

ИЗМЕНЕНИЕ КРУГОВОРОТА ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ (N, P, K) В СОСНЯКАХ ТРАВЯНО-СФАГНОВЫХ ПОД ВЛИЯНИЕМ ГИДРОЛЕСОМЕЛИОРАЦИИ

В.И.Саковец

Интенсивность биологического круговорота органического вещества и питательных элементов в лесоболотных биогеоценозах довольно хорошо изучены. Она тесно связана с биологической продуктивностью растительных сообществ, обусловленной состоянием водного режима и потенциальным богатством почвы питательными элементами, а также концентрацией элементов питания в различных фракциях фитомассы растений (1–4). Однако специальных исследований по изменению круговорота азота и зольных элементов под влиянием осушения не проводилось. Нами изучалась динамика органического вещества и круговорот N, P, K в лесоболотных осушенных и неосушенных биогеоценозах на экосистемном уровне (фитоценоз, торфяная залежь, ПГВ).

Объекты и методика исследований.

Исследования проводились в среднетаежной подзоне Карелии (Киндасовский опытный стационар) в сосняках травяно-сфагновых на мезоевтрофных торфяных почвах. Пробные площади были заложены на 125-метровой межканальной полосе с давностью осушения 20 лет, в зоне интенсивного (0–30 м от канала) и экстенсивного (30–60 м от канала) осушения и параллельно в неосушенном насаждении того же типа леса, в одном и том же болотном массиве. Условия местопроизрастания и таксационная характеристика этих насаждений до осушения были близкими. Возраст сосны до осушения 85–90 лет, полнота древостоя 0,45 – 0,48, запас 44–48 м³ га⁻¹. В составе древостоя кроме сосны – 5–6 ед. березы. Мощность торфа на пробных площадях в осушенном насаждении составляет 1,5, а до осушения по материалам опытного проектирования каналов была 1,8 м. В приканальной полосе мощность залежи после осушения уменьшилась на 28, а на середине межканального пространства на 20 см. Залежь до глубины 40 см сложена переходным, а глубже низинным осоково-сфагновым торфом со степенью разложения 20–25 %. Зольность торфа в верхнем горизонте (0–20 см) 7–8 %, а ниже 3,0–4,4 %.

Закладка пробных площадей и обработка полученных данных производились в соответствии с методическими указаниями (5, 6). Общая фитомасса древостоев и слагающих её компонентов определялась на

основании методических разработок, выполненных Институтом леса СО АН СССР (7, 8). При изучении динамики органического вещества и круговорота N, P, K в осушенном и неосушенном биогеоценозах использовались методические указания по изучению биологического круговорота (9, 10).

Для характеристики динамики органического вещества были определены надземная и подземная фитомасса осушенного и неосушенного биогеоценозов, её структурный состав, величина прироста и опада. В различных фракциях фитомассы, в почве, почвенно-грунтовых и дренажных водах определено содержание N, P, K и суммы зольных элементов.

Образцы воды в скважинах и каналах отбирались ежемесячно (с мая по октябрь), из скважины с глубины 0–50 и 50–100 см в течение 4-х лет. На химический анализ почвы и опада отобрано более 500 образцов.

Объемная масса торфяного слоя определялась весовым методом в нескольких точках в 10–20 м от канала, в середине межканальной полосы и на контрольной (неосушенной) пробной площади путем послыонного, через 10 см, отбора образцов торфа и замера их объема в полевых условиях. Масса опада древесного яруса измерялась с помощью опадоуловителей. За количество опада напочвенного покрова условно принималась величина его ежегодного прироста. Запасы лесной подстилки и сфагнового опада определялись весовым методом на площадках $0,5 \times 0,5$ м в количестве от 20 до 50.

Химические анализы торфа, воды, растительности и её опада выполнены в аналитической лаборатории Института леса КарНЦ РАН. Определялось: содержание органических и минеральных веществ путем сжигания навески в муфеле при 450° ; содержание общего азота методом Кьельдаля; содержание фосфора методом Труога; содержание калия пламенно-фотометрическим методом (11).

Слабоосушенный сосняк травяно-сфагновый (середина межканального пространства) несколько меньше по общей фитомассе насаждения (на 8 %) и годовому приросту фитомассы (на 16 %) по сравнению с интенсивно осушенным. Однако доля надземной фитомассы древесного яруса в них примерно одинакова (77,5 и 75,6 %). Доля живого напочвенного покрова в общей фитомассе интенсивно осушенного и слабо осушенного биогеоценоза невелика – 1,7 и 2,0 %, тогда как на неосушенном 15,2 %. Круговорот N, P, K в слабо осушенном насаждении незначительно отличается от интенсивно осушенного. В связи с этим в дальнейшем рассматриваются изменения его под влиянием осушения лишь интенсивно осушенного и неосушенного биогеоценозов.

Результаты и их обсуждения

Химический состав растений связан с почвенно-климатическими условиями их произрастания (2, 12, 13). Анализ содержания различных элементов в древесных растениях лесоболотных фитоценозов подтверждает их зависимость от экологических условий. Особенно заметные различия наблюдаются в содержании азота и суммы зольных элементов в хвое и листьях растений осушенных и неосушенных биогеоценозов: под влиянием осушения их становится больше. Закономерных изменений в процентном содержании Р и К в древесных растениях в связи с осушением не наблюдается (табл.1).

Т а б л и ц а 1
Содержание химических элементов в различных фракциях фитомассы
древесного яруса

Тип леса	Порода	Элементы питания	Содержание химических элементов в % на а.с.в.				
			хвоя и листья	ветви	др-на стволов	корни	кора
Сосняк травяно-сфагновый неосушенный	Сосна	∑ зол.элемент. и азота	1,208	0,709	0,299	1,009	1,182
		N	1,14	0,56	0,25	0,54	0,51
		P	0,07	0,01	0,002	0,03	0,02
		K	0,51	0,16	0,06	0,32	0,20
	Береза	∑ зол.элемент. и азота	1,703	0,910	0,347	1,191	1,134
		N	2,10	0,89	0,24	0,67	0,53
		P	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01
		K	0,57	0,029	0,19	0,38	0,26
Сосняк травяно-сфагновый осушенный	Сосна	∑ зол.элемент. и азота	1,406	0,709	0,324	0,964	1,466
		N	1,25	0,56	0,25	0,48	0,53
		P	0,06	0,01	0,08	0,01	0,05
		K	0,66	0,16	0,10	0,39	0,45
	Береза	∑ зол.элемент. и азота	2,992	0,983	0,347	1,003	1,078
		N	2,62	0,73	0,24	0,72	0,54
		P	0,06	0,01	0,01	0,02	0,02
		K	1,12	0,25	0,19	0,34	0,22

Хвоя сосны и листья березы содержат наибольшее количество зольных элементов и азота по сравнению с другими частями деревьев. Сумма зольных элементов в хвое сосны в неосушенных типах леса составляет 1,21 %, в осушенных – 1,41 %, в листьях березы соответственно от 1,7 до 2,99 %. Азота в хвое сосны содержится в естественном типе леса 1,14, а в осушенном – 1,25 %. Самое низкое содержание азота в древесине стволов сосны 0,25%. Концентрация фосфора невелика во всех частях сосны и березы – 0,01–0,08 %. Содержание калия наиболее высокое в

листьях березы – 0,57–1,12 % и в хвое сосны (0,51–0,66 %). К обладает высокой подвижностью, поэтому количество его в хвое очень изменчиво в течение вегетационного периода, и зависит от её возраста. Повышенным содержанием К отличается молодая растущая хвоя, а по мере старения количество его понижается (14).

Анализ данных по сумме зольных элементов в различных структурных частях сосны показывает, что наиболее зольной частью является хвоя, затем кора, корни, ветви и самой низкозольной – древесина стволов. В таком же порядке изменяется и содержание в них N, P, K.

Содержание N, P, K в свежем опаде хвои и ветвей сосны несколько ниже, чем в растущей хвое и ветвях. Особенно заметны различия по содержанию калия, которого становится почти в два раза меньше. Различий в процентном содержании N, P, K в свежем опаде в связи с осушением не наблюдается, однако имеется некоторое увеличение содержания азота.

В напочвенном покрове болотных лесов распространены различные виды кустарничков, трав и мхов. Их произрастание связано с экологическими условиями, они относятся к разным семействам и разнообразны по минеральному составу. Для сосняков травяно-сфагновых характерно преобладание болотных видов травянистых растений и сфагновых мхов, типичных для мезотрофных условий местопроизрастания.

Сравнение содержания зольных элементов и азота в кустарничках и травянистых растениях показывает, что последние более богаты питательными элементами. Особенно богаты зольными элементами такие растения как хвощи, вахта трехлистная, сабельник болотный. Например, в хвощах содержится азота 2,36 %, фосфора 0,09 %, калия 2,7 %. Менее богаты зольными элементами сфагновые мхи. Преобладание в напочвенном покрове тех или иных растений обуславливает особенности формирования органического вещества и круговорота зольных элементов в лесоболотных фитоценозах.

Под влиянием осушения масса растений напочвенного покрова в лесоболотных фитоценозах, как правило, снижается, уменьшается и его значение в круговороте органического вещества и зольных элементов, особенно на более богатых торфяных почвах.

Потоки азота, фосфора и калия

В лесных биогеоценозах происходит постоянный обмен минеральными элементами между растительностью и почвой, поглощение из почвы азота и зольных элементов растительностью и возврат их в почву с опадом. Наряду с этим, часть минеральных элементов поступает с осадками, вымывается из живых органов растений, передвигается по профилю почвы и выносятся с

грунтовыми водами за пределы биогеоценоза. Основные звенья биологического круговорота – потребление химических элементов на формирование прироста, возврат их с опадом, закрепление в органическом веществе живых растений, накопление в лесной подстилке и корнеобитаемом слое почвы.

В естественном лесоболотном биогеоценозе 57.9 % годичного прироста фитомассы образуют растения напочвенного покрова (сфагновые мхи, травы, болотные кустарнички) и их корни. Большая часть их ежегодно поступает в опад и в условиях обильного увлажнения способствует формированию торфа.

Под влиянием осушения деградируют сфагновые мхи, исчезают растения гидрофиты и в составе напочвенного покрова появляются типичные лесные растения, формируется настоящая лесная подстилка, толщина которой составляет 3–10 см. Торф в верхних горизонтах уплотняется, увеличивается его объемная масса, в нем повышается концентрация элементов питания. Запасы N и P и суммы зольных элементов в верхнем 20-сантиметровом слое торфяной залежи в зоне интенсивного осушения через 20 лет возрастают в 1,5–2,5 раза и составляют по N – 74,64, по P – 2,81 ц га⁻¹, а по K уменьшаются в связи с его большей подвижностью. Запасы элементов питания в нижележащих слоях торфяной залежи, где осадки торфа не наблюдалось, в осушенном и неосушенном сосняках травяно-сфагновых приблизительно одинаковы (15). Однако мощность торфяной залежи в интенсивно осушенной зоне была на 28 см меньше в сравнении с неосушенным насаждением, что привело к снижению запасов основных элементов питания в ней по N на 1594, P – 64, K – 135 кг га⁻¹, спустя 20 лет после осушения.

В общей фитомассе сосняка травяно-сфагнового неосушенного содержится 837 кг на га⁻¹ зольных элементов, 434 кг азота, 20 кг фосфора и 265 кг калия (табл.2). При этом лишь 59 % всех зольных элементов, 67 % азота, 40 % фосфора сосредоточено в надземной и подземной фитомассе древесного яруса. Остальная часть элементов сосредоточена в травяно-кустарничковых и моховых растениях, их корнях, значительная часть которых ежегодно отмирает.

В общей фитомассе сосняка травяно-сфагнового 20-летней давности осушения содержится 929 кг зольных элементов, 505 кг азота, 42 кг фосфора и 333 кг калия (табл.3). В древесном ярусе заключено 95 % всех зольных элементов, 96 % N, 84 % P и 93 % K и лишь незначительная часть их сконцентрирована в травяно-кустарничковом ярусе.

Содержание азота и зольных элементов в сосняке травяно-сфагновом неосушенном в древесном ярусе 1.18 кг, а в напочвенном покрове 4.04 кг на 1 ц а.с.в. органической массы, а в осушенном – соответственно 1.1 кг, и 4.05 кг, т.е. приблизительно одинаковая.

Т а б л и ц а 2
Содержание суммы зольных элементов и N, P, K в фитомассе и приросте фитомассы в сосняке травяно-сфагновом неосушенном, кг га⁻¹

Фракции фитомассы	Фитомасса общая кг га ⁻¹	Содержание в кг га ⁻¹				Прирост фитомассы кг га ⁻¹	Содержание в кг га ⁻¹			
		∑зол. элем.	N	P	K		∑зол. элем.	N	P	K
Древостой										
Стволы и кора	38700	181,67	113,09	3,07	62,59	558	2,62	1,62	0,044	0,91
Крона	7460	84,64	73,74	1,91	21,43	1914	28,28	32,17	0,665	9,38
Подрост и подрост										
	4170	39,11	30,55	0,854	10,0	833	9,99	9,9	0,214	2,98
Напочвенный покров										
Кустарнички, травы и мхи	2920	98,97	37,92	2,68	37,62	1990	76,78	29,26	1,9	31,84
Подземная часть										
Корни	23770	433,03	178,59	11,48	133,2	3430	90,23	31,46	2,99	27,13
Всего	77020	837,4	433,9	20,0	264,9	8725	207,9	104,4	5,81	72,2

На формирование годичного прироста в неосушенном насаждении выносятся из почвы 208 кг зольных элементов, 104 кг азота, 6 кг фосфора и 72 кг калия (табл. 2). Питательные элементы расходуются в основном на прирост растений напочвенного покрова, трав и их корней и формирование хвои сосны и листьев березы.

На ежегодный прирост фитомассы сосняка травяно-сфагнового осушенного выносятся лишь 150 кг зольных элементов, 101 кг азота, 5 кг фосфора и 56 кг калия, т.е. емкость круговорота несколько меньше, чем в неосушенном (табл. 3). Потребление на прирост азота и зольных элементов на 19, фосфора на 12, калия на 22 % ниже, чем в естественном насаждении. Это связано с тем, что питательные элементы в осушенном насаждении расходуются главным образом на прирост древесного яруса, а зольность древесины сосны, березы, их ветвей гораздо ниже, чем у растений живого напочвенного покрова. Поэтому, несмотря на увеличение годичного прироста фитомассы под влиянием осушения, вынос из почвы азота и фосфора снизился. То же самое наблюдается при рассмотрении расходов питательных элементов на прирост 1 ц а.с.в.: в сосняке травяно-сфагновом неосушенном используются 1,2 кг азота, 0,07 кг фосфора и 0,82 кг калия и соответственно 0,67, 0,02 и 0,37 в осушенном, т.е. значительно меньше.

Т а б л и ц а 3
**Содержание суммы зольных элементов и N, P, K в фитомассе и её приросте
 в интенсивно осушенном сосняке травяно-сфагновом, кг га⁻¹**

Фракции фитомассы	Фитомасса общая кг га ⁻¹	Содержание в кг га ⁻¹				Прирост фитомассы кг га ⁻¹	Содержание в кг га ⁻¹			
		∑зол. элем.	N	P	K		∑зол.э. лем.	N	P	K
Древостой										
Стволы и кора	85810	364,63	236,37	30,8	143,12	3450	14,59	7,36	1,26	5,69
Крона	14887	193,8	147,49	4,35	58,70	4346	84,06	69,01	1,90	32,22
Подрост и подлесок										
	1710	18,97	13,26	0,45	5,85	437	6,96	5,52	0,16	2,43
Напочвенный покров										
Кустарнички, травы и мхи	814	25,48	9,57	0,75	9,17	492	17,46	6,6	0,46	6,73
Подземная часть										
Корни	30900	326,0	97,94	5,88	116,57	1800	27,16	12,86	0,68	9,12
Всего	134121	928,88	504,6	42,2	333,4	10525	150,2	101,4	4,5	56,2

В сосняке травяно-сфагновом без осушения ежегодно отмирает большое количество трав, их корней и сфагновых мхов – 47 ц га⁻¹, а в осушенном насаждении всего лишь 9,5 ц. Общая масса опада в насаждении без осушения 7956, а в интенсивно осушенном 7320 ц га⁻¹ (табл.4). С опадом ежегодно поступает в почву сосняка травяно-сфагнового неосушенного 99 кг азота, 5 кг фосфора и 68 кг калия, а в осушенном 88,1; 3,5 и 47 кг га⁻¹, т.е. меньше, чем в естественном насаждении (табл. 4). Это также является результатом снижения роли живого напочвенного покрова в круговороте питательных элементов после осушения. В сосняке травяно-сфагновом неосушенном возврат элементов питания в почву составляет по азоту 94, фосфору 95, калию 94 %, а в осушенном насаждении соответственно 87, 77 и 83 % от содержания их в годичном приросте фитомассы, т.е. в последнем случае значительная часть N, P, K остается в фитомассе древесного прироста. Нетто-продукция в осушенном сосняке в 3 раза выше, чем в неосушенном. На истинный прирост в осушенном насаждении расходуется больше N в 2,4, P в 4,4 и K в 2,2 раза, чем в неосушенном.

Т а б л и ц а 4
Содержание суммы зольных элементов и N, P, K в фитомассе свежего опада в сосняке травяно-сфагновом интенсивно осушенном и неосушенном в кг га⁻¹

Фракции фитома	С. травяно-сфагновый осушенный					С. травяно-сфагновый неосушенный				
	Фито-масса	∑зол.э.лем.	N	P	K	Фито-масса	∑зол.э.лем.	N	P	K
Древостой										
стволы	1447	5,53	3,72	0,53	2,36	313	1,84	1,01	0,03	0,58
крона	4023	81,26	68,63	1,88	30,17	1907	28,38	32,05	0,68	9,42
Подрост и подлесок										
	262	2,63	1,71	0,06	0,73	810	9,86	9,76	0,21	2,94
Напочвенный покров										
Кустарнички, травы, мхи	470	16,92	6,4	0,45	6,56	1930	74,61	28,42	1,84	29,99
Подземная часть										
корни	1118	20,28	7,62	0,54	6,92	2999	80,15	27,76	2,67	24,92
всего	7320	126,6	88,1	3,5	46,7	7959	194,8	99,0	5,4	67,8

Наряду с более высоким использованием питательных элементов на истинный прирост, происходит увеличение после осушения их выноса со стоковыми водами. Под влиянием осушения увеличивается содержание N, P, K в ПГВ. Так, средняя концентрация в воде неосушенного и осушенного биогеоценозов возрастает по N от 1,62 до 3,67 мг л⁻¹, по P от 0,063 до 0,097 мг л⁻¹, по K от 0,145 до 0,299 мг л⁻¹. Соответственно увеличиваются и запасы этих элементов в ПГВ (табл.5).

Т а б л и ц а 5.
Изменение запасов N, P, K (в кг га⁻¹) в различных компонентах сосняков травяно-сфагновых под влиянием 20-летнего осушения

Компоненты биогеоценоза	Осушенный				Неосушенный				Ежегодное изменение запасов		
	Орг.в-во, т га ⁻¹	N	P	K	Орг.в-во, т га ⁻¹	N	P	K	N	P	K
Фито масса	134,2	604,9	42,2	333,4	77,0	433,9	20,0	264,8	+8,56	+1,11	+3,43
Подстилка, очес	19,9	508	26	18	8,6	98	6	24	+20,5	+1,0	-0,30
Торфян, залежь	1059	17680	651	119	1076	19274	715	254	-79,7	-3,2	-6,7
ПГВ		2282	61	186		1489	58	133	+39,6	+0,1	+2,65
Итого	1213	21075	780,2	656,4	11616	21295	799	675,8	-11,04	-0,99	-0,92

Повышение содержания N, P, K в стоковых водах с осушенных земель менее значительно. В дренажных водах сосняка травяно-сфагнового неосушенного средняя концентрация N составляет 1,23, в осушенном 1,91 мг л⁻¹, P – 0,03 и 0,07 мг л⁻¹, K – 0,181 и 0,216 мг л⁻¹.

Под влиянием гидролесомелиорации со стоковыми водами поступало за годы исследований ежегодно в водоприемники больше N в среднем на 2,42, P – 0,11, K – 0,13 кг га⁻¹. Несмотря на некоторое увеличение выноса N, P, K со стоком, этот процесс не окажет значительного загрязняющего влияния на воды ручьев и рек водоприемников, так как содержание этих элементов в дренажных водах ниже ПДК. В связи с тем, что объем стока на объектах исследования определялся на основе многолетних наблюдений, но без учета данных в первые годы после осушения, когда вынос химических веществ особенно велик, а концентрация элементов питания в воде изучалась в последние четыре года, результаты определений по выносу элементов питания и содержанию их в ПГВ в среднем за период осушения можно считать лишь приближительными.

При рассмотрении ежегодных запасов N, P, K в различных компонентах биогеоценоза сосняков травяно-сфагновых под влиянием 20-летнего осушения (табл.5) выявлено следующее:

- возрастание запасов элементов в фитомассе древесного яруса;
- уменьшение запасов элементов в живом напочвенном покрове;
- снижение запасов элементов в торфяной залежи;
- возрастание запасов элементов в почвенно-грунтовых и стоковых водах.

Возврат питательных элементов с опадом не восполняет их затрат на прирост и вынос со стоком, поэтому в первые 20 лет после осушения, несмотря на повышение плодородия корнеобитаемого слоя почвы, произошло некоторое уменьшение запасов N, P, K в торфяной залежи. Общий годовой баланс содержания N, P, K в экосистеме осушенного сосняка травяно-сфагнового отрицательный, происходит, учитывая увеличение выноса со стоковыми водами, некоторое снижение запасов элементов в осушенном биогеоценозе.

Выводы

Анализ величины и структуры общего запаса, прироста, закрепления и возврата элементов почвенного питания в осушенном и неосушенном сосняках травяно-сфагновых позволяет выявить ряд особенностей биологического круговорота в связи с гидролесомелиорацией 20-летней давности.

1. Годичный цикл круговорота элементов питания в сосняке травяно-сфагновом неосушенном без антропогенного воздействия носит застойный характер, так как приводит к пополнению запасов торфа и концентрации значительной части элементов питания в органическом веществе верхних горизонтов в основном за счет опада травяно-кустарничковых и моховых растений.

2. Под влиянием осушения в лесоболотных биогеоценозах складывается новый тип круговорота и из нисходящего он превращается в восходящий, при котором аккумуляция основных элементов происходит не в органическом веществе почвы, а в древесном приросте.

3. В богатых условиях произрастания сосняков травяно-сфагновых емкость круговорота основных элементов питания (N, P, K) в звеньях прирост – опад под влиянием осушения уменьшается. Это обусловлено тем, что в неосушенном биогеоценозе общий прирост фитомассы формируют более высокозольные растения живого напочвенного покрова, а в осушенном – менее зольные древесные растения. С лесоводственной точки зрения это явление положительно, так как увеличение прироста древесины является основной целью этого мероприятия.

4. Возврат основных элементов питания (N, P, K) в лесоболотных биогеоценозах в почву с опадом не компенсирует расходы на их рост. Возврат их от выноса на прирост в результате осушения в сосняке травяно-сфагновом уменьшился по сравнению с неосушенным с 94 до 82 %.

5. В истинном приросте осушенного насаждения закрепляется питательных элементов значительно больше, чем в неосушенном, азота в 2,4, фосфора в 4,4, калия в 2,2 раза.

6. Под влиянием осушения возрастает вынос питательных элементов из почвы с дренажными водами, особенно азотам. Увеличение расходов питательных элементов на истинный прирост и вынос со стоком, особенно в первые годы после осушения привело к уменьшению их запасов в торфяной залежи. В то же время отмечено обогащение питательными элементами верхних почвенных горизонтов. Под влиянием осушения происходит перераспределение элементов питания в почвенном блоке, уменьшение их запасов в торфяной залежи и увеличение в ПГВ, что способствует лучшему усвоению их растительностью.

7. Оценивая изменения круговорота основных элементов питания под влиянием гидроресомелиорации на экосистемном уровне, необходимо отметить, что в сосняке травяно-сфагновом происходит некоторое снижение запасов питательных элементов.

Л и т е р а т у р а

1. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности. М.; Л., 1965. 253 с.
2. *Пьявченко Н.И.* Биологический круговорот азота и зольных веществ в болотных лесах // Почвоведение. 1960. № 6. С.21–32.
3. *Глебов Ф.З., Толейко Л.С.* О биологической продуктивности болотных лесов, лесообразовательном и болотообразовательном процессах // Ботан. Журн. 1975. № 9. С.1336–1347.
4. *Медведева В.М., Егорова Н.В., Антипин В.К.* Биологический круговорот азота и зольных элементов в некоторых типах заболоченных лесов и болот // Стационарное изучение болот и заболоченных лесов в связи с мелиорацией. Петрозаводск. 1977 С.123–147.
5. *Рубцов В.Г., Книзе А.А.* Ведение лесного хозяйства в мелиорируемых лесах. М., 1981. 84 с.
6. *Сукачев В.Н., Зонн С.В.* Методические указания к изучению типов леса. М., 1961. 134 с.
7. *Поздняков Л.К.* Элементы биологической продуктивности светлохвойных лесов Якутии // Лесоведение. 1967. № 6. С.36–42.
8. *Поздняков Л.К., Протопопов В.В., Горбатенко В.М.* Биологическая продуктивность лесов средней Сибири и Якутии. Красноярск, 1969. 155 с.
9. *Родин Л.Е., Ремизов Н.П., Базилевич Н.И.* Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л., 1988. 144 с.
10. *Титлянова А.А.* Изучение биологического круговорота в биогеоценозах. Новосибирск, 1971. 32 с.
11. *Ариушикина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М., 1970. 487 с.
12. *Манаков К.Н.* Продуктивность и биологический круговорот в тундровых биогеоценозах Кольского полуострова. Л., 1972. 118 с.
13. *Казимиров Н.И., Морозова Р.М.* Биологический круговорот веществ в ельниках Карелии. Л., 1973. 176 с.
14. *Казимиров Н.И., Волков А.Д., Зябченко С.С.* и др. Обмен веществ и энергии в сосновых лесах Европейского Севера. Л., 1977. 304 с.
15. *Саковец В.И., Германова Н.И., Матюшкин В.А.* Экологические аспекты гидрлесомелиорации в Карелии. Петрозаводск. 2000. 154 с.