

Я.П. ДІДУХ, У.М. АЛЬОШКІНА

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України
вул. Терещенківська, 2, м. Київ, 01601
didukh@botany.kiev.ua
uliashkina@ukr.net

ОЦІНКА ЕНЕРГЕТИЧНОГО БАЛАНСУ ЕКОСИСТЕМ М. КИЄВА ТА ЙОГО ЗЕЛЕНОЇ ЗОНИ

Ключові слова: фітомаса, продуктивність, енергія, екосистема, зелена зона, Київ

Ya.P. DIDUKH, U.M. ALIOSHKINA

ENERGETIC BALANCE OF KYIV CITY AND ITS GREEN BELT ECOSYSTEMS

M.G. Kholodny Institute of Botany,
National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv

The paper deals with the problem of phytomass and energy distribution in different types of Kyiv ecosystems. The phytomass fractions in natural ecosystems, phytomass and productivity ratios of different ecosystem types are presented. The balance of energy production in natural ecosystems and its consumption in urban ecosystems is evaluated.

Key words: productivity, phytomass, productivity, energy, green belt, ecosystem, Kyiv

Я.П. ДІДУХ, У.М. АЛЁШКИНА

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА ЭКОСИСТЕМ Г. КИЕВА И ЕГО ЗЕЛеноЙ ЗОНЫ

Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України, г. Київ

Рассматриваются вопросы распределения фитомассы и энергии между разными типами экосистем г. Киева. Представлены соотношения фитомасс различных фракций в экосистемах, а также общей фитомассы и продуктивности в различных типах экосистем Киева. Оценивается энергетический баланс между накоплением энергии в природных экосистемах и ее расходом в урбанизированной части Киева.

Ключевые слова: фитомасса, продуктивность, энергия, зеленая зона, Киев

Питання продуктивності та енергетичного балансу є ключовими для оцінки перетворення сонячної енергії та накопичення органічної речовини в різних типах екосистем. Так, накопичена біомаса та продуктивність трофічних рівнів є важливими функціональними характеристиками екосистем, якими оперує сучасна екологія.

Важливу роль у розвитку цих досліджень відіграла Міжнародна біологічна програма (МБП), яка сформувалася у 60-х рр. минулого століття і сприяла науковій роботі низки екологічних питань [15–17]. Завдяки цим дослідженням були здійснені спроби математичного моделювання продукційного процесу в екосистемах та його аналізу в одиницях маси або енергії. Під час виконання цієї програми було накопичено значну кількість даних щодо продуктивності екосистем. В радянській літературі узагальнюючими є праці Н.І. Базидевич та Л.Є. Родіна [1, 2]. Найбільша

© Я.П. ДІДУХ, У.М. АЛЬОШКІНА, 2007

кількість праць присвячена продуктивності лісових екосистем [5, 6, 11, 12, 22, 24-26]. У 1969 р. на симпозіумі у Брюсселі питання продуктивності лісових екосистем були обговорені на міжнародному рівні [27].

Степовим та лучним екосистемам присвячені праці Т.Л. Бистрицької та В.В. Осичнюка [4], В.А. Снитко [19], А.А. Титлянової [21], В.Д. Утєхіна [23]. Вторинну продуктивність досліджували в меншій мірі [10, 28].

Впровадження МБП не дало очікуваних практичних результатів щодо розробки методів підвищення продуктивності агроекосистем, але було важливим у плані оцінки кругообігу речовин, динаміки та накопичення біомаси на різних трофічних рівнях у екосистемах.

Проте, незважаючи на велику кількість отриманих матеріалів, не було зроблено узагальнюючої концептуальної моделі потоку речовини та енергії. Таку модель запропонував представник американської екологічної школи Ю. Одум [14], яку далі розвинув Г. Одум [13]. Це є модель потоку енергії в екосистемі, що розглядається як кібернетична система із енергією на вході та виході з накопиченням біомаси в різних ланках трофічного ланцюгу.

Підхід Ю.Одума та Г.Одума дав можливість описувати не тільки природні, але й урбоекосистеми, що, на відміну від природних екосистем, є складними комплексами різних типів екосистем – технотопів і біотопів, оскільки функціонують за рахунок субсидованої енергії, яку досить складно оцінити, бо енергія, проходячи через екосистему, трансформується, набуваючи іншої якості. Тому оцінка енергетичних потоків відображає лише ту їх частину, яка характеризує ці процеси у відповідних формах (теплова, хімічна енергія тощо).

У цій статті зроблена спроба оцінки енергетичного балансу екосистем м. Києва.

Об'єкт та методика дослідження

Об'єктом нашого дослідження є м. Київ, включаючи його зелену зону. Мета роботи полягає в оцінці енергетичного балансу комплексної антропогенно-природної екосистеми мегаполісу.

Територія Києва входить до складу двох фізико-географічних зон – мішаних лісів та лісостепової – і має площу 835,6 км². Зелена зона міста займає близько 428,9 км², що становить 51,3% всієї його території. Найбільшу частину зеленої зони – 342,38 км² (40,97%) – складають соснові та мішані ліси переважно штучного походження. Листяні ліси займають 85,43 км² (10,22%), значний відсоток (7,63%) становлять заплавні ліси з *Alnus glutinosa*, *Salix alba*, *Populus nigra*. Штучні міські екосистеми включають житлову та промислову зони і транспортні мережі – 265,55 км² (31,78%) [8] (табл. 1).

Для оцінки енергетичного запасу та продуктивності зеленої зони м. Києва ми використали лісотаксаційні матеріали трьох лісопаркових господарств за 2000 рік та карти-схеми лісонасаджень Києва (масштаб 1:50 000). У лісотаксаційних матеріалах наведені дані щодо запасів насаджень – об'єму стовбурової деревини (м³) у кварталі в розрахунку на одиницю площі (га). Щоб розрахувати масу сухої деревини, необхідно показники об'єму помножити на так звану базисну (умовну) щільність деревини, яка залежить від виду дерева і дорівнює масі сухої речовини в об'ємній

Таблиця 1. Розподіл площі м. Києва під різними типами екосистем

Тип екосистем	Площа, км ² загальної площі	Відсоток від
1. Біотопи	519,51	61,89
1.1. Прирічкові ліси на піщаних терасах з <i>Salix alba</i> , <i>Populus nigra</i>	47,56	5,66
1.2. Ліси з <i>Betula pendula</i>	12,59	1,50
1.3. Заплавні евтрофні ліси з <i>Alnus glutinosa</i>	16,51	1,97
1.4. Ліси з <i>Carpinus betulus</i> , <i>Quercus robur</i> , <i>Acer platanoides</i> , <i>Tilia cordata</i> , <i>Ulmus laevis</i>	7,61	0,91
1.5. Ліси з <i>Fraxinus excelsior</i> , <i>Acer platanoides</i>	1,55	0,18
1.6. Ліси з <i>Pinus sylvestris</i>	291,19	34,69
1.7. Мішані ліси з <i>Pinus sylvestris</i> , <i>Quercus robur</i>	52,75	6,28
1.8. Парки, сквери, газони	34,06	4,06
1.9. Ділянки приватних городів та садів	28,36	3,38
1.10. Луки	27,33	3,26
2. Гідротопи	55,93	6,67
2.1. Річки, озера	53,08	6,33
2.2. Штучні техногенні водойми	2,85	0,34
3. Забудовані та штучно сформовані технотопи	260,11	30,99
3.1. Забудовані технотопи	209,44	24,95
3.2. Транспортні мережі, комунікації	50,67	6,04
Площа Києва	835,60	100,00

одиниці свіжозрубаної деревини $\rho_6 = m_0/V_{max}$). Ми використовували такі показники базисної щільності кг/м³ [3]: сосна – 500, дуб – 690, береза – 640, тополя – 455, вільха – 520, граб – 790, клен – 690.

Для оцінки розподілу фітомаси та продуктивності садових ділянок в межах Києва ми взяли середні показники розподілу фітомаси листяних лісів, враховуючи середню зімкненість у садах (0,4) та середню врожайність (10 т/га). Так само для розрахунку фітомаси паркових міських насаджень взято середні значення розподілу фітомаси для листяних лісів, зважаючи на те, що крона дерев паркових насаджень у 3–5 разів більша, ніж у лісових, маса стовбурової частини становить 70% від маси лісових, маса коренів на 10% більша, а також загальний принцип постійності фітомаси рівновеликих (однакові висота та діаметр) дерев одного виду як для природних, так і штучних насаджень [18]; середня зімкненість паркових насаджень – 0,6.

Наступним кроком є обчислення загальної маси всіх типів екосистем зеленої зони Києва (фракції біомаси консументів та редуцентів ми не брали до уваги). Для цього ми використали дані щодо розподілу фітомаси у різних типах лісових екосистем [1, 12, 22].

Для переведення цих даних в енергетичні одиниці ми виходили з усередненого показника: 1 г фітомаси сухої речовини еквівалентний 4,3 Ккал, або 18 000 Дж [14].

Результати дослідження та їх обговорення

На основі викладеної вище методики, використовуючи дані щодо поквартальних запасів деревини у лісових насадженнях і карти розподілу різних типів лісів та інших угруповань, ми провели відповідні розрахунки біомаси (табл. 2) та виразили їх в енергетичних одиницях.

Співвідношення фракцій фітомаси в різних типах екосистем становлять: маса стовбурів дерев – 65–75% від загальної фітомаси, гілки – 5–10%, зелені частини (листя, трава, мох) – 1,5–5%, корені – 15–20%.

Приріст або продуктивність біомаси для листяних лісів становить близько 4–5% на рік, для хвойних – 3%, причому приріст стовбурової фітомаси є досить сталим – 2% на рік (табл. 2).

У цілому запас стовбурової деревини всіх типів у межах м. Києва досягає $6,18 \cdot 10^9$ кг, або $111,24 \cdot 10^{15}$ Дж, запас фітомаси зелених насаджень – $10,27 \cdot 10^9$ кг, або $184,86 \cdot 10^{15}$ Дж. Таким чином, запас деревини становить 60,2% від запасу всієї фітомаси, що є нижчим, ніж співвідношення для лісових екосистем. Це цілком закономірно, якщо врахувати площу лук (3,26% від загальної), парків (4,06%), приватних городів та садів (3,38%) та низької зімкнутості (до 0,6) деревостану в соснових лісах.

Загальна продукція (річний приріст фітомаси) становить $0,45 \cdot 10^9$ кг, або $8,1 \cdot 10^{15}$ Дж – це 4,4% від всієї фітомаси, що знаходиться в межах теоретичних (4–5%) співвідношень. При цьому приріст для різних типів екосистем коливається у значних пропорціях. Найнижчий він для хвойних (соснових) та мішаних лісів, що займають найсухіші екотопи (2,6–3%), значно вищий (до 5%) – для листяних вологих з *Salix*, *Populus*, *Alnus* та вторинних березових лісів, деревостани яких формуються швидше.

Цілком закономірним є високий (10,7%) показник приросту для парків і ще вищий (22%) – для городів, садів. Натомість на луках він перевищує річні запаси (107,14%), оскільки значний відсоток фітомаси тут відчужується і вона наростає протягом року [7].

Якщо порівнювати енергетичні показники фітомаси та показник спожитої за рік енергії власне м. Києвом, наведений у Статистичному щорічнику та атласі м. Києва [9, 20] (в одиницях умовного палива), що становить $432 \cdot 10^{15}$ Дж, то останній у 2,3 рази перевищує енергію зелених насаджень. А в разі порівняння спожитої за рік енергії з річним приростом фітомаси, ця пропорція становитиме 1:53. Іншими словами, енергетична компенсація таких витрат відповідає площі природних насаджень $22\,860$ км² у співвідношенні типів екосистем, характерному для зеленої зони м. Києва, а це є 80% площі Київської обл.

Кількість енергії вироблених твердих відходів дорівнює сумі енергії органічної та неорганічної складових: $126 \cdot 10^6$ кг (маса органічних відходів міста) $\cdot 5000$ Ккал/кг $\cdot 4186$ Дж/ккал = $2,64 \cdot 10^{15}$ Дж в органічній фракції відходів; $54 \cdot 10^6$ кг (маса неорганічних відходів міста) $\cdot 14200$ Дж/кг (енергія Гіббса для залізної руди) = $7,67 \cdot 10^{11}$ Дж в їх неорганічній фракції.

Отже, відходи м. Києва оцінюються $2,64 \cdot 10^{15}$ Дж, що еквівалентно третині (32,6%) річного приросту енергії зеленої зони міста.

Таблиця 2. Показники розподілу фітомаси та продукції для різних типів екосистем Києва

Показники	Вся фітомаса	Зелені частини					Здерев'янілі частини					Надземна частина	Підземні органи		
		дерева	кущі	кущики	трави	мохи	всього	дерева	гілки	стовбур	кущі			кущики	всього
Прирічкові ліси з <i>Salix alba</i>, <i>Populus nigra</i>, загальна фітомаса – 42,20 · 10⁷ кг; продукція – 2,11 · 10⁷ кг/рік															
Фітомаса, т/га	89,15	1,69	0,04	0,15	0,15	1,88	70,25	4,92	65,33	0,42		70,67	72,55	16,6	
Продукція, т/га/рік	4,45	1,36	0,04	0,15	0,15	1,54	2,29	1,05	1,24	0,04		2,33	3,88	0,57	
% фракцій від заг.фітомаси		1,9	0,05	0,17	0,17	2,11	78,8	5,52	73,28	0,47		79,27	81,38	18,62	
% фракцій від продукції		30,44	0,9	3,34	3,34	34,69	51,49	23,62	27,87	0,90		52,39	87,08	12,92	
Приріст фітомаси, %	5,00	80,24	100,00	100,00	100,00	82,23	3,26	21,4	1,90	9,52		3,30	5,35	3,47	
Ліси з <i>Betula pendula</i>, загальна фітомаса – 27,43 · 10⁷ кг; продукція – 1,34 · 10⁷ кг/рік															
Фітомаса, т/га	218,91	4,78	0,09	0,49	0,49	5,42	169,01	17,74	151,26	0,75		169,76	175,18	43,72	
Продукція, т/га/рік	10,67	3,23	0,09	0,49	0,01	3,82	5,16	2,28	2,87	0,04		5,21	9,03	1,63	
% фракцій від заг.фітомаси		2,19	0,04	0,22	0,03	2,48	77,20	8,11	69,10	0,34		77,55	80,03	19,97	
% фракцій від продукції		30,27	0,86	4,60	0,11	35,83	48,34	21,42	26,92	0,43		48,77	84,60	15,40	
Приріст фітомаси, %	4,88	67,54	100,00	100,00	20,00	70,53	3,05	12,89	1,90	6,06		3,070	5,16	3,76	
Заплавні евтрофні ліси з <i>Alnus glutinosa</i>, загальна фітомаса – 27,76 · 10⁷ кг; продукція – 1,40 · 10⁷ кг/рік															
Фітомаса, т/га	168,85	2,02	0,24	0,01	0,71	0,02	2,99	131,95	8,58	123,37	1,22	0,10	133,27	136,27	32,58
Продукція, т/га/рік	8,55	2,02	0,24	0,01	0,71	0,02	2,97	3,95	1,61	2,34	0,12	0,01	4,08	7,05	1,49
% фракцій від заг.фітомаси		1,20	0,14	0,00	0,42	0,01	1,77	78,14	5,08	73,06	0,73	0,06	78,93	80,70	19,30
% фракцій від продукції		23,60	2,79	0,09	8,29	0,00	34,77	46,22	18,80	27,42	1,44	0,09	47,75	82,52	17,48
Приріст фітомаси, %	5,06	100,00	100,00	100,00	0,00	99,23	2,99	18,74	1,90	10,06	7,69	3,06	5,18	4,59	

Показники	Вся фітомаса		Зелені частини					Здерев'янілі частини					Надземна частина	Підземні органи	
	дерева	кущі	кущі	трави	мохи	всього	дерева	гілки	стовбур	кущі	кущички	всього			
															дерева
Ліси з <i>Sarpinus betulus</i>, <i>Quercus robur</i>, загальна фітомаса – 21,34 · 10⁷ кг; продукція – 0,77 · 10⁷ кг/рік															
Фітомаса, т/га	3,02	0,29	0,09	0,42	0,02	3,83	226,41	33,96	192,45	3,01	0,67	230,1	233,93	47,86	
Продукція, т/га/рік	3,02	0,29	0,09	0,42	0,02	3,83	4,48	0,67	3,8	0,22	0,10	4,80	8,61	1,32	
% фракцій від заг.фітомаси	1,07	0,10	0,03	0,15	0,01	1,36	80,42	12,06	68,36	1,07	0,23	81,73	83,09	17,00	
% фракцій від продукції	29,65	2,80	0,85	4,16	0,17	37,64	43,92	6,59	37,34	2,12	1,01	47,07	84,54	12,91	
Приріст фітомаси, %	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	1,98	1,98	1,98	7,18	15,38	2,08	3,68	2,75	
Ліси з <i>Fraxinus excelsior</i>, <i>Acer platanoides</i>, загальна фітомаса – 2,67 · 10⁷ кг; продукція – 0,13 · 10⁷ кг/рік															
Фітомаса, т/га	173,76	2,54	0,25	0,29		3,08	131,82	7,91	123,91	2,32		134,14	137,23	36,53	
Продукція, т/га/рік	8,63	2,54	0,25	0,29		3,08	4,24	1,89	2,35	0,23		4,47	7,55	1,07	
% фракцій від заг.фітомаси	1,46	0,14	0,17	0,17		1,78	75,87	4,55	71,31	1,33		77,2	78,97	21,03	
% фракцій від продукції	29,49	2,90	3,36			35,75	49,18	21,89	27,29	2,63		51,81	87,57	12,43	
Приріст фітомаси, %	100,00	100,00	100,00	100,00		100,00	3,22	23,87	1,90	9,80		3,33	5,50	2,94	
Ліси з <i>Pinus sylvestris</i>, загальна фітомаса – 660,70 · 10⁷ кг; продукція – 20,00 · 10⁷ кг/рік															
Фітомаса, т/га	227,92	4,31	0,14	0,05	0,43	0,06	188,24	16,94	171,30	0,93	0,05	189,22	194,22	33,70	
Продукція, т/га/рік	6,90	1,89	0,14	0,02	0,43	0,01	3,48	0,31	3,17	0,09	0,03	3,60	6,10	0,80	
% фракцій від заг.фітомаси	1,89	0,06	0,02	0,19	0,03	2,19	82,59	7,43	75,16	0,41	0,02	83,02	85,21	14,79	
% фракцій від продукції	27,36	2,08	0,28	6,25	0,14	36,11	50,42	4,54	45,88	1,39	0,42	52,22	88,33	11,67	
Приріст фітомаси, %	43,78	100,00	40,00	100,00	16,67	49,90	1,85	1,85	1,85	10,31	60,00	1,91	3,14	2,39	
Мішані ліси з <i>Pinus sylvestris</i>, <i>Quercus robur</i>, загальна фітомаса – 170,10 · 10⁷ кг; продукція – 4,42 · 10⁷ кг/рік															
Фітомаса, т/га	323,96	6,48	0,10	0,03		6,61	247,5	13,61	233,9	1,33		248,84	254,31	69,00	
Продукція, т/га/рік	8,42	2,42	0,10	0,03		2,71	2,33	0,60	3,30	0,71		4,60	6,41	0,98	
% фракцій від заг.фітомаси	2,00	0,03	0,10	0,10		2,13	76,4	4,20	72,2	0,41		76,89	78,50	21,30	
% фракцій від продукції	29,65	0,91	3,12			33,03	46,42	7,15	39,27	8,32		54,75	76,07	11,57	
Приріст фітомаси, %	37,38	100,00	100,00			41,03	1,58	4,43	1,41	53,33		1,85	2,52	1,41	

Показники	Вся фітомаса	Зелені частини				Здерев'янілі частини				Надземна частина	Підземні органи		
		деревя	кущі	кущики	трави	мохи	всього	деревя	гілки			стовбур	кущі
Заплавні луки широколистяних лісів, загальна фітомаса – 4,57 · 10⁷ кг; продукція – 4,90 · 10⁷ кг/рік													
Фітомаса, т/га	16,80											3,20	13,60
Продукція, т/га/рік	18,00											4,80	13,20
% фракцій від заг.фітомаси												19,05	81,00
% фракцій від продукції												26,67	73,30
Приріст фітомаси, %	107,14											150,00	97,10
Ділянки приватних городів та садів, загальна фітомаса – 25,06 · 10⁷ кг; продукція – 5,49 · 10⁷ кг/рік													
Фітомаса, т/га	88,79	4,40	0,13	0,15	4,67	57,25	12,93	44,32	1,19	58,43	63,11	25,68	
Продукція, т/га/рік	19,46	4,40	0,13	10,00	0,15	14,67	1,84	3,09	0,84	0,11	4,04	18,71	0,75
% фракцій від заг.фітомаси		4,96	0,15	0,17	5,26	64,48	14,56	49,93	1,34	65,82	71,09	28,93	
% фракцій від продукції		22,61	0,67	51,39	0,77	75,38	9,45	15,88	4,32	0,57	20,76	96,14	3,85
Приріст фітомаси, %	21,92	100,00	100,00	100	300,14	3,21	23,90	1,89	9,24	6,91	29,65	2,92	
Парки, міські насадження, загальна фітомаса – 45,16 · 10⁷ кг; продукція – 4,82 · 10⁷ кг/рік													
Фітомаса, т/га	133,18	6,60	0,19	0,22	7,01	85,87	19,39	66,48	1,78	87,65	94,66	38,52	
Продукція, т/га/рік	14,21	6,60	0,19	0,22	7,01	2,76	4,63	1,26	0,17	6,06	13,08	1,13	
% фракцій від заг.фітомаси		4,95	0,14	0,17	5,27	64,48	14,56	49,92	1,33	65,81	71,08	28,92	
% фракцій від продукції		46,45	1,35	1,56	49,36	19,45	32,57	8,89	1,22	42,65	92,04	7,98	
Приріст фітомаси, %	4,96	100,00	100,00	100,00	100,00	3,22	23,87	1,90	9,80	3,33	5,5	2,94	
Фітомаса м. Києва	10,27 · 10⁹ кг												
Продукція м. Києва	0,45 · 10⁹ кг/рік												

Висновки

Проаналізовано структурний розподіл фракцій фітомаси та продукції для основних природних екосистем м. Києва. Розраховано загальну фітомасу і продукцію зеленої зони міста, які дорівнюють $10,27 \cdot 10^9$ кг і $0,45 \cdot 10^9$ кг/рік, або $184,86 \cdot 10^{15}$ Дж і $8,1 \cdot 10^{15}$ Дж/рік. Відповідно розглянуто специфіку розподілу та акумулювання енергії в різних типах екосистем. Подано співвідношення спожитої містом енергії та енергії продукції його зеленої зони.

Таким чином, Київ, як мегаполіс, є складною екосистемою, в якій урбаністична і технотопічна складові переважають та визначають розвиток, енергопотоки, тобто функціонують за рахунок субсидованої енергії, що еквівалентно продукції 50 площ зелених зон міста.

1. *Базилевич Н.И.* Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. – М.: Наука, 1993. – 293 с.
2. *Базилевич Н.И., Родин Л.Е.* Продуктивность и круговорот элементов в естественных и культурных фитоценозах // Биол. продукт. и круговорот элементов в растит. сообщ. – Л.: Наука, 1971. – С. 5–32.
3. *Боровиков А.М., Уголев Б.Н.* Справочник по древесине. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
4. *Быстрицкая Т.Л., Осычнюк В.В.* Почвы и первичная продуктивность степей Приазовья. – М.: Наука, 1975. – 109 с.
5. *Ватковський О.С.* Анализ формирования первичной продуктивности лесов. – М.: Наука, 1976. – 116 с.
6. *Голубець М.А., Половников Л.І.* Загальні закономірності нагромадження фітомаси в смерекових лісах // Біол. продукт. смерекових лісів Карпат. – К.: Наук. думка, 1975. – С. 4–64.
7. *Дідух Я.П.* Порівняльна оцінка енергетичних запасів екосистем України // Укр. ботан. журн. – 2007. – **64**, № 2. – С. 177–194.
8. *Дідух Я.П., Альошкіна У.М.* Класифікація екоотів міста Києва // Наук. зап. НАУКМА. – 2006. – **54**. – С. 50–57.
9. *Екологічний атлас Києва.* – К.: ТОВ «Агентство Інтермедія», 2003. – 60 с.
10. *Злотин Р.И., Ходашова К.С.* Роль животных в биологическом круговороте лесостепных экосистем. – М.: Наука, 1974. – 200 с.
11. *Молчанов А.А.* Продуктивность органической массы в лесах различных зон. – М.: Наука, 1971. – 276 с.
12. *Мякушко В.К.* Сосновые леса равнинной части УССР. – Киев: Наук. думка, 1978. – 256 с.
13. *Одум Г., Одум Э.* Энергетический базис человека и природы. – М.: Прогресс, 1978. – 379 с.
14. *Одум Ю.* Экология. В 2-х т. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – Т. 1. – 327 с.
15. *Ресурси біосфери.* Ітоги советських досліджень по МБП. – Л.: Наука, 1975. – Т. 1. – 288 с.
16. *Ресурси біосфери.* Ітоги советських досліджень по МБП. – Л.: Наука, 1975. – Т. 2. – 240 с.
17. *Ресурси біосфери.* Ітоги советських досліджень по МБП. – Л.: Наука, 1976. – Т. 3. – 724 с.
18. *Синельщиков Р.Г.* Форма стволов и биомасса деревьев в разомкнутых культурценозах // Лесн. хоз-во. – 1992. – № 4–5. – С. 29–31.
19. *Снытко В.А., Нефедьева Л.Г., Дубынина С.С.* Травяные биогеоценозы Назаровской котловины и влияние техногенеза на их продуктивность // Продукт. сенокосов и пастбищ. – Новосибирск: Наука, 1986. – С. 48–52.
20. *Статистичний щорічник м. Києва.* – К.: Консультант, 2006. – 360 с.
21. *Титлянова А.А., Тихомирова Н.А., Шатохина Н.Г.* Продукционный процесс в агроценозах. – Новосибирск: Наука, 1982. – 185 с.

22. Усольцев В.А. Фитомасса лесов Северной Евразии: нормативы и элементы географии. – Екатеринбург: Уро РАН, 2002. – 763 с.
23. Утехин В.Д. Первичная продуктивность лесостепных экосистем. – М.: Наука, 1977. – 148 с.
24. Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов: Методы изучения и результаты // Итоги науки и техники. Лесоведение и лесоводство. – М.: ВИНТИ, 1975. – С. 7–25.
25. Хильми Г.Ф. Энергетика и продуктивность растительного покрова суши. – Л., 1976. – 62 с.
26. Юркевич И.Д., Ярошевич Э.П. Биологическая продуктивность типов и ассоциаций сосновых лесов. – Минск.: Наука и техника, 1974. – 294 с.
27. Productivity of forest ecosystems / Proceedings of the Brussels symposium organized by UNESCO. – Paris: UNESCO, 1971. – 707 p.
28. Secondary productivity of terrestrial ecosystems / Ed. V. Petruszewicz. – Warszawa, 1967. – Vol. 1. – P. 1–97.