высокая доля лесов (37%) в Белебеевском районе.

Средняя доля пашни в условиях Белебеевской возвышенности достигает 55% площади сельхозугодий. Если рассматривать долю пашни в общей структуре земель, то она занимает 37,5%. Наибольшая распаханность в Бижбулякском, Ермекеевском и Миякинском районах. Показательно, что в этих трех районах наблюдается наименьшая лесистость территории.

Экологическая стабильность территории, выражаемая с помощью коэффициента экологической стабильности территории в Бижбулякском, Ермекеевском и Миякинском районах, «неустойчиво стабильна». В остальных районах – «средней стабильности». В среднем по возвышенности этот коэффициент составляет 0,49, т.е. территория экологически «неустойчиво стабильна» (табл. 1).

Наиболее плотно заселенной административной единицей возвышенности является Туймазинский район, в структуре которого земли населенных пунктов составляют 6,6%, промышленности, транспорта и иного специального назначения – 5,8%. При этом данный район занимает географически центральное положение возвышенности и характеризуется разнообразием природных ресурсов. Здесь территориально сочетаются лесные, сельскохозяйственные, водные, рекреационные ресурсы с островками заповедных территорий.

Ландшафты Туймазинского района представлены природными комплексами речных долин, озерных котловин и пластовыми равнинами. В результате отображения процесса их антропогенной экотонизации, т.е. процесса дробления изначально однородных ландшафтных комплексов на более мелкие сегменты-патерны, и нанесении на контуры ландшафтов границ ареалов распространения основных типов использования территории (сельскохозяйственные, селитебные, транспортно-коммуникационные, водохозяйственные, лесохозяйственные, особо охраняемых природных территорий) получили новые типы антропогенных ландшафтов (рис. 2).

Индексы ландшафтных уровней и поясов

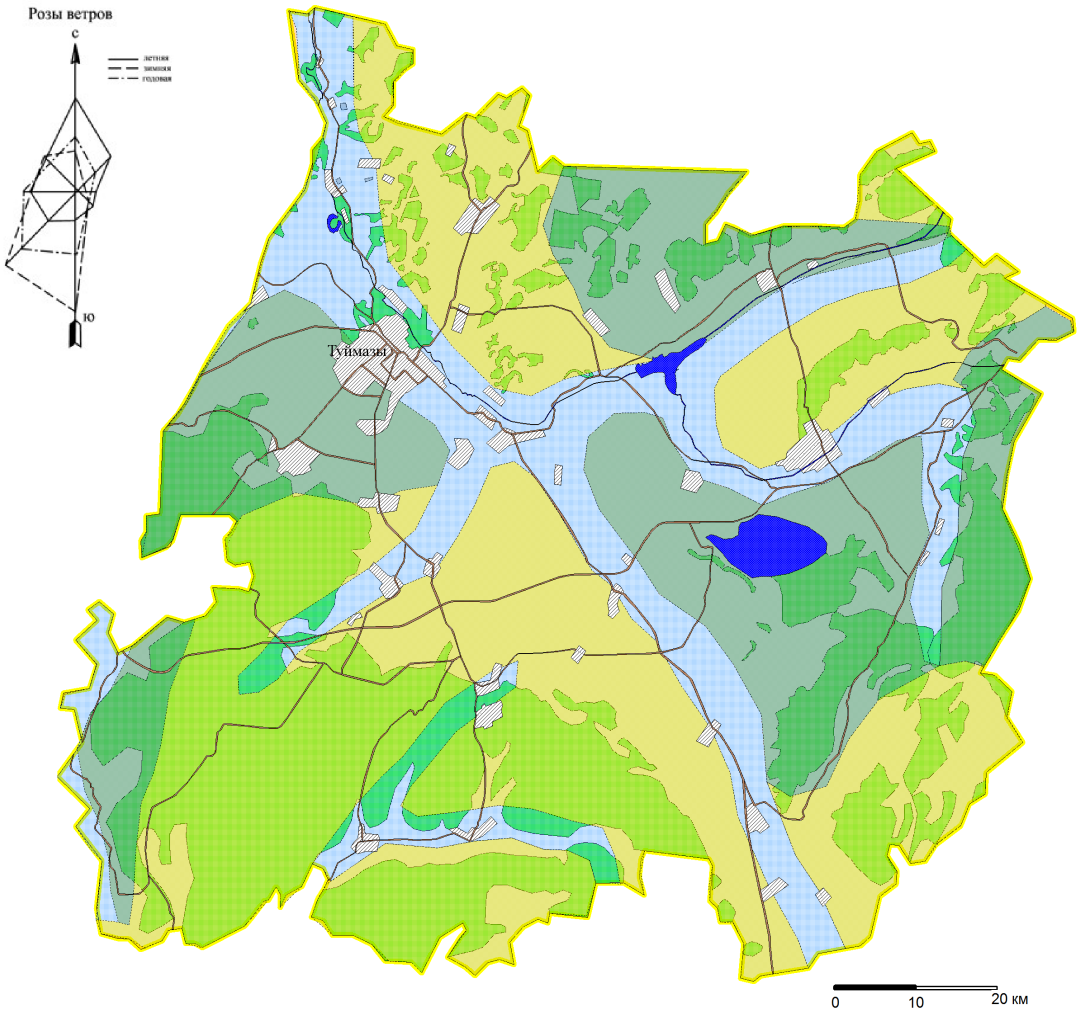
Уровень природных комплексов речных долин и озерных котловин

Пояс: Пойма, низкие и средние эрозионно-аккумулятивные террасы речных долин с озерами-старицами, заболоченными лугами, лесами и кустарниками на аллювиальных, болотных, темно-серых лесных и черноземных почвах.

Уровень пластовых равнин

Пояс: Возвышенные эрозионно-расчлененные равнины, сложенные терригенно-карбонатными породами казанского и татарского ярусов, с широколиственными и вторичными мелколиственными лесами на темно-серых лесных почвах, степями и пашнями на типичных, остаточно-карбонатных и выщелоченных черноземах.

Пояс: Пологоволнистые междуречные равнины, покатые и пологие склоны долин, сложенные песчаниками, мергелями, конгломератами, известняками уфимского яруса с луговыми степями, остепненными лугами с ковылем, типчаком в сочетании с липово-снытьевыми и дубово-коротконожковыми лесами, пашнями на их месте на темно-серых лесных почвах и выщелоченных черноземах.



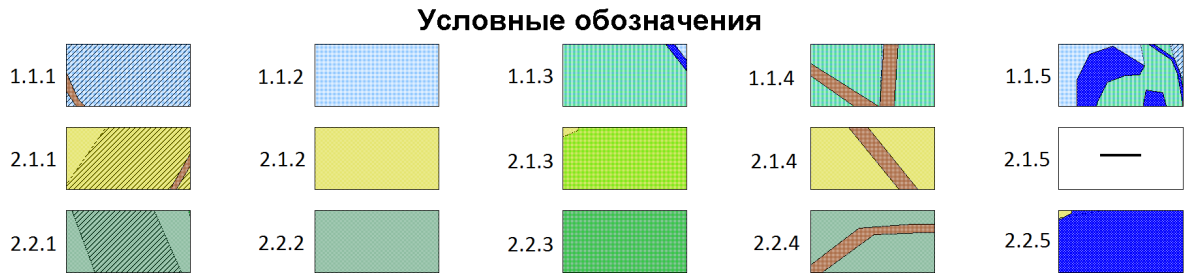


Рис. 2. Современные ландшафты Туймазинского района. Составлен на основе ландшафтной карты Республики Башкортостан, 2005 (в условных обозначениях x.y.z: x – индекс ландшафтного уровня, y – индекс ландшафтного пояса, z – индекс типа антропогенного ландшафта)

Индексы типов антропогенных ландшафтов

1. Селитебные; 2. Сельскохозяйственные; 3. Лесохозяйственные; 4. Транспортно-коммуникационные; 5. Водохозяйственные.

В наибольшей степени антропогенному воздействию подверглись ландшафты пойм и речных долин, представленные поймами, низкими и средними эрозионно-аккумулятивными террасами речных долин с озерами-старицами, заболоченными лугами, лесами и кустарниками на аллювиальных, болотных, темно-серых лесных и черноземных почвах (ландшафтный индекс 1.1). Здесь доля сельскохозяйственных ландшафтов достигает 82%, селитебных – 6%. Лесные площади занимают лишь 8,5%. Это объясняется традиционным типом расселения людей вдоль водных объектов и освоением прибрежных районов (табл. 2). Степень эродиро-

ванности почв колеблется от 5% общей площади сельхозугодий в западной части и до 25% в восточной части района.

Таблица 2

Экспликация ландшафтов Туймазинского района, тыс.га

Ланшафтные пояса	Антропогенное использование					
	Селитебные	Сельскохозяйственные**	Лесохозяйственные	Транспортно-коммуникационные	Водохозяйственные	Всего
1.1*	3,2	42,7	4,5	0,9	0,8	52,1
2.1	2,2	59,1	54,6	1,8	-	117,7
2.2	1,9	42,6	23,4	1	1,7	70,6
Итого	7,3	144,4	82,5	3,7	2,5	240,4
%%	3,0	60,1	34,3	1,5	1	100

Примечание: *Расшифровка ландшафтных поясов на рисунке 2.
** Сельскохозяйственное и прочее использование

Наименьшая доля сельскохозяйственных ландшафтов отмечается на возвышенных эрозионно-расчлененных равнинах, сложенных терригенно-карбонатными породами казанского и татарского ярусов, с широколиственными и вторичными мелколиственными лесами на темно-серых лесных почвах, степями и пашнями на типичных, остаточно-карбонатных и выщелоченных черноземах (индекс 2.1) – 50% (табл. 3). При этом доля пахотных угодий в последнее время уменьшилась в связи с проводимой в республике работой по залужению деградированной и малопродуктивной пашни и переводом ее в кормовые угодья. За 1996-2008 гг. выявлено в Туймазинском районе 25,4 тыс. га такой пашни, половина из них была переведена в пастбища, половина – в сенокосы (Гос. (нац.) доклад, 2014). Такая проводимая государственная политика является хорошей предпосылкой для оптимизации агролесоландшафтов. Во вновь залуженных угодьях бывших пахотных земель создаются условия для прекращения эрозии и повышения плодородия почв.

Таблица 3

Характеристика ландшафтных поясов Туймазинского района

Показатели	Ландшафтные пояса*			
	1.1	2.1	2.2	В среднем
Лесистость, %	8,6	46,4	33,1	34,3
Сельскохозяйственная освоенность, %	82,0	50,2	60,3	60,1
Распаханность, %	44,4	27,2	32,7	32,6
Коэффициент экологической стабильности по составу угодий	0,41	0,65	0,58	0,58
Коэффициент антропогенной преобразованности	3,51	2,88	3,06	3,07
Площади с проявлениями овражной эрозии, %	1-5	3-8	3-5	3-5
Площади с проявлениями эрозионных склоновых процессов, %	1-15	10-30	5-15	5-15
Степень эродированности почв (от общей площади с.-х. угодий), %	5-25	5-50	5-25	5-25

*Расшифровка ландшафтных поясов на рисунке 2.

При этом данный пояс пластовых равнин характеризуется максимальной лесистостью – 46,4%. Современный характер растительности определяется взаимопроникновением двух ботанико-географических регионов – Европы и Азии. Поэтому здесь участки широколиственных и широколиственно-сосновых лесов сочетаются с открытыми пространствами былых (ныне распаханных) степей. В наиболее засушливой части островки лесов из дуба, липы, клена сменяются разнотравно-ковыльной степной растительностью.

Лесная растительность встречается в виде колков по западинам и лощинам или в виде небольших островных лесов по наиболее высоким точкам водоразделов, на крутосклонах и неудобных местах. Эти леса достаточно самобытны и уникальны как с лесоводственной, так и с флористической точки зрения. Они неоднородны по составу, возрасту и запасам древесины. Отдельные лесные участки несут различные экологические функции: агрономические, водоохранные, почвозащитные, рекреационные.

Породный состав лесов разнообразен: здесь представлено более 15 лесообразующих пород. Среди хвойных – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.), лиственница Сукачева (*Larix sukaczewii* Dylis) и сибирская (*L. sibirica* Ledeb). Древесина всех хвойных пород отличается высокими качествами и используется в строительстве. Площади хвойных пород (как на возвышенности, так и во всей республике) за последние десятилетия сокращаются под влиянием интенсивных вырубок. Широколиственные породы с твердой древесиной: дуб черешчатый *(Quercus robur* L.), клен платанолистный (*Acer platanoides* L.), татарский (*A. tataricum* L.), вяз шершавый (*Ulmus glabra* Huds.) и ясень высокий (*Fraxinus excelsior* L.); с мягкой древесиной: липа сердцелистная (*Tilia cordata* Mill.), которая является не только источником ценной древесины, но и самым главным медоносом Башкортостана. Мелколиственные породы с мягкой древесиной: береза бородавчатая (*Betula pendula* Roth) и пушистая (*B. pubescens* Ehrh.), осина дрожащая (*Populus tremula* L.), тополь белый (*Populus alba* L.) и черный (*P. nigra* L.), ольха клейкая (*Alnus qlutinosa* (L.) Gaertn.), серая (*A. incana* (L.) Moench), некоторые виды ив (*Salix alba* L., *S. fraqilis* L.).

При этом сложилась определенная диспропорция между возрастными группами, которая наиболее ярко выражена в хвойных древостоях. Здесь преобладают исключительно молодняки, незначительна доля спелых и приспевающих насаждений. Твердолиственные породы представлены преимущественно средневозрастными насаждениями. В мягколиственных насаждениях все возрастные группы представлены более равномерно.

В повышении лесистости территории немаловажную роль сыграло искусственное лесоразведение. Система лесомелиоративных насаждений представлена полезащитными (45,5%), водорегулирующими (4%) лесными полосами, приовражно-прибалочными (26%), овражно-балочными (3%), берегозащитными (15%), садозащитными (0,5%), пастбищезащитными (1%) , придорожными (2%) насаждениями, а также насаждениями на крутосклонных землях (3%). При этом они отличаются составом, происхождением, возрастной структурой, состоянием и продуктивностью древостоев. Большая часть полезащитных лесополос имеет юго-восточное направление, вспомогательные лесополосы ориентированы на юго-запад. Лесополосы преимущественно однородного состава, доля смешанных – 20%. Лучшим состоянием отличаются 30-летние полосы из березы (*Betula pendula* Roth), лиственницы (*Larix sibirica* Ledeb., *L. sukaczewii* Dylis.) и тополя (*Populus balsamifera* L.), которые имеют продуваемую конструкцию, ширину 9-15 м, 3-5 рядов без смешения с древесно-кустарниковой растительностью, I класс бонитета. Но кроме них существуют разросшиеся

посадки клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) и вяза гладкого (*Ulmus laevis* Pall.), вводимые в посадки в прошлом. В возрастном отношении преобладают 50-60-летние насаждения, что свидетельствует о том, что пахотные угодья находятся под защитой вступивших в полную силу лесополос. Средняя сохранность - 65%. Треть полезащитных лесных полос требуют санитарных мероприятий, 14% - изменения конструкции и удаления кустарников. Естественное возобновление в полезащитных лесных полосах наблюдается в единичных случаях, когда этому способствуют небольшие куртины леса, находящиеся в непосредственной близости.

Ландшафтные комплексы как закономерный итог межкомпонентного взаимодействия выступают в качестве биотопов экосистем, среды обитания человека и носителей множества функций: средообразующих, природоохранных, ресурсных и др. На этом ландшафтном уровне наблюдаются относительно высокие показатели функций почвозащитной, местообитания биоты и поддержания биоразнообразия (рис. 3).

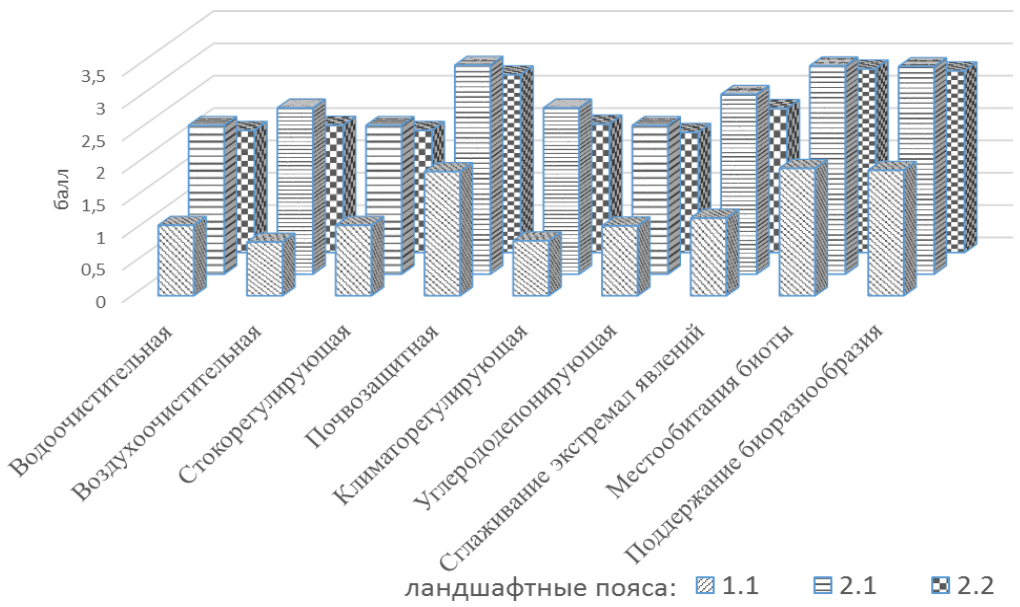


Рис. 3. Функциональность ландшафтных комплексов Бугульминско-Белебеевской возвышенности

Несмотря на высокую лесистость на этом ландшафтом уровне вследствие сильно расчлененного рельефа степень эродированности почв достигает 50%.

Второй уровень пластовых равнин – пологоволнистые междуречные равнины, покатые и пологие склоны долин, сложенные песчаниками, мергелями, конгломератами, известняками уфимского яруса с луговыми степями, остепненными лугами с ковылем, типчаком в сочетании с липово-снытьевыми и дубово-коротконожковыми лесами, пашнями на их месте на темно-серых лесных почвах и выщелоченных черноземах (ландшафтный индекс 2.2) занимает промежуточное положение: лесистость – 33,1%, сельскохозяйственная освоенность – 60,3 %, населенные пункты занимают 2,7%.

Сенокосы этого ландшафтного уровня представлены разнотравно-мятликовым лугом, располагаются в основном на пологих склонах, по балкам и на волнистых плато водоразделов, где они встречаются небольшими пятнами. По Л.Г.Наумовой, Б.М.Миркину и др. (2011), их продуктивность составляет 6-8 ц/га. Преобладает по массе разнотравье, которое весьма неопределенно по своему составу и включает в себя герань лесную (*Geranium sylvaticum* L.),

луговую (*G. pratense* L.), василистник малый (*Thalictrum minus* L.) и простой (*T. simplex* L.), таволгу обыкновенную (*Filipendula vulgaris* Moench), сныть обыкновенную (*Aeqopodium podagraria* L.), землянику зеленую (*Fragaria viridis* (Duchesne) Weston) и др. До 10% массы травостоя приходится на бобовые: клевер луговой (*Trifolium pratense* L.) и ползучий (*T. Repens* (L.) C. Presl), горошек мышиный (*Vicia cracca* L.) и другие. Среди злаков преобладают мятлик узколистный (*Poa anqustifolia* L.), луговой (*P. pratensis* L.), вместе с ними встречаются ковыль перистый *(Stipa pennata* L.), келерия гребенчатая (*Koeleria cristata* (L.) Pers.), овсяница валисская (*Festuca valesiaca* Gaudin) и овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.).

Пастбища располагаются в основном на покатых и крутых склонах водоразделов, по балкам, встречаются довольно большими массивами. В конце лета травостой пастбищ большей частью выгорает. В ботаническом отношении травостой злаковый, до 80% его массы приходится на типчак (*Festuca valesiaca* Gaudin). Из разнотравья встречаются полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Jacq.), тысячелистник обыкновенный *(Achillea millefolium* L.), подорожник средний (*Plantago media* L.), земляника зеленая (*Fragaria viridis* Weston), лапчатка серебристая (*Potentilla argentea* L.), клевер горный (*Amoria montana* (L.) Soiak) и ползучий (*T. repens* (L.) C. Presl).

Выводы

Таким образом, на состояние ландшафтных комплексов Бугульминско-Белебеевской возвышенности существенное влияние оказывает структура земельных угодий; оценка экологической стабильности территории – «неустойчиво стабильная»; ландшафтные комплексы характеризуются относительно высокими показателями функций: почвозащитной, местообитания биоты и поддержания биоразнообразия; карты современного использования ландшафтов с типами землепользования позволяют оценить степень антропогенной нагрузки и в дальнейшем разработать мероприятия по рациональному использованию земель.

Библиографический список

1. Атлас Республики Башкортостан. – Уфа: Правительство РБ, 2005.
2. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды Республики Башкортостан в 2013 году. –Уфа: Министерство природопользования и экологии РБ, 2014.
3. Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в РБ в 2013 г. – Уфа: Управление Фед. службы гос. регистрации, кадастра и картографии по РБ, 2014
4. Волков, С.Н. Землеустройство. Т.2. Землеустроительное проектирование / С.Н. Волков. – М.: Колос, 2001.
5. Курбанов, Э.А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: учебное пособие; рекомендовано УМО по образованию в области лесного дела / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев. – Йошкар-Ола, ПГТУ. – 2014. – 254 с.
6. Лычак, А.И., Новые подходы к геоэкологическому анализу и прогнозу антропогенной трансформации ландшафтов Крыма / А.И. Лычак, Т.В. Бобра // ArcReview. – 2013. – №2 (65). [Электронный ресурс] – URL http://dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=10556&SECTION_ID=285&print=Y (Дата обращения 02.02.2015)
7. Флора и растительность Башкортостана: учеб.пособие / Л.Г. Наумова, Б.М. Миркин, А.А. Мулдашев, В.Б. Мартыненко, С.М. Ямалов // Уфа: Изд-во БГПУ, 2011. – 174 с.
8. Рахматуллина, И.Р. Экологическая стабильность агролесоландшафтов Белебеевской возвышенности / И.Р. Рахматуллина, З.З. Рахматуллин, Ф.Ф. Рамазанов // Вестник БГАУ. – 2012. – №4. – С. 70-72.
9. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – № 3. – 2013. – С. 72-82.
10. Хайретдинов, А.Ф. Белебеевская возвышенность / А.Ф. Хайретдинов // Уфа: Башк. кн. изд-во, 1987. – 160 с.
11. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21). – С.18-32.

12.Яндекс.Карты. Территория Бакалинского, Белебеевского, Бижбулякского, Емекеевского, Миякинского, Туймазинского, Шаранского административных районов Республики Башкоростан. [Электронный ресурс]. – URL: https://maps.yandex.ru. (Дата обращения 03.03.2015).

УДК 504.062.2

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ПРИ ЭКОЛОГИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ МАРИЙ ЭЛ

Л. В. Тарасова
Поволжский государственный технологический университет

Исследованы различные подходы к осуществлению мониторинга недропользования с использованием данных дистанционного зондирования Земли. Рассмотрены алгоритм проведения мониторинга недропользования, а также методики обработки спутниковых данных в программном комплексе ENVI для целей мониторинга.

Ключевые слова: *спутниковые снимки; дистанционное зондирование Земли; экологический мониторинг недропользования; общераспространенные полезные ископаемые; ГИС; тематическое картирование; Республика Марий Эл.*

USE OF REMOTE SENSING DATA IN ENVIRONMENTAL MONITORING OF SUBSOIL MANAGEMENT IN MARI EL REPUBLIC

L. V. Tarasova
Volga State University of Technology

Different approaches to monitoring of subsurface resources management with the use of remote sensing data were studied. Algorithm for conducting of subsurface resources management monitoring was examined. The methods of data processing using ENVI software package for monitoring goals were also examined.

Key words: *satellite images, remote sensing, ecologic monitoring of subsurface resources management, common mineral resources, GIS, thematic mapping, Mari El Republic.*

Введение. В связи с возрастающими масштабами антропогенного воздействия на природу, повышается актуальность проведения объективного экологического мониторинга. Использование космических снимков позволяет добиться полного единовременного охвата территории, а дистанционные методы дают возможность провести экологическую оценку не только в пределах отдельных пунктов наблюдений, но и на любом выбранном участке, независимо от его удаленности и транспортной доступности (Курбанов и др., 2013; Курбанов и др., 2014; Хлюстов, Хлюстов, 2013).

Точность дистанционных методов отвечает требованиям существующих экологических стандартов и нормативов, что позволяет организовать периодические наблюдения территорий с самыми разнообразными условиями.

Недропользование является одним из видов экономической деятельности, который оказывает наиболее существенную нагрузку на состояние окружающей среды. Решение задач по мониторингу и оценке состояния различных объектов недропользования является приоритетным направлением концепции государственного мониторинга Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации и Федерального агентства по недропользованию в его составе (Приказ Министерства природных ресурсов.., 2015).

Для определения экологического состояния территории с использованием спутниковых снимков исследователями используются различные подходы и методики. При мониторинге недропользования и анализе восстановления нарушенных земель в результате добывающей деятельности исследователи активно применяют цифровые модели поверхности или рельефа (Оскорбин и др., 2013, Kumar et al., 2014).

Общераспространенные полезные ископаемые являются важнейшим компонентом ресурсного потенциала Республики Марий Эл, сырьевой основой для дорожного строительства и производства строительных материалов. Объем инвестиций в строительство в 2014 году вырос по отношению к 2013 году в 1,71 раза (Социально-экономическое положение РМЭ.., 2015). Увеличение объемов использования природных ресурсов на территории республики обусловливает необходимость объективного экологического мониторинга недропользования для оперативного принятия управленческих решений. Оправданность и качество принятых решений напрямую зависят от своевременности и полноты полученной информации. Так, в рамках государственного контракта «Ведение мониторинга участков недр с использованием данных дистанционного зондирования» учеными ФГБОУ ВПО «ПГТУ» совместно с Департаментом экологической безопасности, природопользования и защиты населения Республики Марий Эл с 2013 г. ведутся работы по мониторингу участков недр. В процессе их выполнения были систематизированы существующие данные недропользования. Разработана методика по выявлению и оценке объектов недропользования с использованием снимков RapidEye, «Канопус-В» и «Ресурс-П» в пакете ENVI (Курбанов и др., 2012). На основе обработки полевых и камеральных данных, а также спутниковых снимков высокого разрешения был составлен ГИС-проект с выделением на нем полигонального слоя карьеров на всю территорию РМЭ и максимальным наполнением атрибутивной информацией. На основе обработки полевых и камеральных данных была проведена актуализация геоинформационной базы данных со сквозной оценкой процесса недропользования за период с 2011 по 2014 гг. (Воробьев и др., 2014, Воробьев и др., 2015). Использование спутниковых снимков позволило обнаружить также участки незаконного пользования недрами.

Добыча полезных ископаемых наносит вред окружающей среде: увеличивается фрагментация лесных массивов, возрастают площади нарушенных земель, отвалов, появляются несанкционированные свалки в районах добычи, происходит заболачивание территорий. Использование спутниковых снимков позволяет оценить площади нарушенных земель, отследить насколько эффективно проводятся рекультивационные мероприятия на объектах недропользования, определить степень фрагментации лесных массивов и заболачивания территорий в районах добычи, а также местонахождение несанкционированных свалок.

Цель исследования – аналитический обзор существующих подходов экологического мониторинга недропользования с использованием данных дистанционного зондирования Земли.

В соответствии с целью решались следующие **задачи:**

- разработать алгоритм и этапы экологического мониторинга недропользования с использованием данных дистанционного зондирования (ДЗЗ);
- проанализировать различные подходы к оценке экологической ситуации на объектах недропользования;
- провести оценку возможности использования рассмотренных методик при экологическом мониторинге недропользования в Республике Марий Эл.

Объектами исследования явились карьеры Республики Марий Эл, субъекта Российской Федерации Приволжского федерального округа.

Для мониторинга карьеров обычно используются разновременные спутниковые снимки Landsat. С целью получения более точных результатов применяются изображения более высокого разрешения. Наряду с традиционными методами оценки изменений объектов недропользования по разновременным мультиспектральным и панхроматическим снимкам (Алексеева и др., 2013; Malaviya et al., 2010; Курбанов и др., 2010; Курбанов и др., 2011; Alhassan et al., 2014; Mitraka et al., 2013) в последние годы широко применяется радиолокационная и лазерная съемка, а также используются гиперспектральные изображения (Bishop et al. 2011, Mielke et al., 2014).

Точность результатов мониторинга по спутниковым данным определяется запланированным уровнем детализации, площадью покрытия территории исследования, точностью тематического картирования, возможностью получения разновременных изображений и стоимостью данных ДЗЗ. Использование разновременных снимков высокого и сверхвысокого разрешения позволяет повышать детальность классификации и дешифрирования карьероотвальных комплексов на больших территориях (Воробьев, Курбанов, 2014; Hartwig et al., 2013; Hawrylo et al., 2015).

Алгоритм мониторинга недропользования включает в себя следующие этапы:

1) Обработка данных спутниковой съемки (подготовка спутниковых снимков, создание проекта ГИС, баз геоданных, дешифрирование снимков, определение потенциальных объектов недропользования).

2) Анализ существующих данных (фонда недр, лесного фонда, размещение полигонов ТБО и прочая информация), выделение сопутствующих объектов и отбраковка.

3) Определение и классификация идентифицированных объектов (распределенный фонд недр, нераспределенный фонд недр учтенный и неучтенный, объекты прошлых лет, незаконные объекты), векторизация тематических слоев.

4) Выбор метода последующей идентификации неопределенных объектов (заказ снимков более высокого разрешения и полевые исследования).

5) Подготовка к полевым исследованиям (определение координат объектов, разработка полевых маршрутов, подготовка рабочих карт и планшетов).

6) Полевые выезды (поиск объекта на местности, определение реального расположения, привязка и оконтуривание с использованием GPS навигатора, оценка основных геоморфологических и биотических параметров, анализ формы и текстуры объектов исследования, статус объекта, степень выработанности, степень рекультивации, дополнительные признаки) (рис. 1, 2, 3).

7) Оценка точности тематического класса «Объекты недропользования» по данным полевых исследований.

8) Сравнительный анализ динамики изменений площадей недропользования по снимкам.

9) Актуализация ГИС-проекта по спутниковым данным (Воробьев и др., 2015).

Рассмотрим подробнее некоторые этапы.

При предварительной подготовке изображений в программном пакете ENVI-5.3 проводятся процедуры ортотрансформирования, геометрической и атмосферной коррекции. Все изображения приводятся к единой системе координат. Затем выполняется классификация изображений. Обычно на первом этапе используется неуправляемый метод классификации IsoData

Рис. 1. Песчаный карьер в Медведевском районе Республики Марий Эл

Рис. 2. Участок песчаного карьера, где проводились рекультивационные мероприятия

Рис. 3.Участок незаконного недропользования в Килемарском районе Республики Марий Эл

(Iterative Self-Organizing Data Analysis Technique), на втором – классификация выделенного тематического класса с использованием метода SVM (support vector machine).

Для оценки состояния и изменения механически нарушенных в результате строительства и эксплуатации объектов недропользования территорий отечественными и зарубежными учеными (Гордиенко, 2015; Hartwig, 2013) используется вегетационный индекс NDVI, рассчитываемый в программе ENVI по следующей формуле:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}, \quad (1)$$

где RED – значение яркости пикселя в красном спектральном канале; NIR – значение яркости пикселя в инфракрасном спектральном канале.

Метод с использованием вегетационного индекса NDVI позволяет получать количественные оценки проективного покрытия ландшафтов. Наиболее удобен для оценки ландшафтного покрова. При этом зелёная растительность имеет относительно высокий показатель вегетационного индекса вследствие поглощения хлорофилла в красной области спектра, в отличие от почв или искусственных материалов, имеющих малое значение вегетационного индекса.

Для оценки фрагментации лесных массивов в районе добычи полезных ископаемых могут быть использованы следующие показатели:

- коэффициент негативного воздействия изолирующих рубежей на лесную обстановку фрагмента (отношение площади опушечной (краевой) зоны к общей площади фрагмента),
- индексы: показатель контакта фрагмента с изолирующими рубежами (отношение периметра фрагмента к его общей площади), коэффициент негативного воздействия изолирующих рубежей на лесную обстановку фрагмента (отношение площади опушечной (краевой) зоны к общей площади фрагмента), коэффициент деградированности лесной обстановки (отношение площади опушечной зоны к внутренней площади лесного фрагмента, не испытывающей негативного влияния).

Таким образом, использование спутниковых снимков и современных программных средств обработки ДЗЗ открывает широкие возможности для экологического мониторинга объектов недропользования, в частности для оценки соответствия реальных границ карьера официальным, обнаружения незаконных участков, определения площадей нарушенных земель, эффективности рекультивационных мероприятий на объектах недропользования, степени фрагментации лесных массивов, а также местонахождения несанкционированных свалок.

Библиографический список

1. Алексеева, М.Н. Экологический мониторинг нефтедобывающих территорий на основе космических снимков / М. Н. Алексеева, И. Г. Ященко // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2013. –№2. – С.101-106.
2. Афанасьев, В.В. Создание системы мониторинга в части общераспространенных полезных ископаемых на территории Республики Коми [Электронный ресурс] / В.В. Афанасьев, Е.Б. Ахматова, А. Н. Вшивцев, А. В. Терентьев // Материалы XVI Всероссийского форума «Рынок геоинформатики в России. Современное состояние и перспективы развития». – ГИС-Ассоциация. URL: http://www.gisa.ru/53727.html. (Дата обращения 12.08.2015).
3. Воробьев, О.Н. Опыт применения снимков RapidEye для оценки недропользования в Республике Марий Эл / О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов // Геоматика. – 2014. – №1. – С.80-86.
4. Воробьев, О.Н. Спутниковый мониторинг недропользования в Республике Марий Эл / О. Н. Воробьев, Э. А. Курбанов // Геоматика. – 2014. –№1. –С.45-52.
5. Гордиенко, А.С. Применение индексных изображений при выявлении изменений по разновременным космическим снимкам / А.С. Гордиенко // ИНТЕРЭКСПО ГЕО-СИБИРЬ. – 2015. – №1. – С.67-70.

6. Ивонин, В.М. Фрагментация горных лесов при строительстве олимпийских объектов в Сочи / А.В. Егошин, В.М. Ивонин // ArcReview. [Электронный ресурс]. – URL: http://dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=7824 &SECTION_ID=252. (Дата обращения: 22.03.2015).

7. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. - № 1(21). – С.18-32.

8. Курбанов, Э.А. Тематическое картирование и стратификация лесов Марийского Заволжья по спутниковым снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, С.А. Незамаев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2013. – № 3. – С. 72-82.

9. Решение вопросов космического мониторинга лесных гарей в комплексных пакетах ENVI и ArcGIS / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Геоматика. – Москва: «Совзонд». – 2012. – № 4. – С. 82-92.

10. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Т.Ф. Мифтахов, С.А. Незамаев, Ю.А. Полевщикова // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2011. – № 3. – С. 17-24.

11. Использование космических снимков Alos для выявления площадей бывших сельскохозяйственных угодий, зарастающих лесом / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, А.В. Губаев, С.А. Лежнин // Геоматика. – Москва: «Совзонд». – 2010. – № 4. – С. 68-72.

12. Мячина, К.В. Анализ космических изображений с расчётом NDVI для изучения динамики ландшафтного покрова территории нефтяного месторождения в Оренбургской области / К.В. Мячина // Известия ОГАУ. – 2013. –4 (42). – С.206-209.

13. Оскорбин, Н.М. Создание цифровой модели местности на основе космических снимков высокого разрешения / Н. М. Оскорбин, С. И. Суханов // Известия АлтГУ. – 2013. – №1 (77). – С.87-91.

14. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 21 мая 2001 г. №433 [Электронный ресурс] «Об утверждении Положения о порядке осуществления государственного мониторинга состояния недр Российской Федерации» // Федеральное агентство по недропользованию, РОСНЕДРА. URL: http:// www.rosnedra.gov.ru/article/7765.html. (Дата обращения: 14.09.2015).

15. Социально-экономическое положение Республики Марий Эл в январе-декабре 2014 года: Дополнение к докладу (официальное издание). – Йошкар-Ола: Тер. орган Федеральной службы государственной статистики по Республике Марий Эл (Маристат). – 2015. – 64 с.

16. Хлюстов, В.К. Современные технологии дистанционного зондирования и информационные справочные системы земли лесотаксационных нормативов – основные элементы автоматизации комплексной инвентаризации древесных ресурсов / В.К. Хлюстов, Д.В. Хлюстов // Интерэкспо ГЕО-СИБИРЬ. - 2013. - Т. 8. С.29-35.

17. Bishop, C. A. Hyperspectral remote sensing for mineral exploration in Pulang, Yunnan Province, China: [Электронный ресурс] / C. A. Bishop, J.G. Liu, P. J. Mason // International Journal of Remote Sensing. – 2011. – №32:9. – P.2409-2426.

18. Hartwig, M. E. Detection and Monitoring of Surface Motions in Active Open Pit Iron Mine in the Amazon Region, Using Persistent Scatterer Interferometry with TerraSAR-X Satellite Data / M. E. Hartwig, W. R. Paradella, J.C. Mura // Remote sensing. – 2013. –№5. – P. 4719-4734.

19. Landscape monitoring of post-industrial areas using LiDAR and GIS technology / P. Hawryło, W. Krzaklewski, M. Pająk et al. // GEODESY AND CARTOGRAPHY. – 2015. –Vol.64 (1). – P.125-137.

20. Kumar, A. Analysing topographical changes in open cast coal-mining region of Patratu Jharkhand using CARTOSAT-I Stereopair satellite images / A. Kumar, A.C. Pandey // Geocarto International. – 2014. –№ 29:7. – P.731–744.

21. Landscape approach for quantifying land use land cover change (1972–2006) and habitat diversity in a mining area in Central India (Bokaro, Jharkhand) / S. Malaviya, M. Munsi, G. Oinam, Pawan Kumar Joshi // Environ Monit Assess. – 2010. –№170. – P.215–229.

22. Mamman Alhassan, M. Multi-temporal change detection at a limestone mining and cement production facility in Central Nigeria / F. Ujoh, M. Mamman Alhassan, F. Terkuma Ujoh // American Journal of Environmental Protection. – 2014. –№3 (3). – P.113-121.

23. Spaceborne Mine Waste Mineralogy Monitoring in South Africa, Applications for Modern Push-Broom Missions: Hyperion / C. Mielke, N. K. Boesche, C. Rogass, H. Kaufmann, C. Gauert, M. de Wit // Remote sensing. – 2014. – №6. – P. 6790-6816.

24. Mitraka, Z. Change detection of surface mining activity and reclamation based on a machine learning approach of multi-temporal Landsat TM imagery / Z. Mitraka, P. Partsinevelos, G.P. Petropoulos // Geocarto International. – 2013. –№28:4. – P.323–342.

УДК 630*712

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕКОРАТИВНЫХ ДРЕВЕСНЫХ И КУСТАРНИКОВЫХ РАСТЕНИЙ НА ТЕРРИТОРИИ БАШКИРСКОГО ГАУ И ИХ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЕ ВЛИЯНИЕ НА МЕНЯЮЩИЙСЯ КЛИМАТ

А. Р. Валеева, Р. В. Латыпова
Башкирский государственный аграрный университет

В данной работе рассматриваются биологическое разнообразие территории Башкирского ГАУ и его влияние на меняющийся климат. Целью исследования является изучение состояния древесных и кустарниковых насаждений и влияние на них меняющихся условий среды. В результате исследования состояния древесных насаждений, их свойств и экологической устойчивости сделаны выводы о необходимости проведения дополнительных посадок. Произведена их статистическая обработка, составлен план существующих и проектируемых насаждений.

Ключевые слова: *изменение климата, биологическое разнообразие, декоративные растения.*

ECOLOGICAL PROPERTIES OF ORNAMENTAL TREES AND SHRUBS IN THE TERRITORY BASHKIRSKIY GAU AND THEIR POSITIVE IMPACT ON THE CHANGING CLIMATE

A. R. Valeeva, R. V. Latypova
Bashkir State Agrarian University

The paper studied biological diversity of Bashkir State Agrarian University territory and its impact on changing climate. The aim of the study is to examine the state of tree plantations and shrubs and changing environmental conditions' impact on them. The research of the state of tree plantations, their properties and environmental sustainability drawn conclusion on the need for additional plantings. Statistical processing and a plan of existing and future urban forests were made.

Keywords: *climate change, biodiversity, ornamental plants.*

Последствия изменения климата уже влияют на существование человека, поэтому необходимо уменьшить их негативные воздействия (Курбанов и др, 2008; Tikina, Kurbanov, 2012). Например, организовывать мероприятия по адаптации к меняющимся условиям, которые могут быть направлены на снижение климатических рисков (Курбанов, Воробьев, 2014; Воробьев и др., 2014).

В настоящее время жители Уфы выбрасывают в день в общей сложности около 24000 т материалов в виде отходов, состоящих в основном из разнообразного хлама, металлов, стеклянных контейнеров, макулатуры, пластика и пищевые отходов. В этой смеси содержится большое количество опасных отходов: ртуть из батареек, фосфоро-карбонаты из флюорисцентных ламп и токсичные химикаты из бытовых растворителей, красок и предохранителей деревянных покрытий (Блонская, 2010).

Промышленный комплекс Уфы имеет многоотраслевую производственную структуру и специализируется на машиностроении и металлообработке, нефтеперерабатывающей, химической и нефтехимической, легкой и лесной отраслях промышленности. Удобное транспортно-экономическое, управленческо-функциональное положение Уфы обусловило высокую территориальную концентрацию населения, промышленности, объек-

тов производственной и социальной инфраструктуры. Уфа – крупнейший транспортный узел: железнодорожные, трубопроводные, автомобильные магистрали, воздушные и речные пути связывают Башкортостан с другими регионами России. Но высокая степень концентрации промышленности на территории города создает определенную нагрузку на окружающую среду (Исяньюлова, 2010).

Основной вред атмосфере Уфы наносят передвижные источники загрязнения, на долю которых приходится более 60% всех вредных выбросов. В первую очередь это, конечно же, автотранспорт, вред которого ежегодно увеличивается примерно на 6%. Вследствие роста числа автомобилей снижается качество воздуха в жилых районах города, причем выхлопы происходят на уровне дыхания человека, что особенно вредно для здоровья (Исяньюлова, 2010).

Все древесные и кустарниковые растения играют важную роль в процессах газообмена в природе: они сдерживают накопление углекислоты и одновременно восстанавливают потери в кислороде. Лесные массивы поглощают около 2/3 углекислоты, находящейся в атмосфере (Курбанов, 2002). Древесные и кустарниковые виды растений являются эффективным фильтром, который обладает способностью осаждать находящиеся в воздухе твердые частицы пыли и сажи, а также поглощать из воздуха и частично усваивать газообразные примеси. Учеными доказано, что 1 га зеленых насаждений очищает из воздуха до 60-70 т пыли в год, уменьшая ее концентрацию на 25-45 %.

Пылеудерживающая способность растений зависит от опушенности листовых пластинок, площади поверхности листа, шероховатости, глянцевости листьев, а также размеров кроны, и весьма неодинакова для различных древесных и кустарниковых видов растений (см. таблицу).

Выявлено, что разные породы деревьев задерживают листвой неодинаковое количество пыли, что зависит прежде всего от фактуры поверхности листьев; древесные породы с шероховатыми, морщинистыми и опушенными листьями лучше задерживают взвешенные частицы, находящиеся в воздухе. Исследования показали, что если количество пыли, оседающей на единицу поверхности листа тополя принять за 1, то количество пыли на единице поверхности листа клена составит 2, сирени – 3, вяза – 6. Хвойные породы деревьев и кустарников еще более эффективны— на единицу массы хвои оседает пыли в 1,5 раза больше, чем на единицу массы листа (Исяньюлова, 2010).

При формировании системы озеленения необходимо, чтобы размещение объектов было тесно увязано с планировочной структурой города. В идеально запланированном городе система озеленения должна органично «вплетаться» в структуру города, а природный ландшафт – быть основой ее планировки (Моисеев, 1977).

Принимая во внимание, что территория БГАУ относится к территориям ограниченного пользования и имеет своеобразный баланс, стоит обратить внимание на то, что наибольшую площадь (34,78%) занимают цветники и газон, которые являются важными элементами озеленения во всех категориях насаждений, зеленые же насаждения составляют не более 13,83% от общей площади территории.

Проведя анализ существующих насаждений на территории БГАУ, можно сделать вывод, что наиболее распространенной породой является береза повислая (*Betula pendula* Roth), составляющая 46,9% от общего числа деревьев. Следующая по распространенности липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.) – 11,58%, затем ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) – 8,11%.

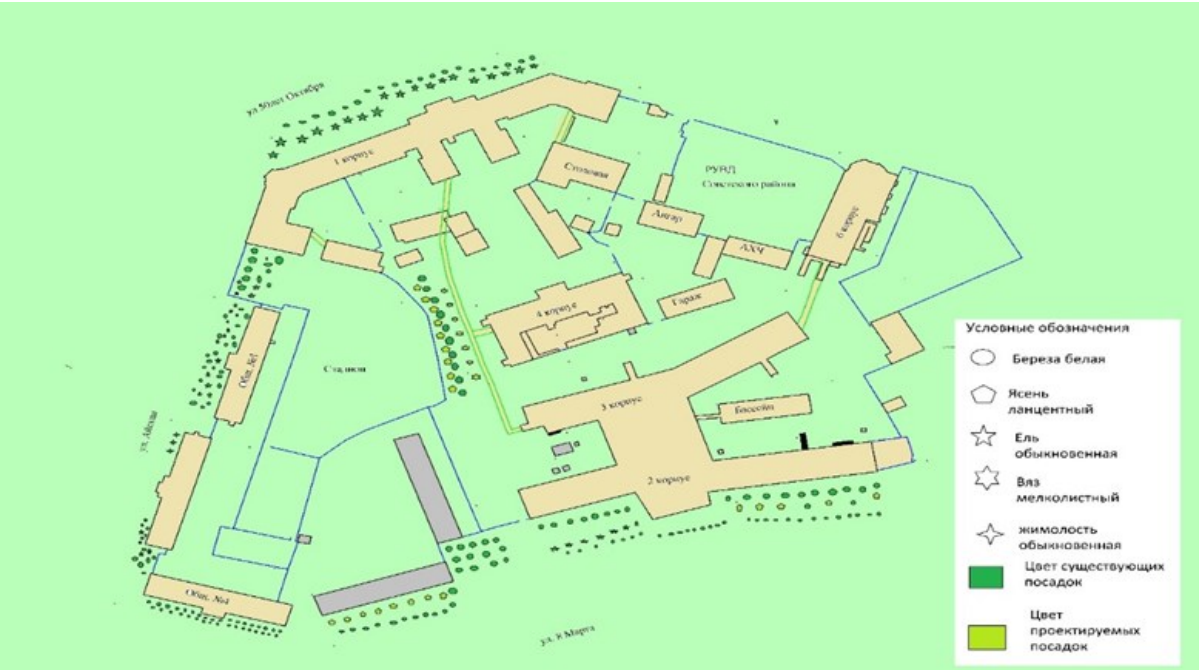
Таблица 1

Пылезадерживающая способность листьев некоторых деревьев и кустарников

Порода	Количество пыли на 1 кв.см поверхности листа, г
Липа мелколистная	1.21
Акация белая	1.2
Сирень обыкновенная	3.6
Тополь канадский	1.82
Ива белая	0.6
Бирючина	2.7
Береза бородавчатая	1.87
Каштан конский	1.29
Клен ясенелистый	5.41
Вяз перистоветвистый	12.5
Вяз шершавый	7.12
Вяз гладкий	2.94

Приблизительно в равных процентных соотношениях находятся ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) H.KARST.) – 6,37%, ясень ланцетный (*Fráxinus lanceolata* Borkh.) – 5,33%, рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) – 5,21%, тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) – 4,05%. В незначительном количестве (не более 2%) присутствуют тополь пирамидальный (*Populus pyramidalis* SALISB.) – 1,9%, черемуха Маака (*Prunus maackii* RUPR.) – 1,9%, яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.)BORKH.) – 1,6%, клен остролистный (*Acer platanoides* L.) – 1,5%, туя западная (*Thuja occidentalis* L.) – 1,27%.

На территории БГАУ площадь зеленых насаждений меньше рекомендуемых нормативов в среднем на 15-32%. Поэтому есть необходимость проведения новых посадок (см. рисунок).



План существующих и проектируемых насаждений на территории БГАУ

Территория БГАУ располагается около больших дорог, следовательно, она ежедневно загрязняется автомобильной пылью и выхлопными газами.

Основными элементами территории расположенной неподалеку от дороги, станут многоярусные живые изгороди и экраны. Для этой цели годятся липа крупнолистная (*Tilia platyphyllos*), вяз мелколистый (*Ulmus parvifolia*), ива ломкая шаровидная (Salix *fragilis f. Globosa)*. Из менее монументальных подойдут скумпия кожевенная (*Cotinus coggygria*) и рябина Кузнецова (*Sorbus kusnetzovii*).

Не пострадают от близости шоссе и такие кустарники, как лапчатка кустарниковая (*Potentilla fnuticosa*), дерен белый (*Cornus alba*), магония падуболистная (*Mahonia aquifolia*), снежноягодник белый (*Symphoricarpos albus*), бузина и калина обыкновенная (*Viburnum opulus*), жимолость татарская (*Lonicera tatarica*), черемуха Маака (*Padus maackii*), лох серебристый (*Elaeagnus argentea*), роза морщинистая (*Rosa rugosa* THUNB.), сирень обыкновенная (*Syringa vulgaris* L.) и венгерская (*Syringa josikaea* J. JACQ. EX RCHB.).

Из хвойных пород для внешних посадок следует использовать лиственницу даурскую (*Larix dahurica* Turcz.), которая, сбрасывая на зиму свою хвою, как и все листопадные растения, избавляется от токсинов, накопившихся за сезон; в условиях сильной загазованности также можно сажать ель канадскую и сосну горную.

Изучив состояние древесно-кустарниковых пород, можно сделать вывод, что следует провести мероприятия по уходу за ранее посаженной древесно-кустарниковой растительностью: рубки ухода, внесение удобрений в почву, санитарно-гигиеническая и омолаживающая обрезки (Исяньюлова и др., 2011).

Библиографический список

1. Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 года в Среднем Поволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2014. – № 4 (11). – С. 217-229
2. Блонская, Л.Н. Ландшафтно-экологическая оценка зеленых насаждений территорий ограниченного пользования / Л.Н. Блонская // Вестник БГАУ. – Уфа, 2010. – № 3. – С. 38-43.
3. Исяньюлова Р.Р. Экологическое значение городских насаждений (на примере г. Уфы) // Актуальные проблемы экологии Волжского бассейна: матер. III Молодежной науч. конф. – Тольятти, 2010. – С. 90-93.
4. Исяньюлова Р.Р. Экологическая роль рекреационных насаждений./ Исяньюлова Р.Р., Рахматуллин З.З., Тагиров В.В.// Актуальные проблемы мониторинга экосистем антропогенно-нарушенных территорий: матер. науч.-практич. конф. с международным участием. – Ульяновск. – 2011. – С. 39-41.
5. Курбанов, Э.А. Бюджет углерода сосновых экосистем Волго-Вятского района / Э.А. Курбанов. – Йошкар-Ола, 2002. – 300 с.
6. К вопросу об углерододепонирующих насаждениях / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, Л.С. Мошкина, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // Вестник МарГТУ. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2008. – №3 – С. 5-17.
7. Курбанов, Э.А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: учебное пособие; рекомендовано УМО по образованию в области лесного дела / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев/ ПГТУ. – Йошкар-Ола. 2014. – 254 с.
8. Моисеев, В.С. Ландшафтная таксация и формирование насаждений пригородных зон / В.С. Моисеев, Н.М Тюльпанов, Л.Н Яновской и др. – Л.: Стройиздат, Ленинград. отд-ние, 1977. С. 28-37.
9. Tikina, A.V. Extreme weather events and long-term forestry obligations: is reliance on forest certification possible? /A.V. Tikina, E.A. Kurbanov // Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искусственные системы: засуха 2010 г. в Поволжье России: материалы международной научной конференции NASA и семинара GOFC-GOLD/NEESPI [Электронный ресурс]. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. – С. 145-148.

УДК 573.6

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЗЕЛЕНОЙ БИОТЕХНОЛОГИИ

Е. М. Цветкова, Е. Ю. Салдаева
Поволжский государственный технологический университет

В статье рассматриваются проблемы биотехнологий в лесной отрасли , которые возникают при выращивании посадочного материала, производстве биологических средств защиты лесов, создании новых форм древесных растений с заданными характеристиками, в том числе с применением методов генной инженерии, генетической паспортизации и сертификации семян, оценки качества древесины.

Ключевые слова: *биотехнология, воспроизводство лесов, стандартизация, сертификация.*

REGULATORY QUALITY ASSURANCE OF GREEN BIOTECHNOLOGY

E. M. Tsvetkova, E. Y. Saldaeva
Volga State University of Technology

The article deals with the problems of biotechnology in the forest sector, which occur during the growth of planting material, in production of biological means of forest protection, during creation of new forms of woody plants with specified characteristics, including with the use of genetic engineering, genetic certification and seed certification, evaluation of wood quality.

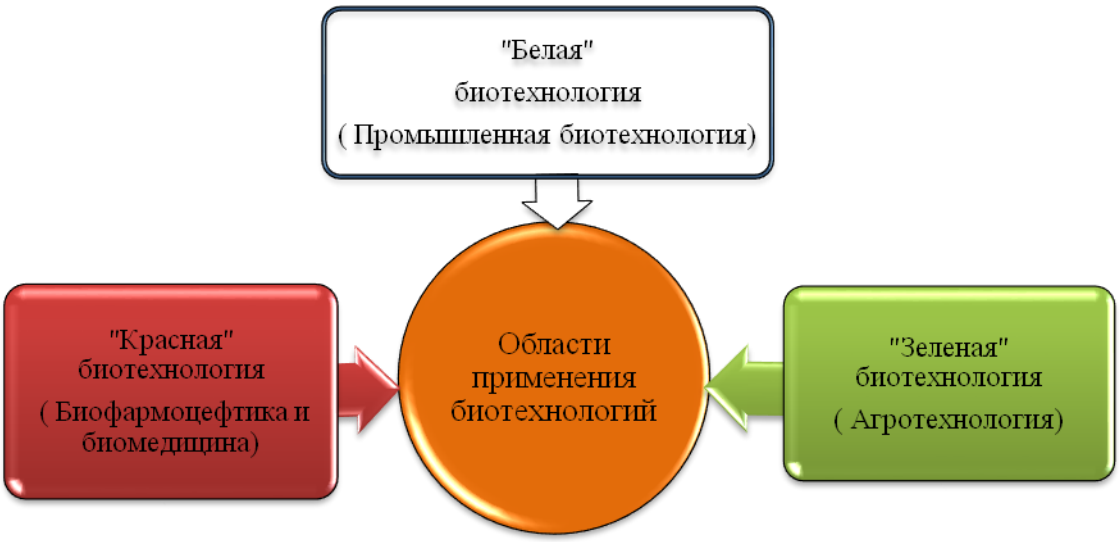
Key words*: biotechnology, reforestation, standardization, certification.*

Будущее лесного хозяйства России в настоящее время определяют два ключевых документа: Программа развития лесного хозяйства БИО-2020 и Концепция развития национальной системы стандартизации РФ на период до 2020 года (Жигунов, 2013; Комплексная программа…, 2012). Перед лесной промышленностью поставлены серьезные задачи, а для их успешного выполнения необходимо пересмотреть устаревшие и принять новые отраслевые стандарты, гармонизированные с международными требованиями. Такие шаги обеспечат единство измерений и качества продукции, что в свою очередь будет способствовать устранению барьеров в международной торговле, повышению конкурентоспособности российской продукции.

В данной программе рассматривается вопрос совершенствования нормативной базы в области биотехнологий, в рамках которой предусмотрена разработка новых технических регламентов Таможенного союза, межгосударственных и национальных стандартов, в том числе «зеленых» стандартов. Стандарты планируются разрабатывать по таким областям, как биомедицина, лесная и природоохранная биотехнология и др. (Комплексная программа…, 2012).

В настоящее время биотехнология получила широкое распространение в разных сферах деятельности, например в медицине, химической и пищевой промышленности, энергетике. Особое место биотехнология занимает при создании технологий, направленных на охрану окружающей среды (производство биоразлагаемых материалов, воспроизводство лесов и др.).

Существует «цветовая» классификация биотехнологии (см. рисунок). Здесь выделяют следующие виды: «белая» биотехнология (морская биотехнология, биоэнергетика, биогеотехнология и др.), «красная» (лекарственные препараты, вакцины, биочипы и др.) и



«Цветовая» классификация биотехнологии

«зеленая» (лесная промышленность, молекулярная селекция животных и растений и д.р.) (Скобелев и др., 2014).

В лесной зоне России широко используемые на практике упрощенные технологии закладки и выращивания лесных культур, как правило, не дают им преимуществ в росте по сравнению с молодняками естественного происхождения. К числу наиболее значимых факторов, дающих огромный потенциал улучшения, относится применение селекционно-улучшенного посадочного материала.

Методы биотехнологии в лесной отрасли можно использовать для выращивания посадочного материала, производства биологических средств защиты лесов, создания новых форм древесных растений с заданными характеристиками, в том числе с применением методов генной инженерии, генетической паспортизации и сертификации семян, оценки качества древесины (Жигунов, 2013).

Ключевым документом, определяющим направление развития лесной отрасли, является Концепция Федеральной целевой программы «Развитие лесного хозяйства на период 2013-2020 годов». В документе говорится о создании и функционировании объектов Единого генетико-селекционного комплекса (ЕГСК) как базы для воспроизводства лесов с повышенной продуктивностью, качеством и устойчивостью насаждении. Но Программой, к сожалению, не предусматривается целевой отбор элитных клонов на основе ранней их диагностики по качественным показателям. Между тем практика давно предъявляет к генетическому материалу свои требования не только по быстрому росту и повышенной производительности насаждений, но и по особым техническим свойствам выращиваемой древесины (Комплексная программа...2014). Модель интенсивного устойчивого лесного хозяйства основана на принципе непрерывности и неистощительности лесопользования на конкретном лесном участке, который обеспечивается формированием лесонасаждений с количественными и качественными характеристиками, позволяющими вести в них экономически эффективное хозяйство. Неотъемлемой составляющей модели интенсивного устойчивого лесного хозяйства является сбор и анализ информации о насаждениях, оценка ресурсов и прогнозирование рыночного потенциала различных сортиментов и эффективное лесовосстановление с сохра-

нением биоразнообразия. Основой управления лесами становится стратегическое планирование результатов использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов.

В решении этой проблемы важную роль играют наличные запасы лесных культур, однако здесь необходимо учесть следующие моменты. Во-первых, искусственное лесовозобновление пока ориентировано в основном на ускоренное получение большей биомассы, что часто формирует древесину с меньшей плотностью и соответственно пониженной жесткостью и прочностью.

Во-вторых, практически пока никем не учитывается потенциальное качество семян по принадлежности к определенному генотипу дерева с известными физико-механическими свойствами древесины, а посадочный материал не диагностируется по этим показателям.

Следовательно, традиционные способы создания лесных культур путем сбора шишек, получения семян, посадочного материала и выполнения комплекса лесокультурных работ, (причем многократно, на протяжении нескольких лет, с немалыми затратами) в этом аспекте далеко не всегда бывают эффективными. Например, общая стоимость одного гектара целевой плантации, созданной на селекционной основе, составляет к возрасту рубки не менее 1,0 млн руб. Использование биотехнологий, разработанных в рамках программы БИО-2020, способствует решению данного вопроса (Комплексная программа…, 2012, 2014).

До сих пор в России по существу остаются нерешенными вопросы по выявлению потенциальных запасов, стандартизации, сертификации, рационально-целевому использованию и выращиванию такого особенного природного сырья хотя бы с целью сохранения его генофонда. В этом аспекте особым сдерживающим фактором является отсутствие в широкой практике современной нормативной базы и методов оценки.

В рамках принятой Программы предусматривается широкое распространение международных Систем лесной сертификации, преимущественно по модели FSC (Курбанов, Воробьев, 2014), как инструмента оценки соответствия ведения лесного хозяйства критериям сохранения и устойчивого управления лесами в рамках Программы ООН по окружающей среде и развитию, которую подписала и Россия (Рио-де-Жанейро, 1992; 2002; 2012 «РИО+20»).

К сожалению, лесная сертификация, в том числе по системе FSC, проводится путем анализа социально-управленческой деятельности на данной административной территории и на основе глазомерной оценки деревьев в насаждениях (выборочно), а также по материалам лесоустройства, которые в последние годы редко обновляются (Tikina, Kurbanov, 2012).

Между тем имеются Системы экологической сертификации по ISO 14001 и другие, которые предусматривают комплексный и более объективный подход к оценке качества всех элементов системы, включая саму продукцию. Поэтому целесообразно изучить возможности их внедрения в лесную сертификацию, основываясь на объективных методах квалиметрии (Федюков и др, 2012; Федюков и др., 2013). Эффективность отечественной лесной сертификации во многом будет определяться уровнем нормативно-методической базы, разработанной и гармонизированной с учетом международных требований.

Разработка стандартов в области биотехнологий также является приоритетным направлением стандартизации в других странах. Так, например, в Международной организации по стандартизации (ИСО) в 2013 г. по инициативе Немецкого института по стандартизации (01M) был создан ИСО/ТК 276 «Биотехнологии».

В настоящее время деятельность российских ТК, работающих в этом направлении, не согласована, статистические данные собрать крайне сложно. В связи с тем, что работа по стандартизации в области биотехнологий носит характер государственной важности, во исполне-

ние п. 4 Протокола заседания президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 04.02.2014 № 1 на базе ФГУП «ВНИЦСМВ» был создан профильный ТК 326 «Биотехнологии». ТК 326 ставит себе целью координировать деятельность ТК, проводящих работы по стандартиза-ции в области биотехнологий (Скобелев и др., 2014).

В лесной отрасли, как нигде, управление качеством продукции тесно связано с разработкой и внедрением мероприятий по повышению эффективности производства за счет применения биотехнологий, контролю и улучшению качества на всех технологических операциях. Настала пора актуализировать основополагающие нормативные документы, а также разработать новые подходы с учетом современных требований ВТО и ТС.

Необходимо заинтересовать арендаторов в применении лесной сертификации как эффективного инструмента, позволяющего обеспечивать управление лесами с целью воспроизводства лесов с улучшенными наследственными свойствами, повышающими продуктивность, качество и устойчивость насаждений.

Библиографический список

1. Жигунов, А.В. Применение биотехнологий в лесном хозяйстве России/ А.В. Жигунов // Известия вузов «Лесной журнал». – 2013. – № 2. – С. 30-36.
2. Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года, утверждена Председателем Правительства РФ 24.04.2012 № 1853п- П8.
3. Комплексная программа развития лесного хозяйства в Российской Федерации на период до 2020 года, утверждена Председателем Правительства РФ 15.04.2014 № 318.
4. Курбанов, Э.А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: учебное пособие; рекомендовано УМО по образованию в области лесного дела / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев. – Йошкар-Ола, ПГТУ. – 2014. – 254 с.
5. Стандартизация в области биотехнологий / Д.О. Скобелев, Е.Н. Веснина, И.А. Косорукова, А.О. Уткин // Стандарты и качество. – 2014. – № 12. – С. 37-40.
6. Федюков, В.И. Квалиметрия в лесной отрасли должна быть объективной / В. И. Федюков, Е. Ю. Салдаева, Е. М. Цветкова // Стандарты и качество. – 2013. – №7. – С. 84-86.
7. Федюков, В.И. Ранняя диагностика технического качества подроста как важный элемент интенсификации лесопользования в России / В.И. Федюков, Е.Ю. Салдаева, Е.М. Цветкова // Лесной журнал. – 2012. – №6. – С. 16-23.
8. Tikina, A.V. Extreme weather events and long-term forestry obligations: is reliance on forest certification possible? /A.V. Tikina, E.A. Kurbanov // Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искусственные системы: засуха 2010 г. в Поволжье России: материалы международной научной конференции NASA и семинара GOFC-GOLD/NEESPI [Электронный ресурс]. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. – С. 145-148.

УДК 630.181*625.7/.8

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ТРАССЫ «ФОРМУЛА-1» В Г. СОЧИ

А. С. Шевченко
Поволжский государственный технологический университет

Изучалось влияние от трассы «Формула-1» на окружающую среду Имеретинской низменности. Сделаны выводы, что уникальность местности по многим факторам могла бы сделать её заповедным местом федерального значения. Однако ровная поверхность местности, плодородная почва, благоприятный климат, а главное близость моря, делают эти земли пригодными для застройки и хозяйственного освоения.

Ключевые слова: *оценка воздействия на окружающую среду, шоссейно-гоночная трасса «Формула-1», шумовое загрязнение, загрязнение атмосферного воздуха, биоразнообразие орнитофауны, спортивный автомобиль, Имеретинская низменность.*

ENVIRONMENTAL IMPACT ASSESSMENT OF “FORMULA 1” RACE TRACK IN SOCHI

A. S. Shevchenko
Volga State University of Technology

This article examines the impact of “Formula 1” race track on Imereti lowland environment. Were drawn conclusions that for many factors the uniqueness of the area would make it protected site of federal significance. However, flat field of the territory, fertile soil, favorable climate, and the most importantly proximity to the sea, make the land suitable for building and development.

Keywords: *environmental impact assessment, race track "Formula 1", noise pollution, air pollution, biodiversity of avifauna, sports car, Imereti lowland.*

Экологическая безопасность является одним из основных показателей эффективности инвестиций в развитии автомобильных дорог и устойчивое развитие территорий (Курбанов, Воробьев, 2014; Tikina, Kurbanov, 2012). Показатели экологической безопасности должны рассматриваться в комплексе с характеристиками экономической эффективности проекта. Экологическая безопасность автомобильных дорог достигается путем разработки и применения в проектной документации на строительство, реконструкцию, ремонт и содержание технических решений, ограничивающих негативные воздействия на окружающую среду (Курбанов и др., 2013) допустимыми уровнями, при которых не возникает вредных последствий для здоровья населения, не происходит необратимых изменений природной среды, ухудшения социально-экономических условий обитания людей. При подготовке документации, обосновывающей строительство и реконструкцию автомобильных дорог, процедура оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) является обязательной. Большую роль в этом процессе играют современные методы дистанционного зондирования Земли (Воробьев, Курбанов, 2013; Воробьев и др., 2014, 2015; Курбанов и др., 2014).

Исследованиями негативного воздействия автомобильных дорог и гоночных трасс на окружающую среду занимаются относительно недавно, и на сегодняшний день еще очень мало как расчетных, так и фактических данных об экологическом состоянии территорий вдоль автодорог. Кроме того, не разработаны экологические требования к состоянию природной среды в зоне влияния автомобильных дорог. Мало что делается для прогноза вредного воздействия транспортных сооружений на окружающую среду и проектирования мероприятий, компенсирующих или предотвращающих это воздействие. Недостаточность методов и средств решения этих задач приводит к трудностям в управлении транспортным освоением территории, что снижает их эффективность.

К соревнованиям Гран-при «Формулы-1» (2014 г.) в России построили трассу для проведения шоссейно-кольцевых автомобильных гонок с дальнейшей эксплуатацией. Трасса Гран-при имеет общую длину 5874 м с 11 правыми поворотами и 5 левыми поворотами, участники едут по трассе по часовой стрелке. Ширина трассы составляет от 13 м до 20 м; прямая старта/финиша имеет ширину 15 м относительно стартовой решетки и длину 476 м. С расчетной средней скоростью 216 км/ч ожидаемое время заезда составляет примерно 97,05 секунд. После соревновательного периода эксплуатируется лишь малый круг трассы в определенные часы, поэтому воздействие будет распространяться лишь на ближайшие жилые зоны. Расстояние от трассы до жилой зоны составляет ≈ 70 м. Постоянная гоночная трасса с общей длиной 2315 м может ежедневно использоваться для национальных, международных и испыта-

тельных целей. На данном этапе планируется эксплуатация автомашин серии Sport car, следовательно, все расчеты будут проводиться согласно их характеристикам.

Объекты «Трасса для проведения шоссейно-кольцевых автомобильных гонок серии "Формула-1" в Имеретинской низменности и объекты инфраструктуры, обеспечивающие ее функционирование (проектные и изыскательские работы, строительство)» расположены в Краснодарском крае на территории Имеретинской низменности в Адлерском районе г. Сочи.

Имеретинская низменность находится на южном склоне Большого Кавказа между реками Мзымта и Псоу в административных границах Адлерского района г. Сочи Краснодарского края.

Земельный участок ограничен:

- с севера – зоной строительства совмещенной (автомобильная и железная) дороги Адлер – Горноклиматический курорт Альпика - Сервис;
- с юга – территорией строительства Олимпийского парка;
- с востока – территорией строительства Олимпийского парка;
- с запада – кварталами существующей малоэтажной застройки, особоохраняемой территорией регионального значения – природного орнитологического парка.

Объект находится в районе расположения Имеретинской низменности, которая в орнитологическом отношении является одной из ценнейших природных территорий Северо-Западного Кавказа. Она включена в число ключевых орнитологических территорий России, имеющих международное значение, в список международных водно-болотных угодий России по критериям Рамсарской конвенции.

Имеретинская низменность является единственным пристанищем для птиц, зимующих здесь и отдыхающих во время более дальней миграции, а также для некоторых местных видов птиц, которые выводят птенцов, – гнездующихся. Миграционные пути у перелётных птиц сложились в течение многих тысячелетий. Несмотря на то, что условия пребывания птиц на Имеретинской низменности из года в год становятся всё хуже и хуже, во-первых, из-за охоты, (особенно приобретшей катастрофический размах в связи со слухами о птичьем гриппе), во-вторых, из-за непрекращающегося освоения земель человеком. Птицы вынуждены снова и снова останавливаться на Имеретинской низменности, т.к. подобного места на Черноморском побережье от Анапы до Сочи просто нет. В период перелётов, особенно в холодные годы, на один квадратный километр сельскохозяйственных угодий иногда можно встретить до 3 тысяч особей, птицами бывают «покрыты», не только озёра, но и поля.

В целом необходимо отметить, что экспертируемый участок имеет существенное значение для остановок пролётных и пребывания зимующих видов птиц, относящихся к объектам охоты. В летний период, а также зимой была замечена гибель птиц у шумозащитных экранов. Проблема заключается в том, что экраны прозрачные и птицы бьются о них, при этом летом погибших птиц было замечено в 5 раз больше.

Для сохранения биологического разнообразия птиц был построен Природный орнитологический парк, на территории которого имеются зеленые насаждения, водные объекты и необходимый прикорм.

Объект размещается на территории (вторая зона горно-санитарной охраны курорта), имеющей статус особоохраняемой территории (рис. 1).

При оценке воздействия на окружающую среду от трассы для проведения шоссейно-кольцевых автомобильных гонок серии «Формула-1» были проанализированы и выделены такие аспекты, как:

Рис. 1. Карта-схема Имеретинской низменности

- шумовое загрязнение;
- загрязнение атмосферного воздуха;
- влияние на орнитофауну.

Шум – любой нежелательный звук, или совокупность звуков, оказывающих неблагоприятное воздействие на организм человека. Звук – механические колебания частиц упругой среды под воздействием какой-либо возмущающей силы. Акустические колебания в диапазоне 16 - 20000 Гц, воспринимаемые слуховым аппаратом человека, называют звуковыми, а пространство их распространения – звуковым полем. Колебания ниже 16 Гц – инфразвуковые, выше 20000 Гц – ультразвуковые (Луканин, 2003).

Шумовые характеристики Sport car приняты по данным технического задания. Максимальные уровни звука от главной трибуны приняты, как для открытого спортивного сооружения (футбол).

Нормы допустимого шума в соответствии с СП 51.13330.2011 «Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23-03-2003» (табл. 1).

Измерения были произведены с помощью шумомера – специального прибора для измерения спектра шума.

При расчете шума в программе «Эколог-шум» 2.3 Стандарт (фирма «Интеграл») применялась «Яндекс.Карты» в виде графической подложки, охватывающая необходимый участок трассы (малый круг) (рис. 2), с последующей привязкой. Использование графической подложки позволяет повысить наглядность карты, а также упростить занесение векторных объектов (точек, прямоугольников, полигонов и т.д.), которое можно выполнить путем обводки контуров.

Таблица 1

Нормы допустимого шума

Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Уровень звукового давления (эквивалентный уровень звукового давления) *L*, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука LA (эквивалентный уровень звука LAэкв), дБА	Максимальный уровень звука *LAмакс*, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000		
1.Территории, непосредственно прилегающие к жилым зданиям, домам отдыха	**7.00-23.00**	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
	23.00-7.00	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45	60
2.Жилые комнаты квартир	**7.00-23.00**	79	63	52	45	39	35	32	30	28	45	60
	23.00-7.00	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30	45

Рис. 2. «Олимпийский парк»

Одним из основных этапов работы в программе является занесение источника шума, в данном случае – автомобильный транспорт. Тип – линейный источник шума. Для всего диапазона среднегеометрических частот (СГЧ) указываются уровни звукового давления, в Дб. Уровень звука La, ДбА. Вводится значение звуковой мощности, которые с помощью шумомера были заранее замерены. После расчета программа автоматически разложит в спектр значение La. Угол распространения звуковой волны рассчитывается автоматически, если заранее не внести его в программу.

Препятствие распространению шума может быть описано в двухмерной системе координат, у которого дополнительно заданы высота подъема нижней кромки и вертикальный размер, но так как такие данные отсутствуют, то мы выделяем препятствия полигоном.

Препятствия шуму: 005 Здание главной трибуны; 006 Здание трибуны; 007-010 Здание команд; 012-013 Федеральная трасса города.

Главным препятствие шуму является Федеральная трасса, а именно наличие шумозащитных экранов.

Так как на данной территории отсутствуют значительные посадки зеленых насаждений, то зоны затухания, которые могли бы повлиять на расчет, не заносятся.

После выделения особой зоны, а именно жилой зоны, на которую происходит влияние шумового воздействия, обозначаем расчетные площадки и проводим расчет (рис. 3).

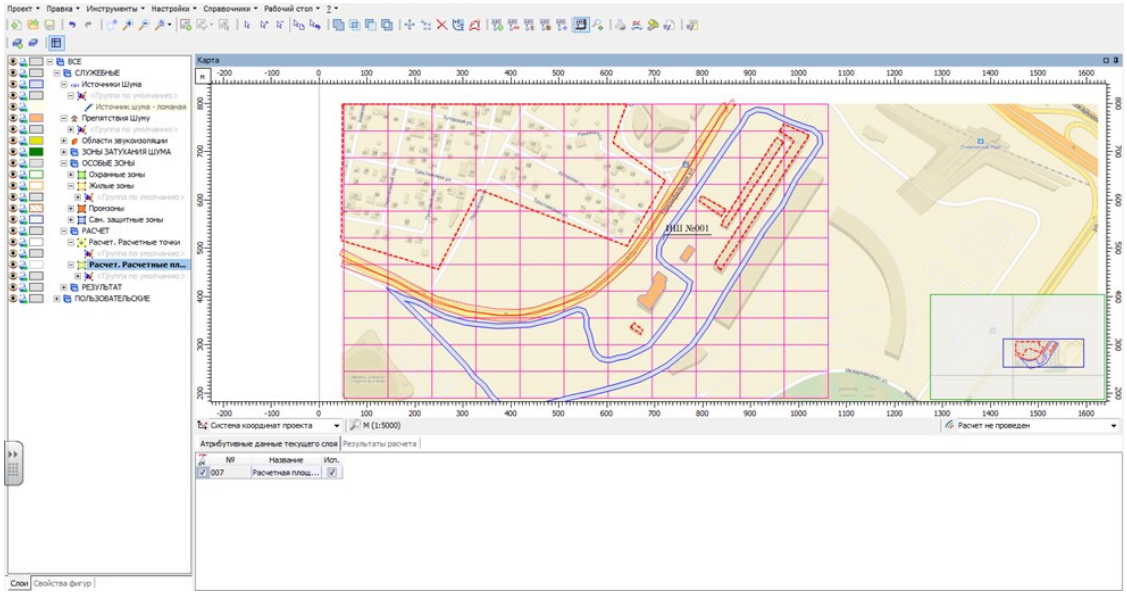


Рис. 3. Расчет. Расчетные площадки

По расчетам можно проследить превышение нормы допустимого шума. Не учитывались строения жилой зоны, что является значительным минусом программы. Также возникли сложности с нанесением на карту экранов шумозащиты, эффективная величина звукоизоляции воздушного шума которых до 31 дБ. Эти параметры значительно снизили бы полученные данные.

В результате с учетом препятствий мы получаем следующие данные (таблица 2):

Таблица 2

Результаты измерений

Назначение помещений или территорий	Время суток, ч	Уровень звукового давления (эквивалентный уровень звукового давления) *L*, дБ, в октавных полосах частот со среднегеометрическими частотами, Гц									Уровень звука *LA* (эквивалентный уровень звука *LAэкв*), дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Полученные результаты	12.00-16.00	114,35	117,35	119,35	120,07	115,46	112,52	110,82	108,8	104,26	105,7
1.Территории, непосредственно прилегающие к жилым зданиям, домам отдыха	7.00-23.00	90	75	66	59	54	50	47	45	44	55
	23.00-7.00	83	67	57	49	44	40	37	35	33	45
2.Жилые комнаты квартир	7.00-23.00	79	63	52	45	39	35	32	30	28	45
	23.00-7.00	72	55	44	35	29	25	22	20	18	30

По данным таблицы мы наблюдаем значительные превышения, которые не только встречаются в повседневной жизни, но и при определенной длительности могли бы навредить здоровью, но так как в расчете не были учтены экраны шумозащиты и защищенность домов, что значительно снизило бы показатели, то можно утверждать: вреда здоровью населения шумовое воздействие от трассы не несет.

Спортивный автомобиль, или спорткар (от англ. *sports car*) — условно-обобщённое наименование широкого класса двух-, редко четырёхместных легковых автомобилей, имеющих более высокие скоростные качества и соответственно повышенную мощность мотора (удельную мощность, моторизацию) и низкую посадку кузова (дорожный просвет, клиренс). В отличие от гоночных автомобилей, спортивные автомобили предназначены для езды по дорогам общего пользования (а значит, проходят государственную регистрацию, должны иметь полный комплект световых приборов и номерные знаки). Спорткары (к примеру, такие как Porsche GT3 RS) ещё принято называть Рингтулом (пакет опций, позволяющий уверенно чувствовать себя на гоночной трассе). Типичный Рингтул включает спортивную и более жёсткую подвеску, аэродинамический обвес, спортивную тормозную систему и сварной каркас безопасности. Потребление бензина у автомобиля Bugatti Veyron, при заявленном производителем среднем потреблении в 20,7 л/100 км, в режиме городской езды равняется 40 л/100 км. При скорости 400 км/ч потребление топлива возрастает до 100 л/100 км. У рекордсмена по мощности и стартовому ускорению, модели Maxximus G-Force, объёма 70-литрового бензобака хватает на 9 минут езды.

Источниками выделений загрязняющих веществ являются двигатели автомобилей, перемещающихся по территории предприятия. За основу расчета был взят легковой гоночный автомобиль. Расчеты загрязнения атмосферного воздуха проводятся с помощью программы серии «ЭКО ЦЕНТР» «Автотранспортное предприятие».

В целом следует отметить, что наблюдается существенное влияние трассы «Формула-1» на окружающую среду, в частности на орнитофауну. Можно также сделать выводы, что уникальность Имеретинской низменности по многим факторам могла бы сделать её заповедным местом федерального значения. Однако ровная поверхность местности, плодородная почва, благоприятный климат, а главное близость моря, делают эти земли пригодными для застройки и хозяйственного освоения.

Библиографический список

1. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева// Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1(25).– С. 5-21.
2. Методика выявления степени повреждения древостоев после пожаров 2010 года в Среднем Поволжье / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – № 4 (11). – 2014. – С. 217-229.
3. Воробьев, О.Н. Мониторинг состояния растительного покрова на территории Республики Марий Эл с использованием ENVISAT MERIS / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013.– № 7(99). – С. 42–-45.
4. Курбанов Э.А. Лесоводство. Международное лесное хозяйство: учебное пособие; рекомендовано УМО по образованию в области лесного дела / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев/ ПГТУ. – Йошкар-Ола. 2014. – 254 с.
5. Оценка загрязнений древостоями отходами силикатного производства по снимку Rapid Eye / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Том 10 – № 2.– С. 88-97.
6. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, и др. // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21).– С. 18-32.

7. Луканин, В.Н. Промышленно-транспортная экология / В.Н. Лукашин. – М.: Выс. школа, 2003. – 273 с.
8. Auto motor sport // [Электронный ресурс]. – URL: http://www.auto-motor-und-sport.de/seite-nicht-gefunden-649541.htmlwww.auto-motor-und-sport.de/seite-nicht-gefunden-649541.html (дата обращения: 26.05.2015).
9. Maxximus G-Force // [Электронный ресурс]. – URL: http://www.autozeitung.de/ Autozeitung.de (дата обращения: 25.05.2015).
10. Tikina, A.V. Extreme weather events and long-term forestry obligations: is reliance on forest certification possible? / A.V. Tikina, E.A. Kurbanov // Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искусственные системы: засуха 2010 г. в Поволжье России: материалы международной научной конференции NASA и семинара GOFC-GOLD/NEESPI [Электронный ресурс]. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. – С. 145-148.

УДК 630*581

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАРАСТАНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ МАРИЙСКОГО ЗАВОЛЖЬЯ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТЬЮ ПО ДАННЫМ ДЗЗ

С. А. Лежнин
Поволжский государственный технологический университет

В статье исследуется метод определения зарастания залежей Марийского Заволжья древесной растительностью по спектральным характеристикам молодняков на мультивременных снимках Landsat.

Ключевые слова: *спектральные характеристики, залежь, спутниковый снимок*

DETECTION OF AFFORESTATION ON ABANDONED LANDS IN MARI ZAVOZHJE WITH THE USE OF REMOTE SENSINGS.

A. Lezhnin
Volga State University of Technology

In the article a method of afforestation on abandoned lands detection in Mari Zavozhje region by tree vegetation was studied with the use of spectral characteristics of young forests on time series Landsat images.

Key words: *spectral characteristics, abandoned lands, satellite image*

В последние годы проблема зарастания бывших сельскохозяйственных земель лесной растительностью привлекает внимание исследователей во многих странах мира. В России вопросы зарастания сельскохозяйственных земель обычно рассматриваются в связи с оценкой биомассы лесных насаждений (Курбанов и др, 2010б). Например, научный коллектив центра устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов ПГТУ исследовал накопление фитомассы в молодых березняках, произрастающих на залежах в Марийском Заволжье (Курбанов и др, 2010а; Курбанов и др, 2011; Лежнин и др., 2012; Лежнин, Акбаров, 2014).

В связи с развитием технологий и необходимостью снижения затрат на подобные исследования в последние годы большую популярность приобрело обращение к спутниковым данным (Хлюстов, 2011). Английские ученые использовали разновременные снимки для картографирования наземного покрова (Lucas et al, 2007), а ученые из Бразилии проводили оценку лесных экосистем на основе мультивременного анализа данных наземного покрова по индексу NDVI (Pinto, Fernandes, 2011).

Цель работы – выявление периода начала зарастания древесной растительностью залежей Республики Марий Эл с помощью мультивременных спутниковых снимков Landsat. Для выполнения этой цели были решены следующие **задачи**:

- заложены пробные площади на залежах для сбора информации о зарастании;
- подобраны спутниковые снимки Landsat на исследуемую территорию за период с 1999 по 2010 год, которые использовались для получения мультивременных композитов;
- получены данные по спектральным характеристикам молодняков хвойных и лиственных пород для выявления периода начала зарастания залежей древесной растительностью.

Результаты исследования

Полевые исследования, в ходе которых было заложено 205 тестовых участков на залежах, зарастающих молодняками древесных пород, проводились в период с 2007 по 2010 гг. Координаты каждой пробной площади фиксировались с помощью GPS-приёмника GARMIN eTrex.

По собранным данным в программе ArcGIS был создан векторный слой заложенных пробных площадей, который был использован в качестве векторной маски для извлечения спектральных значений каждого тестового участка на каждом снимке за период исследования. Всего было выделено 213584 пикселей для участков с хвойными породами и 256877 пикселей для участка с лиственными породами. Все полученные спектральные характеристики были статистически обработаны с получением минимальных, максимальных и средних значений, а также среднеквадратического отклонения для выбора наиболее информативных каналов при последующей классификации спутниковых снимков (табл. 1).

Таблица 1

Статистические показатели спектральных характеристик пикселей, расположенных на тестовых участках, зарастающих березой, на снимке Landsat 2011 года

Спектральный канал	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднеквадратичное отклонение
1	153,8	65	211	57,6
2	178,3	116	197	43,56
3	244,9	219	254	42,0
4	147,2	99	199	30,9
5	43,1	21	87	19,5
7	139,8	99	173	32,6
NDVI	68,6	51	89	11,7

Как видно из таблицы 1, спектральные характеристики на изображении молодых березовых (*Betula Pendula*) насаждений на землях залежей, имеющие наименьшие значения среднеквадратического отклонения, характерны для 5 (инфракрасного) канала, а также для изображения NDVI. Подобная же картина наблюдается для участков, которые зарастают молодняками сосны обыкновенной (*Pinus Sylvestris*) (табл. 2).

Таблица 2

Статистические показатели спектральных характеристик пикселей, расположенных на тестовых участках с сосной, на снимке Landsat 2011 г.

Спектральный канал	Среднее значение	Минимальное значение	Максимальное значение	Среднеквадратичное отклонение
1	167,988	127	198	21,981
2	212,685	200	224	19,553
3	87,145	65	93	27,689
4	200,233	135	255	57,883
5	140,113	132	168	15,158
7	157,457	132	189	38,845
NDVI	92,358	86	111	10,887

Поэтому для работы по изучению динамики изменений в молодняках древесных пород, произрастающих на землях залежей, были выбраны 5 спектральный канал спутникового снимка Landsat и изображение NDVI. В таблице 3 представлены средние значения яркостных характеристик покрова молодняков на тестовых участках, распределенные по дате съемки и породному составу.

Таблица 3

Средние значения яркостных характеристик тестовых участков в 5 спектральном канале и на изображении NDVI

Спектральный канал	Год съемки							
	1985	1988	1998	1999	2001	2005	2010	2011
Тестовые участки, зарастающие березой								
5	218	253	254	254	157	148	143	140
NDVI	60	62	70	69	100	188	165	188
Тестовые участки, зарастающие сосной								
5	250	243	210	198	218	167	68	49
NDVI	63	71	68	63	64	118	125	128

По этим данным были построены графики средних значений спектральных характеристик молодняков лиственных (рис. 1) и хвойных (рис. 2) пород за 25-летний период.

На рисунке 1 видно, что с 1985 по 1999 год спектральные характеристики тестовых участков на залежах, зарастающих молодняком березы, в 5 спектральном канале были довольно высокими. Это свидетельствует о том, что в те годы сельскохозяйственные угодья были в пользовании и на них еще не было молодняков древесных пород. В период с 1999 по 2001 год произошло снижение значений спектральных характеристик, что говорит об изменении наземного покрова в сторону увеличения фитомассы и появлении молодняков древесных пород. Дальнейшая динамика спектральных показателей подтверждает накопление фитомассы на участках. Аналогичную динамику появления лиственных пород на залежах показывают и значения индекса NDVI за тот же период. В отличие от 5 канала значения индекса NDVI прямо пропорциональны накоплению фитомассы на участках. Иначе говоря, чем выше значение этого индекса, тем больше запас фитомассы растительности будет на исследуемом участке.

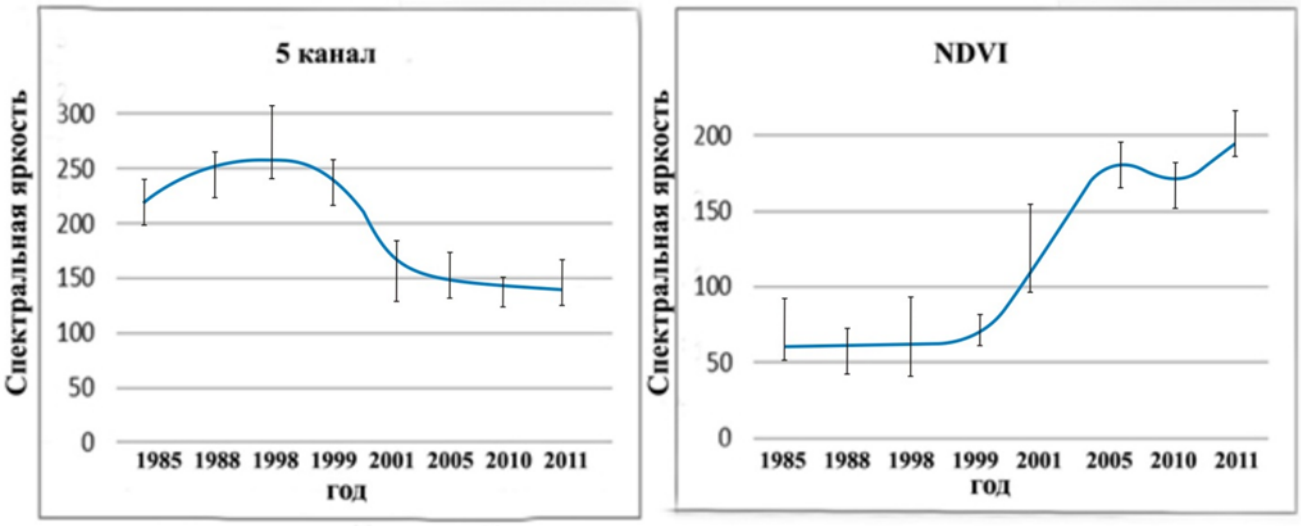


Рис. 1. График распределения спектральных характеристик тестовых участков лиственных пород в 5 канале и на изображении NDVI

График распределения спектральных характеристик хвойных пород на землях залежей (рис. 2) показывает аналогичную картину. В период с 2001 по 2005 год происходит снижение спектральной яркости тестовых участков на спутниковом изображении в 5 спектральном канале, что свидетельствует об увеличении запаса фитомассы. Значение индекса NDVI также начинает резко повышаться в данный временной промежуток.

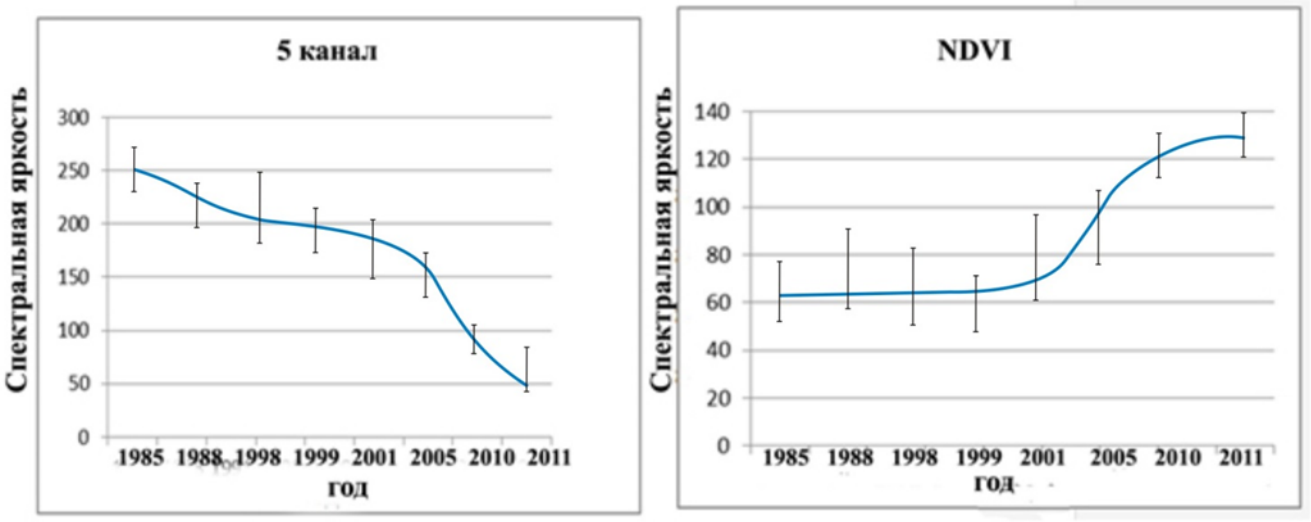


Рис. 2. График распределения спектральных характеристик тестовых участков хвойных пород в 5 канале и на изображении NDVI

Выводы

Полевые данные и дешифрирование спутниковых снимков Landsat показали, что на землях залежей возобновление лиственных пород наиболее интенсивно начинает проявляться в 1999, а хвойных пород – в 2001 году. Было установлено, что древесные породы, захватывающие территории бывших сельскохозяйственных угодий (земли залежей), начинают оказывать влияние на спектральные характеристики спутникового снимка не с первого года их роста. По нашим наблюдениям, влияние молодняков на спектральные характеристики снимков Landsat начинается для лиственных пород с 3-летнего периода, когда высота молодняков доходит до 1,5-2 м. Для хвойных пород этот возраст составляет 3-4 года, что объясняется их более медленным ростом. Исходя из этого, можно сделать вывод, что начало активного зарастания молодняками лиственных пород на землях залежей Марийского лесного Заволжья приходится на 1996-1997 годы, а хвойных пород – 1997-1998 годы. Подобные же сведения приводят другие исследователи (Olsson, 2009; Uri, 2007; Hestir, 2008), которые изучали захват сельскохозяйственных земель молодняками древесных пород на землях сельскохозяйственных угодий в разные периоды времени и в различных станах. Результаты этих исследований свидетельствуют о том, что средний возраст древесно-кустарниковой растительности на заброшенных сельскохозяйственных угодьях составляет 13-15 лет, что хорошо согласовывается с нашими данными.

Библиографический список

1. Использование космических снимков ALOS для выявления площадей бывших сельскохозяйственных угодий, зарастающих лесом / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин // Геоматика. – 2010а. – №4. – С. 68-72.

2. Пространственная динамика фитомассы березняков на бывших сельскохозяйственных землях Марийского Заволжья / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, Л.С. Устюгова, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, С.А. Незамаев // Лес-

ной журнал. – Архангельск: Архангельский государственный технический университет. – 2010б. – №3. – С. 8-14.
3. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Т.Ф. Мифтахов, С.А. Незамаев, Ю.А. Полевщикова // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2011. – № 3. – С. 17-24.
4. Лежнин, С.А. Использование анализа главных компонент при выявлении молодняков лиственных пород на залежах / С.А. Лежнин, О.М. Акбаров // Труды Поволжского государственного технологического университета. Серия Технологическая. Йошкар-Ола, 2014. – С.33-38.
5. Лежнин, С.А. Оценка зарастания сельскохозяйственных земель Республики Марий Эл древесной растительностью с использованием мультивременных снимков Landsat / С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, С.А. Незамаев // Влияние аномальной погоды на природные, социально-экономические и искусственные системы: засуха 2010 г. в Поволжье России: материалы международной научной конференции NASA и семинара GOFC-GOLD/NEESPI [Электронный ресурс]. – Йошкар-Ола: ПГТУ, 2012. – С. 99-103.
6. Хлюстов, В.К. Автоматизация комплексной оценки лесных ресурсов и мониторинг состояния лесов дистанционными методами нового поколения / В.К. Хлюстов // Лесное хозяйство. – 2011. – №6. – С.13-14.
7. Identification of invasive vegetation using hyperspectral remote sensing in the California Delta ecosystem / E.L. Hestir, S. Khanna, M. E. Andrew, M. J. Santos, J. H. Viers, J. A. Greenberg, S. S. Rajapakse, S. L. Ustin // Remote Sensing of Environment. – 2008. – Vol. 112. – P. 4034–4047.
8. Rule-based classification of multi-temporal satellite imagery for habitat and agricultural land cover mapping / R. Lucas, A. Rowlands, A. Brown, S. Keyworth, P. Bunting // ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, 2007. – №62. – P. 165–185.
9. Olsson, H. A method for using Landsat time series for monitoring young plantations in boreal forests / H. Olsson // International Journal of Remote Sensing. – 2009. – No 30 (19). – P. 5117-5131.
10. Pinto, L. Multitemporal analyses of the vegetation cover of coastal sand dune ecosystems in Natal/RN, based on NDVI index / L. Pinto, L. Fernandes // Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, 2011. – P.1895.
11. Biomass production, foliar and root characteristics and nutrient accumulation in young silver birch (Betula pendula Roth.) stand growing on abandoned agricultural land / V. Uri, K. Lohmus, I. Ostonen, H. Tullus, R. Lastik, M. Vildo // Eur J Forest Res DOI 10.1007/s10342-007-0171-9.

УДК 504

ОЦЕНКА ДИНАМИКИ ПЛОЩАДЕЙ НЕСАНКЦИОНИРОВАННЫХ ПОЛИГОНОВ ТВЕРДЫХ БЫТОВЫХ ОТХОДОВ МЕТОДАМИ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ МАРИЙ ЭЛ)

А. С. Шевченко, Л. Н. Смирнова
Поволжский государственный технологический университет

Рассмотрены вопросы оценки экологического состояния территорий размещения отходов и управлением отходами на урбанизированных территориях с помощью средств дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: *мониторинг, твердые бытовые отходы, геоинформационные системы.*

THE DYNAMICS ASSESSMENT OF NON-AUTHORIZED LANDFILLS WITH THE USE OF REMOTE SENSING (ON THE CASE OF MARI EL REPUBLIC)

A.S. Shevchenko, L. N. Smirnova
Volga State University of Technology

The article studied the matters of the environmental status assessment of waste disposal territories and waste management in urban areas by applying of remote sensing.
***Key words**: monitoring, landfill, geographic information system*

Выявление и мониторинг участков складирования различных видов отходов – одна из наиболее актуальных задач в сфере охраны окружающей среды. Отсутствие контроля за захоронением твердых бытовых отходов (ТБО), в том числе опасных отходов, может привести к нарушению сложившихся процессов метаболизма в прилегающих участках ландшафтной сферы определенной территории (Липин, 2012).

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) и геоинформационные продукты, созданные на основе космических снимков, широко применяются для решения задач, связанных с оценкой экологического состояния территорий размещения отходов и управлением отходами на урбанизированных территориях (Курбанов и др., 2011; Воробьев и др., 2015). По мультиспектральным спутниковым снимкам высокого пространственного разрешения (Rapid Eye, Ресурс-П, Канопус-В) можно визуально выделять полигоны твердых бытовых отходов размером от 10 м^2 с высокой достоверностью, а также измерять их высоту (точность до 1 м). Кроме установления самого факта складирования отходов и измерения количественных характеристик свалки, по космическим снимкам можно отследить и ряд ее геометрических параметров, таких как площадь полигона, расстояния санитарно-защитной зоны (Аристов, 2009; Охотин, 2007; Воробьев, Курбанов, 2015; Курбанов и др., 2013).

Таким образом, актуальность работы связана с достижением нового уровня информационного обеспечения мониторинга, фактическим обнаружением скопления участков ТБО, определением характеристик несанкционированных полигонов и оценкой их влияния на компоненты ландшафта прилегающей территории с использованием спутниковых снимков высокого разрешения.

Цель работы - выявить распределение объектов размещения несанкционированных твердых бытовых отходов на территории Республики Марий Эл с использованием спутниковых снимков и ГИС-технологий, а также оценить их влияние на компоненты ландшафта исследуемой территории. Для выполнения этой цели были поставлены следующие **задачи**:

1) разработать методику дешифрирования (классификации) несанкционированных полигонов твердых бытовых отходов на мультиспектральных спутниковых снимках высокого разрешения.;

2) выполнить дешифрирование спутниковых снимков, определить места размещения твердых бытовых отходов на территории Республики Марий Эл;

3) оценить влияние выявленных полигонов на компоненты прилегающего к ним ландшафта.

Работа основывается на комплексном использовании дистанционных и камеральных методах исследований. Для дешифрирования участков складирования твердых бытовых отходов используются методы пошаговой классификации спутниковых снимков и геостатистического анализа (Курбанов и др., 2012). Статистические методы реализуются при установлении пространственных особенностей распределения нелегальных полигонов.

Для исследования были подобраны существующие эмпирические данные на исследуемую территорию: 1) топографические карты масштаба 1:200 000; 2) векторный слой данных Министерства лесного хозяйства РМЭ по основным лесообразующим породам с лесотаксационной атрибутивной информацией; 3) мультиспектральные снимки высокого пространственно-

го разрешения со спутников RapidEye, Alos, Ресурс-П и Канопус-В). Все снимки на территорию исследований прошли атмосферную коррекцию в программном пакете ENVI-5.3 с использованием модуля FLAASH, который позволил выровнять коэффициенты спектральной яркости поверхности для каждого спектрального канала (Курбанов и др., 2011; Курбанов и др., 2014).

При описании главного результата будут выявлены:

1) нелегальные полигоны твердых бытовых отходов;
2) приблизительный объем накопленных отходов;
3) площадь захоронения отходов;
4) внутренняя структура объектов размещения отходов;
5) удаленность от жилых массивов, гидрографической сети, охраняемых территорий;
6) негативное воздействие на компоненты окружающего ландшафта (поврежденность травяного покрова, кустарников, деревьев; наличие стоков с территории; захламленность; открытое горение, тление).

Разработка данной методики позволит совершенствовать и повысить эффективность мониторинга состояния полигонов ТБО и их влияние на компоненты ландшафта.

Библиографический список

1. Аристов, М.А. Мониторинг полигонов ТБО и обнаружение стихийных мусоросвалок по данным космической съемки / М.А. Аристов // ГеоПрофиль. – 2009. – №2. – С. 34-41.
2. Воробьев, О.Н. Спутниковый мониторинг недропользования в Республике Марий Эл / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов // Геоматика. – 2015. – № 1. – С. 45-52.
3. Дистанционный мониторинг городских лесов / О.Н. Воробьев, Э.А. Курбанов, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2015. – № 1(25).– С. 5-21.
4. Дистанционный мониторинг динамики нарушений лесного покрова, лесовозобновления и лесовосстановления в Марийском Заволжье / Э.А. Курбанов, Т.В. Нуреева, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Т.Ф. Мифтахов, С.А. Незамаев, Ю.А. Полевщикова // Вестник Марийского государственного технического университета. – 2011. – № 3. – С. 17-24.
5. Оценка загрязнений древостоями отходами силикатного производства по снимку Rapid Eye / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2013. – Том 10. – № 2.– С. 88-97.
6. Решение вопросов космического мониторинга лесных гарей в комплексных пакетах ENVI и ArcGIS / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьёв, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова // Геоматика. – 2012. – № 4. – С. 82-92.
7. Четыре десятилетия исследований лесов по снимкам Landsat / Э.А. Курбанов, О.Н. Воробьев, А.В. Губаев, С.А. Лежнин, Ю.А. Полевщикова, Е.Н. Демишева/ / Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. – 2014. – № 1(21).– С. 18-32.
8. Липин, Д.А. Распределение и динамика объектов размещения твердых бытовых отходов на территории Краснодарского края / Д.А. Липин // Географические исследования Краснодарского края: сб.науч.тр.- Краснодар: Кубанский гос. Ун-т, 2012. – Вып.7. – С.3.
9. Охотин, А.Д. Лазерное сканирование в маркшейдерии как основа создания ГИС горного предприятия / А.Д. Охотин // Геоинформационные технологии: от теории к практике: материалы регион. науч.-практ. конф. – Иркутск, 2007. – С.18-22.

Научное издание

ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА:
БИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ И ДИСТАНЦИОННЫЙ МОНИТОРИНГ

Материалы международной конференции

14-15 октября 2015 г.

Редактор *Л. С. Емельянова*
Компьютерная верстка *С. А. Лежнин*

Подписано к использованию *01.12.2015*

Поволжский государственный технологический университет
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3

Редакционно-издательский центр ПГТУ
424006 Йошкар-Ола, ул. Панфилова, 17

Центр устойчивого управления и дистанционного мониторинга лесов
424000 Йошкар-Ола, пл. Ленина, 3