

УДК 630\*22(470.324)

DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-60-72

## ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСНОЙ СРЕДЫ В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ ВОРОНЕЖСКОЙ НАГОРНОЙ ДУБРАВЫ)

*Г.А. Одноралов, канд. биол. наук, доц.; ResearcherID: [AAB-7485-2020](https://orcid.org/0000-0002-7154-6807),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7154-6807>*

*Е.Н. Тихонова, канд. биол. наук, доц.; ResearcherID: [AAB-7496-2020](https://orcid.org/0000-0002-9039-9822),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9039-9822>*

*И.В. Голядкина, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAB-7488-2020](https://orcid.org/0000-0002-4532-3810),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4532-3810>*

*Т.А. Малинина, канд. с.-х. наук, доц.; ResearcherID: [AAB-7491-2020](https://orcid.org/0000-0002-5967-3336),*

*ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5967-3336>*

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: [tichonova-9@mail.ru](mailto:tichonova-9@mail.ru), [nina1818@ya.ru](mailto:nina1818@ya.ru), [malinina15@ya.ru](mailto:malinina15@ya.ru)

Стремительная урбанизация территории сокращает площадь лесных массивов, в результате чего снижаются объемы фотосинтеза, обменных процессов, продуцирования кислорода, депонирования углерода и т. д. Все это заставляет задуматься о главном – о существовании лесов на планете. Воронежская нагорная дубрава (общая площадь более 7 тыс. га) служит центральным организующим элементом урбоэкосистемы г. Воронежа. Древорост представлен как хвойными культурами, расположенными по левобережным надпойменным террасам, так и широколиственными лесными насаждениями, раскинувшимися на приречных склонах водораздела. Воронежская нагорная дубрава – государственный природный заказник областного значения, имеет статус особо охраняемой природной территории. Одной из основных ее функций является снижение уровня антропогенного воздействия на уникальные ландшафтные комплексы и поддержание экологического баланса в регионе. На примере Воронежской нагорной дубравы приведена характеристика основных типов леса и рассчитана их биомасса, сопоставлена надземная органическая масса с массой почвенного гумуса, а также общая биомасса с биомассой глины. Установлено, что общие запасы биомассы коррелируют с массой физической глины в корнеобитаемом слое. Так, культуры сосны, произрастающие на местообитаниях, содержащих до 900 т/га физической глины, продуцируют 121,57 т биомассы на 1 га. Установлено, что увеличение ее в 2 раза повышает продуктивность леса до 288,92 т/га. При этом в первом случае класс бонитета культур сосны колеблется от 2-го до 3-го, во втором – достигает 1-го класса. Воронежская нагорная дубрава теряет свой лесорастительный потенциал, ухудшаются ее санитарно-гигиенические свойства, а также, с точки зрения концепции экосистемных услуг, происходит общее снижение экономической ценности особо охраняемой природной территории.

**Для цитирования:** Одноралов Г.А., Тихонова Е.Н., Голядкина И.В., Малинина Т.А. Оценка биологической продуктивности лесной среды в условиях урбанизации (на примере Воронежской нагорной дубравы) // Изв. вузов. Лесн. журн. 2020. № 2. С. 60–72. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-60-72

**Ключевые слова:** Воронежская нагорная дубрава, лес, биологическая продуктивность, биоразнообразие, фитомасса, лесные почвы, городские зеленые насаждения, урбоэкосистема.

*Введение*

Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России [1] отводит лесам исключительное биосферное значение. Поэтому сохранение лесов, их восстановление, повышение продуктивности и медико-биологического потенциала является приоритетнейшей задачей в нашей стране.

На сегодняшний день деградация лесов в мировом масштабе достигла такой черты, за которой развал биосистемы – вполне ожидаемая и реальная перспектива [10, 15]. Бесконтрольная хищническая вырубка леса, лесные пожары, безудержный рост городов, транспортных коммуникаций стремительно сокращают площадь активной биосферы, превращая ее в безжизненное пространство, лишённое биомассы, фотосинтеза, продуцирования кислорода, аккумуляции углерода и свободной энергии. В экосистемах разрушаются закономерные генетические связи, нарушается энерго- и массообмен между всеми их частями и, как следствие, нарастает энтропия [18].

Сохранившиеся в настоящее время лесные массивы Среднерусской лесостепи в связи с мощным антропогенным воздействием превратились в техногенные экосистемы с соответствующей формой миграции химических элементов [14]. Серьезные проблемы ожидают нас и в связи с нарастающим потеплением, которое в основном трансформирует лесную среду, особенно в переходной лесостепной зоне, расположенной между аридными и гумидными территориями [19, 20]. Эта зона характеризуется уравновешенным водным балансом с коэффициентом относительной увлажненности, изменяющимся в узком диапазоне значений ( $KУ = 0,7...1,2$ ). Увеличение радиационного баланса нарушает умеренно-влажные климатические условия лесостепи, переводя их в аридную стадию развития (в начале умеренно-сухую, затем сухую и, возможно, в чрезвычайно сухую ( $KУ < 0,2$ )), что будет способствовать гибели лесов.

Чтобы предотвратить или хотя бы отсрочить катастрофу, необходимо прежде всего увеличить площадь лесов и их биомассу, а для этого требуется разработка новых технологий лесопользования и лесоразведения [12].

Нормальное функционирование лесных систем определяется совокупностью процессов перемещения, обмена и трансформации вещества, энергии и информации между всеми компонентами ландшафта (листьями или хвоей, ветвями, стволами, травяным и моховым покровом, лесной подстилкой, почвенными горизонтами, корой выветривания, грунтовыми водами). Визуально измерить эти связи невозможно. Необходима количественная оценка, однако до последнего времени главными показателями состояния леса служат высота, выраженная в метрах, диаметр в сантиметрах, площадь в квадратных метрах, запас и изменение запаса в кубических метрах. В то же время при исследовании почв на тех же пробных площадях используют другие параметры: миллиграммы, граммы, проценты, моли, рН, Eh и др.

Безусловно, совместить показатели лесной среды и почв невозможно, но если рассматривать лес как совокупность живых организмов, выраженную массой и химическим составом, то это позволяет сопоставить массу химических элементов биогенных компонентов леса с теми же показателями других компонентов природы – горными породами, гидросферой и атмосферой.

Только такой глобальный геохимический подход к изучению сложнейших генетических связей в природе даст возможность количественно определить эти связи и перейти к их кодово-цифровой характеристике [13, 16, 22].

Целью данного исследования является оценка биологической продуктивности Воронежской нагорной дубравы в условиях нарастающей урбанизации, основанная на ландшафтно-геохимическом подходе.

#### *Объекты и методы исследования*

Природно-территориальный комплекс (ПТК) г. Воронежа включает в себя совокупность промышленных и гражданских сооружений с сетью улиц, дорог, автомагистралей, парков, скверов, водных объектов и лесных насаждений разного назначения. Центральным организующим элементом ПТК является Воронежская нагорная дубрава, занимающая площадь 7098 га.

Воронежская нагорная дубрава – государственный природный заказник областного значения, имеющий статус особо охраняемой природной территории (ООПТ) на основании постановления правительства Воронежской области № 321 от 17.04.2013 г. В условиях городской территории наиболее значимы средообразующие и рекреационные функции ООПТ, преимущественно связанные с регулированием локального климата и рекреацией жителей [17, 21].

Наблюдения за состоянием Воронежской нагорной дубравы, начатые авторским коллективом во главе с Г.А. Однораловым в 1980 г., проводятся и в настоящее время.

Исторически эта ООПТ является остатком сплошной полосы правобережных лесов, сохранившейся после многовекового антропогенного воздействия. При Петре I практически весь массив был вырублен для строительства русского флота. Затем дубрава подвергалась вырубке еще несколько раз и каждый раз восстанавливалась от пня и корней, используя для своего питания один и тот же объем почв.

Многokратная вырубка дуба с течением времени превратила корневую семенную дубраву в низкобонитетное порослевое насаждение, которое в процессе многих генераций истощило минеральные, энергетические и информационные ресурсы данного ландшафта. Утратив устойчивость к внешним воздействиям, дубрава начала быстро деградировать, в результате чего дуб стал покидать когда-то любимые им места в первом ярусе и в насаждении в целом, уступая сопутствующим клену, липе, ясеню, вязу. В подросте стали преобладать второстепенные породы. Появилось много поврежденных, усыхающих и сухостойных деревьев. Чтобы противостоять этому необходимо, прежде всего, проанализировать текущее состояние лесной среды, ее биологическую продуктивность, количество синтезированной ею органической массы. С этой целью во всех основных типах леса, характерных для Воронежской нагорной дубравы, в кварталах 46–52 было выделено 5 пробных площадей (ПП), на которых произведен обмер и пересчет всех составляющих лес компонентов (от листьев (или хвои) до подроста, лесной подстилки и корней), определена их фитомасса в пересчете на 1 га, заложены почвенные шурфы (разрезы) и изучены литогенные параметры. Номера ПП соответствуют номерам почвенных разрезов: 580, 590, 601, 615, 630.

Размер ПП – 0,25 га. Границы ПП отбивались по буссоли. На каждой из них измеряли диаметр, производили пересчет всех растущих деревьев и рассчитывали средний диаметр. При помощи высотомера определяли высоту 20 деревьев и вычисляли среднюю высоту древостоя. По среднему диаметру и средней высоте находили средние модельные деревья, характеризующие данный древостой. Всего было учтено 18 модельных деревьев, включающих основные виды лесообразующих пород. Выбранные модельные деревья служили основной единицей учета массы органического вещества на ПП как для отдельных частей дерева (листья, ветви, ствол, корни), так и для дерева в целом.

Модельное дерево спиливали, уточняли длину, по срезу у основания определяли возраст. Со срубленных деревьев обирали листву (хвою), мелкие и крупные ветви, пилили ствол на части, удобные для взвешивания, и определяли массу всех сегментов дерева.

Крупные и мелкие корни отбирали из траншей, выкопанных от пня до границы площади питания дерева, и выкладывали на брезент. Мелкие корни предварительно отделяли от почвы просеиванием через сито. Почву из этих траншей подвергали описанию.

Пересчет на абсолютно сухое органическое вещество проводили с учетом данных Н.И. Базилевич, О.П. Добродеева и И.А. Суетовой о том, что масса абсолютно сухого органического вещества составляет 40 % от живой биомассы [4]. Для анализа почв с глубины 0...50, 50...100, 100...150 и 100...200 см были отобраны смешанные образцы, в которых по методу Качинского определяли массу гранулометрических фракций, в том числе физической глины (частицы меньше 0,01 мм). Параллельно изучали содержание гумуса по Тюрину. Статистическую обработку данных проводили в соответствии с указаниями Е.А. Дмитриева [3].

#### Результаты исследования и их обсуждение

Воронежская нагорная дубрава представлена всеми основными типами леса: от бора свежего травяного до дубравы свежей снытево-осоковой, сформировавшихся на местообитаниях от А<sub>2</sub> до Д<sub>2</sub>. Эти условия сочли благоприятными для своего произрастания 18 видов лесообразующих пород, среди которых доминируют дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.), вяз шершавый (*Ulmus glabra*), осина (*Populus tremula* L.), сосна обыкновенная (*Pinus silvestris* L.), иногда ель обыкновенная (*Picea excelsa* Link.), ольха черная (*Alnus glutinosa* Gaerth.) и др. (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика типов леса Воронежской нагорной дубравы

ТЛУ	Тип леса	Почва	Состав насаждений	Класс бонитета	Подрост	Подлесок
А <sub>2</sub>	Бор свежий травяной	Светло-серая лесная песчаная на монолитных песчаных отложениях	Л/к 10С+Д,Б,Ос	2-3	–	Редкий: ракитник, бересклет бородавчатый

Окончание табл. 1

ТЛУ	Тип леса	Почва	Состав насаждений	Класс бонитета	Подрост	Подлесок
B <sub>2</sub>	Суборь свежая с производными насаждениями дубняков	Светло-серая лесная песчаная на орто-зандовых гетеролитных песках	8Д2Ос+Лп,Б,Я Л/к 10С+Д,Б,Ос, Ил,Кл <sub>о</sub>	3 (реже 4)	Редкий: дуб, осина, клен остролистный	Средней густоты или редкий: липа, клен татарский, бузина, крушина, бересклет, рябина
C <sub>2</sub>	Судубрава свежая осоково-снытевая	Серая лесная супесчаная на гетеролитных суглинисто-песчаных отложениях	8Д1Лп1Ос+ Я,Кл <sub>о</sub> ,Б,Ол <sub>ч</sub>  Иногда л/к 8С2Д+Б,Ос	2 (реже 3)  1а-1	Редкий: дуб, ясень, клен остролистный	Средней густоты: клен татарский, липа мелколистная, бересклет бородавчатый, лещина
СД <sub>2</sub>	Судубрава свежая осоково-снытевая	Серая лесная супесчаная, на гетеролитных песчано-суглинистых отложениях	8Д1Лп1Я+Ос, Кл <sub>о</sub> или 4Д3Лп2Кл <sub>о</sub> 1Яс+ +Ос	2-3	Редкий: дуб, осина, клен, ясень	Средней густоты: клен, лещина, бересклет бородавчатый, липа мелколистная
Д <sub>2</sub>	Дубрава свежая, снытево-осоковая	Серая лесная легкосуглинистая на суглинстом аллювии	8Д1Я1Лп+Ос, Кл <sub>о</sub> ,Б или 6Д2Я1Кл <sub>о</sub> 1Лп	2-3	Редкий: дуб, клен, ясень	Средней густоты или редкий: клен татарский, липа, лещина, бересклет бородавчатый

Примечание: Б – береза бородавчатая; Д – дуб черешчатый; Ил – ильм (вяз шершавый); Кл<sub>о</sub> – клен остролистный; Лп – липа мелколистная; Ол<sub>ч</sub> – ольха черная; Ос – осина; С – сосна обыкновенная; Я – ясень обыкновенный; л/к – лесные культуры; ТЛУ – тип лесорастительных условий.

Бонитет исследуемых насаждений, как правило, не поднимается выше 2-го или 3-го классов, часто снижается и до 4-го.

Проведенные крупномасштабные почвенно-лесотипологические исследования показывают, что Воронежская нагорная дубрава не выдерживает воздействия города. В целом жизнеспособные деревья при сильной степени рекреации в дубраве составляют не более 22 %, при слабой – около 60 %. Отдаленные от городской черты насаждения характеризуются более высокими показателями своего жизненного состояния. В пригородных кварталах леса от 30 до 40 % деревьев – сухостойные. Заметное ухудшение жизненного состояния древостоя отмечается в возрасте от 50 до 80 лет, хотя часты случаи и более раннего усыхания.

Выделенные типы леса сформировались на одном почвенном типе серых лесных почв и двух его подтипах: светло-серых и серых лесных почвах. Но существующее разнообразие лесорастительных возможностей связано не с типовыми или подтиповыми особенностями почв, а с таксонами самого нижнего уровня: разновидностями и разрядами, характеризующими гранулометрический состав верхних почвенных горизонтов и почвообразующих пород.

П.С. Погребняк выделял очень бедные (пески), бедные (легкие супеси), богатые (супеси) и очень плодородные (суглинки) местообитания [11]. Но та-

кие параметры оценки лесорастительных возможностей почв позволяют лишь формально оценивать лесорастительный потенциал конкретной территории, поскольку даже пески могут быть моно- и полиминеральными, рыхлыми и связными, содержащими в своем составе от 0 до 5 % и от 5 до 10 % глины. В супесях количество тонкодисперсных частиц возрастает до 10...20 %, а суглинки могут быть легкими, средними или тяжелыми. Кроме того, отложения бывают однородными (предположим, песчаными), гетеролитными (у которых верхняя песчаная или супесчаная толща почвенного профиля чередуется с суглинистыми горизонтами, которые вновь сменяются песками и т.д.). Такие комбинации при таксации леса, как правило, не учитываются, и тип лесорастительных условий определяется субъективно по верхнему горизонту.

Все разнообразие лесорастительных условий чаще всего связано с соотношением в почвенно-грунтовой толще частиц разного размера и в первую очередь с содержанием физической глины [6]. Проведенные исследования и статистическая обработка большого массива данных позволили выявить связь трофотопов с количеством физической глины (сумма частиц меньше 0,01 мм) в 2-метровой корнеобитаемой толще (табл. 2).

Таблица 2

**Среднестатистические запасы физической глины (кг/м<sup>2</sup>)  
в 2-метровом слое почвы**

ТЛУ	M	m	G	V	P	T	N
A <sub>2</sub>	79,78	5,74	25,03	31,37	7,20	13,89	19
B <sub>2</sub>	195,01	7,27	37,07	19,01	3,73	26,83	26
C <sub>2</sub>	425,87	27,70	78,55	18,44	6,50	15,34	8
CD <sub>2</sub>	729,28	37,78	73,31	10,05	4,49	22,24	5
D <sub>2</sub>	977,00	81,71	182,70	18,68	8,36	11,97	5

Примечание: M – выборочное среднее арифметическое; m – ошибка среднего; G – критерий Кохрена; V – значение случайной величины; P – вероятность; T – критерий достоверности разности; N – объем выборки.

Полученные данные показывают, что каждый тип лесорастительных условий характеризуется своей массой глины в корнеобитаемой 2-метровой толще почв. Так, для бора это значение составляет 79,78 кг/м<sup>2</sup>, для субори – 195,01, а для произрастания дубравы требуется 977,00 кг/м<sup>2</sup>. Большой разрыв между содержанием глины в ТЛУ C<sub>2</sub> и D<sub>2</sub> вызвал необходимость выделения промежуточного трофотопы – CD<sub>2</sub>. Дальнейшие исследования позволили разработать градацию выявления трофотопов по содержанию глины в корнеобитаемом слое почв (табл. 3).

Таблица 3

**Параметры выявления трофотопов по количеству глины  
в 2-метровом корнеобитаемом слое почвы**

Единица измерения	Трофотопы по содержанию глины				Очень плодородные (Д) дубравы
	Очень бедные (А) боры	Бедные (В) субори	Богатые судубравы		
			(С)	(СД)	
кг/м <sup>2</sup>	0...100	100...250	250...500	500...800	> 800
т/га	0...1000	1000...2500	2500...5000	5000...8000	> 8000

Различное содержание глины в 2-метровой толще флювиогляциальных отложений образовало в ландшафтах Воронежской нагорной дубравы сопряженный ряд лесообразующих условий: от очень бедных до очень плодородных (табл. 4).

Таблица 4

**Содержание гранулометрических фракций и валового гумуса  
в 2-метровом слое почвы и почвообразующих пород**

ТЛУ	ПП	Состав насаждения	Бонитет	Масса гумуса, т/га	Масса фракции, т/га				
					Песок (0,05...0,01 мм)	Пыль		Ил (> 0,001 мм)	Физическая глина (> 0,01 мм)
						крупная (0,05...0,01 мм)	средняя и мелкая (0,01...0,001 мм)		
A <sub>2</sub>	630	Л/к 10С	2-3	88,0	26 946	1 566	264	632	896
B <sub>2</sub>	615	8Д2Ос+Лп,Б,Я,Кл, или Л/к 10С	3-4 1	92,5	24 742	1 635	1 286	680	1 996
C <sub>2</sub>	601	8Д1Лп1Ос+ +Я,Кл,Б,Олч или Л/к 8С2Д+Б,Ос	2-3 1а	131,0	22 037	1 138	2 561	731	3 372
СД <sub>2</sub>	580	5Д2Кл,2Лп1Яс	2-3	202,1	15 050	3 398	3 022	3 768	6 790
Д <sub>2</sub>	590	3Д2Яс3Лп2Кл, или Л/к 10С	2-3	228,0	14 048	4 803	3 916	4 992	8 938

Очень бедные песчаные местообитания чаще всего расположены в верхних элювиальных частях катен. Крупные фракции этих отложений представлены устойчивыми к гипергенезу минералами, в основном кварцем, а выход тяжелых минералов (таких как ильменит, турмалин, сфен, дистен, ставролит, циркон, рутил, эпидот и др.), включающих в себя Са, Mg, Fe, Al, P, K, Ti и другие химические элементы, составляет не более 2,0 кг/т породы [8]. Ясно, что такой массы химических элементов недостаточно для нормального функционирования лесной экосистемы.

Содержание глины, представленной вторичными алюмосиликатами, служит наиболее емким показателем трофности почв. В борových условиях этот показатель не превышает 900 т/га, в илистой составляющей – 630 т/га. Данная фракция адсорбирует многие химические элементы, удерживает их и при необходимости возвращает в раствор, улучшая режим питания растений. От количества этих частиц зависят степень насыщенности местообитаний основаниями, влагоемкость, физико-химическая и биологическая активность почв. Следовательно, низкое содержание глины в почвенной толще может служить главным диагностическим показателем ее низкого лесорастительного качества.

Если сравнить два занятых культурами сосны участка, расположенных практически в одинаковых условиях на однотипных флювиогляциальных песках (ПП 630 и 615), то во втором случае сосна произрастает по 1-му классу бонитета, а дубовые насаждения по 3-му, реже 4-му классу, в первом случае бонитет сосны ограничен 2-м или 3-м классами. Связано это с накоплением тонкодисперсных частиц (в основном пыли) в средней части почвенного профиля. Еще большее накопление глины (ПП 601) увеличивает продуктивность

сосны до 1а бонитета и повышает статус местообитания до судубравы свежей осоково-снытевой.

Синхронно с увеличением содержания ила в 2-метровом корнеобитаемом слое возрастает и содержание гумуса, что лишнее раз подтверждает предположение о том, что образование ила и гумусообразование – это единый процесс энерго- и массообмена между химически активным живым веществом и инертным веществом литосферы [5]. Массообмен происходит на разных уровнях: от отдельного дерева и среды его местообитания до биогеоценоза, типа леса и окружающей их среды и т. д.

Степень деградации дубравы хорошо видна при таксационных исследованиях (табл. 5).

Таблица 5

**Таксационная характеристика насаждений  
Воронежской нагорной дубравы**

Пробная площадь	Категория земель	Главная порода	Тип леса	ТЛУ	Порода	Бонитет	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Количество, шт./га	Состав насаждения
630	Л/к	С	БТМ	A <sub>2</sub>	10С	3,0	67	17	22	400	10С+Д,Б,Ос
615	Насаждения	Д	СБТ	В <sub>2</sub>	8Д	3,0	75	20	28	336	8Д2Ос+Лп,Б,Я
					2Ос	1,5	50	21	24	96	
					Лп	2,4	40	16	16	48	
	Л/к	С	СБТ	В <sub>2</sub>	8С	1а	65	24	28	704	10С+Д,Б, Ос,Ил,Кл <sub>0</sub>
					2Д					176	
601	Л/к	Д	ДОС	С <sub>2</sub>	8Д	2,2	75	23	26	400	8Д1Лп10С+Кл <sub>0</sub> , Ос иногда л/к 8С2Д+Б,Ос
					1Лп	2,2	55	24	28	84	
					1Ос	1,9	55	19	20	178	
					Кл <sub>0</sub>	–	–	–	–	90	
580	Насаждения	Д	ДОС	СД <sub>2</sub>	5Д	2,4	75	22	32	280	5Д2Кл <sub>0</sub> 2Лп1Яс
					2Кл <sub>0</sub>	2,2	50	23	32	112	
					2Лп	2,0	50	19	20	110	
					1Яс	2,2	75	19	20	52	
590	Насаждения	Д	ДСО	Д <sub>2</sub>	3 Дн	2,7	100	23	32	180	3Д2Яс3Лп2Кл <sub>0</sub>
					2Яс	2,5	80	24	32	120	
					3Лп	2,4	45	17	16	180	
					2Кл <sub>0</sub>	–	–	17	16	120	

Примечание: БТМ – бор свежий травяной на рыхлых песках водораздела; СБТ – суборь свежая с производными насаждениями дубняков водораздела; ДОС – судубрава свежая осоково-снытевая на супесях водораздела; ДСО – дубрава свежая снытево-осоковая на суглинках водораздела.

Здесь практически во всех типах леса, биогеоценозах и классах возраста высота главной породы уступает сопутствующим породам (липе, клену, ясеню), стремящимся занять место в первом ярусе. Начавшаяся конкурентная борьба за лидерство в системе, мощное давление города, сильное загрязнение изменили лесную среду и сильно снизили биомассу насаждения. Для ее определения была исследована органическая масса всех компонентов модельных деревьев, а на основе полученных нами данных была рассчитана общая биомасса всех типов леса нагорной дубравы (табл. 6).



Таблица 6

## Биомасса основных типов леса Воронежской нагорной дубравы

ПП	ГЛУ	Состав насаждения	Фракция фитомассы, т/га								Всего
			Хвоя, ли- стья	Ветви		Ствол	Над- земная часть	Корни		Под- земная часть	
				мел- кие	круп- ные			мел- кие	круп- ные		
630	А <sub>2</sub>	Сосна	4,00	1,92	4,36	90,80	101,08	1,68	11,16	12,84	113,92
		Подлесок	1,08	1,26	–	3,60	5,94	1,71	–	1,71	7,65
		<i>Итого</i>	<b>5,08</b>	<b>3,18</b>	4,36	<b>94,40</b>	<b>107,02</b>	<b>3,39</b>	<b>11,16</b>	<b>14,55</b>	<b>121,57</b>
615	В <sub>2</sub>	Дуб	1,54	0,74	13,88	134,40	150,56	1,01	9,14	10,15	160,71
		Осина	0,31	0,35	4,41	32,64	37,71	0,36	2,36	2,72	40,43
		Липа	0,24	0,25	1,56	9,84	11,89	0,27	1,26	1,53	13,42
		Подлесок	0,83	1,45	2,25	3,18	7,71	1,44	2,88	4,32	12,03
		<i>Итого</i>	<b>2,92</b>	<b>2,79</b>	<b>22,10</b>	<b>180,06</b>	<b>207,87</b>	<b>3,08</b>	<b>15,64</b>	<b>18,72</b>	<b>226,59</b>
		Сосна	8,59	3,66	9,99	186,56	208,80	2,60	23,37	25,97	234,77
		Дуб	1,02	0,88	2,57	41,89	46,36	0,53	4,95	5,48	51,84
Подлесок	0,27	0,33	–	1,53	2,13	0,18	–	0,18	2,31		
<i>Итого</i>	<b>9,88</b>	<b>4,87</b>	<b>12,56</b>	<b>229,98</b>	<b>257,29</b>	<b>3,31</b>	<b>28,32</b>	<b>31,63</b>	<b>288,92</b>		
601	С <sub>2</sub>	Дуб	1,80	4,92	24,80	168,00	199,52	1,44	2,72	4,16	203,68
		Липа	0,42	0,47	3,10	18,81	22,80	0,40	2,52	2,92	25,72
		Осина	0,34	0,38	2,87	14,35	17,94	0,33	1,64	1,97	19,91
		Клен	0,47	0,35	3,31	15,03	19,16	0,25	3,60	3,85	23,01
		<i>Итого</i>	<b>3,03</b>	<b>6,12</b>	<b>34,08</b>	<b>216,19</b>	<b>259,42</b>	<b>2,42</b>	<b>10,48</b>	<b>12,90</b>	<b>272,32</b>
580	СД <sub>2</sub>	Дуб	0,89	0,59	10,08	119,00	130,56	1,32	10,08	11,40	141,96
		Клен	0,34	0,68	1,88	33,60	36,50	0,41	1,79	2,20	38,70
		Липа	0,45	0,42	3,85	23,32	28,04	0,55	3,52	4,07	32,11
		Ясень	0,20	0,23	2,08	9,62	12,13	0,20	1,09	1,29	13,42
		<i>Итого</i>	<b>1,88</b>	<b>1,92</b>	<b>17,89</b>	<b>185,54</b>	<b>207,23</b>	<b>2,48</b>	<b>16,48</b>	<b>18,96</b>	<b>226,19</b>
590	Д <sub>2</sub>	Дуб	0,94	2,18	14,40	117,00	134,52	0,58	3,73	4,31	138,83
		Ясень	0,41	0,50	1,80	13,20	15,91	–	–	–	15,91
		Липа	0,40	0,27	2,16	18,00	20,83	0,45	5,45	5,90	26,73
		Клен	0,29	0,23	0,80	2,64	3,96	0,46	0,41	0,87	4,83
		<i>Итого</i>	<b>2,04</b>	<b>3,18</b>	<b>19,16</b>	<b>150,84</b>	<b>175,22</b>	<b>1,49</b>	<b>9,59</b>	<b>11,08</b>	<b>186,30</b>

Примечание: На ПП 615 биомассу рассчитывали отдельно для культур сосны обыкновенной и насаждения дуба черешчатого.

Общая биомасса бора свежего травяного, сформированного на светло-серых лесных песчаных почвах в условиях произрастания А<sub>2</sub>, – 121,57 т/га. Из этой величины 5,08 т/га постоянно участвуют в процессах фотосинтеза, а 101,94 т/га сконцентрированы в стволах и ветвях деревьев на длительный срок. Низкая энергоёмкость данного компонента не способствует нормальному развитию культур сосны в экосистеме, поэтому насаждение постепенно изреживается, становится туповершинным и расстраивается. По своей биологической продуктивности сосняки Воронежской нагорной дубравы близки к насаждениям изреженной северной тайги или к лесотундре [7]. В связи с этим возникает вопрос о целесообразности использования сосны в подобных условиях при формировании городских и пригородных лесов зеленого кольца.

Следующие две ПП, характеризующие тип условий местопроизрастания В<sub>2</sub>, также представлены светло-серыми лесными песчаными почвами, только с

увеличенным (относительно рассмотренного выше случая) содержанием глинистых частиц и тонкими ортзандовыми прослойками. На одной ПП произрастают дубовые насаждения по 3-му или даже 4-му классу бонитета, на другой – культуры сосны (в тех же условиях, но по 1-му классу). Биомасса дубняков здесь сильно уступает равнинным широколиственным лесам, синтезирующим до 370...400 т/га органического вещества.

В тех же литогенных условиях культуры сосны показывают хороший результат – 234,77 т/га, близкий к показателям средней тайги (260 т/га) [9]. Это еще раз указывает на то, что современный облик леса не является первозданным, а представляет собой продукт техногенных сукцессий и катастрофических трансформаций.

Следующие ПП характеризуют дубовые насаждения, произрастающие в условиях С<sub>2</sub>, СД<sub>2</sub>, Д<sub>2</sub>. Гранулометрический состав почв первых двух местообитаний представлен чередованием супеси, песка и легкого суглинка в верхнем 1-метровом слое с прослойками тяжелых суглинков в нижележащей толще. В отложениях горных пород третьей ПП отмечается чередование легко- и среднесуглинистых верхних горизонтов, постепенно переходящих в тяжелосуглинистую подстилающую породу. И в этих условиях бонитет дубовых насаждений по-прежнему характеризуется 2–3-м классом, а у сосновых культур опять поднимается до 1-го и даже 1а класса. Общая масса органического вещества, создаваемая современной Воронежской нагорной дубравой, – 186,30...272,32 т/га, что гораздо ниже ее потенциала, который по данным А.И. Перельмана [9] составляет не менее 370,00...400,00 т/га. Из этого количества 150,84...216,19 т/га законсервировано в стволах и ветвях деревьев и лишь 1,88...3,03 т/га участвует в процессах фотосинтеза.

Общий показатель биомассы насаждений еще не дает полного представления о продуктивности насаждений [2]. Для этого необходимо определить соотношение опада и фитомассы, показывающее насколько прочно данный тип растительности удерживает органическое вещество. Дальнейшее изучение данной проблемы позволит оценить круговорот углекислого газа и степень выведения углерода из этого цикла, а также соотношение углекислого газа, связанного в процессе фотосинтеза в растительности и выведенного из почвы.

### *Выводы*

1. Геохимическое направление в исследованиях лесных экосистем позволит разработать теоретическую базу для создания новых методов изучения лесной среды.

2. Важнейшим параметром экологического состояния лесной среды, ее биологической продуктивности и разнообразия является масса органического вещества, заключенного в биогенной и литогенной частях ландшафта.

3. Общие запасы биомассы коррелируют с массой физической глины в корнеобитаемом слое. Так, культуры сосны, произрастающие на местообитаниях, содержащих до 900 т физической глины на 1 га, продуцируют 121,57 т биомассы на 1 га, увеличение этого показателя в 2 раза повышает продуктивность леса до 288,92 т/га. Причем в первом случае класс бонитета культур сосны колеблется от 2-го до 3-го, во втором – достигает 1-го класса.

4. Воронежская нагорная дубрава теряет свой лесорастительный потенциал, ухудшаются ее санитарно-гигиенические свойства, при этом с точки зрения концепции экосистемных услуг происходит общее снижение экономической ценности ООПТ.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алимов А.Ф., Алтухов Ю.П., Амирханов А.М., Бобылев С.Н., Боголюбов С.А., Большаков В.Н., Букварева Е.Н., Виноградов М.Е., Виноградов В.Г., Гунин П.Д., Гусев А.А., Данилов-Данильян В.И., Дзебуадзе Ю.Ю., Добровольский Г.В., Жученко А.А., Заварзин Г.А., Захаров В.М., Исаев А.С., Ильяшенко В.Ю., Мартынов А.С. Национальная стратегия сохранения биоразнообразия России: принята на Форуме по сохранению живой природы России, Москва, июнь 2001 г. (проект ГЭФ «Сохранение биоразнообразия»). М.: РАН, М-во природ. ресурсов РФ, 2001. [Alimov A.F., Altukhov Yu.P., Amirkhanov A.M., Bobylev S.N., Bogolyubov S.A., Bol'shakov V.N. et al. *The National Strategy of Biodiversity Conservation in Russia: Adopted at the Forum for the Conservation of Wildlife of Russia, Moscow, June, 2001 (GEF Project "Biodiversity Conservation in Russia")*. Moscow, RAS Publ., 2001].
2. Гульбе Я.И., Гульбе А.Я., Ермолова Л.С., Гульбе Т.А. Исследования по биологической продуктивности лесов в Институте лесоведения РАН // Лесхоз. информ.: электрон. сетевой журн. 2019. № 4. С. 7–22. [Gulbe Ya., Gulbe A., Ermolova L., Gulbe T. Research on Biological Productivity of Forests at the Institute of Forest Science RAS. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2019, no. 4, pp. 7–22]. DOI: [10.24419/LHI.2304-3083.2019.4.01](https://doi.org/10.24419/LHI.2304-3083.2019.4.01)
3. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1972. 334 с. [Dmitriyev E.A. *Mathematical Statistics in Soil Science*. Moscow, MGU Publ., 1972. 334 p.].
4. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. М.: Академия, 2003. 400 с. [Dobrovolskiy V.V. *The Basics of Biogeochemistry*. Moscow, Akademiya Publ., 2003. 400 p.].
5. Ирковский Э.Р., Одноралов Г.А., Харченко Н.А. Влияние почвы на произрастающие виды древесной растительности // Политематический сетевой электрон. науч. журн. Кубан. аграр. ун-та. 2013. №92. С. 288–301. [Irkovsky E.R., Odnoralov G.A., Harchenko N.A. Influence of the Soil on Growing Types of Wood Vegetation. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University], 2013, no. 92, pp. 288–301].
6. Одноралов Г.А., Голядкина И.В., Мухосимова Д.Ю. Влияние литогенеза на продуктивность ландшафтов Воронежской нагорной дубравы // Материалы междунар. науч.-техн. юбил. конф. «Развитие идей Г.Ф. Морозова при переходе к устойчивому лесопроизводению», 20–21 апреля 2017 г. Воронеж: ВГЛУ, 2017. С. 203–206. [Odnoralov G.A., Golyadkina I.V., Mukhosimova D.Yu. Influence of Lithogenesis on Productivity of Landscapes of the Voronezh Upland Oak Forest. *Proceedings of the International Scientific and Technical Jubilee Conference "Development of the Ideas of G.F. Morozov in the Transition to Sustainable Forest Management"*, April 20–21, 2017. Voronezh, VSFTU Publ., 2017, pp. 203–206].
7. Одноралов Г.А., Тихонова Е.Н. Почвенно-литологические факторы формирования сосновых насаждений Центрального Подонья // Изв. вузов. Лесн. журн. 2010. № 2. С. 56–60. [Odnoralov G.A., Tikhonova E.N. Soil-Lithologic Factors of Pine Plantations Productivity of Central Don Region. *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2010, no. 2, pp. 56–60]. URL: <http://lesnoizhurnal.ru/apxiv/2010/%E2%84%962-2010.pdf>
8. Одноралов Г.А., Тихонова Е.Н., Трегубов О.В., Голядкина И.В. Литогенная основа продуктивности Воронежской нагорной дубравы // Лесотехн. журн. 2017.

T. 7, № 2(26). С. 26–34. [Odnoralov G.A., Tikhonova E.N. Tregubov O.V., Golyadkina I.V. Lithogene Basis of the Productivity of Voronezh Highland Oak Forest. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2017, vol. 7, no. 2(26), pp. 26–34]. DOI: [10.12737/article\\_5967e8e01143e9.03067340](https://doi.org/10.12737/article_5967e8e01143e9.03067340)

9. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999. 610 с. [Perel'man A.I., Kasimov N.S. *Landscape Geochemistry*. Moscow, Astreya-2000 Publ., 1999. 610 p.].

10. Пятый национальный доклад «Сохранение биоразнообразия в Российской Федерации». М.: М-во природ. ресурсов и экологии РФ, 2015. 124 с. [*The Fifth National Report: Preservation of Biodiversity in the Russian Federation*. Moscow, Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation Publ., 2015. 124 p.].

11. Ремезов Н.П., Погребняк П.С. Лесное почвоведение. М.: Лесн. пром-сть, 1965. 324 с. [Remezov N.P., Pogrebnyak P.S. *Forest Soil Science*. Moscow, Lesnaya promishlennost' Publ., 1965. 324 p.].

12. Таранков В.И. Мониторинг лесных экосистем. Воронеж: ВГЛТА, 2006. 299 с. [Tarankov V.I. *Monitoring of Forest Ecosystems*. Voronezh, VSFTU Publ., 2006. 299 p.].

13. Усольцев В.А. Фитомасса модельных деревьев лесообразующих пород Евразии: база данных, климатически обусловленная география, таксационные нормативы. Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 335 с. [Usol'tsev V.A. *Sample Trees Phytomass of Forest-Forming Species of Eurasia: Database, Climate-Related Geography, Valuation Standards*. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2016. 335 p.].

14. Харченко Н.Н., Харченко Н.А., Ахтырцев А.Б. Мелиоративная роль дубрав Центральной лесостепи // Лесотехн. журн. 2014. Т. 4, № 1(13). С. 40–47. [Kharchenko N.N., Kharchenko N.A., Akhtyrtsev A.B. Reclamation Role of Oak Forests of Central Forest Steppe. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2014, vol. 4, no. 1(13), pp. 40–47]. DOI: [10.12737/3344](https://doi.org/10.12737/3344)

15. Alcamo J., Ash N.J., Butler C.D., Callicott J.B., Capistrano D., Carpenter S.R. et al. *Ecosystems and Human Wellbeing: A Framework for Assessment*. Washington, DC, Island Press, 2003. 245 p.

16. Bi H., Long Y., Turner J., Lei Y., Snowdon P., Li Y. et al. Additive Prediction of Aboveground Biomass for *Pinus radiata* (D. Don) Plantations. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 259, iss. 12, pp. 2301–2314. DOI: [10.1016/j.foreco.2010.03.003](https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.03.003)

17. Costanza R., d'Arge R., de Groot R., Farber S., Grasso M., Hannon B. et al. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 1997, vol. 387, pp. 253–260.

18. McCann K.S. The Diversity-Stability Debate. *Nature*, 2000, vol. 405, pp. 228–233. DOI: [10.1038/35012234](https://doi.org/10.1038/35012234)

19. Matveev S.M., Chendev Y.G., Lupo, A.R., Hubbart J.A., Timashchuk D.A. Climatic Changes in the East-European Forest-Steppe and Effects on Scots Pine Productivity. *Pure and Applied Geophysics*, 2017, vol. 174, iss. 1, pp. 427–443.

20. Matveev S., Milenin A., Timashuk D. The Effects of Limiting Climatic Factors on the Increment of Native Tree Species (*Pinus silvestris* L., *Quercus robur* L.) of the Voronezh Region. *Journal of Forest Science*, 2018, vol. 64, no. 10, pp. 427–434. DOI: [10.17221/36/2018-jfs](https://doi.org/10.17221/36/2018-jfs)

21. Norris K. Biodiversity in the Context of Ecosystem Services. *UK National Ecosystem Assessment Technical Report*. Cambridge, UNEP-WCMC, 2011, pp. 63–104.

22. Poorter H., Jagodzinski A.M., Ruiz-Peinado R., Kuyah S., Luo Y., Oleksyn J. et al. How Does Biomass Distribution Change with Size and Differ among Species? An Analysis for 1200 Plant Species from Five Continents. *New Phytologist*, 2015, vol. 208, iss. 3, pp. 736–749. DOI: [10.1111/nph.13571](https://doi.org/10.1111/nph.13571)

**ASSESSMENT OF URBAN FOREST BIOLOGICAL PRODUCTIVITY  
(CASE STUDY OF THE VORONEZH UPLAND OAK FOREST)**

**G.A. Odnorolov**, Candidate of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAB-7485-2020](https://orcid.org/0000-0002-7154-6807),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7154-6807>

**E.N. Tikhonova**, Candidate of Biology, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAB-7496-2020](https://orcid.org/0000-0002-9039-9822),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9039-9822>

**I.V. Golyadkina**, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAB-7488-2020](https://orcid.org/0000-0002-4532-3810),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4532-3810>

**T.A. Malinina**, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.; ResearcherID: [AAB-7491-2020](https://orcid.org/0000-0002-5967-3336),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5967-3336>

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: tikhonova-9@mail.ru, nina1818@ya.ru, malinina15@ya.ru

Fast-paced rates of urbanization reduce the area of forestlands. As a result, the volumes of photosynthesis, metabolic processes, oxygen production, carbon deposition and other processes are decreasing. All of this gives pause for thought about the existence of forests on the planet. The Voronezh upland oak forest with a total area of more than 7 thousand ha is the central organizing element of the entire urban ecosystem of Voronezh. The forest stand is represented by coniferous crops along the left bank of the terraces above the flood-plain, as well as broad-leaved forest plantations extended over the riverside slopes of the watershed. The oak forest is a state nature reserve of regional significance and has the status of a specially protected natural area. One of the main functions of the nature reserve is lowering the level of anthropogenic impact on unique landscape systems and maintaining the ecological balance in the region. Through the example of the oak forest the basic forest types are characterized and their total biomass is calculated, the above-ground organic biomass is compared with the mass of soil humus and total biomass with the clay biomass. It was found that the total biomass reserves correlate with the mass of physical clay in the root layer. So, pine crops growing in habitats containing up to 900 t/ha of physical clay produce 121.57 t/ha of biomass; its double increase boosts the productivity of the forest to 288.92 t/ha. Herewith, in the first case, the yield class of pine crops ranges from the second to the third; in the second case it reaches the first class. The oak forest is losing its forest-growing potential, its sanitary and hygienic properties are deteriorating. As well as, there is a general decline in the economic value of the specially protected natural area in the context of ecosystem services.

**For citation:** Odnorolov G.A., Tikhonova E.N., Golyadkina I.V., Malinina T.A. Assessment of Urban Forest Biological Productivity (Case Study of the Voronezh Upland Oak Forest). *Lesnoy Zhurnal* [Russian Forestry Journal], 2020, no. 2, pp. 60–72. DOI: 10.37482/0536-1036-2020-2-60-72

**Keywords:** Voronezh upland oak forest, forest, biological productivity, biodiversity, phytomass, forest soils, urban green areas, urban ecosystem.

Поступила 30.04.19 / Received on April 30, 2019