

ИЗВЕСТИЯ

Гомельского государственного университета
имени Ф.Скорины

№ 3(60)

2010

ИЗВЕСТИЯ

Гомельского государственного университета
имени Ф.Скорины

Научный и производственно-практический журнал

Выходит 6 раз в год

Издается с октября 1999 г.

№ 3(60)

2010

Учредитель – Гомельский государственный университет имени Ф.Скорины

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь
(свидетельство о регистрации № 546 от 6 июля 2009 года)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

А. В. РОГАЧЕВ (главный редактор)

О. М. ДЕМИДЕНКО (зам. главного редактора)

Л. А. ШЕМЕТКОВ (зам. главного редактора)

Го ВЭНЬБИНЬ, Г. Г. ГОНЧАРЕНКО, А. М. ДВОРНИК, Г. М. ЕВЕЛЬКИН,
Н. Н. КОЛЕНЧУКОВА (ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ), С. В. ЖАВОРОНОК, В. Г. ЖОГЛО, Ф. В. КАДОЛ,
В. Н. КАЛМЫКОВ, В. В. КИРИЧЕНКО, Г. Е. КОБРИНСКИЙ, Г. Г. ЛАЗЬКО, А. М. ЛИТВИН,
А. В. МАКАРЕВИЧ, И. В. МАКСИМЕЙ, Н. В. МАКСИМЕНКО, Г. И. НАРСКИН, О. С. ОСИПОВА,
А. Н. СЕРДЮКОВ, Н. В. СИЛЬЧЕНКО, Б. В. СОРВИРОВ, А. А. СТАНКЕВИЧ,
В. М. ХОМИЧ, И. Ф. ШТЕЙНЕР, Я. С. ЯСКЕВИЧ

Адрес редакции:

ул. Советская, 104, к. 2-17, 246019, Гомель
Тел. 60-27-71, e-mail: vesti@gsu.by

Биология

УДК 630*64:630*24

Типологическая структура и ведение хозяйства в дубравах подзоны дубово-темно-хвойных лесов Беларуси

М. С. ЛАЗАРЕВА, Л. К. КЛИМОВИЧ, О. В. ЩЕГОЛИХИНА

Введение

Распространение дубрав на территории Беларуси, их структура, породный состав и продуктивность зависят от климатических и эдафических условий, антропогенных воздействий и имеет ярко выраженные зональные особенности. В подзоне дубово-темно-хвойных лесов доля дубовых насаждений от их общей площади составляет 21,7 %, в подзоне грабово-дубово-темно-хвойных лесов – 29,7 % и в подзоне широколиственно-сосновых – 48,6 %.

Основными причинами уменьшения доли дубрав на севере являются снижение теплообеспеченности территории и повышение участия еловых лесов. Запасы древостоя в дубравах Беларуси по мере продвижения с севера на юг несколько увеличиваются. В северной части республики они составляют 237-285 м³/га, в центральной – 380-470 м³/га, а в южной части от 230 до 485 (грабовые) и от 220 до 430 (пойменные) м³/га [1]. Фитоценотическая структура насаждений также претерпевает значительные изменения, связанные с взаимопроникновением бореальной и неморальной флоры.

Цель исследований – дать анализ современной типологической структуры еловых дубрав Беларуси и рекомендации по ведению хозяйства в них.

Объекты и методика исследований

Объекты исследований – дубовые насаждения подзоны дубово-темно-хвойных лесов республики различных типов леса с характерными для них признаками формационного состава, структуры, продуктивности и направлений сукцессионной динамики.

На основе материалов лесоустройства по дубовым насаждениям в разрезе лесхозов с учетом лесорастительного районирования проведена систематизация материала и дан анализ состояния и структуры насаждений. На основе многолетних исследований лаборатории лесоводства Института леса НАН Б под руководством профессора А.М. Кожевникова по изучению закономерностей роста дубрав разработаны нормативы их формирования рубками ухода [2, 3].

Результаты и обсуждение

Типологическая структура дубовых насаждений достаточно разнообразна и представлена следующими типами леса: орляковый, кисличный, черничный, снытевый, крапивный, папоротниковый, луговиковый, приручейно-пойменный, злаково-пойменный, ольхово-пойменный, широколиственно-пойменный, пойменный [4]. Современная динамика распределения площадей по типам леса дубовых насаждений республики Беларусь в подзоне дубово-темно-хвойных лесов представлена на рисунке 1.

В северной подзоне увеличивается доля участия наиболее продуктивных типов леса (кисличные типы леса занимают в настоящее время более 60 % площади дубрав этой подзоны, снытевые – 15 %, в сравнении с их долей по республике – 43% и 10 %, соответственно).

Среднепродуктивные типы леса орляковые и черничные в данной подзоне встречаются реже и составляют в среднем по 7 % (по республике – 12 и 20%, соответственно).

Распределение площадей дубовых насаждений по типам леса в разрезе организаций, ведущих лесное хозяйство, приводится в таблице 1.

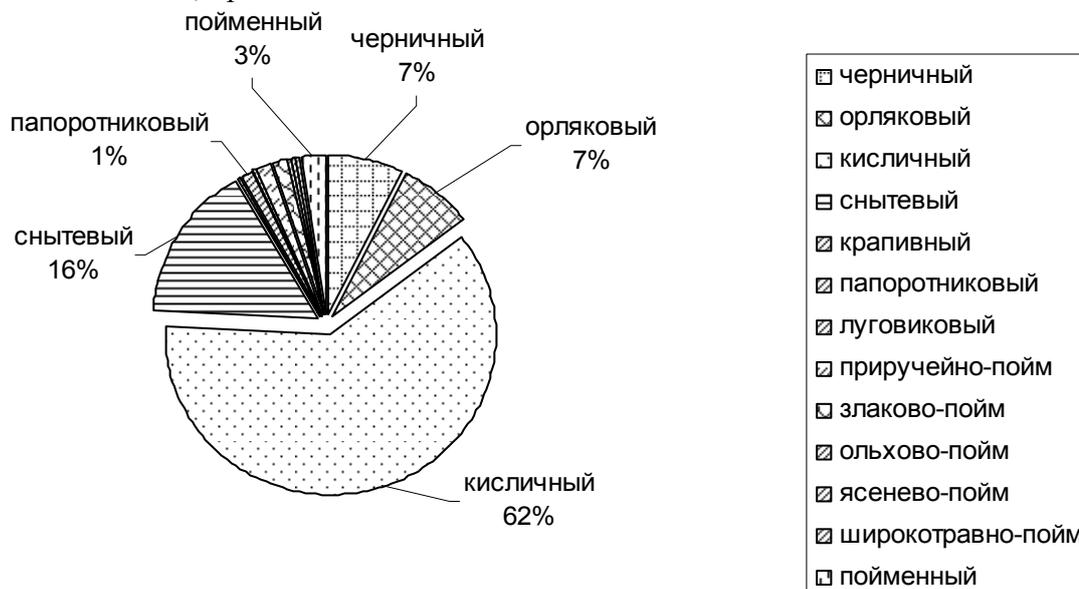


Рисунок 1 – Динамика распределения площадей коренных типов леса дубовых насаждений Беларуси в северной подзоне

В настоящее время выделяют мелиорированные типы дубовых лесов, к которым относятся папоротниково-мелиорированный и крапивно-мелиорированный типы леса.

В условиях Беларуси наиболее продуктивными типами леса являются дубравы снытевые (соответствуют I классу бонитета) и кисличные (II, иногда I, соответственно). Дубравы черничные по продуктивности, как правило, соответствуют III, иногда II классу бонитета, орляковые – III классу бонитета.

В северной подзоне наблюдается увеличение доли участия наиболее продуктивных типов леса. Так, дубравы кисличные занимают в настоящее время более 60 % площади елово-дубовых насаждений этой подзоны, снытевые – 15 %, в сравнении с их долей по республике – 43% и 10 %, соответственно. Среднепродуктивные типы леса орляковые и черничные в данной подзоне встречаются реже и составляют в среднем по 7 % (по республике – 12 и 20%, соответственно).

Более половины дубрав подзоны сконцентрировано в Костюковичском, Климовичском, Кличевском, Могилевском, Горецком, Сморгонском лесхозах. В Бегомльском, Вилейском, Суражском, Городокском, Полоцком, Шумилинском лесхозах площади дубрав невелики.

Распределение площадей дубовых насаждений по типам леса в разрезе организаций, ведущих лесное хозяйство, приводится в таблице 1.

Особенностью дубовых насаждений северной подзоны является постоянное присутствие в их составе ели, которая в этих условиях в сравнении с дубом более конкурентоспособна. В мягколиственной части насаждения на всех этапах лесовыращивания отмечается преобладание осины и березы. Характерным для рассматриваемой геоботанической подзоны является присутствие в составе ольхи серой. К возрасту спелости доля мягколиственных пород в составе елово-дубовых насаждений составляет 10 – 20 %. Елово-дубовые насаждения характеризуются неравномерной возрастной структурой, многопородным варьирующимся составом, низкими полнотами. Запасы указанных выше насаждений ниже потенциально возможных. Разнообразие условий произрастания указанных насаждений, различные варианты смешения древесных пород и, как следствие, значительная вариабельность лесоводственно-таксационных показателей усложняет возможность математических интерпретаций динамики их формирования и роста. Отсутствие эталонов снижает эффективность проведения рубок ухода, что отрицательно сказывается на продуктивности лесов.

Окончание таблицы 1														
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Молодечненский	67	587				8		5						667
%	10,0	88,0				1,2		0,8						100,0
Оршанский	19	677	69	130	10	6		3					10	924
%	2,0	73,3	7,5	14,1	1,1	0,6		0,3					1,1	100,0
Островецкий	110	230	33	2		4			2					331
%	28,9	60,4	8,7	0,5		1,0			0,5					100,0
Поставский	79	404	48	85		2	3							621
%	12,7	65,1	7,7	13,7		0,3	0,5							100,0
Полоцкий	6	117	1	33										157
%	3,8	74,5	0,7	21,0										100,0
Смолевичский	58	881	23	21	11									994
%	5,8	88,7	2,3	2,1	1,1									100,0
Суражский		20												20
%		100,0												100,0
Сморгонский	391	2461	352	118		5	1							3328
%	11,7	73,9	10,6	3,5		0,2	0,1							100,0
Шумилинский	15	23	26	58										122
%	12,3	18,9	21,3	47,5										100,0
Толочинский	22	485	15	220	15	11								768
%	2,9	63,2	1,9	28,6	2,0	1,4								100,0
Ушачский	40	230	14	233		3								520
%	7,7	44,2	2,7	44,8		0,6								100,0
Чаусский	43	330	10	70	1	1								455
%	9,5	72,5	2,2	15,4	0,2	0,2								100,0
Червенский	142	618	125	137		5		2						1029
%	13,8	60,1	12,1	13,3		0,5		0,2						100,0
Чериковский	223	1019	145	107	6	26	43	51	196	41	2			1859
%	12,0	54,8	7,8	5,8	0,3	1,4	2,3	2,7	10,6	2,2	0,1			100,0
Крупский военный		7	1											8
%		88,0	12,0											100,0
Березинский биосф. зап-к	8	97	21	10		6	7	92		15				256
%	3,1	37,9	8,2	3,9		2,4	2,7	35,9		5,9				100,0
Красносельское хоз-во	46	815	34	53	1	25	32							1006
%	4,6	81,0	3,3	5,3	0,1	2,5	3,2							100,0
Тетеринское хозяйство	12	127	1	98	1									239
%	5,1	53,1	0,4	41,0	0,4									100,0
ИТОГО	3502	30988	3691	7910	191	588	179	1025	611	283	231	117	140	49456

Задачами рубок ухода в дубово-еловых насаждениях являются:

- своевременное изменение видового состава молодняков в сторону преобладания хозяйственно-ценных пород;
- оставление на дорастивание до возраста главной рубки наиболее продуктивных деревьев;
- поддержание оптимального режима роста целевой части древостоя;
- селекционный отбор наиболее перспективных фенотипов в пределах главной породы насаждения;
- сокращение сроков выращивания крупных ценных сортиментов;
- получение дополнительного сырья от промежуточного пользования;
- усиление средозащитных, средообразующих, санитарно-гигиенических, эстетических и других функций леса.

На основе закономерностей изменения средних таксационных показателей изреживаемых древостоев разработаны нормативы формирования дубовых насаждений рубками ухода [2, 3]. В статье приводятся нормативы формирования наиболее распространенного в этой подзоне типа леса (таблица 2). Нормативами установлен режим изреживания насаждений, который соответствует темпам их роста и динамике естественного отпада, то есть режим рассчитан на то, что изъятие из древостоя некоторой его части не должно причинять ущерба дальнейшему накоплению запаса при формировании к возрасту главной рубки целевого состава. Полученный в процессе исследований материал позволил выявить для каждой возрастной группы особенности изменения запаса в зависимости от участия дуба, ели и других групп пород в составе насаждения.

Таблица 2 – Нормативы формирования рубками ухода дубовых насаждений кисличного типа леса

Возраст, лет	Состав	Число стволов шт./га	Средняя высота, м	Средний диаметр, см	Сумма площадей сечения стволов, м ² /га	Полнота после рубки	Интенсивность изреживания, %	Запас оставляемый, м ³ /га
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	4 Дуб	5972	3,0	2,8	3,6	0,60	36-50	7
	3 Ель	5641	2,4	1,8	1,5			3
	2 Мкл	607	3,5	3,6	0,6			1
	1 Твл	2338	2,7	1,9	0,3			1
	Всего	14558	2,7	2,6	6,0			12
15	4 Дуб	3406	4,6	4,2	4,8	0,60	36-50	15
	3 Ель	2276	4,3	3,5	2,1			7
	1,5 Мкл	314	6,5	6,3	1,1			4
	1,5 Твл	1237	5,0	3,9	1,5			4
	Всего	7233	4,7	4,0	9,5			30
20	4,5 Дуб	2293	6,5	5,8	6,0	0,60	21-35	23
	3 Ель	1304	6,2	5,3	2,9			11
	1 Мкл	182	8,9	8,8	1,0			5
	1,5 Твл	600	7,2	6,5	2,0			8
	Всего	4379	6,4	5,9	11,8			47
30	4,5 Дуб	1308	9,3	8,9	8,0	0,65	21-35	42
	3 Ель	667	9,8	9,0	4,2			24
	1 Мкл	102	12,5	12,9	1,4			9
	1,5 Твл	264	11,1	11,2	2,6			14
	Всего	2341	9,8	9,4	16,2			89
40	5 Дуб	869	12,2	12,0	9,9	0,65	21-35	62
	3 Ель	447	13,0	12,5	5,5			38
	0,5 Мкл	44	15,3	15,9	0,9			7
	1,5 Твл	167	14,4	15,2	3,0			21
	Всего	1527	12,8	12,6	19,3			128
50	5,5 Дуб	627	14,9	15,3	11,6	0,70	11-20	84
	3 Ель	342	15,8	15,7	6,6			54
	0,5 Мкл	42	17,6	17,8	1,0			8
	1,0 Твл	82	17,2	18,6	2,2			18
	Всего	1093	15,5	15,9	21,4			164
60	6 Дуб	475	17,5	18,7	13,0	0,70	11-20	108
	3 Ель	282	18,2	18,6	7,6			69
	1 Твл	68	19,3	21,4	2,4			21
	Всего	825	17,9	18,9	23,0			198
70	6 Дуб	373	20,0	22,1	14,3	0,75	10	132
	3 Ель	243	20,3	21,1	8,5			85
	1 Твл	61	20,9	23,5	2,7			25
	Всего	677	20,2	21,9	25,5			242
80	6 Дуб	300	22,2	25,6	15,5	0,75	10	160
	3 Ель	217	22,1	23,4	9,3			100
	1 Твл	59	22,0	25,0	2,9			28
	Всего	576	22,1	24,7	27,7			288

Окончание таблицы 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
90	7 Дуб	246	24,3	29,2	16,5	0,80		188
	3 Ель	198	23,7	25,4	10,0			114
	Всего	444	24,0	27,5	26,5			302
100	7 Дуб	205	26,3	32,9	17,3	0,80		217
	3 Ель	183	25,2	27,2	10,7			128
	Всего	388	25,8	30,2	28,0			345

Заключение

Оптимальный состав к возрасту главной рубки в елово-дубовых насаждениях кисличного типа леса – 7ДЗЕ. Оптимизация состава позволит увеличить продуктивность дубовых насаждений в среднем на 20%.

При оптимальных значениях относительной полноты будут обеспечены лучшие условия роста главным древесным породам и максимальное накопление запаса. В 20 лет минимальная полнота после рубки – 0,6; в 30-40 – 0,65; в 50-60 – 0,7; в 70 – 0,75; в 90 – 0,8.

Резюме. В статье описывается формирование в условиях Беларуси елово-дубовых насаждений. Интерпретируются результаты проводимых в них рубок ухода и их влияние на последующее развитие насаждений. В статье также приводятся параметры насаждения после интенсивных рубок ухода.

Abstract. The paper focuses on standards of spruce-oak stands formation in Belarus through intermediate cuttings established on the basis of peculiarities of their development. The paper reports estimated features for the portion of a stand remained after intermediate cuttings and thinning intensity.

Литература

1. Ефремов, А. Л. Продуктивность дубрав в связи с биогенностью их почв / А. Л. Ефремов // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. Вып. 3. – Брянск: БГИТА, 2001. – С. 86-88.
2. Климович, Л. К. Формирование елово-широко-лиственных насаждений III класса бонитета по нормативам / Л. К. Климович, М. С. Лазарева, // Проблемы лесоведения и лесоводства: Сб. науч. трудов ИЛ НАН Беларуси. – Вып. 65. – Гомель: ИЛ НАН Беларуси, 2006. – С.67-71.
3. Лазарева, М. С. Формирование рубками ухода смешанных и сложных дубовых молодняков / М. С. Лазарева, Л. К. Климович // Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов. Формирование рубками ухода смешанных и сложных дубовых молодняков ресурсов. Материалы международной научно-практической конференции. 6-7 декабря 2005 г. Минск, 2005. – С. 193-196.
4. Гельтман, В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии / В. С. Гельтман. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 326 с.

Анализ особенностей ведения хозяйства в смешанных древостоях

В. Ф. БАГИНСКИЙ¹, Е. А. УСС²

Введение

Смешанные древостои в лесах Республики Беларусь занимают более 50% всех земель, покрытых лесом. По своим лесоводственным и таксационным характеристикам они превосходят чистые древостои [1–6]. Если запас насаждения здесь зависит от биологических и лесоводственных особенностей составляющих древесных видов, то совершенно бесспорным является факт большей биологической устойчивости смешанных древостоев против чистых, более высокая экологическая ценность первых, а также расширение видового и генетического разнообразия [7–9].

В хозяйственном отношении смешанные древостои тоже предпочтительнее. Из-за длительного периода воспроизводства очень трудно прогнозировать требования к конечной продукции при создании лесных насаждений. Смешанные древостои обеспечивают определенную вариабельность получения различных сортиментов, что является некоторой гарантией того, что к моменту главной рубки мы будем иметь необходимую продукцию.

Несомненны преимущества смешанных древостоев в лесах первой группы, особенно предназначенных для отдыха и рекреации: лесопарки, зеленые зоны, курортные леса и т.д.

В то же время смешанные леса являются более сложным хозяйственным объектом, требующим высококвалифицированного управления их воспроизводством. Вызвано это не только наличием нескольких древесных пород в составе одного насаждения, но и тем, что смешанные древостои занимают обычно более плодородные земли, эти древостои часто разновозрастные, в то время как основная часть чистых древостоев в Беларуси одновозрастные.

Смешанные древостои преобладают в условиях местопроизрастания субори (В) и, особенно, сложной субори (С) и дубравы (D). В них часто произрастают древесные породы, имеющие разный возраст рубки [10, 11].

В лесоводстве действует четкое правило: рубить надо спелый лес. В то же время деревья и древостои, которые стоят на корню после достижения возраста спелости, постепенно теряют свои технические качества и снижают экологические функции. Так, по исследованиям Ф.П. Моисеенко [12] осина после 50 лет ежегодно теряет 2% деловой древесины, после 55 лет – 3%, после 60 лет – 4% и т.д. Если учесть, что средний выход деловой древесины у этой породы составляет 40-50% от запаса, то нетрудно рассчитать, что к 60 годам доля деловой древесины у осины снизится до 15-25%, а к 70 годам деловой практически не останется. Незря возраст рубки осины установлен в 41-50 лет во всех группах лесов. В отношении березы это ситуация не столь выразительная, но тенденция сохраняется.

В настоящее время в смешанных хвойно- и дубово-мягколиственных древостоях направление хозяйства, в т.ч. и возраст главной рубки определяется по главной породе, т.е. по сосне, ели, дубу, которые имеют возраст рубки в 81-100 и 101-120 лет, а в лесах I группы в 101-120 и 121-140 лет [10, 11]. К этому возрасту мягколиственные деревья теряют свои технические качества. Ждать, когда это произойдет, чтобы на законных основаниях вырубить осину и березу, нерационально.

В настоящий момент проведение рубок леса регламентируется "Правилами рубок леса в лесах Республики Беларусь" [13], введенными с 2004 года. Они явились следствием длительной работы ученых и практиков и впитали в себя последние научно-технические достижения. Аналогичные правила (обычно в виде отдельных документов для главного и проме-

жуточного пользования) имеются в России, Украине, других странах СНГ, в Прибалтике, Польше и в странах Запада.

При всех несомненных достоинствах этих правил (наставлений) у них отсутствует четкая регламентация проведения рубок в средневозрастных и приспевающих насаждениях, состоящих из древесных пород, имеющих разный возраст спелости. Нельзя сказать, что этот момент совсем не учитывается. Лесоводы стараются как-то решить вопрос при проведении рубок ухода и санитарных рубок. Но действенной правовой базы для вырубki спелых листовенных деревьев в смешанных насаждениях нет. При рубках ухода и, особенно, при санрубках надо удалять больные и поврежденные деревья, а стволы березы в 60-70 лет, чаще всего, здоровы. Есть и другие ограничивающие факторы.

Вопрос о правовом регулировании рубок в хвойно-лиственных и дубово-мягколиственных насаждениях, которое базируется на научной основе, поднимался учеными и практиками уже с 60^x годов прошлого века. Но решения не было. Причина здесь в том, что отсутствовали фундаментальные исследования таких древостоев, т.е. не было теоретической базы. Необходимо не просто механически удалять листовенные деревья, а оптимизировать этот процесс, сохранить максимум возможного прироста, обеспечить нужную породную структуру и т.д.

Из изложенного вытекает, что ведение хозяйства в смешанных насаждениях, особенно проблема назначения их в главную рубку, представляет значительный научный и практический интерес и является актуальным.

Материалы и методика исследований

Материалом для проведения настоящих исследований явились пробные площади, заложенные в смешанных сосновых, еловых и дубовых древостоев силами сотрудников лаборатории лесоустройства и лесной таксации (БелНИИЛХа) в 70-80^e годы прошлого века и ее правопреемником – лабораторией лесоведения и управления лесами в 90^e годы прошлого века и в 2001-2005 годах. Пробные площади закладывались по методике, разработанной В.Ф. Багинским и под его непосредственным руководством.

Всего в смешанных древостоях (сосново-еловых, сосново-березовых, елово-березовых, елово-осиновых и др.) заложено более 1000 пробных площадей, материалы по которым обработаны и проанализированы с использованием общепринятых методов лесной таксации, лесоводства, лесной биометрии и математического моделирования.

Для оценки смешанных хвойно-лиственных и дубово-мягколиственных древостоев в лесном фонде нами был выполнен анализ состояния смешанных сосновых, еловых и дубовых древостоев старше 50 лет в модельных лесхозах: Речицком, Борисовском, Костюковичском и Столбцовском. Результаты изучения участия названных насаждений показали, что смешанные сосновые фитоценозы встречаются во всех лесничествах вышеназванных лесхозов и составляют от 40 до 80% всех древостоев данной формации старше 50 лет. Средняя площадь таких насаждений по лесничествам в среднем составляет 7-10%. Смешанные ельники занимают 44-74% площади всех ельников старше 50 лет. Средняя площадь их в значительной степени зависит от зональных особенностей распространения ели в республике. Дуб формирует смешанные насаждения практически со всеми древесными породами. По этой причине смешанные дубовые насаждения составляют от 46 до 89% площади дубрав рассматриваемого возраста.

Для решения проблемы выбора главных пород, установления возрастов и оборотов рубок, организации хозяйства и т.п. использовали действующие нормативные документы, открытую ведомственную информацию и литературные источники.

Результаты и их обсуждение

Ведение хозяйства в лесах Беларуси в настоящее время регламентируется рядом нормативных документов. За исключением проведения рубок ухода эти документы ориентиро-

ваны на их использование в чистых насаждениях. В то же время научные требования к нормативам по ведению лесного хозяйства являются более расширенными. Так, в «Стратегическом плане развития лесного хозяйства Беларуси» [14] четко определены следующие требования к нормативным документам:

- система нормативов, будучи экологически и экономически ориентированной, должна давать производителям определенную свободу маневра в зависимости от конкретной экономической и экологической ситуации;

- нормативы должны быть ориентированы на три уровня ведения хозяйства в особо защитных, защитных и эксплуатационных лесах, отражая их особенности;

- система лесоустроительного проектирования должна учитывать вопросы экономики и рынка;

- все нормативы системы лесного хозяйства должны быть ориентированы на максимальный конечный результат – лесную (в первую очередь, древесную) продукцию к возрасту спелости.

В ныне действующих Правилах рубок леса [13] отсутствует четкая регламентация проведения рубок в средневозрастных и приспевающих насаждениях, состоящих из древесных пород, имеющих разный возраст спелости. Действенной правовой базы для вырубki спелых лиственных деревьев нет.

Настоящая проблема находится на стыке нескольких дисциплин: лесоводства, лесной таксации, лесоустройства и экономики лесного хозяйства.

К области лесоводства относятся методы и технологии рубок главного и промежуточного пользования. К области лесной таксации относится изучение динамики и продуктивности изучаемых насаждений, а также оценка их товарности. К области лесоустройства – установление возрастов и оборотов рубки, организация хозяйственных секций. К области экономики относится оценка себестоимости выращивания древостоев и оценка стоимости полученной лесопродукции.

До недавнего времени основное внимание ученые уделяли чистым древостоям. Нормативы лесоустройства, правила рубок леса в части главного пользования ориентированы на хозяйственную конкретную породу. Такое положение частично объяснимо тем, что описываемая проблема актуальна не везде, а лишь в зоне смешанных лесов: Беларуси, севера Украины, в Центральном и Северо-Западном регионе Европейской части России. Для лесов Северной Европы этой проблемы нет, т.к. там почти все леса состоят из чистых древостоев сосны и ели. Лесоводы Швеции и Финляндии даже ставят задачу расширить представительство мягколиственных в лесном фонде до 5%. В Германии, Франции и южной Европе акцент делается на темно-хвойные и твердолиственные леса.

В Беларуси насаждения, имеющие разный возраст рубки, представлены хвойно-лиственными и дубово-мягколиственными насаждениями. Елово-березовые леса встречаются в основном в подзоне широколиственно-еловых лесов и елово-грабовых дубрав, а береза как примесь в сосновых насаждениях распространена повсеместно. Примесь мягколиственных к сосне, ели и дубу характерна практически для всех типов леса [15]. Дубово-мелколиственные насаждения – это древостои, в которых доля типичных спутников дуба снижена, а участие березы, осины, ивы превышает 20%.

Отдавая предпочтение выращиванию в условиях республики хвойных пород, необходимо, прежде всего, стремиться к переводу хвойно-лиственных насаждений в хвойное хозяйство. В этом случае уход будет направлен на скорейшее восстановление ели в составе древостоя. Второй путь заключается в улучшении качественных и количественных показателей лиственного яруса. Возможен и третий путь, когда на всех этапах формирования смешанного насаждения уход осуществляется как за лиственными, так и за хвойными породами. Первые два направления отвечают принципам целевых (применительно к выбору главной породы) рубок ухода.

Многочисленные экспериментальные данные, полученные в результате комплексных исследований, выполненных на одних и тех же объектах лесоводами, почвоведом, физиологами, показывают, что в ельниках–кисличниках и черничниках подзоны южной тайги по мере увеличения возраста древостоя примесь лиственных пород необходимо уменьшать и к

возрасту спелости доводить не более чем до 10-15%. В этом случае будут сформированы древостои наибольшей производительности. Подобные выводы для сосны применительно к песчаным почвам Литвы сделал Ю.А. Данусявичус [16]. В.Н. Валяев [17] для сосняков-брусничников и черничников южной и средней Карелии считает целесообразным следующее участие березы: в возрасте 10 лет – 2,0-2,5, в 20 лет – 1,5, в 40-60 – 1,0 единицы. По мнению А.К. Денисова [18], приведение состава древостоя в соответствие с лесорастительными условиями часто обеспечивает поднятие производительности древостоев на 30-70%.

Исследования интенсивности роста хвойных пород в смеси с мягколиственными проведены А. А. Великотным [19]. Им и другими учеными [1-7, 15, 22, 24, 25, 26, 27, 33], в т.ч. и по нашим данным [8, 9, 10] установлено, что на динамику производительности древостоев оказывают влияние биологические особенности древесных пород, происхождение, возраст, условия местопрорастания, таксационная и фитоценотическая характеристика (смешанность, ярусность, полнота, размеры таксационных показателей, распределение числа деревьев по ступеням толщины, подрост, подлесок, живой и неживой напочвенные покровы), санитарное состояние, климатические факторы, циклический характер протекания физиологических процессов, антропогенное воздействие: хозяйственный режим, загрязнение воздуха и почвы промышленными выбросами, рекреационная деятельность и др. Одновременный учет всех факторов воздействия является практически не решаемой проблемой, так как многие из них не поддаются измерению или ввиду исключительной трудоемкости и длительности такая работа не может быть выполнена.

Из сказанного вытекает, что прогнозирование производительности древостоя должно основываться на использовании показателей, интегрально характеризующих интенсивность протекания физиологических процессов, обеспечивающих повышение запаса и отражающих изменения продукционных способностей древостоя. Таким показателем является текущий прирост по запасу наличного древостоя [20]. На динамику запасов конкретных древостоев, произрастающих в определенных лесорастительных условиях, влияет начальная густота [21, 22]. На тесную зависимость основных параметров ствола и кроны деревьев от густоты древостоя указывалось еще в работах Г.Ф. Морозова [23] и В.Н. Сукачева [24].

Получение наибольшего древесного запаса, исходя из определения оптимальности, является основным. Величина его зависит от структуры и прироста главной породы. Последний определяется физиологическим состоянием древесных растений, зависящим от климатических и почвенных условий, а также от особенностей взаимодействия различных элементов фитоценоза [22, 25]. Так, на суглинистых автоморфных и полугидроморфных почвах коренные древостои ели по данным учета лесного фонда имеют большую (на 10-30%) производительность, чем производные древостои березняков. Кроме того, из ели получают пиловочник и баланс, которые являются ведущими сортаментами [10, 26]. Выход крупной деловой древесины, а также пиловочника первого сорта зависит не только от доли запаса породы в составе, но и от числа стволов.

Ранее были проведены достаточно обширные исследования, посвященные вопросам целесообразности формирования и выращивания смешанных насаждений, способам и технологиям рубок в них, а также эколого-лесоводственным и экономическим последствиям ведения хозяйства в смешанных насаждениях. В результате этих работ большинство исследователей пришли к выводу о том, что смешанные сосново-лиственные древостои при наличии определенных ограничений по участию и размещению березы предпочтительнее чистых [27-32]. Примесь березы целесообразна также с точки зрения улучшения почвы, повышения устойчивости и эстетической ценности насаждений. Есть и противоположные мнения [33, 34].

В ельниках-кисличниках и черничниках ель в окружении или полукружении лиственных пород растет значительно хуже, чем в окружении ели [35]. К 80-90 годам в древостоях с преобладанием ели запас на 15-30% выше, чем в березово-еловых древостоях того же возраста, класса бонитета и полноты. Кроме того, в первых древостоях меньше закомелистость стволов и больше выход деловой древесины. В сосняках-брусничниках выход пиловочника первого сорта из сосны уменьшается по мере увеличения примеси березы в составе древостоев [35].

Несмотря на то, что береза является засухоустойчивой породой, погодные аномалии последнего десятилетия повлекли за собой развитие в наших лесах болезни, которую называют бактериальной водянкой. Это привело к усыханию березняков Беларуси, пораженных этой болезнью. По мнению некоторых ученых [36], береза может являться источником заражения и других лиственных пород (дуба, клена, граба). В некоторых лесхозах поражается этой болезнью и осина [36]. Осина как промежуточный хозяин соснового вертуна (*Melampsora pinitorqua*) должна убираться из насаждений, где присутствует сосна.

Несмотря на то, что примесь лиственных пород уменьшает запас, а часто ухудшает и технические свойства древесины, в ряде условий произрастания, например, на сравнительно бедных почвах в ельниках – черничниках в целях повышения устойчивости древостоев необходимо оставлять примесь березы и ольхи серой [37]. По данным исследований, проведенных в Швеции [38], констатируется, что поддержание березового полога предпочтительнее, чем полное удаление полога. Мотивируется это сохранением в течение 2-3 лет отрицательного эффекта, выражающимся в снижении прироста ели после вырубki березы. Канадские исследователи [39] в результате изучения роста ели под пологом осиновых деревьев отмечают, что разновозрастность ели достигает 15-20 лет и наилучшим ростом обладают экземпляры с высотой более 230 см. Исследования лаборатории лесоводства ВНИИЛМа [22], проведенные на Северном Урале, показали, что наилучшими экологическими функциями обладают леса с явным преобладанием хвойных пород, в которых доля участия березы в составе не более 3 единиц.

В комплексе мероприятий, обеспечивающих рациональное использование лесных ресурсов, повышение продуктивности лесов и эффективное их восстановление, особое значение имеют способы рубок. На протяжении своей истории лесоводство разработало большое количество способов рубок леса. В литературе встречается около 60 названий способов рубок [40]. Многие ученые пытались их классифицировать [41, 42]. В природе в зависимости от сочетания различных условий один вид рубки диалектически переходит в другой. Способ рубки постоянно развивается, совершенствуется и трансформируется.

Рубки в лиственно-еловых древостоях 40-летнего возраста и старше по действующим правилам, наставлениям, стандартам и учебникам имеют разные названия: проходные, рубки переформирования [43], постепенные [44], комплексными [45], длительно-постепенные [46]. Но во всех случаях цель и методы их будут одинаковыми. Наблюдается также изменение наименования одной и той же рубки во времени: выборочно-лесосечная [47], группово-выборочная [5], группово-постепенная [44]. Последние три наименования употребляются как равноценные и в современной литературе.

В Правилах рубок леса в Республике Беларусь (2004) рубки леса подразделяются на: рубки главного пользования; рубки промежуточного пользования; прочие рубки.

В настоящее время в лесном хозяйстве Республики Беларусь преобладают сплошно-лесосечные рубки, при проведении которых заготавливается 94% древесины. Для сохранения природных комплексов, водоохранных, защитных, санитарно-гигиенических и других полезных функций лесов предпочтительнее применять несплошные способы рубок леса. Еще Г. Ф. Морозов [47] пришел к выводу о целесообразности проведения постепенных рубок.

Частично проблема формирования состава в приспевающих насаждениях решается применением рубок обновления и переформирования, которые рекомендованы для лесов I группы. Согласно определению, приведенному в «Лесном кодексе» [48], рубки обновления – рубки спелых и перестойных древостоев в лесах, в которых запрещены рубки главного пользования и обеспечивается естественное или искусственное возобновление насаждений. Рубки формирования (переформирования) по виду пользования считаются рубками ухода за лесом; их цель – создание сложных по своей структуре разновозрастных лесов и улучшения ландшафта.

Рубки переформирования несут в себе элементы главного (в большей степени) и промежуточного пользования. Поэтому отнесение их к промежуточному пользованию является определенным экономическим послаблением лесоводам, т.к. вырубка древесины в этом случае не требует внесения попенной платы. Они допускаются в многопородных спелых и перестойных насаждениях полнотой 0,5–0,6 в лесах всех категорий защитности, где запрещены

рубки главного пользования, и направлены на коренное изменение состава и строения древостоев с целью создания благоприятных условий для роста ценных пород, разных поколений и ярусов. При этом должны быть сохранены водоохранно-защитные и другие экологические функции леса.

К группе рубок, заменяющие собой рубки главного пользования, в России также относятся рубки обновления, переформирования и реконструкции. Перечисленные рубки проводятся в насаждениях старших классов возраста. Выборочные рубки обновления и переформирования обычно имеют форму приисковых или подневольных-выборочных рубок, при которых вырубается наиболее здоровые деревья, дающие максимальное количество товарной древесины [49].

Известно, что в наибольшей степени выполняют различные целевые функции смешанные разновозрастные леса [50-52]. В них сохраняется лесная среда, биологическое разнообразие и обеспечивается выполнение эколого-защитных функций. Они более устойчивы к ветровалам, различным повреждениям и т.п. Поэтому в лесах, особенно природоохранного назначения, рубками необходимо формировать преимущественно разновозрастные леса, смешанные по составу и сложные по форме, чаще семенного происхождения. Превращение одновозрастных насаждений в разновозрастные занимает длительное время, при этом могут быть использованы разные стратегии: равномерные несплошные рубки или группово-выборочные рубки в сочетании с прореживанием, рубки обновления и переформирования [53].

Установлено, что большинство защитных и средообразующих функций наиболее эффективно выполняется достаточно сомкнутыми насаждениями, имеющими полноту 0,7-0,9, обладающими интенсивным ростом, находящимися в возрастных группах – средневозрастных, приспевающих или в начальном периоде спелых древостоев, а также абсолютно разновозрастными, где хорошо представлены все поколения леса [54]. Насаждения старших возрастов лесопарковых частей зеленых зон, а также зон санитарной охраны источников водоснабжения, в которых ведутся только выборочные санитарные рубки к возрасту достижения ими естественной спелости постепенно деградирует. Создание наиболее устойчивых насаждений достигается проведением рубок переформирования [48].

Комплексная рубка, применяемая в лесах Российской Федерации, совмещает рубки главного пользования и рубки ухода на одной и той же площади. Например, удаление в 2-ярусном древостое осины или березы (верхний ярус), достигших возраста спелости, означает по отношению к этим породам главную рубку, по отношению к нижнему ярусу (ель) – рубку ухода (осветление или прореживание ели) [55, 56]. Комплексные рубки проводят в 1-2 или 3 приема. Число приемов и их интенсивность зависит от состава ярусов, возрастной структуры, сомкнутости, густоты и др. признаков древостоя, а также состояния деревьев, типов леса и лесорастительных условий. Эти рубки играют существенную роль в ускоренном восстановлении и выращивании хвойных (преимущественно ели) насаждений, своевременном использовании древесины лиственных пород, повышении продуктивности лесов. Но эта система рубок в белорусских нормативах отсутствует.

Выборочная система ведения хозяйства положительно влияет на эколого-биологическое состояние насаждений, выполнение ими природоохранных функций, нежелательную смену пород и способствует своевременному использованию спелой древесины [57].

То обстоятельство, что вторичные мягколиственные леса произрастают на плодородных почвах, являясь объектом хозяйствования, заставляет искать новые методы управления лесными ресурсами. В качестве основного метода эксплуатации вторичных лесов (ускоренной их трансформации в коренные хвойные) должны быть несплошные рубки, а теоретическими основами ведения хозяйства – закономерности естественного лесообразовательного процесса на принципах малозатратных ресурсосберегающих технологий [48].

Производные древостои с преобладанием лиственных пород, в основном березы, осины, по своей экономической, биологической, экологической и социальной ценности значительно уступают естественным дубовым. С каждым оборотом рубки будет уменьшаться их ценность. Ценная семенная береза будет заменяться низкотоварной порослевой, семенная

осина распространяться и участвовать в составе древостоев там, где ее почти не было. Корнеотпрысковая осина обгоняет в росте сосну, березу, заглушает их.

В 90-х годах XIX века разработан рациональный способ ухода в лиственнично-еловых древостоях. Это так называемые проходные рубки Д.М. Кравчинского, представляющие сочетание постепенной рубки для лиственных с уходом за елью [55]. Рубки намечались в древостоях 1 и 2 классов бонитета в 40-50 лет, т.к. вырубаемые лиственные имели бытовые размеры, а ель могла легче приспособиться к изменившимся условиям среды. Вырубка лиственных намечалась в три приема с удалением в каждый прием примерно 1/3 по числу стволов через десятилетние промежутки. В каждый прием вырубались наиболее крупномерные деревья. Фактически вырубались 40-50% по числу стволов от лиственных или около 40% по запасу от всего древостоя, в результате чего полнота снижалась примерно до 0,5. А.А. Байтин внес дополнения: более ранний приход с рубкой, обязательное клеймение стволов и недопустимость полного удаления березы как почвоулучшающей породы [5].

В настоящее время для двухъярусных елово-лиственничных насаждений разработаны различные варианты постепенных рубок: комплексные [58], двухцикловые шестиприемные постепенные [59], чересполосно-пасечные и двухприемные постепенные [60]. Такие рубки значительно увеличивают объем заготовки мягколиственной древесины, в 2-3 раза повышают прирост елового яруса и на 20-25% рентабельнее сплошных рубок.

В большинстве стран мира рубки ухода не проводят в последней трети-четверти оборота рубки, чтобы не снизить запас, производительность и качество будущего спелого леса. Наибольший ущерб причиняется, если рубки ведут в насаждениях старше 60-80 лет [61]. По данным С.Н. Сеннова [62], в этом случае происходит снижение производительности древостоев после проведения рубок в возрасте 70-80 лет. По его мнению, увлечение проходными рубками связано со стремлением получить сиюминутный экономический результат в ущерб запасу, качеству и состоянию будущего спелого леса [63].

В Беларуси на основе научных рекомендаций, изложенных на международной научно-практической конференции «Дуб – порода третьего тысячелетия», проведенной в 1998 году, разработана программа увеличения площадей и повышения продуктивности дубовых лесов. В соответствии с этой программой, для изменения породной структуры и достижения ее научно обоснованных нормативов особое внимание должно уделяться расширению площадей твердолиственных пород, в т.ч. дуба. Основное увеличение следует проводить за счет сокращения площадей березовых древостоев, площадь которых составляет 22,2% [64]. Предусматривается ежегодно создавать 4 тыс. га лесных культур дуба против 2,5 тыс. га, создаваемых в настоящее время при 0,5-1,0 тыс. га площади ежегодной вырубке по дубовой хозсекции.

Наряду с твердолиственными предпочтение следует отдавать хвойным породам – сосне и ели, доля участия которых в послевоенный период имеет тенденцию к снижению. Оптимальная структура по сосне – 62,4, ели – 15,4 [65]. Для повышения экономической эффективности производства и улучшения использования лесных земель необходимо не только приостановить смену хвойных пород мягколиственными, но и значительно расширить их площадь. Выращивание сосны и ели обеспечивает высокую экономическую эффективность лесохозяйственного производства и одновременно повышает более чем вдвое водоохранную и водорегулирующую способность лесов [66].

Проблема рационального использования древесного сырья находится в центре внимания правительства страны. Реализуется Республиканская программа рационального и комплексного использования древесных ресурсов на 2002-2010 годы [67]. Одной из актуальнейших проблем лесного комплекса является улучшение использования древесины мягколиственных пород из-за того, что не полностью используется расчетная лесосека по этому виду сырья. Наиболее широкое применение древесина мягколиственных пород находит на предприятиях целлюлозно-бумажной и плитной промышленности. Завершение строительства второй очереди целлюлозного завода в ОАО «Светлогорский целлюлозно-картонный комбинат» обеспечит дополнительный выпуск 56 тыс. тонн в год бисульфатной небеленой целлюлозы из древесины мягколиственных пород (береза, осина) и ежегодное вовлечение в переработку более 240 тыс.м³ балансов этих пород. Дополнительная выручка от экспорта продукции составит

29 млн. долл. США ежегодно, а прибыль – 3 млн. долл. [67]. Предусматривается также увеличение объемов вовлечение в хозяйственный оборот мягколиственных пород в производстве мебели на 20%. Намечается увеличение объемов переработки отходов и низкокачественной древесины путем перехода котельных установок на работу на древесном топливе.

Мировой опыт показывает, что имеется ряд направлений рационального использования древесины мягколиственных пород. Береза находит применение прежде всего для выработки лущеного шпона и фанеры, а также для изготовления ружейных лож, лыж. Ее древесина идет на изготовление строительных деталей, ДСП и ДВП, целлюлозы, паркета, получения фурфурола и др. лесохимических продуктов. Березовые дрова служат сырьем для сухой перегонки и углечения. Осина – основное сырье для спичечной промышленности, находит применение в сельском строительстве, а также для производства ДВП, целлюлозы, картона, фанеры, в лесохимии и др. отраслях. Ольха – в фанерном, столярно-мебельном производстве, для изготовления ящиков тары. Ива – для изготовления долбленых лодок, посуды и т.д. Ветки применяются для изготовления плетеных изделий, кора дает дубильные вещества [65]. В последнее время возросло значение дровяной древесины из мягколиственных пород как биотоплива.

При проведении рубок в смешанных древостоях возрастает роль специалистов лесного хозяйства более высокой квалификации. В силу сложной организации этих насаждений они должны в реальных планах обосновать необходимость мероприятий и сроки их выполнения в более сложных условиях, обеспечить правильность отбора деревьев в рубку, осуществлять строгий и постоянный контроль за соблюдением сроков и технологии работ, полнотой и правильностью разработки лесосек.

При анализе хозяйства в смешанных древостоях возникает вопрос о возрастах и оборотах рубки для древостоев различных древесных видов: сосны, ели, дуба, березы и осины. Именно эти древесные породы в основном формируют составы хвойно- и дубово-мягколиственных древостоев. Возрасты рубки перечисленных видов установлены законодательно [68, 69]. Однако рассматривать действующие возрасты рубки как устойчивую величину на ближайшие 10-20 лет нельзя. Дело в том, что есть много предложений об изменении подходов к установлению возрастов и оборотов рубки [10, 68, 70-76]. Не излагая подробно их суть, отметим, что, наряду с традиционными методами установления возрастов рубки по технической и количественной спелости [10, 77-78], есть предложения учитывать экономические особенности выращивания лесных насаждений [70, 79-83], а также экологические полезности леса. Последние необходимо увязывать в соответствии с экономическими факторами [73, 84-86], а также разрабатывать модели, увязывающие все полезности леса [10, 71, 73-75, 87, 88].

Правила рубок обычно действуют 10-20 лет, поэтому нельзя исключать изменения за это время возрастов рубок. Мы вносили предложения по повышению возрастов рубки [75, 82]. Частично они приняты [10], хотя против них есть возражения [89]. Поэтому при ведении хозяйства в смешанных лесах необходимо учитывать как современные, так и перспективные возрасты и обороты рубки.

Разработка регламентов по ведению хозяйства для смешанных насаждений сложнее, чем для чистых [90]. Примером успешного решения проблемы служат составленные для условий Литовской ССР системы и способы формирования смешанных насаждений, в которых удачно сочетается проведение рубок ухода и рубок главного пользования [91]. Эффективность в смешанных насаждениях целевого ухода специализированного выращивания определенных видов древесного сырья предопределяется возможностью регулирования состава.

Ориентирование на выращивание одного или нескольких ведущих сортиментов предполагает решение вопроса выбора главной породы, направления ухода по отношению к древесным породам, представленным в составе насаждений [92].

Экономический процесс воспроизводства лесных ресурсов должен обеспечивать оптимизацию продуктивности насаждений не только в натуральном, но и в денежном выражении, учитывая комплексную продуктивность лесов [70, 84, 85, 93, 94], что соответствует принципу устойчивого развития, провозглашенному на специальной сессии ООН в Рио-де-Жанейро в 1992 г. [93-96].

Всесторонний анализ вопросов ведения хозяйства в смешанных древостоях показывает, что глубокое знание законов развития лесных насаждений в различных природных условиях и умелое применение системы лесохозяйственных мероприятий позволяют выращивать насаждения и содержать их в состоянии постоянной способности полностью выполнять возложенные на них функции.

Результаты изучения практики проведения рубок главного пользования в лесах республики показали, что в настоящее время в лесном комплексе Беларуси при заготовке древесины используются, в основном, сплошнолесосечные рубки главного пользования. Анализ материалов по главному пользованию на примере ряда лесхозов показал, что примерно $\frac{3}{4}$ всех рубок по способу проведения относятся к сплошнолесосечным и лишь $\frac{1}{4}$ составляют постепенные и выборочные. За многолетний период их проведения разработано и применяется большое количество способов разработки лесосек, учитывающих особенности произрастания древостоев, наличие технических средств.

В настоящее время имеется еще недостаточно материалов, касающихся ведения хозяйства в средневозрастных и приспевающих смешанных хвойно- и дубово-мягколиственных насаждениях. В связи с этим возникает необходимость тщательно изучить природу и состояние таких насаждений и разработать нормативно-правовую базу по проведению нового вида рубок – «условно-постепенные».

Сущность нового вида рубок состоит в том, что в средневозрастных и приспевающих хвойных и твердолиственных насаждениях вырубается спелые деревья мягколиственных пород. Вырубка проводится по специально разработанным регламентам. Последние составляются с учетом экономических требований с соблюдением основных лесоводственных правил: недопущение снижения полноты ниже критических значений (0,5-0,6), преимущественная выборка осины против березы и т.д. В настоящее время авторами завершается разработка таких регламентов.

Анализ товарной структуры заготавливаемой древесины при рубках главного пользования в смешанных хвойно-лиственных и дубово-мягколиственных насаждениях по элементам леса показал, что качественные характеристики второстепенных пород в смешанных насаждениях проявляют значительную изменчивость и их товарная структура имеет потенциал к улучшению. Так, изучение товарности смешанных насаждений, проведенное на основе сравнения мероприятий по ведению хозяйства по отдельным хозсекциям, показало, что при изъятии древесины мягколиственных пород в возрасте их технической спелости возможно увеличение ее качества примерно на 20-30%. Это свидетельствует о необходимости введения в практику лесохозяйственной деятельности условно-постепенных рубок.

Выводы

На основе анализа особенностей ведения хозяйства в смешанных древостоях приходим к следующим выводам:

– смешанные лесные насаждения отличаются наибольшей продуктивностью и устойчивостью к неблагоприятным условиям среды, болезням и вредителям. Они в большей степени по сравнению с чистыми насаждениями выполняют средообразующие, защитные и рекреационные функции;

– изучение смешанных насаждений развернуто широко. В результате этих исследований разработаны нормативные документы, регулирующие здесь ведение хозяйства. В настоящее время имеются противоречивые выводы о взаимовлиянии древесных видов в смешанных древостоях, о их продуктивности и о методах ведения в них хозяйственной деятельности. Несмотря на многовариантность состава насаждений в смешанных лесах, ведение хозяйства в них сосредоточено на выращивание главной породы;

– оборот рубки в смешанных древостоях определяется возрастом спелости главной породы, хотя в этой возрастной категории древесина второстепенных пород теряет свои деловые качества. Рекомендаций по направлениям хозяйствования в смешанных насаждениях в настоящее время нет, поэтому проблема требует дальнейшего изучения;

– дальнейшее развитие работ по ведению хозяйства в смешанных насаждениях должно быть направлено на дифференциацию показателей древостоя в зависимости от породного состава, позволяющее своевременно выбирать древесину отдельных пород в возрасте их технической спелости;

– проблема вырубки мягколиственных деревьев, входящих в состав смешанных насаждений, в возрасте их технической спелости первых актуальна и требует разработки нормативной базы для проведения этого особого вида рубок – условно-постепенных. Разработка последней позволит более эффективно вести хозяйство в данных насаждениях, получать дополнительное количество (не менее 200-300 тыс. м³/год) качественной древесины лиственных пород, формировать к возрасту спелости высокопродуктивные хвойные и дубовых древостои.

Резюме. Авторы обобщают теоретические и практические аспекты ведения хозяйства в смешанных древостоях. Предложен новый вид рубок в смешанных древостоях – условно-постепенные.

Abstract. The paper summarizes theoretical and practical aspects of keeping mixed species stands. A new cutting type for mixed species stands, namely, conditional gradual felling, is proposed.

Литература

1. Колесниченко, М.Ф. Биохимические взаимодействия древесных растений / М.Ф. Колесниченко. – М.: Лесная промышленность, 1968. – 150 с.
2. Рахтеенко И.Н. Корневые системы древесных и кустарниковых пород / И.Н. Рахтеенко. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 108 с.
3. Рахтеенко, И.Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений / И.Н. Рахтеенко. – Мн.: Сельхозгиз БССР, 1963. – 254 с.
4. Рахтеенко, И.Н. Рост и формирование корневой системы сосны в различных типах леса / И.Н. Рахтеенко // Дендрология и лесоведение – Минск, 1967. – С. 100-108.
5. Ткаченко, М.Е. Общее лесоводство / М.Е. Ткаченко – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1952. – 599 с.
6. Якушев, Б.И. Влияние напряженности фитоценологических факторов на осмотический потенциал древесных пород / Б.И. Якушев, Т.Н. Блотских; под общ. ред. В.И. Парфенова // Проблемы экспериментальной ботаники: к 100-летию со дня рождения В.Ф. Купревича – Мн.: Беларуская навука, 1997. – С. 59-70.
7. Якушев, Б.И. Эколого-физиологическое обоснование объективной необходимости существования биоразнообразия в лесных биогеоценозах / Б.И. Якушев, Б.С. Мартинович // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. трудов Института леса НАН Б. – Вып. 53. – Гомель, 2001. – С. 203-205.
8. Усс, Е.А. Влияние изреживания древостоя на структурные изменения нижних ярусов растительности сосняков мшистых и черничных / Е.А. Усс // Весці Нацыянальная акадэміі навук Беларусі: серыя біялагічных навук. – №5. – 2006. – С. 202-205.
9. Усс, Е.А. Характер изменения биоразнообразия хвойно-лиственных насаждений под влиянием рубок / Е.А. Усс // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Б. – Вып. 65. – Гомель: ИЛ НАН Б. – 2006 г. – С.257-268.
10. Багинский, В.Ф. Лесопользование в Беларуси / В.Ф. Багинский, Л.Д. Есимчик. – Мн.: Беларуская навука, 1996. – 367 с.
11. Багинский В.Ф. Лекции по системному анализу для лесоводов / В.Ф. Багинский. – Брянск: БГИТА, 1997. – 157 с.
12. Моисеенко, Ф.П. О закономерностях в росте, строении и товарности насаждений / Ф.П. Моисеенко. – Киев: УСХА, 1965. – 78 с.
13. Правила рубок в лесах Республики Беларусь: РД РБ 0208.019-2004. – Введ. 01.01.04. – Мн.: Мин. лес. хоз-ва, 2004. – 93 с.

14. Стратегический план развития лесного хозяйства Беларуси. – Мн.: МЛХ, 1997.- 178 с.
15. Юркевич, И.Д., География, типология и районирование лесной растительности / И.Д. Юркевич, В.С. Гельтман. – Мн.: Наука и техника, 1965. – 288 с.
16. Данусявичус, Ю.А. Биологические основы создания березово-сосновых культур / Ю.А. Данусявичус // Обзорная информация (Лесоведение и лесоводство). – Вып. 1. – М., 1981. – 37 с.
17. Валяев, В.Н. Хозяйственная оценка сосновых насаждений в Карелии / В.Н. Валяев // Лесное хозяйство – №8. – 1973.– С. 48-50.
18. Денисов, А.К. Лесоводственные проблемы лесоустройства / А.К. Денисов // Лесное хозяйство – №8. – 1976. – С. 40-43.
19. Великотный, А.А. Рост и формирование елового яруса под пологом сосновых древостоев / А.А. Великотный // Повышение продуктивности лесов лесоводственными приемами. – М.: ВНИИЛМ, 1977. – С. 94-111.
20. Антанайтис, В.В., Прирост леса / В.В. Антанайтис, В.В. Загреев. – М.: Лесная промышленность, 1969. – 240 с.
21. Кузьмичев, В.В. Закономерности роста древостоев / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 1977. – 160 с.
22. Лосицкий К.Б., Эталонные леса / К.Б. Лосицкий, В.С. Чуенков. – М.: Лесная промышленность, 1980. –191 с.
23. Морозов, Г.Ф. Учение о лесе / Г.Ф. Морозов. – М.-Л.: Гос. издательство, 1925. – 367 с.
24. Сукачев, В.Н. Борьба за существование между растениями в фитоценозе / В.Н. Сукачев // Основы лесной типологии и биогеоценологии. – Л.: Наука, 1972. – С. 154-160.
25. Чуенков, В.С. Таксационное обоснование эталонных насаждений / В.С. Чуенков // Материалы научной конференции по вопросам лесного хозяйства: секция экономики, лесоустройства и таксации леса. – Пушкино: ВНИИЛМ, 1970. – С. 16-19.
26. Межибовский, А.М. Строение и товарность елово-осиновых насаждений подзоны южной тайги европейской части РСФСР: автореф. дис. ... к-та. наук / А.М. Межибовский – Пушкино, 1970. – 25 с.
27. Тимофеев, В.П. Особенности развития и роста смешанных насаждений / В.П. Тимофеев // Доклады АН СССР. – 1954. – Т.ХСVII. – 6. – С. 1073-1076.
28. Рахтеенко, И.Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений / И.Н. Рахтеенко – Минск: АН БССР, 1963. – 253 с.
29. Рахтеенко, И.Н. Рост и формирование корневых систем сосны и березы в чистых и смешанных насаждениях / И.Н. Рахтеенко, Г.И. Кабашникова // Известия АН БССР – №4. – Минск, 1970 – С. 13-19.
30. Мирошников, В.С. Сосново-березовые насаждения БССР, их строение, лесоводственное и хозяйственное значение: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.С. Мирошников. – Минск, 1955. – 14 с.
31. Рахтеенко, И.Н. Взаимодействие корневых систем древесных растений в растительных сообществах / И.Н. Рахтеенко // Физиолого-биохимические основы взаимного влияния растений в фитоценозе – М.: Наука, 1966. – С. 187 – 198.
32. Смоляк, Л.П. Влияние происхождения сосняков на их продуктивность / Л.П. Смоляк, В.А. Никитин // Лесоведение и лесное хозяйство. – Вып.9. – Мн.: Высшая школа, 1975 – С. 155-164.
33. Харитонович, Ф.Н. Рост и продуктивность чистых и смешанных культур сосны, ели и березы / Ф.Н. Харитонович // Пути повышения продуктивности лесов. – Киев: Урожай, 1965. – С. 83 – 88.
34. Бисениекс, Я.П. Продуктивность сосново-березовых древостоев / Я.П. Бисениекс, М.А. Крастиньш //Береза в сосняках – Рига: Зинатне, 1989. – С. 40-45.
35. Межибовский, А.М., Великотный А.А. Некоторые особенности товарной структуры смешанных ельников и пути ее улучшения / А.М. Межибовский, А.А. Великотный // Повышение продуктивности лесов лесоводственными приемами – М.: ВНИИЛМ, 1977. – С. 138-153.

36. Щербин-Парфференко, А.Л. Бактериальные заболевания лесных пород / А.Л. Щербин-Парфференко. – М.: Гослесбумиздат, 1963. – 148 с.
37. Казимиров, Н.И. Оптимальная структура еловых насаждений / Н.И. Казимиров // Питание древесных растений и проблема повышения продуктивности лесов. – Петрозаводск, 1972. – С. 124-136.
38. Maard H. Stratified mixture of young Norway spruce and birch as an alternative to pure stands of Norway spruce // SLU, Uppsala (Sweden). – 1997. – 29 p.
39. Loeffers V.J.; Stadt K.J.; Navratil S. Age structure and growth of understory white spruce under aspen. // Can-j-for-res. Ottawa, national Research Council of Canada. – 1996. – v. 26 (6). – p. 1002-1007.
40. Дудин, В.А., Коновалов А.Н. Способы рубок как средство ускоренной трансформации вторичных мягколиственных лесов в коренные хвойные / В.А. Дудин, А.Н. Коновалов // Лесное хозяйство – №1. – 2006. – С. 16-18.
41. Горшенин, Н.М. О классификации рубок / Н.М. Горшенин // Лесное хозяйство – №1. – 1968.
42. Сеннов, С.Н. Об уточнении классификации рубок леса / С.Н. Сеннов, // Лесное хозяйство – №3. – 1998. – С. 26.
43. Наставление по рубкам ухода в равнинных лесах европейской части России. М., 1994. 190 с.
44. Правила рубок главного пользования в равнинных лесах европейской части Российской Федерации. М., 1994. – 32 с.
45. Мелехов, И. С. Лесоводство / И. С. Мелехов. – М., 1989. – 304 с.
46. Луганский, Н.А. Лесоводство / Н.А. Луганский, С.В. Залесов, В.А. Шавровский. – Екатеринбург, 1996. – 320 с.
47. Морозов, Г.Ф. Избранные труды / Г.Ф. Морозов. – М.: Лесная промышленность – Т.1. – 1970. – 560 с.
48. Лесной кодекс – Мн.: МЛХ, 2000. – 82 с.
49. Восточноевропейские леса: история в голоцене и современность: в 2 кн. Центр по пробл. экологии и продуктивности лесов – М.: Наука, 2004. – 575 с.
50. Побединский, А.В., Желдак В.И. Особенности рубок ухода в лесах с ограниченным режимом лесопользования / А.В. Побединский, В.И. Желдак. – Лесное хозяйство – №9. – 1989. – С. 24-27.
51. Побединский, А.В. Сравнительная оценка одновозрастных и разновозрастных древостоев / А.В. Побединский. – Лесное хозяйство – №2. – 1988. – С. 40-43.
52. Атрохин, В.Г. Формирование высокопродуктивных насаждений / В.Г. Атрохин. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 230 с.
53. Nyland, R.D. Evento uneven-aged: the challenges of conversion / R.D. Nyland, // Forest Ecol. and Manag. – 2003. – 172, №2-3. – P. 291-300.
54. Желдак, В.И., Неженец А.Н., Янчук В.В. Сохранение и обновление насаждений функционального назначения / В.И. Желдак, А.Н. Неженец, В.В. Янчук // Лесохозяйственная информация – №8. – 1994. – С. 17 – 19.
55. Мелехов, И.С. Проблемы современного лесоводства / И.С. Мелехов. – М., 1969. – 180 с.
56. Вохминцев, В.И. Комплексные рубки в разновозрастных лиственно-еловых и елово-лиственных древостоях Марийской АССР: автореф. дис. ... к.с.-х.н. / В.И. Вохминцев, – Йошкар-Ола, 1971. – 19 с.
57. Аглиуллин, Ф.В. Проблемы устойчивого функционирования лесных экосистем под влиянием рубок // Научные исследования высшей школы по экологии и рациональному природопользованию / Ф.В. Аглиуллин. – С-Пб.: Гос. горн. ин-т (техн. ун-т), 2000. – С. 152 – 153.
58. Мелехов, И.С. Научные основы лесовосстановительных мероприятий в таежных лесах / И.С. Мелехов // Лесной журнал. – №2. – 1959 – С. 3-15.
59. Кайрюкштитс, Л.А. Особенности прореживания лиственно-еловых насаждений / Л.А. Кайрюкштитс // Лесное хозяйство. – №11. – 1964. – С. 10-15.

60. Побединский, А.В. Рубки главного пользования / А.В. Побединский. – М.: Лесная пром-ть, 1980. – 191 с.
61. Миеликайнен, К. Долгосрочное значение рубок ухода в лесном хозяйстве/ К. Миеликайнен, // Российско-финский семинар по рубкам ухода – Иоэнсу, 1993. – С. 45-51.
62. Сеннов, С.Н. Итоги 60-летних наблюдений за естественной динамикой леса / С.Н. Сеннов. СПб., 1999. – 98 с.
63. Сеннов, С.Н. Современные правила рубок ухода за лесом / С.Н. Сеннов //Лесное хозяйство. – №6. – М., 2005. – С. 18 – 19.
64. Багинский, В.Ф. Биологическое и ландшафтное разнообразие древесных видов в лесных биогеоценозах и перспективы его сохранения и расширения как условие устойчивого развития / В.Ф. Багинский, // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. ИЛ НАН Б. – Вып. 64. – Гомель: ИЛ НАН Б, 2005. – С. 5-18.
65. Вольт, Е. Проблемы использования древесины мягких лиственных пород / Е. Вольт // Лесное и охотничье хозяйство. – №3, 2004. – С. 12 – 13.
66. Янушко, А.Д. Лесное хозяйство Беларуси – история, экономика, проблемы и перспективы развития / А.Д. Янушко. – Мн.: БГТУ, 2001. – 248 с.
67. Республиканская программа рационального и комплексного использования древесных ресурсов на 2002-2010 годы. – Мн., 2002. № 1410.
68. Багинский, В.Ф. Проблемы лесопользования в рыночной экономике / В.Ф. Багинский // Лесное и охотничье хозяйство – №1., 2003 – С. 4 – 12.
69. О возрасте рубок леса (лесных пород по рубкам главного пользования) //Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 6 декабря 2001 г., № 765. – Мн.: СМ РБ, 2001 – 4 с.
70. Янушко, А.Д. Лесные ресурсы Беларуси и основы их рационального использования и воспроизводства в условиях рыночной экономики / А.Д. Янушко.– Гомель: ИЛ АН Беларуси, 1993. – 31 с.
71. Неверов, А.В. Лесное хозяйство в системе природопользования / А.В. Неверов //Лесная наука на рубеже XXI века: сборник научных трудов. – Вып. 46. – Гомель: ИЛ АН Беларуси, 1997 – С. 223 – 226.
72. Моисеев, Н.А. Определение возраста спелости для одно-и многоресурсного лесопользования / Н.А. Моисеев, В.С. Чуенков // Лесное хозяйство. – №5. – 1997 – С. 50 – 52.
73. Лапицкая, О.В. Эколого-экономические основы определения спелости леса: автореф. ... к.э.н. / О.В. Лапицкая. – Мн.: БГТУ, 2001. – 21 с.
74. Верхунов П.М. Методика установления спелости насаждений и обоснование возрастов рубок главного пользования в лесах различного целевого назначения России / П.М. Верхунов, И.П. Куренкова, В.В. Загребев. – Йошкар-Ола: ФСЛХРФ, 2000. – 45 с.
75. Волков, В.Д. Спелость леса и оборот рубки / В.Д. Волков //Лесное хозяйство – №3. – 1987. – С. 46-49.
76. Моисеенко, Ф.П. Экономические и биологические показатели, определяющие оптимальный возраст рубки леса / Ф.П. Моисеенко. – Гомель: БелНИИЛХ, 1958. – №3 – С. 3-10.
77. Ермаков, В.Е. Лесоустройство / В.Е. Ермаков, – Мн.: Высшая школа, 1982. – 320 с.
78. Анучин, Н.П. Лесоустройство / Н.П. Анучин. – М.: Сельхозиздат, 1962. – 568 с.
79. Судачков, Е.Я. Спелость леса / Е.Я. Судачков. – М.-Л.: Гослесбумиздат, 1957. – 52 с.
80. Трубников, М.М. Экономическая спелость леса и организация лесохозяйственного производства / М.М. Трубников. – М.: Лесная промышленность, 1969. – 175 с.
81. Костюкович, Ф.Т. Вопросы экономики и планирования лесохозяйственного производства / Ф.Т. Костюкович. – Минск: Госиздат БССР, 1960. – 205 с.
82. Моисеев, Н.А. Экономика лесного хозяйства / Н.А.Моисеев. – М.: МГУЛ, 1999, – Ч.1. – 158 с.
83. Атрощенко, О.А. Методы определения экономической спелости леса в нашей стране и за рубежом / О.А. Атрощенко, А.Д. Янушко // Лесоведение и лесное хозяйство: Республиканский межведомственный сборник научных трудов – Вып.23. – Мн.: БТИ, 1988. – С. 98 – 103.

84. Неверов, А.В. Экономика природопользования / А.В. Неверов. – Мн.: Вышэйшая школа, 1990. – 216 с.
85. Неверов, А.В. Эколого-экономические основы природопользования (на примере воспроизводства лесных ресурсов) / А.В. Неверов. – М.: МЛТИ, 1991. – 40 с.
86. Верхунов, П.М. Определение возрастов спелостей и рубок в лесах различного целевого назначения / П.М. Верхунов, В.В. Загреев // Доклады ТСХА – №268. – 1997. – С. 74-80.
87. Бобруйко, Б.И. Экономическая оценка лесных ресурсов: роль возрастных коэффициентов ценности насаждений / Б.И. Бобруйко, С.К. Пентелькин, В.А. Киташов // Лесное хозяйство – №12. – 1989. – С. 12 – 14.
88. Мурахтанов, Е.С. Лесоустройство / Е.С. Мурахтанов. – Брянск: БрТИ, 1991. – 184 с.
89. Янушко, А.Д. Спелость леса и оборот рубки в эксплуатационных лесах / А.Д. Янушко // Лесное и охотничье хозяйство – №2. – 2000, – С. 8-11.
90. Сеннов, С.Н. Рубки ухода за лесом / С.Н. Сеннов. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 160 с.
91. Кайрюкштис, Л.А. Формирование максимально продуктивных эталонных березняков, осинников и мягколиственных с елью насаждений / Л.А. Кайрюкштис // Наука производству – Вильнюс: Мокслас, 1977. – С. 3-10.
92. Климов, Р.Н. Целевые программы рубок ухода в березово-еловых насаждениях средней тайги / Р.Н. Климов // Формирование эталонных насаждений – Ч.1. – Каунас. – 1979. – С. 130-132.
93. Куликова, Т.А. Оценка продуктивности лесных ресурсов / Т.А. Куликова. – М.: ВНИИЦ лесресурс, 1991. – 48 с.
94. Шимова, О.С. Эколого-экономическое регулирование / О.С. Шимова, // Вопросы методологии и практики переходного периода – Минск: БГТУ, 1998. – 38 с.
95. Янушко, А.Д. Оценка земельных и древесных ресурсов в лесхозах Беларуси / А.Д. Янушко, М.М. Санкович, Б.Н. Желиба. – Минск: Ураджай, 1993. – 150 с.
96. Концепция устойчивого развития лесного хозяйства Республики Беларусь до 2015 года. – Минск: КМ РБ, № 594, 1996. – 22 с.

¹Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины,

Поступило 03.02.09

²Республиканское дочернее унитарное лесоустроительное предприятие «Гомельлеспроект»

УДК 631.1:615.849

Обоснование оптимизации системы радиационного контроля

Ю. М. Жученко, В. А. Кривошлыков

Введение

Цель работы: на основе фактических данных о радиологической, демографической и хозяйственной ситуации в населенных пунктах Гомельской области и использования стандартных [1] и оригинальных методов расчета [2, 3] дать научное обоснование современной системы радиационного контроля пищевой продукции частного сектора в части периодичности и частоты проведения измерений. В решении поставленной задачи для практической реализации заранее спланированных работ заинтересованы службы, занимающиеся контролем радиационной обстановки на загрязненных территориях в соответствии с регламентирующими документами республиканского и областного значения [4, 5].

Результаты и их обсуждение

Основываясь на разработках [6], с использованием реляционной базы данных о фактическом загрязнении продуктов питания, выполнены модельные расчеты с применением ГИС-технологий, включающие пространственно-скоординированную радиологическую (уровни загрязнения ^{137}Cs и ^{90}Sr), хозяйственную (количество коров в частном секторе) и демографическую информацию по населенным пунктам Гомельской области. С применением методов математической статистики [7, 8] проведены расчеты распределения функции вероятности содержания радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr в основных продуктах питания (молоке, картофеле и пищевой продукции леса), а также индивидуальной годовой суммарной эквивалентной дозы по населенным пунктам Гомельской области, результаты представлены в виде карт (рисунки 1–4).

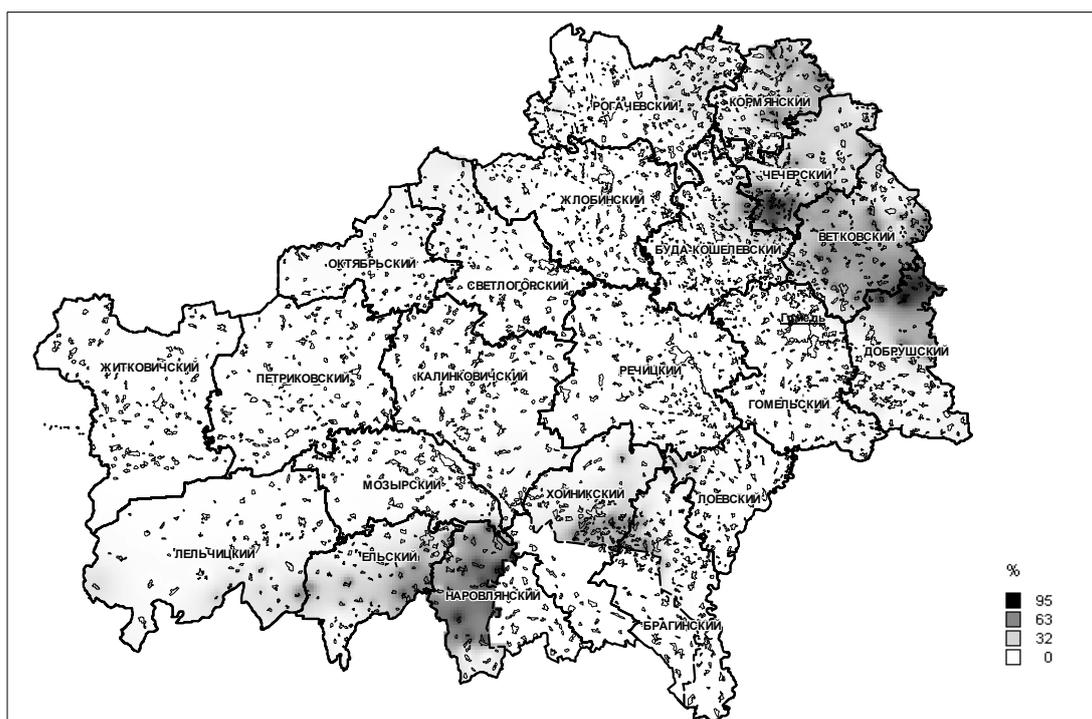


Рисунок 1 – Карта-схема вероятности превышения индивидуальной годовой суммарной дозы (>1 мЗв/г.) по территории Гомельской области

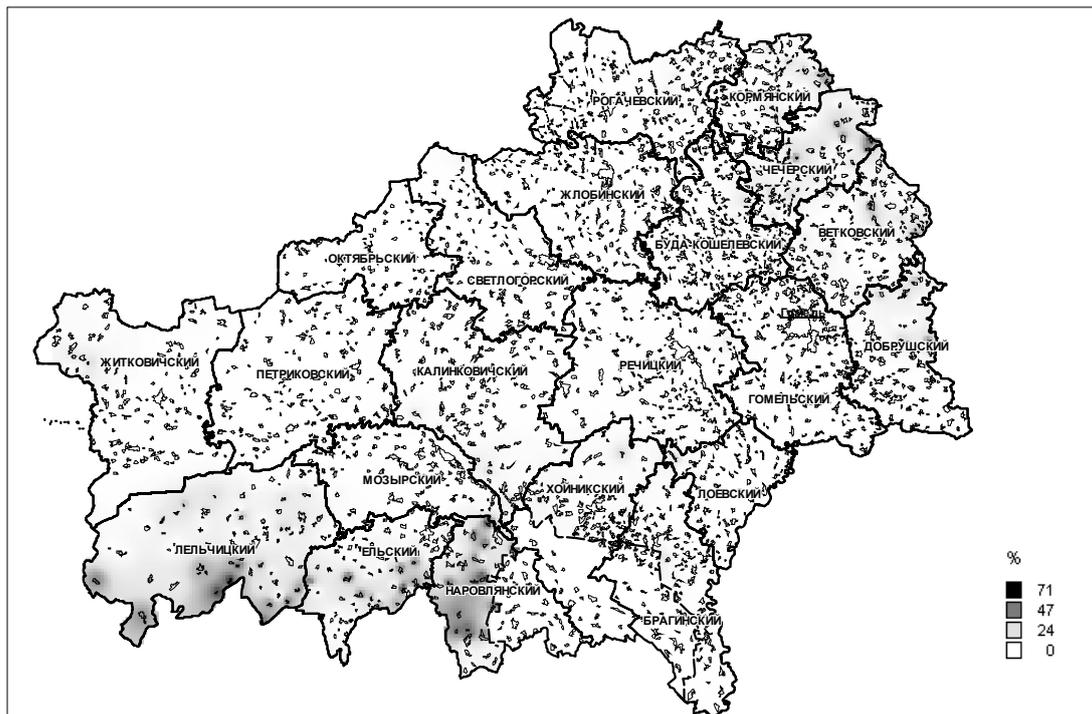


Рисунок 2 – Карта–схема вероятности превышения содержания ^{137}Cs в молоке коров частного сектора >100 Бк/л по территории Гомельской области

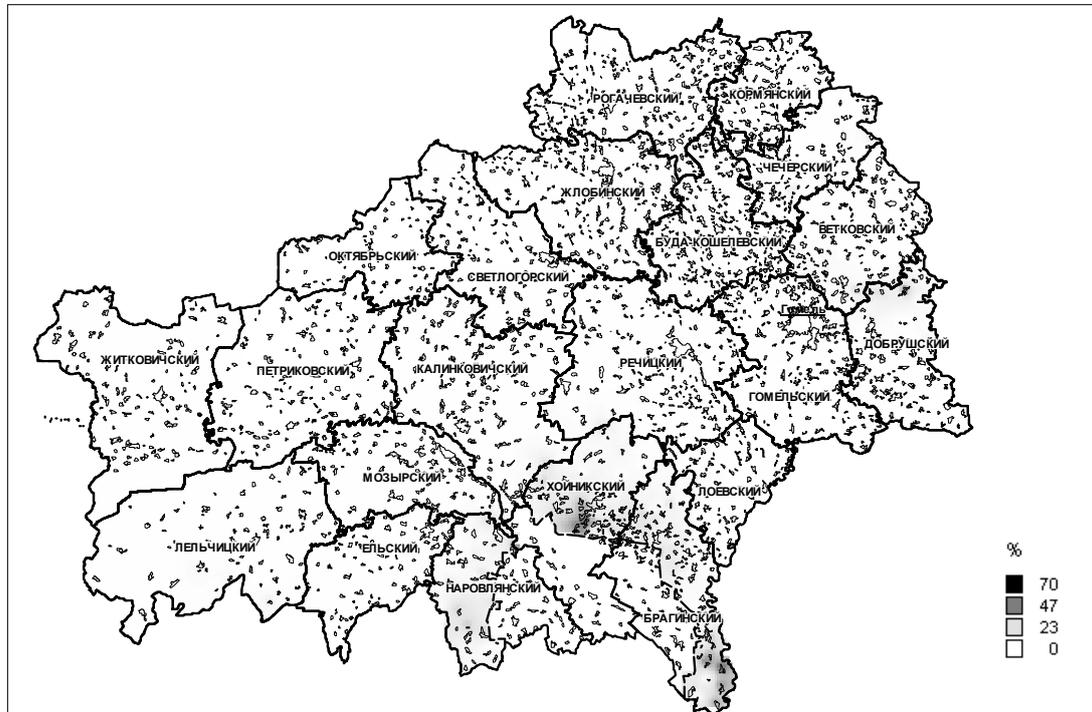


Рисунок 3 – Карта–схема вероятности превышения содержания ^{90}Sr в молоке коров частного сектора $>3,7$ Бк/л по территории Гомельской области

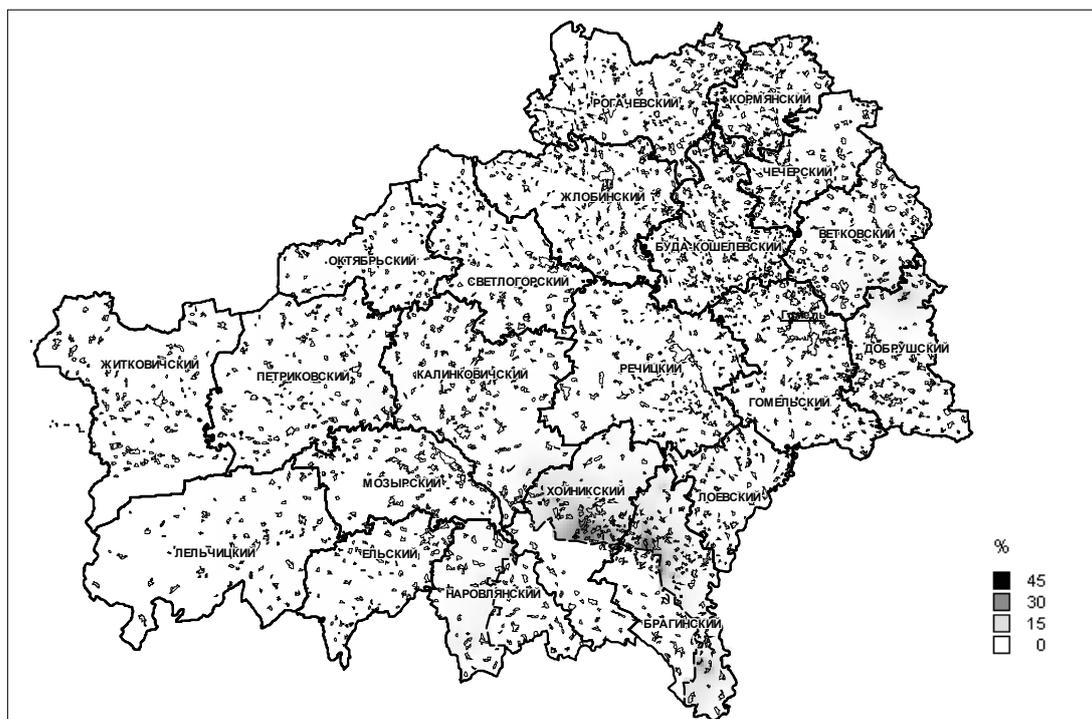


Рисунок 4 – Карта–схема вероятности превышения содержания ^{90}Sr в картофеле частного сектора $>3,7$ Бк/л по территории Гомельской области

Для обеспечения корректных расчетов были определены критерии, по которым населенный пункт по радиологическим факторам следует относить к одной из четырех групп. Такими критериями являются:

- $D_{\text{Сумм}}$ – среднее значение годовой суммарной эквивалентной дозы;
- ^{137}Cs (молоко) – среднее значение содержания ^{137}Cs в молоке;
- ^{90}Sr (молоко) – среднее значение содержания ^{90}Sr в молоке;
- ^{90}Sr (картофель) – среднее значение содержания ^{90}Sr в картофеле.

Это означает, что:

- если суммарная доза выше значения 1 мЗв/год или содержание радионуклида в продуктах выше РДУ-99, то в таком населенном пункте превышение радиационной характеристики составит величину больше 50%;
- если суммарная доза ниже значения 1 мЗв/год или содержание радионуклида меньше РДУ-99, то в таком населенном пункте превышение радиационной характеристики составит величину менее 50%.

В свою очередь, каждая из четырех групп была разбита на подгруппы, представляющих возможное сочетание выбранных критериев. Таким образом, было сформировано 25 возможных вариантов группировок, представленных в таблице 1.

По выбранным критериям была выполнена операция группировки населенных пунктов. Содержание ^{137}Cs в картофеле не превышает установленного норматива (80 Бк/кг), а в грибах превышение РДУ-99 (370 Бк/кг) более 50% фиксируется во всех населенных пунктах. Поэтому приводить результаты анализа и расчетов по этим характеристикам не имеет смысла.

Итоговые результаты классификации населенных пунктов по группам представлены в таблице 2.

Таблица 1 – Принцип группировки населенных пунктов по радиологическим критериям

Группа	Подгруппа	Критерии			
		$D_{\text{Сумм}}$	^{137}Cs (молоко)	^{90}Sr (молоко)	^{90}Sr (картофель)
1	1	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$
1	2	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$	$p < 50\%$

1	3	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$	$p < 50\%$	$p < 50\%$
1	4	$p \geq 50\%$	$p < 50\%$	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$
1	5	$p \geq 50\%$	$p < 50\%$	$p \geq 50\%$	$p < 50\%$
1	6	$p \geq 50\%$	$p < 50\%$	$p < 50\%$	$p \geq 50\%$
1	7	$p \geq 50\%$	$p < 10\%$	$p < 10\%$	$p < 10\%$
2	1	$p < 50\%$	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$
2	2	$p < 50\%$	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$	$p < 50\%$
2	3	$p < 50\%$	$p \geq 50\%$	$p < 50\%$	$p < 50\%$
2	4	$p < 50\%$	$p < 50\%$	$p \geq 50\%$	$p \geq 50\%$
2	5	$p < 50\%$	$p < 50\%$	$p \geq 50\%$	$p < 50\%$
2	6	$p < 50\%$	$p < 50\%$	$p < 50\%$	$p \geq 50\%$
3	1	$p \geq 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$
3	2	$p \geq 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$p < 10\%$
3	3	$p \geq 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$p < 10\%$	$p < 10\%$
3	4	$p \geq 50\%$	$p < 10\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$
3	5	$p \geq 50\%$	$p < 10\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$p < 10\%$
3	6	$p \geq 50\%$	$p < 10\%$	$p < 10\%$	$10\% \leq p < 50\%$
4	1	$p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$
4	2	$p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$p < 10\%$
4	3	$p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$p < 10\%$	$p < 10\%$
4	4	$p < 50\%$	$p < 10\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$10\% \leq p < 50\%$
4	5	$p < 50\%$	$p < 10\%$	$10\% \leq p < 50\%$	$p < 10\%$
4	6	$p < 50\%$	$p < 10\%$	$p < 10\%$	$10\% \leq p < 50\%$

Таблица 2 – Итоговая таблица классификации населенных пунктов

Группа	Подгруппа	Число населенных пунктов	Население	Численность жителей по критериям			
				$D_{\text{сумм}}$	^{137}Cs (молоко)	^{90}Sr (молоко)	^{90}Sr (картофель)
1	2	1	12	9	8	7	2
1	3	16	1214	704	669	58	5
1	4	1	58	30	–	33	38
1	6	1	12	6	–	5	6
1	7	18	4309	2401	90	10	1
Всего по 1 группе		37	5605	3150	767	113	52
2	3	6	897	147	526	–	–
2	5	6	1026	15	5	591	73
Всего по 2 группе		12	1923	162	531	591	73
3	2	1	114	78	51	32	–
3	3	47	15254	9664	3700	36	2
3	4	1	2	1	–	1	–
3	5	2	12	7	–	3	–
Всего по 3 группе		51	15382	9750	3751	72	2
4	1	1	25	12	6	8	5
4	2	1	359	109	56	136	32
4	3	61	26191	5733	7987	21	16
4	4	5	1542	115	8	354	177
4	5	12	2183	59	4	382	29
4	6	5	942	16	7	59	164
Всего по 4 группе		85	31242	6044	8068	960	423
Итого		185	54152	19106	13117	1736	550

Группа 1 включает населенные пункты с высоким уровнем загрязнения территории ^{137}Cs (>320 кБк/м²). В свою очередь в группу 1 подгруппы 2 и 3 входят населенные пункты (17 н.п., 1226 жителей), в которых относительный вклад в суммарную дозу определяется дозой внутреннего облучения. Основной вклад в дозу внутреннего облучения в этих населенных пунктах дает молоко.

Два населенных пункта Брагинского и Хойникского районов формируют группу 1 подгруппы 4 и 6, которые характеризуются паритетностью вклада доз внешнего и внутреннего облучения, и основной вклад в дозу внутреннего облучения обусловлен лесной компонентой, а также превышением норматива содержания ^{90}Sr в молоке и картофеле.

В группу 1 седьмой подгруппы входят 18 населенных пунктов с 1023 жителями. В этих пунктах наблюдается несущественное превышение норматива содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке. Равенство вклада в дозу внешнего и внутреннего облучения обусловлено высоким уровнем загрязнения территории и “дарами природы”.

Группу 2 подгруппы 3 формируют населенные пункты в основном Лельчицкого района с низким значением плотности загрязнения ^{137}Cs (60-145 кБк/м²). До 90% суммарной дозы в этих населенных пунктах формируется за счет дозы внутреннего облучения, основной вклад в которую принадлежит молоку (75-90%). В группу 2 подгруппы 5 в основном вошли поселения Брагинского района, в которых произведенное молоко и картофель имеют превышение РДУ-99 по содержанию ^{90}Sr . Ведущей в них является доза внутреннего облучения, обусловленная потреблением пищевой продукции леса.

Группа 3 подгрупп 2 и 3 являются одной из многочисленных по количеству вошедших в нее населенных пунктов и числу жителей (48 и 15368, соответственно). Все они характеризуются высоким уровнем загрязнения (370-750 кБк/м²) и приоритетным относительным вкладом внутреннего облучения в суммарную дозу (53-67%). Вклад в формирование дозы внутреннего облучения за счет потребления жителями молока и пищевой продукции леса либо одинаков, либо ведущей является лесная компонента. Группа 3 подгрупп 4 и 5 немногочисленна и включает три населенных пункта, с численностью населения 14 человек. Суммарная доза в этих населенных пунктах формируется за счет внешнего облучения (высокие уровни загрязнения территории ^{137}Cs), а вклад в дозу внутреннего облучения дают “дары природы”.

Самой многочисленной является 4 группа населенных пунктов (85 поселений с населением 31242 человека). Уровни загрязнения ^{137}Cs территории населенных пунктов невелики (в основном до 370 кБк/м²). Ведущей в них является доза внутреннего облучения, в основном обусловленная потреблением молока, хотя в 7 населенных пунктах доза внутреннего облучения обеспечивается лесной компонентой. Это объясняется малой численностью коров.

Следует отметить, что представленные выше характеристики групп населенных пунктов являются в достаточной степени обобщающими, по которым собственно и формировались группы. Однако имеется реальная возможность дать подробную характеристику по каждому населенному пункту и спланировать необходимые мероприятия.

Заключение

Населенные пункты, вошедшие в группы 1 и 3, подгруппы 2–7 и 5, соответственно (88 населенных пунктов) должны иметь статус обязательного систематического по временам года радиационного контроля, включающие СИЧ-измерения (по четырем сезонам года и соответствующей представительностью типичного контингента населения), исследование проб продуктов питания на содержание ^{137}Cs и ^{90}Sr .

В поселениях группы 2 подгрупп 3 и 5 (12 населенных пунктов) необходимо проводить два раза в течение года (в период выпаса и стойловый период) радиационный контроль ^{137}Cs и ^{90}Sr в молоке и картофеле, так как в этой группе фиксируется превышение РДУ-99.

Четвертую группу (85 населенных пунктов) целиком следует характеризовать как пункты периодического радиационного контроля и в соответствии с этим статусом проводить радиологические исследования проб продуктов питания.

Определены рекомендуемые мероприятия по проведению радиационного контроля в населенных пунктах, которые отранжированы по степени очередности выполнения радиационного контроля с учетом не только радиационного фактора, но и с учетом числа жителей и количества коров в конкретном населенном пункте.

Таким образом, объектами проведения различных видов радиационного контроля и планирования специальных мероприятий являются 185 поселений. Для сравнения ранее радиационным контролем определения содержания ^{137}Cs и ^{90}Sr в продуктах питания частного сектора было охвачено 1490 и 354 населенных пунктов, соответственно.

Резюме. На основе фактических данных о радиологической, демографической и хозяйственной ситуации в населенных пунктах Гомельской области и использования стандартных и оригинальных методов расчета дано научное обоснование современной системы радиационного контроля пищевой продукции частного сектора в части периодичности и частоты проведения измерений. В решении поставленной задачи для практической реализации заранее спланированных работ заинтересованы службы, занимающиеся контролем радиационной обстановки на загрязненных территориях в соответствии с регламентирующими документами республиканского и областного значения.

Abstract. On the basis of the actual data about the radiological, demographic and economic situation in the settlements of Gomel area and the use of standard and original methods of calculating the substantiation of the optimized system of the contamination monitoring over food production in the private sector is presented in the paper.

Литература

1. Миненко, В.Ф. и др. Определение годовых суммарных эффективных доз облучения жителей населенных пунктов Республики Беларусь. – Минск, 1994. – 26 с.
2. Firsakova, S. An example of rehabilitation strategies for radioactive contaminated areas in Belarus/ S. Firsakova, Yu. Zhuchenko, G. Voigt // Journal of Environmental Radioactivity. – 2000. – 48. – P. 23–33.
3. Жученко, Ю.М. Математическое моделирование потоков радионуклидов из сельскохозяйственных и естественных экосистем с целью радиационной реабилитации загрязненных территорий / Ю.М. Жученко; Докторская диссертация. – Обнинск, 1998. – 292 с.
4. Схема радиационного контроля пищевых продуктов из личных подсобных хозяйств, проводимого учреждениями санитарно-эпидемиологической службы. Министерство здравоохранения РБ. Утв. Главным Государственным санитарным врачом РБ В.П. Филоновым. – Минск, 1998. – 12 с.
5. Инструкция «Организация работы учреждений, осуществляющих государственный санитарный надзор по минимизации последствий аварии на чернобыльской АЭС» Министерство здравоохранения РБ. Утв. Главным Государственным санитарным врачом РБ В.И. Ключенович. – Минск, 2003. – 19 с.
6. Разработать рекомендации по выработке оптимальной стратегии комплексной реабилитации развития региона на загрязненной территории. Заключительный отчет НИИР МЧС РБ, № 2000999, 2000. – 455 с.
7. Айвазян, С.А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных/ С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 471 с.
8. Брандт, Дж. Статистические методы анализа наблюдений / Дж. Брандт. – М.: Мир, 1975. – 312 с.

УДК 581.525.45: 581.524.4

Синтаксономия и геоботаническая характеристика луговых экосистем поймы р. Сож пригорода г. Гомеля

Л. М. САПЕГИН, Н. М. ДАЙНЕКО

Введение

Луга в Беларуси занимают 3283,1 тыс. га, в том числе пойменные – 169,7 тыс. га, или 5,2 %. В Гомельской области пойменных лугов 99,1 тыс. га, или 54,3 % от площади пойменных лугов Республики [4]. Это наиболее ценные природные кормовые угодья, растительность которых преимущественно используется для сенокосения и выпаса скота. Значительные площади пойменных лугов представлены в пойме р. Сож пригорода г. Гомеля. Рациональное использование, улучшение и охрана лугов невозможны без их геоботанического изучения и классификации.

Материалы и методы исследований

В течение 2000 – 2007 гг. нами выполнены полевые геоботанические исследования (более 100 полных геоботанических описаний) травостоев луговых экосистем поймы р. Сож пригорода г. Гомеля. Размер пробной площади 100 м². Оценка степени количественного участия видов дана по комбинированной шкале Браун-Бланке. Хозяйственная продуктивность травостоев определялась укосным методом [5].

Экологические режимы экосистем синтаксонов по влажности, кислотности и обеспеченности азотом почвы определены по оптимумным экологическим шкалам Н. Ellenberg et al. [9] и амплитудным шкалам Л. Г. Раменского и др. [7]. Латинские названия растений даны по определителю [6].

Геоботанические описания явились основой для разработки синтаксономии. Для установления синтаксонов использована методика Braun-Blahquet [1 – 3, 8, 11]. При классификации использована система классов, порядков, союзов, ассоциаций, вариантов.

Результаты и их обсуждение

На основе геоботанических описаний пойменных лугов р. Сож пригорода г. Гомеля выделены фитоценоны луговых сообществ. Синоптическая таблица фитоценонов луговых экосистем представлена ниже.

Таблица 1 – Синоптическая таблица фитоценонов луговых экосистем поймы р. Сож пригорода г. Гомеля

Номера фитоценонов	1	2	3	4	5	6	7	8
Число площадок	15	15	10	10	15	15	15	10
Среднее число видов	17	12	27	15	29	23	16	15
Богатство почвы по Раменскому [5]	5	8	8	8	9	15	16	16
Влажность почвы по Ellenberg [26]	3	5	5	6	6	8	9	9
Кислотность почвы	3	5	5	5	5	6	3	3
Обеспеченность почвы азотом	3	5	5	5	5	7	8	8
Проективное покрытие, %	50	95	90	90	90	90	90	

Номера фитоценонов	1	2	3	4	5	6	7	8
Д. в. Ассоциаций								
<i>Festuca valesiaca</i>	V ³	.	.	.	.	.	.	.
<i>Poa angustifolia</i>	V ²⁻³	.	.	.	.	.	.	.
<i>Bromopsis inermis</i>	.	V ⁴	.	.	.	.	.	.
<i>Dactylis glomerata</i>	.	V ³	.	.	.	.	.	.
<i>Festuca pratensis</i>	.	.	V ⁴	V ⁴	V ³	.	.	.
<i>Poa pratensis</i>	.	.	V ²	V	V ²	.	.	.
<i>Plantago lanceolata</i>	II	II ⁺¹	IV	II	III	II	.	.
<i>Trifolium pratense</i>	.	.	III	III ⁺¹	II	.	.	.
<i>Ranunculus acris</i>	.	III ⁺¹	II	.	II	.	.	.
<i>Carex nigra</i>	.	.	.	.	I	.	.	.
<i>Alopecurus pratensis</i>	.	III ¹⁻²	.	.	V ⁺¹	V ³	.	.
<i>Poa palustris</i>	.	.	.	.	.	V ²	.	IV ⁺¹
<i>Glyceria maxima</i>	.	.	.	.	.	.	V ⁵	V ²
<i>Carex vulpina</i>	.	.	.	.	.	.	V ²	III
<i>Carex acuta</i>	.	.	.	.	.	.	.	V ⁵
Д. в. Вариантов								
<i>Dactylis glomerata</i>	.	.	.	V ³	.	.	.	.
<i>Bromopsis inermis</i>	.	.	.	III ⁺¹	.	III	.	.
<i>Elytrigia repens</i>	.	.	.	III ⁺¹	.	.	.	.
<i>Agrostis gigantea</i>	.	.	.	.	IV ⁺¹	.	.	.
<i>Lathyrus pratensis</i>	.	.	.	.	III	.	.	.
<i>Vicia cracca</i>	.	.	.	.	III	.	.	.
<i>Prunella vulgaris</i>	.	.	.	.	II	.	.	.
<i>Carex vulpina</i>	.	.	.	.	.	V ¹⁻²	.	.
Д. В. <i>Agrostion vinealis</i>								
<i>Koeleria delavignei</i>	III	.	.	.	.	.	.	.
<i>Agrostis vinealis</i>	II ¹⁻²	.	.	.	.	.	.	.
<i>Carex praecox</i>	II	.	II	.	.	.	.	.
<i>Trifolium montanum</i>	III	.	V ⁺¹	.	III	.	.	.
Д. В. <i>Cynosurion</i>								
<i>Veronica serpyllifolia</i>	II	.	.	.	.	.	.	.
<i>Plantago media</i>	II	.	.	.	.	.	.	.
<i>Plantago major</i>	II	.	.	.	.	.	.	.
<i>Agrostis tenuis</i>	.	.	II	.	.	.	.	.
<i>Trifolium repens</i>	II	.	IV	.	II	III	.	.
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	.	.	II	.	III	.	.	.
Д. В. <i>Galietales veri</i>								
<i>Filipendula vulgaris</i>	IV	.	IV	.	.	II	.	.
<i>Potentilla argentea</i>	V ⁺¹	.	I	.	II	.	.	.
<i>Galium verum</i>	V ⁺¹	.	IV	.	II	.	.	.
<i>Rumex thyrsiflorus</i>	I	.	III	II	III	III ⁺¹	.	.
<i>Tanacetum vulgare</i>	.	.	.	.	II	.	.	.
<i>Fragaria viridis</i>	II	.	+	.	.	.	.	.
Д. В. <i>Festucion pratensis</i>								
<i>Phleum pratense</i>	.	V ¹⁻²	III	III	IV	.	.	.
<i>Festuca pratensis</i>	.	V ⁺¹	.	.	.	.	.	.

Номера фитоценонов	1	2	3	4	5	6	7	8
Д. в. <i>Phragmiti-Magnocaricetea</i>								
<i>Sium latifolium</i>	III	.
<i>Galium palustre</i>	III ⁺¹	III ⁺¹	III ⁺¹
<i>Eleocharis palustris</i>	III	III ⁺¹
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	II	II
<i>Lythrum salicaria</i>	II	.
<i>Stellaria palustris</i>	II	.	.
<i>Stachys palustris</i>	I
Д. в. <i>Bidentetea tripartiti</i> , <i>Bidentetalia tripartiti</i> , <i>Bidention tripartiti</i>								
<i>Rorippa palustris</i>	.	.	.	II	.	.	II	.
Д. в. <i>Plantaginetea majoris</i> , <i>Plantaginetalia majoris</i>								
<i>Capsella bursa-pastoris</i>	II	.	.	.	.	.	.	.
<i>Lolium perenne</i>	.	.	.	II	.	.	.	.
<i>Leontodon autumnalis</i>	II	.	.
Д. в. <i>Agropyro-Rumicion crispi</i>								
<i>Leontodon autumnalis</i>	II	.	.	.
<i>Rumex crispus</i>	.	.	.	II	II	I	.	.
<i>Potentilla anserina</i>	.	I.	.	.	II	III	.	.
Прочие виды								
<i>Equisetum arvense</i>	II	.	.	.	.	.	.	.
<i>Euphorbia virgata</i>	II	.	.	.	.	.	.	.
<i>Artemisia abrotanum</i>	II	.	.	.	.	.	.	.
<i>Barbarea stricta</i>	.	III ⁺¹	II	II	III	III	.	.
<i>Glechoma hederacea</i>	.	.	II	II	II ⁺¹	III	.	.
<i>Galium mollugo</i>	.	II.	II	.	III ⁺	.	.	.
<i>Ranunculus auricomus</i>	.	.	I	.	I	III ⁺¹	.	.
<i>Veronica chamaedrys</i>	II	.	.	.
<i>Veronica serpyllifolia</i>	I	III	.	.
<i>Thalictrum lucidum</i>	I	II ⁺¹	.	.
<i>Campanula glomerata</i>
<i>Viola canina</i>	.	.	I	.	.	.	.	.
<i>Dianthus superbus</i>	.	.	+
<i>Chenodium album</i>	.	.	.	I	.	.	.	.
<i>Linaria vulgaris</i>	.	.	.	I	.	.	.	.
<i>Rumex acetosella</i>	+	.	.	.
<i>Agrostis canina</i>	IV ⁺⁺	.	.
<i>Euphorbia lucida</i>	III	.	.
<i>Mentha arvensis</i>	II	.	.
<i>Rumex confertus</i>	II	.	.
<i>Persicaria moculata</i>	I	.	I
<i>Calamagrostis neglecta</i>	I

Примечание – Номера ассоциаций: 1 – *Poo angustifolii–Festucetum valesiacaе*, 2 – *Dactylido glomeratae–Bromopsietum inermis*, 3 – *Poo–Festucetum pratensis typica var.*, 4 – *P. – F. pr. Dactylis glomerata var.*, 5 – *P. – F. pr. Agrostis gigantea var.*, 6 – *Poo palustris – Alopecuretum pratensis Carex vulpina var.*, 7 – *Carici vulpinae – Glycerietum maximae*, 8 – *Glycerio maximae-Caricetum acutae*.

Экологическая характеристика, по Раменскому и др. [7], богатство почвы: 4 – 6 – бедные, 7 – 9 – небогатые (мезотрофные), 14 – 16 – богатые; по Ellenberg et. al. [9], влажность почвы: 3 – сухие, 5 – средневлажные (свежие), 6 – от средневлажных до хорошо увлажненных, 8 – от хорошо увлажненных до сырых, 9 – сырые, плохо аэрированные; кислотность

почвы: 3 – кислые, 5 – умеренно кислые, 6 – от умеренно кислых до слабо кислых; обеспеченность почвы азотом: 3 – бедные азотом, 5 – умеренно богатые, 6 – от умеренно богатых до богатых, 7 – богатые азотом, 8 – явная обеспеченность азотом.

Классы постоянства: I – до 20 %, II – 21 – 40 %, III – 41 – 60 %, IV – 61 – 80 %, V – 81 – 100 %.

Проективное покрытие в баллах: + – до 1 %, 1 – до 5 %, 2 – 6 – 25 %, 3 – 26 – 50 %, 4 – 51 – 75 %, 5 – более 75 %.

Фитоценоны луговых экосистем отнесены к определенным ассоциациям с вариантами, союзами, порядками и классами системы Браун-Бланке.

Продромус синтаксонов луговых экосистем поймы р. Сож пригорода г. Гомеля имеет следующий вид:

Класс: *Molinio-Arrhenatheretea* R. Tx. 1937 em. R. Tx. 1970

Порядок: *Galietales veri* Mirk. et Naum. 1986

Союз: *Agrostion vinealis* Sipajlova et al. 1985

Асс.: *Poo angustifolii – Festucetum valesiacaе* ass. nov. prov.

Порядок: *Arrhenatheretalia* Pawl. 1928

Союз: *Festucion pratensis* Sipajlova et al. 1985

Асс.: *Dactylido glomeratae – Bromopsietum inermis* ass. nov. prov.

Асс.: *Poo – Festucetum pratensis* Sapegin 1986

typica var.,

Dactylis glomerata var.,

Agrostis gigantea var.

Порядок: *Molinetalia* W. Koch 1926

Союз: *Alopecurion pratensis* Passarge 1964

Асс.: *Poo palustris-Alopecuretum pratensis* (Sapegin 1986)

Shelyag-Sosonko et al. 1987

Carex vulpina var.

Класс : *Phragmiti-Magnocaricetea* Klika in Klika et Novak 1941

Порядок: *Magnocaricetalia* Pignatti 1953

Союз: *Magnocaricion elatae* Pignatti 1953

Асс.: *Carici vulpinae – Glycerietum maximae* ass. nov. prov.

Асс.: *Glycerio maximae-Caricetum acutae* Sapegin 1986

Из приведенного продромуса видно, что синтаксономическое разнообразие луговых экосистем поймы р. Сож пригорода г. Гомеля представлено 2 классами, 4 порядками, 4 союзами и 6 ассоциациями с вариантами. При этом три ассоциации оказались новыми для региона.

В соответствии с Кодексом фитосоциологической номенклатуры [10] приводим их полную геоботаническую характеристику.

Таблица 2 – *Poo angustifolii–Festucetum valesiacaе* Sapegin et Dajneko 2008 ass. nova

Номер описаний	1	2	3	4*	5	6	7	8	9	10	К
Проективное покрытие, %	60	60	75	70	75	60	70	70	65	65	
Количество видов	15	15	12	15	9	10	11	15	20	25	
Д.в. ассоциации											
<i>Festuca valesiaca</i>	3	2	3	3	3	2	3	3	3	3	V ³
<i>Poa angustifolia</i>	2	2	2	2	3	3	3	3	2	2	V ²⁻³
<i>Plantago lanceolata</i>			+	+			+	+	+	+	III

Номер описаний	1	2	3	4*	5	6	7	8	9	10	К
Д.в. <i>Agrostion vinealis</i>											
<i>Koeleria delavignei</i>	2	1	+				+		+	1	III ¹⁻²
<i>Trifolium montanum</i>	1	+	+			+		+	+		III
<i>Agrostis vinealis</i>	2	2		1						+	II ¹⁻²
<i>Dianthus borbasii</i>	+	+							+	+	II
<i>Carex praecox</i>		+							+	+	II
Д.в. <i>Cynosurion</i>											
<i>Plantago media</i>	+		+	+				+		+	III
<i>Veronica serpyllifolia</i>	+							+		+	II
<i>Trifolium repens</i>		+			+					+	II
<i>Plantago major</i>					+				+		I
Д.в. <i>Galietales veri</i>											
<i>Galium verum</i>	1	1	1	+		+	+	+	+	+	V ⁺¹
<i>Potentilla argentea</i>	+	+	1	+	1	+		1	1	+	V ⁺¹
<i>Filipendula vulgaris</i>	1			+	+	+	+	+	+	+	IV
<i>Fragaria viridis</i>	1					+					II
<i>Rumex thyrsoiflorus</i>		+							+		I
Д.в. <i>Arrhenatherion, Arrhenatheretalia</i>											
<i>Bromus mollis</i>				+	+			+	+	+	III
<i>Taraxacum officinale</i>			+	+	+			+			II
Д.в. <i>Molinio – Arrhenatheretea</i>											
<i>Achillea millefolium</i>	+	1	1	1	1	1		1	1		IV ⁺¹
<i>Stellaria graminea</i>	+	+	+	+			+	1	+	+	IV
<i>Cerastium holosteoides</i>			+				+	+	+	+	III
<i>Phleum pratense</i>			+	+							II
Д.в. <i>Sedo – Scleranthetea</i>											
<i>Myosotis stricta</i>									+	+	I
Д.в. <i>Armerion elongatae</i>											
<i>Armeria vulgaris</i>							+		+	+	II
Д.в. <i>Plantaginetea majoris, Plantaginetalia majoris</i>											
<i>Capsella bursa-pastoris</i>								+	+	+	II
Прочие виды											
<i>Equisetum arvense</i>		1					1		1	+	II
<i>Artemisia abrotanum</i>						1	+			+	II
<i>Euphorbia virgata</i>	+					+					II

Единично встречены: *Agrostis tenuis* (10.+), *Berteroa incana* (10.+), *Centaurea jacea* (4.+), *Erigeron canadensis* (10.+), *Festuca pratensis* (4.+), *Hieracium umbellatum* (10.+), *Rhinanthus minor* (2.+).

Описания № 1-10 выполнены Л. М. Сапегиным в пойме р. Сож 1-30 июня 2000 – 2007 гг. Номенклатурный тип: оп. 4 в 3 км восточнее д. Поколюбичи Гомельского района, Гомельской области, Беларусь; грива правобережной прирусловой поймы р. Сож, 28.05.2002 г., автор Л. М. Сапегин.

Асс. *Poo angustifolii-Festucetum valesiacaе* (табл. 2) отнесена к классу *Molinio-Arrhenatheretea*, порядку *Galietales veri*, союзу *Agrostion vinealis* системы синтаксонов Braun-Blanquet [8].

Сообщества ассоциации имеют ограниченное распространение. Занимают вершины прирусловых грев среднего и нижнего течения р. Сож на дерновых супесчаных бедных, кис-

лых, сухих почвах. Эти сообщества остепненных лугов. Они расположены выше сообществ асс. *Poetum angustifoliae*, не регулярно заливаются паводковыми водами.

Таблица 3 – *Dactylido glomeratae-Bromopsietum inermis* Sapegin et Dajneko 2008 ass. nova

Номер описаний	1	2*	3	4	5	6	7	8	9	10	К
Проективное покрытие, %	85	90	80	95	100	95	85	90	95	90	
Количество видов	15	12	11	13	12	12	13	10	10	10	
Д.в. ассоциации											
<i>Bromopsis inermis</i>	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	V ⁴
<i>Dactylis glomerata</i>	3	2	3	3	3	2	3	3	2	3	V ³
<i>Plantago lanceolata</i>	+	+		1		+					II ⁺¹
<i>Ranunculus acris</i>	+		+				1		+	1	III ⁺¹
Д.в. <i>Festucion pratensis</i>											
<i>Phleum pratense</i>	2		1	2	1	1	1	2	1	1	V ¹⁻²
<i>Festuca pratensis</i>	1	1		1	1	1	+	1	1	1	V ⁺¹
<i>Poa pratensis</i>		+	1	1	+		1		+		III ⁺¹
<i>Trifolium pratense</i>	+	1	1	+		+	+				III ⁺¹
Д.в. <i>Arrhenatherion, Arrhenatheretalia</i>											
<i>Taraxacum officinale</i>	1				+			1	+	+	III ⁺¹
<i>Campanula patula</i>		+		+		+	+			+	III
Д.в. <i>Molinio – Arrhenatheretea</i>											
<i>Achillea millefolium</i>	1	+	1				+			+	III ⁺¹
<i>Lotus corniculatus</i>		+		1			1	+			III ⁺¹
<i>Centaurea jacea</i>		+			+	+					II
<i>Stellaria graminea</i>	+		+		+				-		II
<i>Cerastium holosteoides</i>				+	+	+		+			II
Д.в. <i>Alopecurion pratensis, Molinieta</i>											
<i>Alopecurus pratensis</i>	1		1			2	+		2		III ¹⁻²
<i>Coronaria flos-cuculi</i>	+		+	+							II
Прочие виды											
<i>Barbarea stricta</i>	+					1		1	+	+	III ⁺¹
<i>Galium mollugo</i>		+		+	+						II

Единично встречены: *Elytrigia repens* (1.+), *Galium boreale* (4.+), *Leucanthemum vulgare* (8.+), *Lathyrus pratensis* (2.+), *Medicago lupulina* (6.+), *Plantago major* (9.+), *Potentilla anserina* (5.+), *Potentilla argentea* (3.+), *Ranunculus acris* (7.+), *Ranunculus repens* (10.+), *Rumex crispus* (4.+), *Tanacetum vulgare* (8.+), *Trifolium repens* (7.+), *Veronica longifolia* (5.+), *Vicia cracca* (1.+).

Описания № 1-10 выполнены Л. М. Сапегиним в пойме р. Сож 1 – 30 июня 2006-2007 гг. Номенклатурный тип: оп. 2 в 1 км восточнее д. Поколюбичи Гомельского района, Гомельской области, Беларусь; плоская равнина центральной поймы р. Сож, 19.06.2006 г., автор Л. М. Сапегин.

Асс. *Dactylido glomeratae-Bromopsietum inermis* (табл. 3) относится к классу *Molinio-Arrhenatheretea*, порядку *Arrhenatheretalia*, союзу *Festucion pratensis* системы синтаксонов Браун-Бланке.

Экосистемы ассоциации представляют собой сеяные луга в центральной пойме р. Сож. Занимают широкие равнины с аллювиально-луговыми супесчаными, местами легко-суглинистыми средне-богатыми, свежими, умеренно кислыми, глееватыми почвами. Это луга среднего уровня. Они расположены выше сообществ асс. *Poo palustris-Alopecuretum pratensis*, *Carici vulpinae-Glycerietum maximae* и *Glycerio maximae – Glycerietum maximae*.

Таблица 4 – *Carici vulpinae – Glycerietum maximae Sapegin et Dajneko 2008 ass. nova*

Номер описаний	1	2	3	4	5*	6	7	8	9	10	К
Проективное покрытие, %	85	90	80	85	90	85	80	85	90	80	
Количество видов	11	8	8	9	11	11	9	8	10	12	
Д.в. ассоциации											
<i>Glyceria maxima</i>	5	5	4	4	5	5	4	5	5	4	V ⁴⁻⁵
<i>Carex vulpina</i>	2	2	2	3	2	3	2	2	2	3	V ²⁻³
Д.в. <i>Magnocaricion elatae, Magnocaricetalia</i>											
<i>Phalaroides arundinacea</i>	+		I		+	+			I	I	III ⁺¹
Д. в. <i>Phragmitetea, Phragmitetalia</i>											
<i>Butomus umbellatus</i>				+				+		+	II
Д. в. <i>Phragmiti-Magnocaricetea</i>											
<i>Galium palustre</i>	+	+			I	I	+		I		III ⁺¹
<i>Sium latifolium</i>			+	+		+		+	+	+	III
<i>Eleocharis palustris</i>	+		+		+		I		+	+	III
<i>Alisma plantago-aquatica</i>	+	I			+				+		II
<i>Lythrum salicaria</i>	+		+			+		+			II
Д.в. <i>Molinio – Arrhenatheretea</i>											
<i>Symphytum officinale</i>		+		+							I
Д.в. <i>Alopecurion pratensis, Molinieta</i>											
<i>Ranunculus repens</i>	+		I		+	I	+			I	III ⁺¹
<i>Stellaria palustris</i>	+	+		+				+	+	+	III
<i>Lysimachia nummularia</i>			+		+	+	+			+	III
<i>Ptarmica vulgaris</i>	+				+	+			+		II
<i>Myosotis scorpioides</i>		+		+			+			+	II
Д. в. <i>Bidentetea tripartiti, Bidentetalia tripartiti, Bidention tripartiti</i>											
<i>Rorippa palustris</i>				+	+	+				+	II
Прочие виды											
<i>Poligonum persicaria</i>	+			+		+		+			II
<i>Stachis palustris</i>		+			+			+		+	II

Единично встречены: *Vicia cracca* (7.+), *Lycopus europaeus* (9.+), *Mentha arvensis* (7.+).

Описания 1 – 10 выполнены Л. М. Сапегиным в пойме р. Сож 1 – 10.06.2007 г. Номенклатурный тип: оп. 5 в 3 км юго-восточнее д. Калинино Гомельского района, Гомельской области, Беларусь; плоская проточная низина центральной поймы р. Сож, 3.06.2007 г., автор Л. М. Сапегин.

Асс. *Carici vulpinae – Glycerietum maximae* относится к классу *Phragmiti-Magnocaricetea*, порядку *Magnocaricetalia*, союзу *Magnocaricion elatae* системы Браун-Бланке.

Сообщества ассоциации ограничено распространены в пойме р. Сож. Занимают проточные понижения центральной поймы с аллювиально-дерново-глеевыми супесчаными и суглинистыми богатыми, сырыми, кислыми почвами. В экологическом ряду расположены ниже сообществ асс. *Poo palustris-Alopecuretum pratensis* и выше – *Glycerio maximae – Caricetum acutae*.

Ниже приводим геоботаническую характеристику ключевых луговых экосистем ассоциаций.

1 Луговая экосистема на гриве прирусловой поймы

Луговая экосистема на гриве правобережной прирусловой поймы относится к асс. *Poo angustifolii – Festucetum valesiacaе*. Почва ее аллювиально-дерновая, слаборазвитая, супесчаная, бедная, сухая, кислая.

Травостой характеризуется серо-зеленым аспектом с рассеянными соцветиями *Dianthus borbasii* и *Armeria vulgaris*.

Проективное покрытие травостоя 60 %, высота – 7 (40) см. Основу травостоя составляют овсяница валлиская (*Festuca valesiaca*) – 30 % и мятлик узколистный (*Poa angustifolia*) – 10 %. С меньшим проективным покрытием в травостое участвуют тонконог Делявина (*Koeleria delavignei*), лапчатка серебристая (*Potentilla argentea*), хвощ полевой (*Equisetum arvense*), пастушья сумка обыкновенная (*Capsella bursa-pastoris*), костер мягкий (*Bromus mollis*), ясколка обыкновенная (*Cerastium holosteoides*), незабудка торчащая (*Myosotis stricta*), гвоздика Борбаша (*Dianthus borbasii*), армерия обыкновенная (*Armeria vulgaris*), таволга обыкновенная (*Filipendula vulgaris*), осока ранняя (*Carex praecox*), подмаренник настоящий (*Galium verum*) и др.

Всего отмечено 17 видов сосудистых растений. Хозяйственная продуктивность травостоя составила от 7 до 13 ц/га сена среднего качества.

2 Сеяная луговая экосистема на широкой плоской равнине правобережной центральной поймы р. Сож.

Сеяная луговая экосистема на широкой плоской равнине правобережной центральной поймы перед дамбой в 1 км юго-восточнее д. Поколюбичи Гомельского района. Почва аллювиально-луговая супесчаная средне-богатая, свежая, умеренно кислая. Травостой серо-зеленого аспекта от соцветий костреца безостого (*Bromopsis inermis*), тимофеевки луговой (*Phleum pratense*). Экосистема отнесена нами к асс. *Dactylido glomeratae – Bromopsietum inermis*. Проективное покрытие травостоя равнялось 85 – 100 %, высота – 70 (110) см. Основу травостоя составляют содоминанты костреца безостый – 45 – 50 %, ежа сборная (*Dactylis glomerata*) – 30 – 35 %, тимофеевка луговая – 10 – 15 %, а также овсяница луговая – рассеянно, мятлик луговой – единично-рассеянно, сурепица прямая – рассеянно. Единично отмечены *Lotus corniculatus*, *Coronaria flos-cuculi*, *Campanula patula*, *Centaurea jaceae* и др.

Всего в составе сеяной луговой экосистемы отмечено до 15 видов сосудистых растений. Хозяйственная продуктивность травостоя луговой экосистемы составляет от 33 до 37 ц/га сена высокого качества.

3 Луговая экосистема на повышенной равнине правобережной центральной поймы р. Сож

Луговая экосистема на повышенной равнине правобережной центральной поймы р. Сож в 2,5 км юго-восточнее д. Поколюбичи Гомельского района. Почва ее аллювиально-дерновая супесчаная среднебогатая, средневлажная, умеренно кислая. Она отнесена нами к асс. *Poo – Festucetum pratensis typica var.* Аспект травостоя пепельно-зеленый от вегетативных и генеративных органов растений с белыми рассеянными соцветиями таволги обыкновенной и клевера горного (*Trifolium montanum*). Общее проективное покрытие травостоя составило 90 %, высота – 40 (90) см. Основу травостоя образуют содоминанты: овсяница луговая (*Festuca pratensis*) – 60 % и мятлик луговой (*Poa pratensis*) – 20 %. Рассеянно, с невысоким проективным покрытием в травостое отмечены таволга обыкновенная, звездчатка злаковидная (*Stellaria graminea*), подмаренник настоящий, клевер горный, подорожник ланцетолистный (*Plantago lanceolata*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), василек луговой (*Centaurea jacea*), нивяник обыкновенный (*Leucanthemum vulgare*) и др.

Флористическая насыщенность луговой экосистемы составила до 27 видов сосудистых растений. Хозяйственная продуктивность ее травостоя колебалась от 23 до 25 ц/га сена высокого качества.

4 Луговая экосистема на плоской равнине правобережной центральной поймы р. Сож

Луговая экосистема занимает плоскую равнину правобережной центральной поймы р. Сож. Почва ее аллювиально-дерновая супесчаная среднебогатая, средневлажная, умеренно кислая. Она отнесена к асс. *Poo – Festucetum pratensis Dactylis glomerata var.* Аспект травостоя серо-зеленый от соцветий злаков овсяницы луговой (*Festuca pratensis*), мятлика лугового (*Poa pratensis*), ежи сборной (*Dactylis glomerata*). Общее проективное покрытие травостоя 90 %, высота – 50 (80) см. Основу травостоя составляют доминантные виды мятлик лу-

говой, овсяница луговая, а также ежа сборная, кострец безостый (*Bromopsis inermis*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*) и др.

Флористическая насыщенность луговой экосистемы составила до 15 видов сосудистых растений. Хозяйственная продуктивность травостоя колеблется от 24 до 28 ц/га сена высокого качества.

5 Луговая экосистема на пониженной равнине правобережной центральной поймы р. Сож

Луговая экосистема на пониженной равнине правобережной центральной поймы в 2,5 км юго-восточнее д. Поколюбичи Гомельского района. Почва ее аллювиально-дерновая супесчаная среднебогатая, средневлажная, умеренно кислая. Аспект травостоя зеленый с белыми соцветиями таволги обыкновенной и клевера горного. Она отнесена нами к асс. *Poo – Festucetum pratensis Agrostis gigantea var.* Проективное покрытие травостоя составило 90 %, высота – 50 (100) см. Основу травостоя составляют содоминанты овсяница луговая (*Festuca pratensis*) – 30 – 45 % и мятлик луговой (*Poa pratensis*) – 15 – 20 %, а также полевица гигантская (*Agrostis gigantea*), лисохвост луговой (*Alopecurus pratensis*), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium*), вероника длиннолистная (*Veronica longifolia*) и др.

Всего в составе луговой экосистемы отмечено до 29 видов сосудистых растений. Продуктивность травостоя луговой экосистемы составила от 27 до 29 ц/га сена высокого качества.

6 Луговая экосистема на плоском межгрядном понижении центральной поймы р. Сож

Луговая экосистема на плоском межгрядном понижении центральной поймы р. Сож в 2 км восточнее д. Поколюбичи Гомельского района. Почва ее аллювиально-дерновая супесчаная богатая, хорошо увлажненная, слабо кислая. Характеризуется пепельно-зеленым аспектом от соцветий *Alopecurus pratensis*. Мы относим ее к асс. *Poo palustris-Alopecuretum pratensis Carex vulpina var.* Основу травостоя составляют содоминанты *Alopecurus pratensis* – 30 – 45 % и *Poa palustris* – 10 – 15 %, а так же *Carex vulpina* – 10 %, *Ranunculus repens* – 15 %, *Symphytum officinale*, *Euphorbia lucida*, *Coronaria flos-cuculi*, *Mentha arvensis*, *Myosotis scorpioides* и др. Всего в составе луговой экосистемы зарегистрировано 23 вида сосудистых растений. Продуктивность травостоя луговой экосистемы изменялась от 29 до 31 ц/га сена высокого качества.

7 Луговая экосистема на низине правобережной центральной поймы р. Сож.

Луговая экосистема на низине правобережной центральной поймы р. Сож в 3 км восточнее д. Калинино Гомельского района. Почва экосистемы аллювиально-дерновая суглинистая богатая, сырая, кислая. Аспект травостоя луговой экосистемы зеленый от вегетативных органов растений. Она отнесена к асс. *Carici vulpinae – Glycerietum maximae*. Общее покрытие травостоя 85 %, высота – 80 см. Основу травостоя образуют содоминанты манник большой (*Glyceria maxima*) и осока лисья (*Carex vulpina*) с единичным участием других видов растений.

В составе травостоя луговой экосистемы отмечено 16 видов сосудистых растений. Продуктивность травостоя луговой экосистемы составила от 28 до 30 ц/га сена низкого качества.

8 Луговая экосистема на более глубоком понижении правобережной центральной поймы р. Сож

Луговая экосистема на достаточно глубоком понижении правобережной центральной поймы р. Сож в 1,5 км восточнее д. Калинино Гомельского района. Почва экосистемы аллювиально-дерново-глеевая суглинистая, богатая, сырая, кислая. Аспект травостоя зеленый от вегетативных органов доминантных видов – осоки острой (*Carex acuta*) и манника большого (*Glyceria maxima*) с незначительным участием других видов растений. Экосистема отнесена к асс. *Glycerio maximae-Caricetum acutae*. Проективное покрытие травостоя 100 %, высота – 100 см.

Всего в составе травостоя отмечено лишь 15 видов сосудистых растений. Продуктивность травостоя луговой экосистемы составила от 34 до 36 ц/га сена низкого качества.

Резюме. Выполнены геоботанические исследования и синтаксономия пойменных луговых экосистем пригорода г. Гомеля по методу Браун-Бланке. Выделены 6 ассоциаций с вариантами, 3 ассоциации новые для региона. Дана их полная геоботаническая характеристика.

Abstract. The geo-botanical study and syntaxonomy of Gomel suburb meadow ecosystems is considered in the paper. Six associations with variants, among them three which are totally new for the area, are established. Their complete geo-botanical characteristics are given.

Литература

1. Александрова, В. Д. Классификация растительности / В. Д. Александрова. – Л.: Наука, 1969. – 273 с.
2. Миркин, Б. М. Фитоценология. Принципы и методы / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг. – М.: Наука, 1978. – 212 с.
3. Миркин, Б. М. Современная наука о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, А. И. Соломещ. – М.: Логос, 2002. – 264 с.
4. Нацыянальны атлас Беларусі. – Мн.: 2002. – 292 с.
5. Общесоюзная инструкция по проведению геоботанического обследования природных кормовых угодий и составлению крупномасштабных геоботанических карт. – М.: Колос, 1984. – 105 с.
6. Определитель высших растений Беларуси / Под ред. В. И. Парфенова. – Мн.: Дизайн ПРО, 1999. – 472 с.
7. Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову / Л. Г. Раменский [и др.]. – М.: Сельхозгиз, 1956. – 472 с.
8. Braun-Blanquet, J. Pflanzensociologie / J. Braun-Blanquet. – Wien – New-York: Springer-Verlag, 1964. – 865 s.
9. Ellenberg, H. Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropall Scripta Geobotanica / H. Ellenberg. – Stuttgart, 1992. – Vol. 18. – 258 s.
10. Weber, H. E. International Code of Phytosociological Nomenclature. 3-rd edition. / H. E. Weber, J. Moravec, D. – P. Theourillat // J. Veget. Sci. – 2000. Vol. – II, № 5. – P. 739 – 768.
11. Westhoff, V. The Braun-Blanquet approach / V. Westhoff, E. van der. Maarel; ed. R. H. Whittaker // Classification of plant communities. – Hague: Junk, 1978. – P. 278 – 399.

Определительная таблица для семейств чешуекрылых (Lepidoptera) Беларуси и сопредельных государств

Г.Г. ГОНЧАРЕНКО

Бабочки или Чешуекрылые (Lepidoptera) – обширный отряд насекомых с полным превращением, насчитывающий более 140 тысяч видов (Росс и др., 1985). Среди представителей чешуекрылых имеется большое количество как хозяйственно-ценных, так и опасных вредителей лесного и сельского хозяйства. Поэтому разработка определительных таблиц, позволяющих оперативно устанавливать таксономическую принадлежность чешуекрылых в полевых и лабораторных условиях, является крайне актуальной. В настоящее время определительные энтомологические таблицы составлены только для чешуекрылых юга и центра России (Горностаев, 1986, Негроров, Черненко, 1989). Определитель насекомых Европейской части СССР, т. 4, (1978, 1981), посвященный чешуекрылым, является громоздким, состоит из двух частей, к тому же он труднодоступен и изрядно устарел.

Целью нашей работы было составить определительную таблицу для семейств чешуекрылых, обитающих на территории Беларуси и сопредельных государств.

Краткая характеристика чешуекрылых

У взрослых особей чешуекрылых две пары крыльев, покрытых чешуйками. Ротовой аппарат сосущий, в виде хоботка. Название отряд получил от покрывающих их крылья чешуек («пыльцы») – видоизменённых и уплощённых волосков. Всё исключительное разнообразие окраски и рисунка крыльев бабочек создаётся строением и пигментацией чешуек. Расположение различно окрашенных чешуек на крыле закономерно и образует сложные рисунки, характерные для каждого вида, а часто и систематической группы.

Большинство бабочек ведет сумеречный или ночной образ жизни, лишь булавоусые и немногие представители других групп активны днем. Питаются бабочки нектаром цветов, соками гниющих плодов и различными сахаристыми выделениями растений, но некоторые (мешочницы, коконопряды, хохлатки) во взрослом состоянии не принимают пищи и живут за счёт резервных веществ, накопленных в жировой ткани ещё в стадии личинки (гусеницы). Хоботок бабочек состоит из пары сильно вытянутых желобовидных наружных лопастей нижних челюстей (рис. 1, Б6), скрепленных в виде трубки, по которой всасывается пища.

Из остальных частей типичного аппарата насекомых у бабочек сохраняется лишь пара нижнегубных щупиков (рис. 1, Б5), поддерживающих с боков свёрнутый хоботок; нередко имеются и челюстные щупики. У непитающихся видов бабочек хоботок иногда полностью исчезает. Исключением среди бабочек являются представители семейства зубатых молей, которые питаются пылью цветов и сохранили грызущий ротовой аппарат с развитыми жвалами.

Бабочки раздельнополы, лишь изредка наблюдается естественный партеногенез. Иногда резко выражен половой диморфизм: кроме отличий в строении усиков, самцы, как правило, мельче самок и часто иначе окрашены. Наиболее сильное проявление диморфизма – частичная или полная утрата самками крыльев (волнянки-кистехвосты, некоторые пяденицы и особенно мешочницы). У мешочниц самки часто червеобразны и лишены не только крыльев, но также ног и усиков (рис. 4).

Для всех гусениц характерна способность к выделению шёлка. Выводной проток шелкоотделительного желёз открывается на особом выросте нижней губы – прядильном сосочке.

Шёлк используется гусеницами для скрепления листьев, постройки гнёзд и убежищ, но особенно для плетения кокона – защитной оболочки, внутри которой гусеница окукливается.

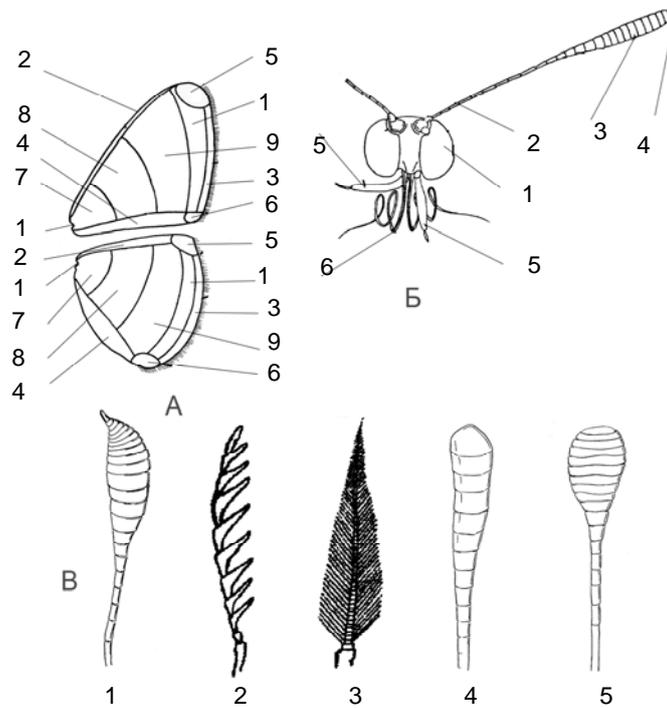


Рис. 1. Детали строения чешуекрылых. А—переднее и заднее крыло: 1—основание, или корень; 2—костальный, или передний край; 3—наружный край; 4—анальный, или задний край; 5—вершина; 6—задний, или анальный угол; 7—базальная область; 8—дискальная область; 9—постдискальная область; 10—маргинальная область; 11—бахромка. Б—голова и ее придатки: 1—глаза; 2—усики; 3—булава усиков; 4—вершина усиков; 5—губные щупики; 6—хоботок. В—усики: 1—веретеновидные; 2—гребенчатые; 3—перистые; 4—булавовидные; 5—головчатые

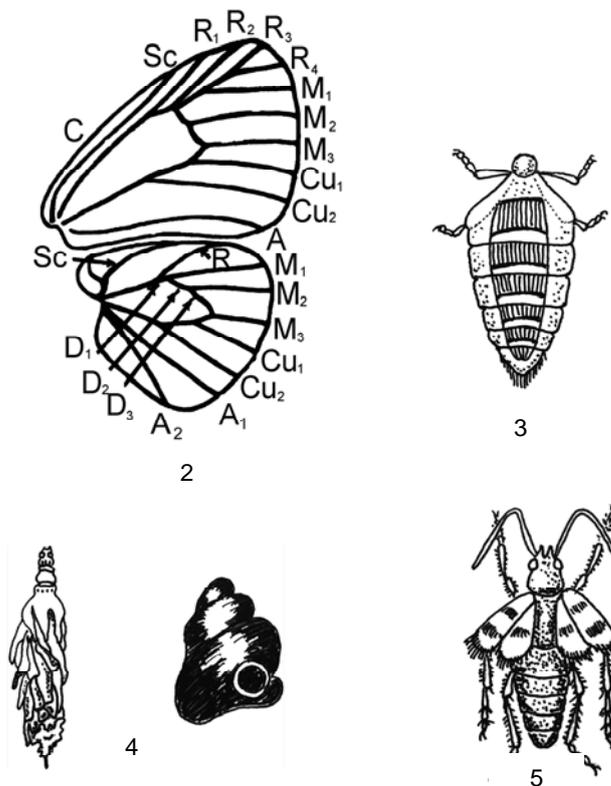


Рис. 2-5. Жилкование крыльев бабочек, форма тела волнянок, мешочниц и пядениц. 2—жилкование крыльев (С—костальная жилка, Sc—субкостальная жилка, R—радиальная жилка, M—медialная жилка, Cu—кубитальная жилка, A—анальная жилка, D—дискоидальное поле); 3-5—форма тела бескрылых самок (3—Lymanthridae, 4—Psychidae, 5—Geometridae)

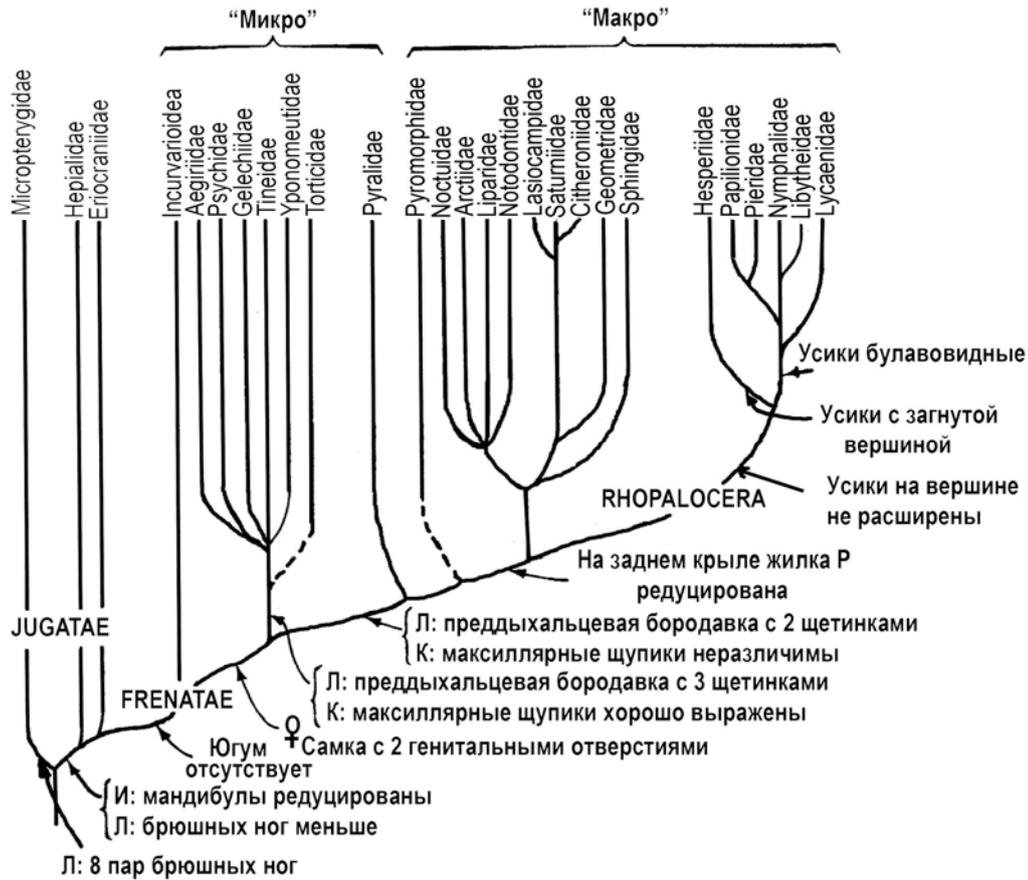


Рис. 6. Упрощенное филогенетическое древо чешуекрылых (из Росс и др., 1985).

На классификацию бабочек нет однозначного взгляда. Ряд специалистов считает, что отряд следует разделять на два подотряда: Jugatae, Frenatae (рис. 6). В основу этой систематики положено наличие сцепок крыльев (югума – рис. 7 или френума – рис. 8). Некоторые ученые из подотряда Frenatae выделяют еще один подотряд – Rhopalocera (булавоусые), в основу которого был положен признак наличия булавовидных усиков у имаго (рис. 6).

Однако в то же время есть мнение, что булавоусые – это всего лишь группа семейств бабочек наравне с Heterocera – разноусыми, и специалисты с альтернативной точкой зрения подразделяют бабочек на два подотряда: Зубатых (*Zeugloptera*) и Хоботковых (*Glossata*, или *Haustellata*). К первому подотряду относится небольшое число видов мелких молей, принадлежащих у нас к семейству Первичных зубатых молей (*Micropterigidae*), для которых во взрослом состоянии характерен грызущий ротовой аппарат с крупными верхними челюстями (мандибулами). Ко второму – все остальные бабочки, у которых имеется развитый или, реже, недоразвитый хоботок, образованный двумя желобовидными нижними челюстями.

Определительная таблица семейств чешуекрылых

Определительная таблица составлена по классической, так называемой шведской, системе и представляет собой серию последовательных описаний альтернативных признаков, которые необходимо сопоставить друг с другом и из каждой пары признаков (теза и антитеза) выбирать тот, который наиболее подходит определяемому насекомому. Размеры тела и размах крыльев в таблице указан в миллиметрах. Все пункты обозначены в таблицах порядковыми арабскими цифрами, причем в каждом противопоставлении теза обозначается цифрой вне скобок, а антитеза – цифрой в скобках. Определение в таблице следует начинать с тезы 1. Если признак, указанный в тезе, не подходит, надо переходить к другому признаку-тезе, который разыскивается по цифре-антитезе. Если же признак подошел, то переходят к следующей тезе по порядку.

- 1(10) Крылья отсутствуют или сильно укорочены (рис. 3-5).
- 2(3) Бабочки в чехлике. Чехлик цилиндрический, из огрызков растений или спирально завитой в виде раковины (рис. 4).....**Psychidae** (Мешочницы) ♀
- 3(2) Бабочки без чехлика.
- 4(5) Нижнегубные щупики хорошо развиты, вытянуты вперед и видны при рассматривании бабочки сверху.....**Oecophoridae** (Ширококрылые моли) ♀
- 5(4) Нижнегубные щупики короткие, невидны или плохо видны при рассматривании бабочки сверху.
- 6(7) Усики и задние ноги скрыты под брюшком, сверху невидны (рис. 3). Брюшко толстое, усики короче груди, ноги относительно короткие, слабые.....**Lymantriidae** (Волнянки) ♀
- 7(6) Брюшко тоньше, усики длиннее груди, ноги длинные, сильные, видны сверху.
- 8(9) Лоб с округлым выростом. На водных растениях.....**Pyraustidae** (Полевые огневки) ♀
- 9(8) Лоб ровный, без выступа. Форма тела (рис. 5)**Geometridae** (Пяденицы) ♀
- 10(1) Крылья нормально развиты (рис. 1, А; 2).
- 11(16) Передние и задние крылья примерно одинаковы по величине. Передние крылья снабжены лопастевидным сцепочным аппаратом – югумом (рис. 7)
- 12(13) Задние крылья сходны с передними по размерам, усики очень короткие, едва достигают 1/5 переднего края крыльев. Размах крыльев – 22-65.....**Hepialidae** (Тонкопряды)
- 13(12) Задние крылья меньше передних и резко отличаются от них по форме. Усики обычной длины – достигают, как минимум, 1/3 переднего края крыльев
- 14(15) Средние голени без шпор, хоботок отсутствует (рис. 9). Мандибулы хорошо развиты, зазубренные, нижнегубные щупики короткие, нижнечелюстные – длинные. Передние крылья золотистые, золотисто-зеленые, фиолетовые или пурпурно-красные, нередко с рисунком в виде золотистых пятен и перевязей. Бабочки питаются пыльцой цветков. Размах крыльев – 7-12.....**Micropterigidae** (Зубатые моли)
- 15(14) Средние голени со шпорами, хоботок короткий (рис. 10). Мандибулы рудиментарны, нижнегубные и нижнечелюстные щупики длинные. Передние крылья в бурых, желтоватых или пурпурных блестящих чешуйках, часто с серебристым или золотистым сетчатым рисунком. Гусеницы минируют листья различных деревьев. Размах крыльев – 8-16.....**Eriocraniidae** (Шерстоголовые моли)
- 16(11) Задние крылья по форме и величине значительно отличаются от передних. Аппарат сцепления крыльев иной – длинная щетинка в основании заднего крыла – френулом (рис. 7).
- 17(20) Каждое крыло расщеплено на 2-6 лопастей.
- 18(19) Каждое крыло расщеплено не более чем на 3 лопасти, реже не расщеплены (рис. 11). Размах крыльев – 15-33.....**Pterophoridae** (Пальцекрылки)
- 19(18) Каждое крыло расщеплено более чем на 3 лопасти (рис. 12). Размах крыльев – 13-16.....**Alucitidae** (Веерокрылки)
- 20(17) Крылья цельные, не расщеплены на лопасти.
- 21(24) Усики по меньшей мере в 1,5 раза длиннее переднего крыла.
- 22(23) Основания усиков тесно сближены; волоски на темени взлохмаченные. Челюстные щупики очень короткие или отсутствуют. Передние крылья металлически блестящие, бронзово-, медно-зеленые или золотистые, нередко с резкими поперечными перевязями или продольными полосами. Размах крыльев – 7-21...**Adelidae** (Длинноусые моли)
- 23(22) Основания усиков раздвинуты; волоски на темени гладкие. Челюстные щупики длинные, нитевидные, передние крылья желтовато-серые или светло-желтые, без металлического блеска. Размах крыльев – 14-21.....**Incurvariidae** (Минно-чехликовые моли)
- 24(21) Усики не превышают или немного превышают (менее чем в 1,5 раза) по длине передние крылья.
- 25(26) Задние крылья на внешнем крае у вершины с дуговидной выемкой. Размах крыльев – 7-25.....**Gelechiidae** (Выемчатокрылые моли)
- 26(25) Задние крылья без выемки на внешнем крае у вершины.
- 27(95) Бахромка волосков задних крыльев короткая, значительно короче 1/3 ширины крыльев. Задний край крыльев выглядит узко опушенным или просто окаймленным.
- 28(31) Передние крылья частично лишены чешуек, с большими прозрачными окошками или вообще без чешуек.

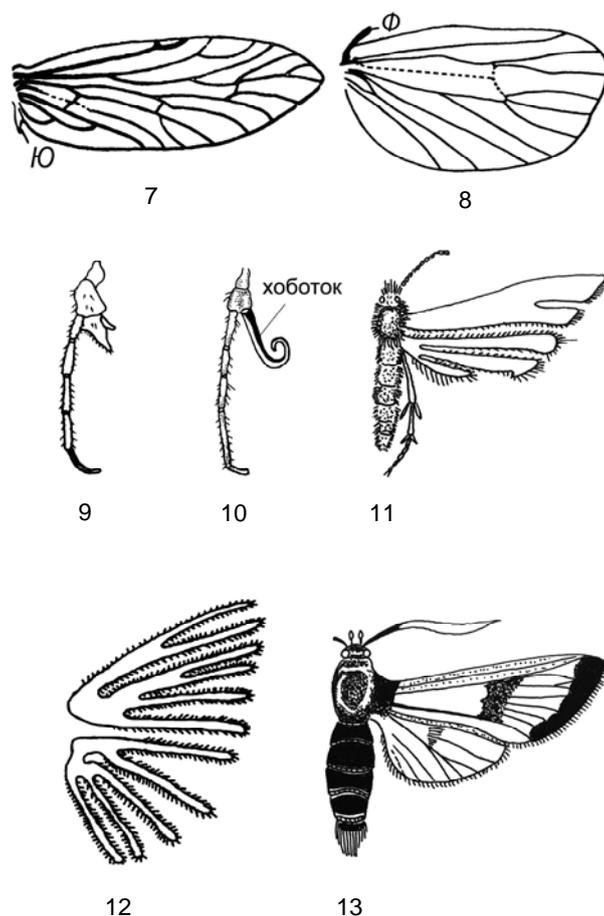


Рис.7-13. Детали строения бабочек, внешний вид пальцекрылок, веерокрылок и стеклянниц. 7–переднее крыло *Jugatae* (Ю-югум); 8–заднее крыло *Frenatae* (Ф-френулум); 9, 10–ротовые органы; 11–внешний вид *Pterophoridae*; 12–форма крыла *Alucitidae*; 13–внешний вид *Sesiidae*

- 29(30) Передние крылья полностью лишены чешуек. Передние крылья очень узкие, их задний край в 2-3 раза длиннее наружного. Усики веретеновидные. Брюшко нередко с контрастным черно-желтым рисунком (напоминает ос) или с узким цветным пояском на черном фоне, на последнем членике имеется кисточка из волосковых чешуек. Внешний вид (рис. 13). Размах крыльев – 15-40...**Sesiidae(Aegeriidae)** (Стекланницы)
- 30(29) Передние крылья с угловатым выступом посередине наружного края, с прозрачными окошками среди густого покрова чешуек, широкие, их задний край не более, чем в 1,5 раза длиннее наружного. Брюшко одноцветное. Окраска крыльев темно-бурая с золотистыми и желтыми пятнами. Гусеницы обитают на ломоносе, издавая характерный запах клопов. Размах крыльев – 14-17.....**Thyrididae** (Окончатые огневки)
- 31(28) Передние крылья в сплошном покрове из чешуек, без прозрачных окошек.
- 32(170) Членики усиков с отростками различной длины и формы: пильчатые, гребенчатые, перистые, нитевидные, но не веретеновидные или булавовидные.
- 33(34) Голова лишь немного уже груди, лоб и темя в густых и длинных взъерошенных волосках. Гусеницы – в гнилой древесине и трутовиках. Размах крыльев – 18-60.....**Tineidae** (Настоящие моли)
- 34(33) Голова значительно уже груди, лоб в гладком опушении, без взъерошенных волосков.
- 35(36) Передние крылья у костального края и основания усиков с пучками торчащих чешуек. Размах крыльев – 16-28.....**Nolidae** (Нолиды)
- 36(35) Передние крылья и основания усиков без торчащих чешуек.
- 37(74) Задние крылья с 1-2 анальными жилками.
- 38(39) Вершина переднего крыла серповидно вырезана, загнута или остро вытянута (рис. 14). Среднего размера бабочки со сравнительно тонким телом. Размах крыльев – 28-37.....**Drepanidae** (Серпокрылки)
- 39(38) Передние крылья иной формы.

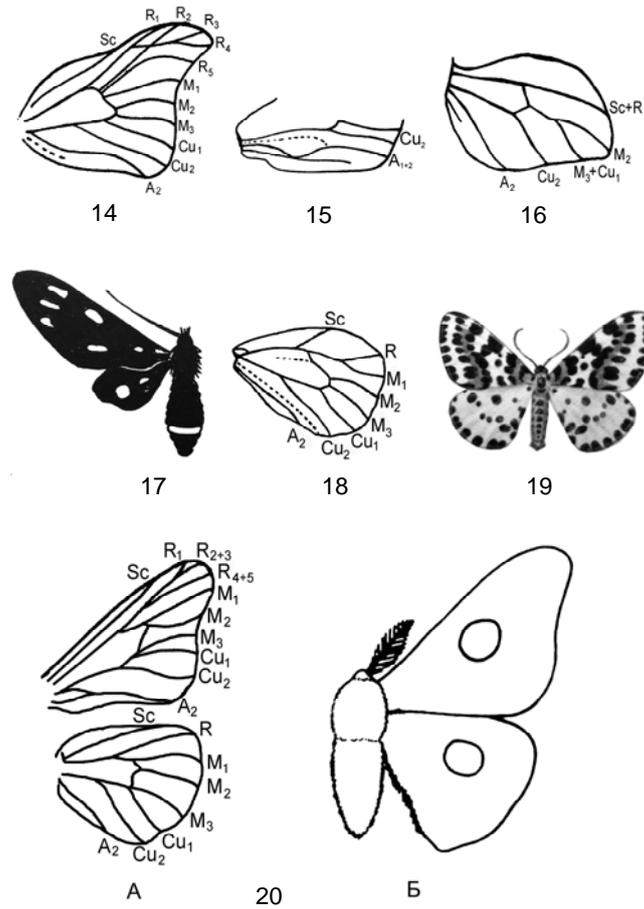


Рис. 14-20. Детали строения и внешний вид серпокрылок, мешочниц, ложнопестрянок, пядениц и павлиноглазок. 14—жилкование переднего крыла *Drepanidae*; 15—элементы жилкования задних крыльев *Psychidae*; 16—жилкование задних крыльев *Stenuchidae*; 17—внешний вид *Stenuchidae*; 18—жилкование задних крыльев *Geometridae*; 19—внешний вид *Geometridae*; 20—жилкование крыльев *Saturnidae* (А), внешний вид *Saturnidae* (Б)

- 40(41) Срединная ячейка передних крыльев разделена стволком продольных жилок (радиально-медиальная и медиально-кубитальная ячейки обособлены), жилки A_2 и A_3 сливаются только на некотором протяжении, после чего опять расходятся; в том случае, если они слиты (кроме прикорневой части), то A_1 нет (рис. 15). Гусеницы и бескрылые самки в чехликах. Размах крыльев – 18-60.....**Psychidae** (Мешочницы) ♂
- 41(40) Срединная ячейка передних крыльев не разделена продольной жилкой (радиально-медиальная и медиально кубитальная ячейки слиты в одну радиально-кубитальную ячейку).
- 42(43) Субкостальная жилка на задних крыльях отсутствует (рис. 16). Передние крылья длинные, задние – короткие. Внешний вид (рис. 17). Размах крыльев – 18-60.....**Stenuchidae (=Amatidae)** (Ложные пестрянки)
- 43(42) Субкостальная жилка на задних крыльях имеется.
- 44(45) Субкостальная жилка у основания заднего крыла образует резкий изгиб почти под прямым углом, затем сливается с радиальной жилкой на некотором протяжении (рис. 18), реже – только сближается с радиальной жилкой. Костальная жилка практически всегда присутствует. Внешний вид (рис. 19). Размах крыльев – 11-65....**Geometridae** (Пяденицы) ♂
- 45(44) Субкостальная жилка у основания заднего крыла прямая или изогнута широкой дугой.
- 46(55) Прикорневая ячейка на задних крыльях открытая (субкостальная и радиальная жилки обособлены на всем протяжении).
- 47(48) На переднем крыле радиальный ствол 3-ветвистый. На заднем крыле из анальных жилок есть лишь A_2 (рис. 20; А), субкостальная жилка от основания к вершине постепенно удаляется от радиальной. Каждое крыло посередине с крупным глазчатым пятном (рис. 20;Б). Размах крыльев – 50-150.....**Saturnidae (=Attacidae)** (Павлиноглазки)

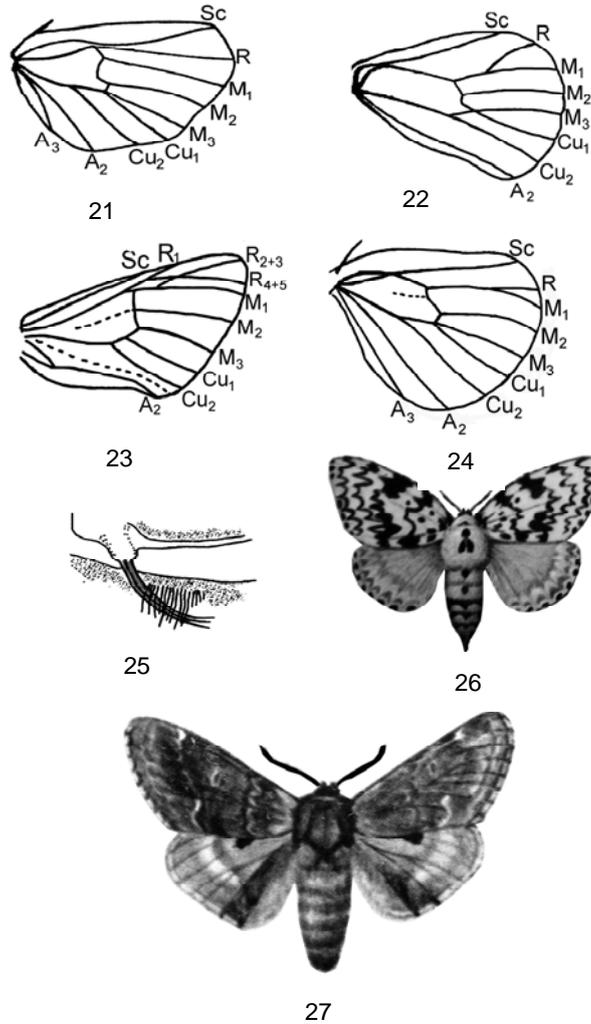


Рис. 21-27. Детали строения и внешний вид совковидок, хохлаток и волнянок. 21–жилкование задних крыльев *Tetheidae*; 22–сближенная Sc и R; 23–жилкование передних крыльев *Notodontidae*; 24–жилкование заднего крыла *Lymanthridae*; 25–зацепка на заднем крыле; 26–внешний вид *Lymanthridae*; 27–внешний вид *Notodontidae*

- 48(47) На заднем крыле субкостальная жилка, образуя изгиб, сближается с радиальной.
- 49(50) На заднем крыле субкостальная жилка сближается с радиальной за пределами дискоидальной ячейки, причем она никогда не соединяется с радиальной поперечной жилкой (рис. 21). На задних крыльях есть зацепка (рис. 25). Бабочки похожи на совок. Размах крыльев – 28-40.....**Tetheidae (=Cymatophoridae)** (Совковидки)
- 50(49) На заднем крыле субкостальная жилка сближается с радиальной лишь в пределах дискоидальной ячейки (рис. 22).
- 51(52) Лоб с гладким зазубренным выростом. На заднем крыле жилка M_2 не развита. Размах крыльев – 28-48.....**Thaumetopoecidae** (Походные шелкопряды)
- 52(51) Лоб без выроста.
- 53(54) На передних крыльях жилка M_2 отходит от срединной ячейки ближе к M_1 , чем к M_3 или примерно посередине (рис. 23). Передние крылья сравнительно узкие, на заднем крае нередко с чешуйчатым зубцом. Подушка из волосков на конце брюшка отсутствует. Тело крупное. Внешний вид (рис. 27). Размах крыльев – 30-75.....**Notodontidae** (Хохлатки)
- 54(53) На передних крыльях жилка M_2 отходит от срединной ячейки ближе к M_3 , чем к M_1 . На заднем крыле субкостальная жилка сближается или соединяется с радиальной, образуя замкнутую или открытую прикорневую ячейку, которая не менее $2/5$ длины дискоидальной ячейки (рис. 24). Самки бескрылые (см. рис. 3). Хоботка нет. Внешний вид (рис. 26). Размах крыльев – 26-65.....**Lymanthridae** (Волнянки) ♂
- 55(46) Прикорневая ячейка на задних крыльях замкнутая (субкостальная и радиальная жилки при основании обособлены, а затем слиты или соединены посредством поперечной жилки) или отсутствует (указанные жилки слиты от самого основания).
- 56(63) Зацепка (рис. 25) отсутствует или очень мала.

- 57(58) На переднем крыле на общем стволе расположено не более трех радиальных ветвей R_2 , R_3 , R_4 (рис. 28). На заднем крыле прикорневая ячейка на вершине заострена (замкнута непосредственно соединенными субкостальной и радиальной жилками) или косо срезана (замкнута косо расположенной жилкой, соединяющей субкостальную и радиальную). Хоботок не развит. Внешний вид (рис. 29). Размах крыльев – 28-95.....**Lasiocampidae** (Коконопряды)
- 58(57) Прикорневая ячейка заднего крыла на вершине косо срезана (замкнута перпендикулярной жилкой, соединяющей субкостальную и радиальную).
- 59(60) На заднем крыле субкостальная жилка, образуя изгиб, явственно сближается с радиальной за пределами срединной ячейки. Размах крыльев – 45-55.....**Lemoniidae** (Луговые шелкопряды)
- 60(59) На заднем крыле субкостальная жилка от основания к вершине постепенно удаляется от радиальной, кроме этого в первой половине сливается с ней (рис. 30), если же соединена с радиальной поперечной жилкой, то зацепка (см. рис. 25) есть.
- 61(62) Крылья белые, с коричневатыми, обычно неясными поперечными полосами. Гусеницы на шелковице. Размах крыльев – 40-60 (♂), у самок крылья укороченные.....**Bombycidae** (Настоящие шелкопряды)
- 62(61) Крылья оранжевые (♂) или светло-желтые (♀) с контрастным и очень пестрым рисунком, состоящим из белых и бурых пятен и поперечных извилистых полос. Гусеницы – на березе, липе, грабе, лещине. Бабочки летают ранней весной. Размах крыльев – 30-75.....**Endromididae** (Весенние шелкопряды)
- 63(56) Зацепка хорошо развита, состоит из 1 или нескольких крепких изогнутых щетинок, расположенных у корня крыла (см. рис. 25).
- 64(69) На заднем крыле субкостальная жилка слита с радиальной на значительном протяжении (по меньшей мере, на 1/3 длины срединной ячейки).
- 65(66) На заднем крыле свободная вершинная часть субкостальной жилки (после слияния с радиальной) начинается за пределами срединной ячейки. Передние крылья с выемкой на наружном крае (см. рис. 14). Размах крыльев – 22-37...**Drepanidae** (Серпокрылки)
- 66(65) На заднем крыле свободная вершинная часть субкостальной жилки начинается в пределах срединной ячейки.
- 67(68) Простые глазки имеются. На заднем крыле субкостальная жилка слита с радиальной по крайней мере на 1/3 длины дискоидальной ячейки. На переднем крыле A_2 без развилки, A_3 очень короткая (рис. 32). Окраска многих видов яркая или пятнистая. Задние крылья часто желтые или красные. Внешний вид (рис. 33). Размах крыльев – 27-80.....**Arctiidae** (Медведицы)
- 68(67) Простые глазки отсутствуют. Размах крыльев–17-52.....**Lithosiidae** (Лишайницы)
- 69(64) На заднем крыле субкостальная жилка соединяется с радиальной в 1 точке (непосредственно или с помощью поперечной жилки) или слита с ней на небольшом протяжении (менее чем на 1/3 длины срединной ячейки).
- 70(71) На заднем крыле субкостальная жилка соединяется с радиальной в вершинной половине срединной ячейки (см. рис. 24). Внешний вид (см. рис. 26). Размах крыльев – 17-52.....**Lymanthridae** (Волнянки) ♂
- 71(70) На заднем крыле субкостальная жилка соединяется с радиальной в пределах основной трети срединной ячейки.
- 72(73) На заднем крыле субкостальная жилка пересекает срединную ячейку (рис. 34), на переднем крыле жилка A_2 у основания с развилкой. Передние крылья обычно сверху бурого, серого, реже желтого или зеленого цвета с мелким рисунком; задние крылья одноцветные. Внешний вид (рис. 35). Размах крыльев – 17-52.....**Noctuidae** (Совки)
- 73(72) На заднем крыле субкостальная жилка соединена со срединной ячейкой поперечной жилкой. На передних крыльях жилка M_2 отходит от срединной ячейки ближе к M_1 , чем к M_3 или примерно посередине (см. рис. 23). Передние крылья сравнительно узкие, на заднем крае нередко с чешуйчатым зубцом. Подушка из волосков на конце брюшка отсутствует. Тело крупное. Внешний вид (см. рис. 27). Размах крыльев – 30-75.....**Notodontidae** (Хохлатки)
- 74(37) Задние крылья с 3 анальными жилками (не путать со складками!).
- 75(76) На задних крыльях субкостальная жилка слита или сближена с радиальной (проходит значительно ближе к радиальной жилке, чем к переднему краю крыла) не только в пределах срединной ячейки, но и на некотором протяжении за ее вершиной или же субкостальная жилка отсутствует (полностью слита с радиальной). На передних

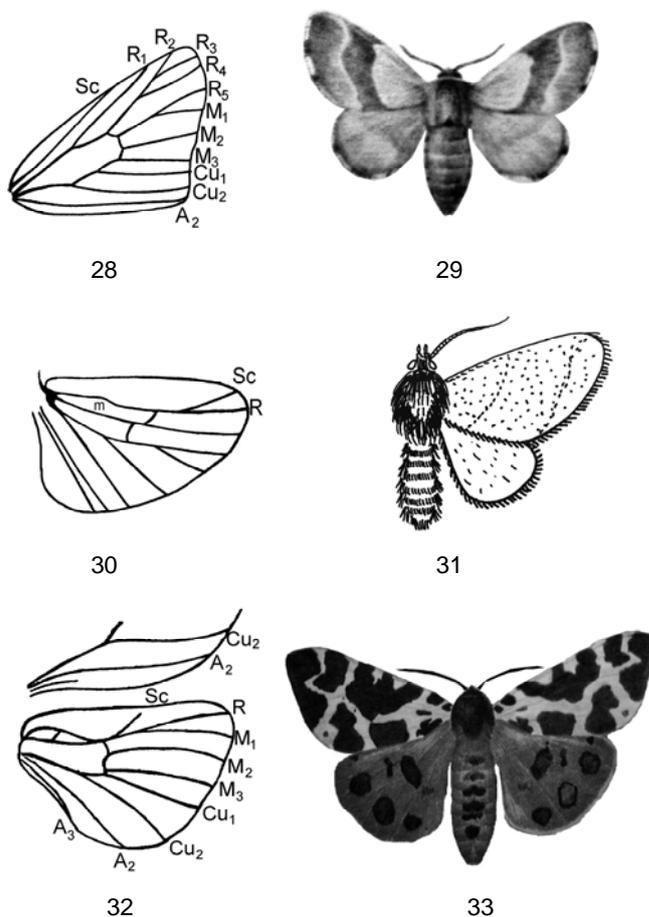


Рис. 28-33. Детали строения и внешний вид коконопрядов, слизневидок и медведиц. 28–жилкование переднего крыла *Lasiocotrpidae*; 29–внешний вид *Lasiocotrpidae*; 30–постепенное удаление *Sc* от *R*; 31–внешний вид *Limacodidae*; 32–жилкование крыльев *Arctiidae*; 33–внешний вид *Arctiidae*

крыльях радиальная ячейка отсутствует (рис. 37). Наружный край переднего крыла, наружный и задний край заднего крыла с короткой бахромой. Небольшие и средней величины бабочки. Размах крыльев – 30-75.....**Pyralididae** (Настоящие огневки).

- 76(75) На задних крыльях субкостальная жилка удалена от радиальной (проходит примерно посередине между радиальной жилкой и передним краем крыла или сближена к нему) или же тесно сближена (слита) с радиальной жилкой только в пределах срединной ячейки.
- 77(80) На задних крыльях субкостальная жилка слита с радиальной на некотором протяжении в пределах срединной ячейки.
- 78(79) Усики гребенчатые, крылья полупрозрачные черно- или желтовато-серые. На передних крыльях жилки A_2 и A_3 сливаются только на некотором протяжении, после чего опять расходятся; в том случае, если они слиты (кроме прикорневой части), то A_1 нет (см. рис. 15). Гусеницы и бескрылые самки в чехликах. Размах крыльев – 18-60.....**Psychidae** (Мешочницы) ♂
- 79(78) Усики щетинковидные или пильчатые. Крылья непрозрачные, охристо-желтые или темно-коричневые. Передние крылья широкие, их внешний край в 2 раза короче переднего. Внешний вид (рис. 31). Размах крыльев – 14-27.....**Limacodidae** (=Heterogeneidae) (Слизневидки)
- 80(77) На задних крыльях субкостальная жилка свободная или соединена с радиальной поперечной жилкой.
- 81(82) На переднем крыле медиальная ячейка есть (рис. 36). Крупнее, крылья не менее 35. Размах крыльев – 35-80.....**Cossidae** (Древооточцы)
- 82(81) Мельче, крылья не более 30.0.
- 83(86) Голени задних ног только с 1 парой вершинных шпор.
- 84(85) Усики достигают вершинной трети переднего крыла, передние крылья с металлическим блеском, вытянуты, их внешний край в 2 раза или более короче переднего. Глаз

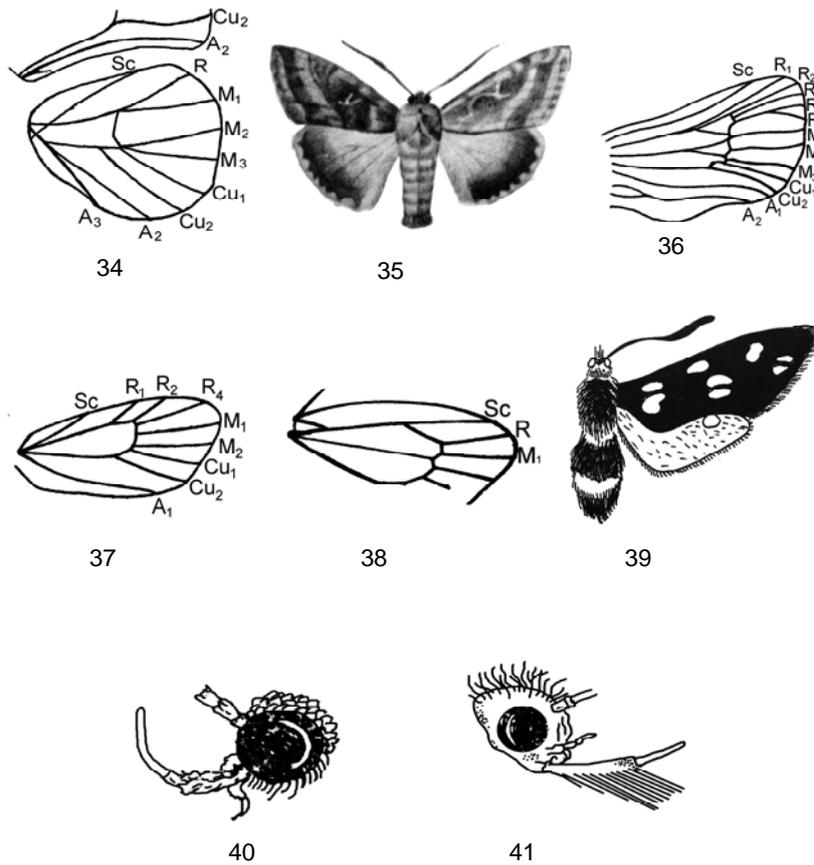


Рис. 34-41. Детали строения и внешний вид совок, древоточцев, огневок и пестрянок. 34–жилкование крыльев *Noctuidae*; 35–внешний вид *Noctuidae*; 36–жилкование переднего крыла *Cossidae*; 37–жилкование переднего крыла *Pyralididae*; 38–жилкование заднего крыла *Zygaenidae*; 39–внешний вид *Zygaenidae*; 40–длинные нижнегубные щупики; 41–нижнегубные щупики с торчащими волосками

- ки есть, хоботок развит. Тело в гладком опушении. Внешний вид (рис. 39). Размах крыльев – 22-28.....**Zygaenidae** (Пестрянки)
- 85(84) Усики достигают лишь середины переднего крыла или короче, передние крылья без металлического блеска. Тело в мохнатом опушении. Размах крыльев – 12-28.....**Psychidae** (Мешочницы) ♂
- 86(83) Голени задних ног с 2 парами шпор (вершинная и срединная).
- 87(90) 2-й членик нижнегубных щупиков значительно шире вершинного.
- 88(89) Нижнегубные щупики серповидно загнуты кверху, так что их концы находятся на уровне верха головы или возвышаются над ней (рис. 40). Передние крылья с закругленной или приостренной вершиной. Размах крыльев – 9-30.....**Oecophoridae** (Ширококрылые моли)
- 89(88) Нижнегубные щупики прямые или лишь слегка изогнутые кверху, так что их концы находятся не выше уровня верхних краев глаз (рис. 41). На задних крыльях расстояние между M_1 и M_2 в 2 раза больше, чем между M_2 и M_3 (рис. 42). Передние крылья обычно широкие, с сильно выгнутым у основания костальным краем и прямоугольной вершиной (рис. 43). Хоботок хорошо развит. Размах крыльев – 9-30.....**Totricidae** (Листовертки)
- 90(87) 2-й предвершинный членик нижнегубных щупиков примерно равен по ширине вершинному.
- 91(92) Простые глазки отсутствуют. Нижнегубные щупики прямые, длиннее головы, с пучком волос на 2-м (срединном) членике (см. рис. 41). Усики в покое направлены вперед. Передние крылья со светлыми продольными жилками на рыжевато-желтом или коричневом фоне. Гусеницы в стеблях водных растений. Размах крыльев – 21-26.....**Plutellidae** (Серпокрылые моли)
- 92(91) Простые глазки имеются.
- 93(94) У расправленной бабочки брюшко выступает за линию задних крыльев. Крылья с

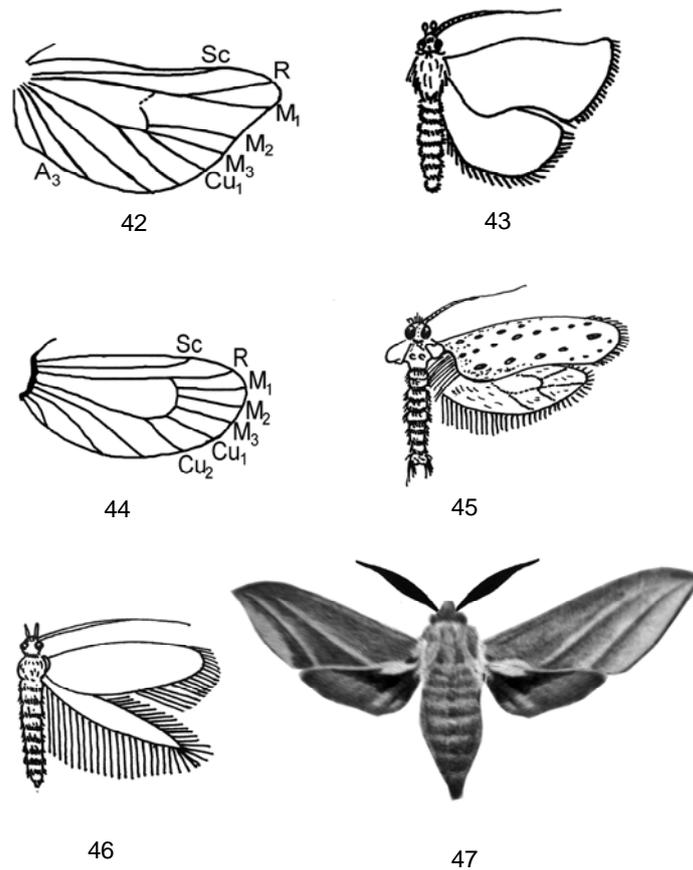


Рис. 42-47. Детали строения и внешний вид листоверток, настоящих молей, горностаевых молей, молей-пестрянок и бражников. 42—жилкование задних крыльев *Totricidae*; 43—внешний вид *Totricidae*; 44—жилкование задних крыльев *Tineidae*; 45—внешний вид *Uropoeteutidae*; 46—внешний вид *Glacilariidae*; 47—внешний вид *Sphingidae*

контрастным рисунком, черно-коричневые с несколькими белыми пятнами, голени и лапки с шипиками. Гусеницы — в корнях злаков. Размах крыльев — 18-20.....**Atychidae** (Дерновинные моли)

94(93) У расправленной бабочки брюшко не выступает за линию задних крыльев. Крылья без контрастного рисунка. Голени и лапки без шипиков. Размах крыльев — 9,5-17.....**Choreutidae** (Молелистовертки)

95(27) Бахромка задних крыльев длинная, не короче 1/3 ширины крыла, задний край выглядит широко опушенным.

96(101) Голова примерно равна по ширине груди или незначительно уже.

97(98) Голени и лапки на нижней стороне с 2 продольными рядами шипиков. Усики на 2/3 длины от основания в густых торчащих чешуйках. Гусеницы — в стеблях злаков. Размах крыльев — 10-16.....**Ochsenheimeriidae** (Оксенгеймеровы моли)

98(97) Голени и лапки без расположенных правильными рядами шипиков.

99(100) Усики не длиннее 2/3 передних крыльев; бахромка задних крыльев в наиболее широкой их части обычно не менее, чем вдвое короче ширины крыла. Передние крылья с металлическим отливом или с контрастными белыми пятнами полосами на темном фоне. Размах крыльев — 7-19.....**Incurvariidae** (Минно-чехликовые моли)

100(99) Усики не короче 3/4 переднего крыла, бахромка задних крыльев в наиболее широкой их части, по меньшей мере, равна ширине крыла. На задних крыльях ветви медиального ствола расположены более или менее на одинаковом расстоянии друг от друга или M_2 сближена с M_1 (рис. 44). Передние крылья тускло окрашены, без металлического отлива, однотонные или с неярым пятнистым или штриховым рисунком. Хоботок слабо развит. Размах крыльев — 7-25.....**Tineidae** (Настоящие моли)

101(96) Голова существенно уже, чем переднегрудь.

102(155) Задние крылья ланцетовидные с заостренной вершиной.

103(148) Основной членик усиков имеет обычное строение или расширен, но не уплощен и не образует козырька.

104(105) Основной членик усиков с длинным торчащим шипом, образованным чешуйками.

- Бабочки в покое сидят под углом к субстрату, приподнявшись на средних ногах и поджав передние. Размах крыльев – 7-19.....**Tischeriidae** (Одноцветные моли)
- 105(104) Основной членик усиков без шиповидного пучка чешуек.
- 106(115) Голова целиком или хотя бы отчасти в торчащих чешуйках или волосках, которые могут образовывать пучки.
- 107(108) 2-й предвершинный членик нижнегубных щупиков на нижней стороне с пучком длинных волосковидных чешуек (см. рис. 41). Размах крыльев – 9-30.....**Plutellidae** (Серпокрылые моли)
- 108(107) 2-й членик нижнегубных щупиков без пучка чешуек.
- 109(110) Простые глазки имеются. Голова на темени с пучком торчащих чешуек. Размах крыльев – 9-30.....**Acrolepiidae** (Хохлатые моли)
- 110(109) Простые глазки отсутствуют.
- 111(112) Волоски на темени направлены вперед, образуя козырек, а на затылке торчат в виде хохолка. Передние крылья с более или менее заметным задним углом, чаще серебристо-белые, с рядами черных точек; передний край заднего крыла вогнут за серединой, затем равномерно закруглен к вершине (рис. 45). Размах крыльев – 6-20.....**Yponomeutidae** (Горностаевые моли)
- 112(111) Волоски на верхней части головы образуют или козырек, или хохолок.
- 113(114) Максимальная длина бахромки задних крыльев не более, чем в 2,5 раза превышает наибольшую ширину крыла. Бабочки в покое сидят вниз головой под углом к субстрату, поджав задние ноги. Размах крыльев – 7-14...**Argyresthiidae** (Моли-серебрянки)
- 114(113) Максимальная длина бахромки на ланцетовидных задних крыльях не менее, чем в 3 раза (обычно в 4 и более раз) превышает наибольшую ширину крыла; передние крылья без заднего угла (рис. 46). Размах крыльев – 9-30....**Glacilariidae** (Моли-пестрянки)
- 115(106) Голова в гладком покрове из прилегающих чешуек или волосков.
- 116(123) Голени задних ног покрыты чешуйками, среди которых торчат одиночные или собранные в пучки крепкие щетинки.
- 117(120) Голени задних ног, по меньшей мере, с 1 вершинным пучком длинных крепких щетинок.
- 118(119) Задние голени с пучком длинных щетинок у вершины и с рассредоточенными по всей длине короткими крепкими щетинками. Передние крылья коричневатого или серовато-желтого, с бурыми продольными полосами. Гусеницы – на ежевике и малине. Размах крыльев – 10-13...**Schreckensteiniidae** (Малинные моли)
- 119(118) Задние голени с несколькими пучками длинных щетинок при основании шпор, без одиночных коротких щетинок. Нижнегубные щупики очень длинные, дугообразно изогнуты кверху (см. рис. 40). Передние крылья охристые или золотисто-желтые, с буроватыми поперечными пятнами. Гусеницы – в плодах ольхи. Размах крыльев – 9-30.....**Stathmopodidae** (Пестроногие моли)
- 120(117) Голени задних ног равномерно покрыты хотя бы на верхней стороне крепкими щетинками, не собранными в пучки.
- 121(122) Голени задних ног на дорсальной поверхности в густых и длинных крепких щетинках. Внешний вид (см. рис. 46). Размах крыльев – 7.5-12.....**Glacilariidae** (Моли-пестрянки)
- 122(121) Голени задних ног по всей поверхности в коротких, редко расставленных крепких щетинках. Передние крылья на заднем крае, как правило, с 1-4 хохолками из чешуек. Размах крыльев – 7.5-12.....**Epermeniidae** (Зонтичные моли)
- 123(116) Голени задних ног покрыты чешуйками или тонкими волосками, без крепких торчащих щетинок в срединной части.
- 124(127) Тергиты брюшка с лишенными чешуек участками, густо усаженными шипиками.
- 125(126) Покрытые шипиками участки образуют широкие, обычно парные площадки. Усики на каждом членике с колечком чешуек. Размах крыльев – 8-11...**Coleophoridae** (Моли-чехлоноски)
- 126(125) Покрытые шипиками участки образуют узкие поперечные полосы по переднему краю тергитов. Усики без чешуйчатых колечек. Передние крылья серые или коричневые, с темными точками или перевязями. Гусеницы в гниющей древесине и опавшей хвое. Размах крыльев – 11-22.....**Blastobasidae** (Лесные моли)
- 127(124) Тергиты брюшка сплошь покрыты чешуйками.

- 128(129) Простые глазки имеются. Передние крылья со светлыми изогнутыми поперечными штрихами у костального края, с металлически блестящими участками. Гусеницы минируют листья, стебли и семена растений. Размах крыльев – 5,5-14....**Glyphipterigidae** (Узорчатокрылые моли)
- 129(128) Простые глазки отсутствуют.
- 130(131) Передние углы груди несут большие приподнятые пучки чешуек, нависающие над головой. Размах крыльев – 5-14.....**Elachistidae** (Злаковые моли)
- 131(130) Передние углы груди без приподнятых пучков чешуек, нависающих над головой.
- 132(133) Усики не достигают или едва достигают вершинами середины передних крыльев. Размах крыльев – 5-9.....**Heliozelidae** (Моли-блестянки)
- 133(132) Усики заходят вершинами за середину передних крыльев.
- 134(137) Передние крылья с отдельными группами торчащих чешуек.
- 135(136) 3-й (вершинный) членик нижнегубных щупиков примерно равен 2-му. Передние крылья серые или коричневые, с темными мелкими пятнами.....**Walshiidae** (Кустарниковые моли)
- 136(135) 3-й (вершинный) членик нижнегубных щупиков в 1,5-2 раза короче 2-го. Основной членик усиков нередко с гребнем щетинок. Размах крыльев – 7-21.....**Momphidae** (Узкокрылые моли)
- 137(134) Передние крылья в однородном покрове из прижатых чешуек.
- 138(139) 2-7 тергиты брюшка с парными обособленными группами сидящих в углублении ланцетовидных чешуек. Размах крыльев – 8-15.....**Momphidae** (Узкокрылые моли)
- 139(138) Тергиты брюшка без обособленных групп чешуек.
- 140(143) Срединные шпоры на задней голени расположены около середины или сдвинуты ближе к вершине.
- 141(142) Передние крылья с ярким, нередко металлически блестящим узором или с золотистыми чешуйками. Основной членик усиков с гребнем длинных щетинок или без него. Размах крыльев – 7-16.....**Cosmopterigidae** (Роскошные моли)
- 142(141) Передние крылья одноцветные, бурые или с неярким светлым рисунком без золотистых чешуек. Основной членик усиков без гребня щетинок. Размах крыльев – 4,5-19.....**Scythrididae** (Мрачные моли)
- 143(140) Срединные шпоры на задней голени расположены явственно перед ее серединой, ближе к основанию.
- 144(145) Усики достигают или почти достигают вершины переднего крыла (как минимум, заходят в его вершинную часть). Внешний вид (см. рис. 46). Размах крыльев – 4,5-19.....**Glacilariidae** (Моли-пестрянки)
- 145(144) Усики едва достигают вершинной четверти крыла или еще короче.
- 146(147) Передние крылья темно-бурые, с размытыми светлыми пятнами и несколькими черноватыми точками. В помещениях. Гусеницы повреждают продовольственные запасы. Размах крыльев – 13-21.....**Oecophoridae** (Ширококрылые моли)
- 147(146) Передние крылья окрашены иначе – коричнево-желтые, с 2 черноватыми точками или темные, с белыми перевязями или металлически блестящим рисунком. Размах крыльев – 9-21.....**Cosmopterigidae** (Роскошные моли)
- 148(103) Основной членик усиков уплощен, образует козырек над глазом.
- 149(150) Длинные торчащие щетинки на верхней стороне задних голеней имеются и образуют правильный ряд. Передние крылья светлые, с явственной темной точкой у вершины. Гусеницы минируют листья и молодые побеги ив и тополей. Размах крыльев – 6-7,5.....**Phyllocnistidae** (Моли-сокоетки)
- 150(149) Длинные торчащие щетинки на задних голенях отсутствуют или расположены беспорядочно, не образуя правильных рядов.
- 151(152) Усики сразу за основанным члеником искривлены. Размах крыльев – 6-9,5.....**Bucculatricidae** (Кривоусые моли)
- 152(151) Усики не искривлены.
- 153(154) Темя в гладких чешуйках, нижнечелюстные щупики отсутствуют. Рисунок передних крыльев пятнистый и размытый, с блестящим пятном близ заднего угла или с темной точкой у вершины. Размах крыльев – 6-14.....**Lyonetiidae** (Моли-крохотки)
- 154(153) Темя и вся голова в торчащих волосках, нижнечелюстные щупики имеются, коленчатые. Рисунок передних крыльев различный по характеру, но без блестящего пятна или темной точки в вершинном поле. Размах крыльев – 3-9.....**Nepticulidae** (Моли-малютки)

- 155(102) Задние крылья не ланцетовидные, с закругленной вершиной.
 156(157) 2-й предвершинный членик нижнегубных щупиков на вершине (не путать с направленным вниз гребнем чешуек!) с торчащими вперед волосками. Размах крыльев – 9-32.....**Plutellidae** (Серпокрылые моли)
 157(156) 2-й членик нижнегубных щупиков без торчащего вперед пучка волосков.
 158(165) Нижнегубные щупики прямые, направлены вершинами вперед или же серповидно изогнуты, но короткие, едва достигают вершинами уровня верхних краев глаз.
 159(160) Голова полностью покрыта густыми торчащими волосками. Размах крыльев – 8-28.....**Psychidae** (Мешочницы) ♂
 160(159) Голова хотя бы отчасти в гладком покрове из прилегающих чешуек.
 161(162) 2-й (предвершинный) членик нижнегубных щупиков к вершине сильно расширен, вершинный членик притупленный. Внешний вид (рис. 43). Размах крыльев – 7-33.....**Tortricidae** (Листовертки)
 162(161) 2-й членик нижнегубных щупиков не расширен или слабо расширен, вершинный членик заостренный.
 163(164) Простые глазки имеются. Усики почти равны по длине передним крыльям. Размах крыльев – 9-16.....**Acrolepiidae** (Хохлатые моли)
 164(163) Простые глазки отсутствуют. Усики короче передних крыльев. Передние крылья с более или менее заметным задним углом, чаще серебристо-белые, с рядами черных точек; передний край заднего крыла вогнут за серединой, затем равномерно закруглен к вершине (см. рис. 45). Размах крыльев – 9-26.....**Yponomeutidae** (Горностаевые моли)
 165(158) Нижнегубные щупики серповидно изогнутые кверху, длинные, их вершины достигают уровня верхней стороны головы (см. рис. 40).
 166(167) Передние крылья однотонно светлые, с черными точками, или контрастно двухцветные (черно-белые), или же вершина брюшка желтая. Размах крыльев – 15-34.....**Ethmiidae** (Черноточечные моли)
 167(166) Передние крылья иной окраски, вершина брюшка не желтая.
 168(169) Передние крылья близ основания с темными пятнышками на костальном крае. Размах крыльев – 11-18.....**Synnocidae** (Пятнистые моли)

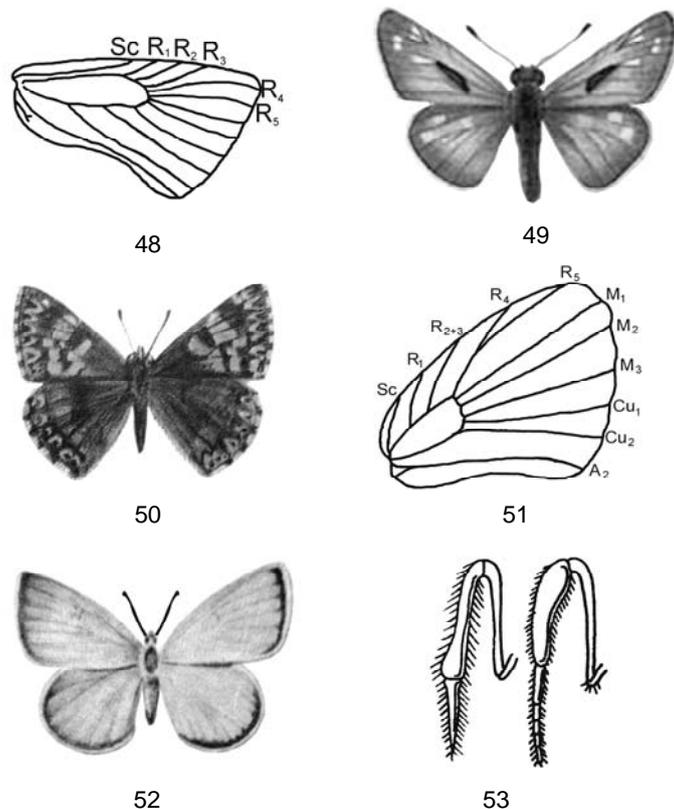


Рис. 48-53. Детали строения и внешний вид толстоголовок, риодинид и голубянок. 48–жилкование заднего крыла *Hesperiiidae*; 49–внешний вид *Hesperiiidae*; 50–внешний вид *Riodinidae*; 51–жилкование переднего крыла *Lycaenidae*; 52–внешний вид *Lycaenidae*; 53–рудиментарные передние ноги

- 169(168) Передние крылья близ основания без темного пятна на костальном крае. Размах крыльев – 9-30.....**Oecophoridae** (Ширококрылые моли)
- 170(32) Членики усиков без отростков, веретеновидные или булавовидные (хотя бы слабо расширены в средней части или у вершины).
- 171(172) Субкостальная жилка задних крыльев расходится с радиальной в пределах дискоидальной ячейки (рис. 38). Передние крылья металлически черные или черно-синие, с 3-6 ярко-красными, желтыми или белыми пятнами. Внешний вид (см. рис. 39). Размах крыльев – 25-42.....**Zygaenidae** (Пестрянки)
- 172(171) Передние крылья иной окраски.
- 173(174) Усики веретеновидные (рис. 1, B1). Задние крылья значительно меньше передних. Брюшко толстое, у расправленной бабочки далеко выступает за линию заднего края крыла. Внешний вид (рис. 47). Размах крыльев – 15-40.....**Sphingidae** (Бражники)
- 174(173) Усики булавовидные (рис. 1, B4). Задние крылья лишь немногим меньше передних. Брюшко тонкое, у расправленной бабочки не выступает или почти не выступает за линию заднего края крыльев.
- 175(176) Задние голени с 2 парами шпор. Голова крупная, лишь немного уже груди, с хохолком между широко расставленными глазами. Все 5 радиальных жилок выходят непосредственно из дискоидальной ячейки (рис. 48). Усики короткие. Внешний вид (рис. 49). Размах крыльев – 24-36.....**Hesperiidae** (Толстоголовки)
- 176(175) Задние голени с 1 парой шпор. Голова обычного размера, значительно уже груди, без хохолка между близко расположенными глазами.
- 177(180) Глаза овальные, с каемкой из белых чешуек.
- 178(179) Верхняя сторона крыльев темно-бурая, с рыжими пятнами (напоминает шашечниц-нимфалид). Задние крылья на обороте с поперечным ломаным рядом крупных угловатых желтых и белых пятен. Внешний вид (рис. 50). Размах крыльев – 15-40.....**Riodinidae** (=Nemeobiidae) (Риодиниды)

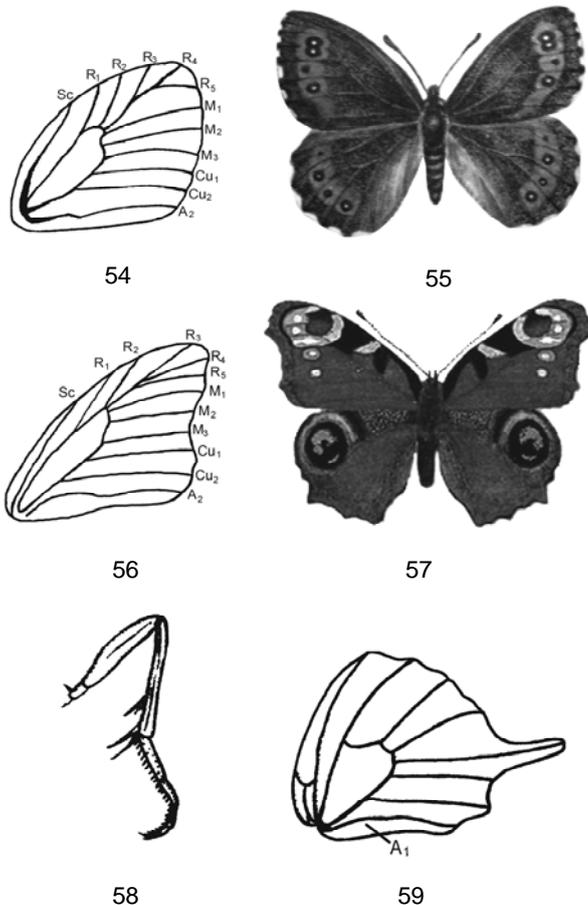
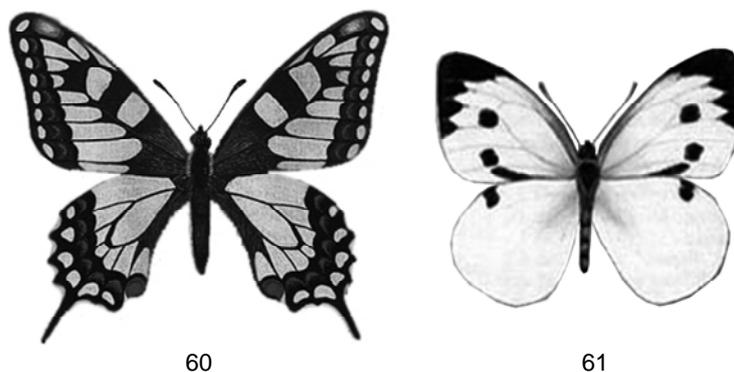


Рис. 54-59. Детали строения и внешний вид бархатниц, многоцветниц и парусников. 54–жилкование переднего крыла *Satyridae*; 55–внешний вид *Satyridae*; 56–жилкование переднего крыла *Nymphalidae*; 57–внешний вид *Nymphalidae*; 58–нормально развитые передние ноги; 59–заднее крыло *Papilionidae*



60

61

Рис. 60, 61. Внешний вид парусников и белянок. 60–внешний вид *Papilionidae*; 61–внешний вид *Pieridae*

- 179(178) Верхняя сторона крыльев окрашена иначе. Основной фон крыльев самцов нередко ярко-голубой или огненно-красный, самок – темно-бурый; обратная сторона часто с мелкими глазчатыми пятнами. На передних крыльях 5 ветвь радиального ствола упирается в передний край или вершину крыла (рис. 51). Внешний вид (рис. 52). Размах крыльев – 20-40.....**Lycaenidae** (Голубянки)
- 180(177) Глаза округлые, без каемки из белых чешуек.
- 181(184) Передние ноги, по крайней мере, у самцов рудиментарные, с нерасчлененной лапкой, лишенной коготков (рис. 53).
- 182(183) По меньшей мере на обороте переднего крыла в вершинной части имеется глазчатое пятно или его следы и (или) 1-3 продольные жилки у корня крыльев сильно вздуты (рис. 54). Окраска крыльев обычно темно-бурая, со светлыми перевязями и пятнами или пестрая, белая или желтовато-белая, с черным узором. Внешний вид (рис. 55). Размах крыльев – 24-66.....**Satyridae** (Бархатницы)
- 183(182) Крылья на обороте без глазчатых пятен, жилки у корня крыла не вздуты (рис. 56). Окраска обычно пестрая, иногда очень яркая или переливающаяся; на оборотной стороне задних крыльев могут быть развиты перламутровые пятна. Внешний вид (рис. 57). Размах крыльев – 25-80.....**Nymphalidae** (Многоцветницы)
- 184(181) Передние ноги развиты нормально, лапки расчленены, несут 2 коготка (рис. 58).
- 185(186) Задние крылья с дуговидной выемкой на внутреннем крае (складка, облегающая брюшко отсутствует), имеется 1 анальная жилка (рис. 59). Внешний вид (рис. 60). Размах крыльев – 52-90.....**Papilionidae** (Парусники)
- 186(185) Задние крылья без выемки на внутреннем крае (складка, облегающая брюшко присутствует). Основной фон крыльев обычно белый или желтый. Внешний вид (рис. 61). Размах крыльев – 25-60.....**Pieridae** (Белянки)

Резюме. Статья посвящена разработке определительной таблицы, позволяющей оперативно устанавливать таксономическую принадлежность чешуекрылых Беларуси и сопредельных территорий в полевых и лабораторных условиях.

Abstract. The paper describes the entomological key and table for identifying the families of *Lepidoptera* of Belarus and adjacent territories.

Литература

1. Горностаев, Г.Н. Определитель отрядов и семейств насекомых средней полосы Европейской части СССР / Г.Н. Горностаев. – М.: МГУ, 1986. – 118 с.
2. Негроров, О.П. Определитель семейств насекомых / О.П. Негроров, Ю.И. Черненко. – Воронеж: ВГУ, 1989. – 184 с.
3. Определитель насекомых Европейской части СССР. – Т. 4. Чешуекрылые. Ч. 1. – Л.: Наука, 1978. – 712 с.
4. Определитель насекомых Европейской части СССР. – Т. 4. Чешуекрылые. Ч. 2. – Л.: Наука, 1981. – 788 с.
5. Росс, Г. Энтомология / Г. Росс и др. – М.: Мир, 1985. – 576 с.

УДК 546.56+546.74+546.73+546.81:631.41

Распределение ионов тяжелых металлов в системе почва – растение в условиях естественного фитоценоза

А. В. Хаданович, В. Г. Свириденко, Н. И. Дроздова

Введение

В настоящее время установлено существование неразрывной связи химического состава живых организмов с химическим составом земной коры. Между внешней средой и организмами идет постоянный обмен веществ. Химический состав растений очень сложен. Практически нет почти ни одного элемента, даже из числа самых редких, который не был бы обнаружен в том или ином растении [1].

Поглощение ионов микроэлементов корневой системой может осуществляться с использованием нескольких механизмов, развитых в процессе эволюции растений. Среди них важнейшими, вероятно, являются ионный обмен между корневой системой и почвой, диффузия растворенных биогенных ионов из почвенного раствора внутрь корня, селективный мембранный перенос ионов через клеточные мембраны [2]. При росте растений на естественных почвах одновременно могут использоваться различные механизмы. В почвах элементы находятся в различных состояниях: в виде малорастворимых солей и минералов; в виде катионов, сорбированных обменным комплексом почв, представляющим собой смесь природных веществ, обладающих ионообменными свойствами (глинистые минералы, гуминовые кислоты); в виде элементов, входящих в органические вещества и переходящие в доступные для растений формы за счет ферментативных, окислительных и микробиологических процессов [3]. Однако каким бы ни было первичное состояние биоэлементов почв, в конечном счете, они превращаются в ионы, присутствующие в почвенном растворе, откуда и происходит их поглощение корневой системой растений [4].

В связи с усиленным ростом количества автотранспорта и ухудшением гигиенических условий проживания людей, необходимость постоянного контроля за содержанием загрязняющих веществ в объектах окружающей среды не вызывает сомнения. Особое внимание следует уделять контролю за содержанием тяжелых металлов в почвах, так как именно почва представляет собой начальное звено одной из цепей, по которой идет миграция тяжелых металлов в биосфере: почва – растения – человек и животные [5].

Почвы и растения вблизи автодорог могут характеризоваться повышенным содержанием тяжелых металлов вследствие загрязнения их газо-пылевыми выбросами автотранспорта. Тяжелые металлы, поступающие из различных источников, попадают в конечном итоге на поверхность почвы и их дальнейшая судьба зависит от ее физических и химических свойств. Продолжительность пребывания загрязняющих компонентов, особенно ионов тяжелых металлов в почвах гораздо дольше, чем в других частях биосферы.

Целью настоящей работы являлось проведение аналитических исследований почв и растений на содержание ионов меди и цинка вблизи автомагистралей с различным по интенсивности движением.

Объектом исследований послужили почвенные образцы, отобранные вблизи автомагистралей из горизонта А1 на расстоянии 8, 32 и 100 метров на пробных площадях всех ключевых участков в исследуемых элементарных ландшафтах. Для отбора проб почв закладывались 15 пробных площадей размером 25 м² с разной техногенной нагрузкой (величина грузопотока, авт./час составила 1360; 570; 1510 для автомагистралей Гомель – Калинковичи, Гомель – Ветка, Гомель – Чернигов соответственно). С каждой площадки отбирали одну объединенную пробу, состоящую из 20 точечных заборов. Глубина отбора составляла 15 – 20

см, а масса объединенной пробы около 500 г. Каждая средняя проба помещалась в маркированные пакеты. В образцах почв определяли основные агрохимические показатели, количество валовых и подвижных форм тяжелых металлов. Растительные образцы отбирались в мае – июле с 8 до 10 часов утра в сухую погоду. Определяли содержание тяжелых металлов в надземной фитомассе и корневой системе травянистых растений. Виды анализируемых растений представлены в таблице 1.

Таблица 1

Перечень видов растений

Семейство	Вид
Сем. Розоцветные – <i>Rosaceae</i>	Лапчатка серебристая — <i>Potentilla argentea</i> L.
	Таволга обыкновенная — <i>Filipendula vulgaris</i> L.
Сем. Мятликовые – <i>Poaceae</i>	Кострец безостый — <i>Bromopsis inermis</i> L.
	Ежа сборная — <i>Dactylis glomerata</i> L.
Сем. Бобовые – <i>Fabaceae</i>	Клевер ползучий — <i>Trifolium repens</i> L.
	Горошек мышиный — <i>Vicia cracca</i> L.
Сем. Подорожниковые – <i>Plantaginaceae</i>	Подорожник большой — <i>Plantago major</i> L.
	Подорожник ланцетолистный — <i>Plantago lanceolata</i> L.
Сем. Сложноцветные (астровые) – <i>Compositae</i> (<i>Asteraceae</i>)	Тысячелистник обыкновенный — <i>Achillea millefolium</i> L.
	Пижма обыкновенная — <i>Tanacetum vulgare</i> L.

Аналитическое определение валовых и подвижных форм ионов меди и цинка проводили вольтамперометрическим и атомно-абсорбционным методами анализа [6].

Результаты и обсуждение

Основные агрохимические показатели образцов почв, отобранных вдоль автомагистралей Гомельского района, представлены в таблице 2.

Таблица 2

Агрохимические показатели исследуемых почв

Агрохимические характеристики	Автомагистрали		
	Гомель-Ветка	Гомель-Калинковичи	Гомель-Чернигов
pH _{KCl}	5,84	5,73	5,50
Содержание гумуса, %	2,17	1,56	1,14
Гидролитическая кислотность, мг-экв/100 г	1,92	1,75	1,40
Сумма обменных оснований, мг-экв/100 г	3,64	3,20	3,04
P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	17,3	16,5	20,1

Кислотность исследуемых почв колебалась от 5,5 до 5,83 единиц pH, содержание гумуса в среднем составляло 1,63 %, что характерно для данного типа почв. Низкое содержание гумуса, среднекислая реакция среды обуславливают малое содержание подвижных фосфатов (от 16,5 до 20,1 мг/100 г почвы).

В таблице 3 приведено содержание тяжелых металлов в исследуемых почвах, отобранных на расстоянии 100 метров от автомагистралей.

Таблица 3

Содержание тяжелых металлов (мг/кг) в почвах

Автомагистраль	Медь	Цинк
----------------	------	------

	1	2	1	2
Гомель-Ветка	4,5	2,1	30,2	14,1
Гомель-Калинковичи	4,8	2,3	31,2	15,8
Гомель-Чернигов	5,8	2,5	30,8	22,6

Примечание –

1 – содержание валовых форм;

2 – содержание подвижных форм.

Наименьшим содержанием металлов-загрязнителей характеризовались почвы вдоль трассы Гомель – Ветка, где концентрация всех исследуемых элементов в среднем составляла: меди – 2,1 мг/кг, цинка 14,1 мг/кг. Наибольшее содержание подвижных форм фиксировалось в образцах почв, отобранных вдоль трассы Гомель–Чернигов. Содержание исследуемых катионов составляло: меди 2,5 мг/кг, цинка 22,6 мг/кг. Проведенный анализ валовых и подвижных форм в почвах придорожной экосистемы свидетельствует, что на расстоянии 100 метров загрязнение почвы тяжелыми металлами не отмечалось, поэтому данные показатели приняли за фоновые.

В таблице 4 представлены результаты исследований определения содержания тяжелых металлов в надземных частях различных видов растений, отобранных на расстоянии 100 м от автомагистралей.

Содержание ионов меди в исследуемых растениях колебалось от 1,08 до 5,96 мг/кг; цинка – от 12,0 до 34,42 мг/кг. Рассматриваемые семейства по содержанию ионов меди располагались в следующий ряд: сем. Бобовые < сем. Подорожниковые < сем. Мятликовые < сем. Розоцветные < сем. Сложноцветные; накопление ионов цинка в растениях различных семейств увеличивалось в следующем порядке: сем. Мятликовые < сем. Сложноцветные ≤ сем. Подорожниковые < сем. Бобовые < сем. Розоцветные. Приведенные результаты в таблице 4 свидетельствуют о том, что доступность исследуемых элементов в почве для растений зависит от их биологической принадлежности, позволяющей регулировать их содержание в различных видах даже при одинаковом количестве их в почве. Один и тот же вид растения в разных экологических условиях накапливает разные количества тяжелых металлов. Анализ данных по содержанию ионов кадмия в изученных видах растений, отобранных в разных условиях показал, что в отдельных семействах превышение максимального содержания над минимальным до 4 раз характерно для сем. Сложноцветных, что позволяет отнести их к качественно информативным биообъектам, они могут быть использованы в качестве концентраторов данных элементов в системе эколого-биогеохимического мониторинга окружающей среды.

Таблица 4

Распределение ионов меди и цинка (мг/кг) в надземной части растений

Вид растений	Медь			Цинк		
	1	2	3	1	2	3
Семейство Мятликовые						
Кострец безостый	1,50	2,42	4,62	15,56	14,36	16,12
Ежа сборная	1,40	2,30	6,52	13,46	12,58	13,24
среднее	1,61	2,36	4,90	14,87	13,59	14,66
Сем. Розоцветные						
Лапчатка серебристая	2,52	2,42	5,78	36,76	30,32	34,38
Таволга обыкновенная	3,86	1,32	5,98	34,24	29,64	33,12
среднее	3,13	2,18	5,96	34,42	30,25	32,95
Сем. Бобовые						

Клевер ползучий	0,92	1,64	2,45	30,06	27,56	29,44
Мышиный горошек	1,20	2,36	1,42	30,72	29,64	31,02
среднее	1,08	1,81	2,24	30,30	28,90	30,07
Сем. Подорожниковые						
Подорожник большой	1,76	1,62	3,84	15,56	15,34	14,98
Подорожник ланцетолистный	0,72	2,12	2,98	25,26	21,58	23,78
среднее	1,24	1,87	3,41	20,41	18,46	19,38
Сем. Сложноцветные						
Тысячелистник обыкновенный	2,20	2,12	6,98	25,36	11,58	24,56
Пижма обыкновенная	2,80	3,96	5,72	15,92	10,26	16,12
среднее	2,00	2,72	5,43	20,24	12,0	18,76

Примечание – автомагистрали:

1 – Гомель– Ветка;

2 – Гомель– Калинковичи;

3 – Гомель– Чернигов.

Изучая зависимость содержания тяжелых металлов в растениях разных жизненных форм от содержания данного элемента в почве, был вычислен растительно–почвенный коэффициент (РПК) – отношение содержания элемента в растении к его содержанию в почве, позволяющий косвенно судить от степени доступности элемента в почве для растений и о поведении его в системе растение – почва. В таблице 5 представлены значения РПК для тяжелых металлов в надземной части дикорастущих растений.

По результатам анализа составлены ряды накопления тяжелых металлов вегетативными частями растений: для ионов меди – сем. Бобовые < сем. Подорожниковые < сем. Сложноцветные ≤ сем. Мятликовые < сем. Розоцветные; для ионов цинка – сем. Мятликовые < сем. Сложноцветные ≤ сем. Подорожниковые < сем. Бобовые < сем. Розоцветные.

Таблица 5

Значения растительно-почвенных коэффициентов ионов меди и цинка

Вид растений	Медь			Цинк		
	1	2	3	1	2	3
Сем. Мятликовые						
Кострец безостый	0,07	1,05	1,85	1,10	0,91	0,71
Ежа сборная	0,67	1,00	2,60	0,93	0,80	0,59
Сем. Розоцветные						
Лапчатка серебристая	1,20	1,05	2,31	2,61	1,92	1,52
Лапчатка гусиная	1,44	1,22	2,45	2,29	1,95	1,39
Сем. Бобовые						
Клевер ползучий	0,44	0,71	0,98	2,14	1,74	1,30
Мышиный горошек	0,57	1,03	0,57	2,18	1,88	1,37
Сем. подорожниковые						
Подорожник большой	0,84	0,70	1,54	1,10	0,97	0,66
Подорожник ланцетолистный	0,34	0,92	1,19	1,79	1,37	1,05
Сем. Сложноцветные						
Ромашка непахучая	0,84	1,13	1,86	1,08	1,0	0,71
Тысячелистник обыкновенный	1,05	0,92	1,19	1,80	0,73	1,09

Установлено, что между содержанием в почве подвижных форм тяжелых металлов, с одной стороны, и накоплением их в исследуемых растениях существуют определенные свя-

зи. Расчеты коэффициентов корреляции показывают, что единственным объективным показателем наличия в почве доступного для растений количества тяжелых металлов являются растения конкретного семейства. По накоплению в фитомассе растений того или иного элемента можно судить об экологически значимом его содержании в почве.

Таким образом, изучаемые тяжелые металлы по-разному накапливаются в вегетативной части исследуемых растений, что, по-видимому, связано с различным электронным строением, различными размерами радиусов и ионов и с особенностями их поступления в систему почва – корень.

Для характеристики процессов накопления химических элементов растениями предложен показатель – коэффициент накопления, равный отношению содержания элемента в корнях к таковому в почвах. Принято считать, что подобный коэффициент накопления отражает корневое поступление элементов из почвы (таблица 6).

Таблица 6

Содержание ионов меди и цинка в корнях растений (мг/кг) и значения коэффициентов накопления элементов

Вид растений	Медь			Цинк		
	1	2	3	1	2	3
Сем. Мятликовые						
Кострец безостый	7,62	7,42	7,12	16,42	16,23	16,64
Ежа сборная	7,86	7,56	7,03	17,85	17,96	18,18
<i>среднее · значение</i>	<u>7,74</u>	<u>7,49</u>	<u>7,08</u>	<u>17,14</u>	<u>17,10</u>	<u>17,41</u>
<i>коэффициент · накопления</i>	3,7	3,3	2,8	1,2	1,1	0,8
Сем. Розоцветные						
Лапчатка серебристая	5,12	5,44	5,86	16,52	17,85	18,12
Лапчатка гусиная	6,52	6,64	6,36	19,24	20,42	19,68
<i>среднее · значение</i>	<u>5,82</u>	<u>6,04</u>	<u>6,11</u>	<u>17,88</u>	<u>19,14</u>	<u>18,90</u>
<i>коэффициент · накопления</i>	2,7	2,6	2,4	1,3	1,2	0,8
Сем. Бобовые						
Клевер ползучий	4,62	4,72	5,24	16,42	16,38	16,76
Мышиный горошек	5,82	5,98	6,36	18,23	18,56	17,85
<i>среднее · значение</i>	<u>5,22</u>	<u>5,35</u>	<u>5,80</u>	<u>17,33</u>	<u>17,47</u>	<u>17,31</u>
<i>коэффициент · накопления</i>	2,5	2,3	2,3	1,2	1,1	0,8
Сем. Подорожниковые						
Подорожник большой	5,82	5,56	5,78	16,62	16,72	16,86
Подорожник ланцетолистный	6,41	6,32	6,48	18,35	18,64	18,23
<i>среднее · значение</i>	<u>6,12</u>	<u>5,94</u>	<u>6,13</u>	<u>17,49</u>	<u>17,68</u>	<u>17,55</u>
<i>коэффициент · накопления</i>	2,9	2,6	2,4	1,2	1,1	0,8
Сем. Сложноцветные						
Ромашка непахучая	6,92	7,06	7,28	17,23	18,85	18,58
Тысячелистник обыкновенный	7,43	7,52	7,62	19,35	19,46	19,74
<i>среднее · значение</i>	<u>7,18</u>	<u>7,29</u>	<u>7,45</u>	<u>18,29</u>	<u>19,16</u>	<u>19,16</u>
<i>коэффициент · накопления</i>	3,4	3,2	3,0	1,3	1,2	0,8

Примечание – автомагистрали:

1 – Гомель – Ветка;

2 – Гомель – Калинковичи;

3 – Гомель – Чернигов.

При одинаковых условиях произрастания разные виды растений накапливают тяжелые металлы в корнях неодинаково. Коэффициент накопления составил для сем. Мятликовых: по меди – 3,27; цинку – 1,03; для сем. Розоцветных – 2,57; 1,10; для сем. Бобовых – 2,37; 1,03; для сем. Подорожниковых – 2,65; 1,03; для сем. Сложноцветных – 3,20; 1,10 соответственно.

Для установления закономерностей накопления ионов меди, цинка растительностью в зависимости от условий произрастания в придорожных экосистемах было определено содержание указанных элементов в вегетативной части дикорастущих растений.

Все исследуемые растения придорожных зон накапливают в фитомассе повышенные количества тяжелых металлов, особенно на расстоянии 8 м от автомагистралей. Наиболее высокая металлоаккумулирующая способность среди исследуемых растений отмечена для семейства Розоцветные. Представителей данного семейства можно рассматривать как концентраторы ионов тяжелых металлов в наземных экосистемах, их можно рекомендовать для использования в биологическом методе очистки почв.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что в придорожных экосистемах загрязнение растений металлами закономерно уменьшается при увеличении расстояния от авто-трассы с 8 до 100 метров, на расстоянии 100 метров загрязнение растений ионами тяжелых металлов не отмечалось.

Содержание ионов меди для представителей сем Мятликовых варьировало от 6,5 до 2,4 мг/кг; сем Сложноцветных – 7,1 – 3,0 мг/кг; сем Розоцветных – 11,1 до 4,6 мг/кг; сем. Бобовых от 3,8 до 1,4 мг/кг; сем. Подорожниковых от 5,2 до 1,9 мг/кг. Интервалы концентраций для ионов цинка: 23,5 – 13,3; 32,7 – 21,5; 89,2 – 23,1; 63,6 – 26,9; 42,4 – 22,0 мг/кг, соответственно.

В таблице 7 приведены значения растительно-почвенных коэффициентов для представителей исследуемых семейств, произрастающих вдоль автомагистрали Гомель – Чернигов на различном расстоянии от трассы.

Таблица 7

Значения растительно-почвенных коэффициентов меди и цинка (трасса Гомель-Чернигов)

Вид растений	Медь			Цинк		
	1	2	3	1	2	3
Сем. Мятликовые						
Кострец безостый	0,21	0,22	1,83	0,64	0,44	0,71
Ежа сборная	0,23	0,22	2,59	0,65	0,61	0,59
Сем. Розоцветные						
Лапчатка серебристая	0,35	0,33	2,29	2,27	1,69	1,12
Лапчатка гусиная	0,38	0,38	2,43	2,51	1,41	1,30
Сем. Бобовые						
Клевер ползучий	0,12	0,12	1,77	1,62	1,24	1,30
Мышиный горошек	0,13	0,11	0,98	1,68	0,89	0,66
Сем. подорожниковые						
Подорожник большой	0,17	0,15	1,52	1,18	0,75	0,66
Подорожник ланцетолистный	0,18	0,17	2,77	1,10	0,90	1,05
Сем. Сложноцветные						
Ромашка непахучая	0,26	0,26	1,45	0,86	0,81	0,71
Тысячелистник обыкновенный	0,25	0,21	2,77	0,87	0,85	1,10

Примечание – расстояние от автомагистрали:

1 – 8 м;

2 – 32 м;

3 – 100 м

Исследования показали, что только по данным анализов почвы на наличие ионов тяжелых металлов предсказать степень накопления данных токсикантов в надземной части растения сложно. Растения могут в определенной степени с помощью физиологических барьеров ограничивать передвижение токсичных соединений металлов из корней в надземную часть.

Во всех случаях растения придорожных автомагистралей проявляют тенденцию к накоплению ионов металлов в порядке: $Zn^{2+} > Cu^{2+}$. Представители сем. Бобовых и сем. Розоцветных по морфологическим и биологическим способностям могут дополнительно накапливать большое количество ионов тяжелых металлов в составе пылевых осадений из воздуха на поверхности вегетативных органов. У представителей семейства Розоцветные растительно-почвенные коэффициенты наибольшие по отношению к ионам меди и цинка. Рассматриваемые растения способны значительно улучшить структуру и физико-химические свойства почвы, что особенно важно при решении вопросов, связанных с применением биологического способа очистки техногенно-загрязненных почв.

Заключение

Определено содержание ионов тяжелых металлов в почвах и растениях естественного фитоценоза для различных придорожных участков. Установлен фоновый уровень содержания тяжелых металлов в вегетативных частях растений представителей пяти семейств, произрастающих на расстоянии 100 метров от автомобильных трасс. На большом фактическом материале установлена корреляция распределения тяжелых металлов в почвах и растениях в исследуемых районах. Показано, что наиболее высокой металлоаккумулирующей способностью среди исследуемых растений обладают представители семейства Розоцветных по цинку и меди. Представители этого семейства следует рассматривать как концентраторы ионов тяжелых металлов и рекомендовать для использования в биологическом методе очистки почв. Единственным объективным показателем наличия в почве соответствующего участка доступного количества для растений тяжелых металлов является только конкретный вид растений, по накоплению в фитомассе того или иного элемента можно судить об экологически значимом содержании его в почве.

Резюме. Вольтамперометрическим методом исследовано поглощение ионов меди и цинка почвами растениями естественного фитоценоза в интервале концентраций $10^{-6} - 10^{-7}$ моль/л. Определены коэффициенты распределения катионов в системе почвенный раствор - растения под влиянием техногенных для различных придорожных участков. Установлен фоновый уровень содержания тяжелых металлов в вегетативных частях растений представителей пяти семейств.

Abstract. Heavy metal ions distribution in the solid soil - plant systems in the condition of natural phytocenosis is considered in the paper. Coefficients of heavy metal ions distribution in the solid soil - plant systems under conditions of hard anthropogenic load have been received; rows of accumulation of the metal ions under consideration by plants in natural phytocenosis and by the cultivated herbs have been ascertained.

Литература

1. Солдатов, В.С. Ионообменные равновесия в многокомпонентных системах / В.С. Солдатов, В.А. Бычкова. – Минск: Наука и техника, 1988. – 358 с.
2. Лукашев, К.И. Химические элементы в почвах / К.И. Лукашев, Н.И. Петухова. – Минск: Наука и техника, 1970. – 232 с.
3. Аккумуляция свинца, цинка и кадмия в зеленых насаждениях г. Минска / К.Д. Чубанов [и др.] // Природные ресурсы. – 2000. – № 4. – С. 68–75.
4. Черных, Н.А. Экотоксические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Н.А. Черных, Н.З. Милащенко, В.Ф. Ладонин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.

5. Симуткина, Т.Н. Особенности распределения и формы соединений микроэлементов в почвах крупного промышленного города / Т. Н. Симуткина // Почвоведение. –1984. –№ 4. – С. 43 – 52.

6. Хаданович, А.В. Особенности распределения и иммобилизации ионов тяжелых металлов в системе почва – растения (на примере Гомельского региона): автореф. дис. ...канд. хим. наук: 03.00.16 /А.В. Хаданович; Гом. гос. ун-т. – Гомель, 2008. – 22 с.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 05.02.09

Особенности изменчивости прироста стволовой древесины в сосново-березовых насаждениях

В.М. ЕФИМЕНКО

Введение

При обосновании экологических, экономических и лесохозяйственных проблем используются значения прироста по объему стволовой древесины. Наиболее полно результат внешних воздействий на развитие древостоя отражает текущий прирост по запасу и линейный по диаметру, а также производные от них показатели.

Например, для выявления оптимального соотношения пород в смешанных насаждениях необходимо опираться на характер их взаимодействия, отражающийся на величине объемного прироста. Получение его величины связано с рядом специфических расчетов, использующих обмеры как отдельного дерева, так и древостоя в целом. Погрешности в измерении исходных показателей неизбежно искажают конечный результат. Чтобы уменьшить это влияние, а заодно и упростить вычисления, исследователи прибегают к составлению математических моделей его изменения, в основу которых кладут выявленные параметры изменчивости этих признаков в зависимости от экологических свойств насаждений.

Для выявления прироста древесины в насаждениях используется цифровой материал, получаемый на основе обмеров модельных деревьев, отбираемых на объектах как с различной долей участия пород в составе, так и находящихся под различным экологическим влиянием.

Материалы и методы исследования

В сосново-березовых насаждениях текущий прирост стволовой древесины сосны и березы выявлялся по деревьям различного ценотического положения. Для этой цели модельные деревья отбирались в насаждении с учетом их рангового положения. Всего срублено и обмерено 70 деревьев.

Оценкой рангового положения в древостое отдельных деревьев, их различных групп и совокупностей служил ранговый коэффициент:

$$R_{itk} = M_{itk} / M_{tk},$$

где: R_{itk} – ранговый коэффициент i – дерева (или i -й группы деревьев) в момент t_k ,

M_{itk} – размеры (по высоте, диаметру, объему ствола и т. п.) i -го дерева (или i -й группы деревьев) в момент t_k .

M_{tk} – размеры среднего дерева популяции в момент t_k .

Ранговый коэффициент является относительной оценкой размеров дерева, то есть его рангового положения в популяции. Зная его величину и значение нормированного рангового распределения, можно определить положение или ранг дерева в составе популяции.

У срубленных деревьев учитывалась высота, диаметр по относительным долям высоты, отобраны образцы древесины, которые подвергнуты обмерам. Проведены вычисления по выявлению хода роста по диаметру, высоте и объему и их приросту по общепризнанным таксационным методикам. Кроме этого, учитывалось расстояние между деревьями и соотношение диаметров сосны и березы.

На основе анализа величины множественного коэффициента корреляции взаимообусловленных изменений объемного прироста сосны и березы были найдены аналитические зависимости объема прироста от рангового положения деревьев, его возраста и доли участия пород в составе.

Величина текущего прироста стволовой древесины сосны и березы вычислена по данным модельных деревьев, отобранных в смешанных сосново-березовых древостоях Двинской Экспериментальной базы Института леса НАН Б, таксационная характеристика которых приведена в таблице.

Таблица 1– Таксационные параметры опытных объектов

Порода	Средний возраст породы, лет	Число деревьев, шт/га	Ср. высота, м	Ср. диаметр, см	Запас ств. древесины, м ³	Доля участия породы в составе, %	Параметры распределения числа деревьев на пробной площади				
							стандартн. откл.	ассиметрия	ошибка асимметрии	эксцесс	ошибка эксцесса
С	60	317	24,6	23,6	169	61	6,02	0,29	0,17	-0,49	0,34
Б	55	261	19,4	24,8	110	39	8,01	0,32	0,19	-0,64	0,37
С	60	282	25,4	25,5	181	65	6,11	0,58	0,21	0,38	0,43
С	36	100	20,1	18,2	28	10	2,97	-0,55	0,91	0,87	2
Б	36	920	21,7	17,3	238	90	7,4	0,14	0,35	-0,92	0,69
С	39	803	18,5	14,2	114	49	3,19	0,34	0,33	-0,09	0,64
Б	36	455	21	18,4	121	51	6,07	-0,14	0,43	-1,05	0,83

Из таблицы 1 видно, что насаждения отвечают категории средневозрастных. Условия произрастания – В₂₋₃, тип леса – сосняк мшистый, класс бонитета – первый. Грунтовые условия – песчаные почвы сформированные на водно-ледниковых связных песках.

Результаты и обсуждение

Полученная информация для сосны в разрезе биогрупп и толщины деревьев приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Прирост сосновых деревьев в биогруппах смешанного с березой культурфитоценоза

Средние показатели групп деревьев		Средний прирост диаметра по годам, мм					
Диаметр, см	Расстояние между деревьями, м	1989-1990	1991-1992	1993-1994	1995-1996	1997-1998	Всего за 10 лет
в смешанных биогруппах							
9,0	1,9	8,2	3,4	3,0	3,0	2,2	19,8
13,5	1,5	11,4	6,6	6,0	4,8	3,6	32,4
18,4	2,7	19,0	11,4	9,6	8,8	7,6	56,4
в сосновых биогруппах							
8,9	2,2	10,2	5,2	4,4	4,4	3,0	27,2
15,4	2,4	13,4	8,0	8,0	7,2	5,0	41,6
19,8	3,6	18,8	13,2	13,2	10,6	7,4	63,2

Проведенные измерения позволили выявить диапазон расстояний между деревьями сосны и березы, при которых наблюдается наибольший прирост диаметра. Он находится в пределах от 1,5 до 3 и более м. Наблюдения за соотношением диаметров деревьев сосны и березы, находящихся по периферии одноименных соседних биогрупп, также подтверждают это (таблица 3).

Таблица 3 – Распределение соотношения диаметров сосны и березы по градациям расстояний между деревьями

Градация отношений D_c/D_b	Число деревьев по градациям расстояний между деревьями								Средние значения	
	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	Соотношения D_c/D_b	Расстояние между деревьями, м
1,1-1,6	1	3	5	5	6	4	3	1	1,4±0,64	2,8±0,15
0,9-1,1	4	4	8	4	2	2	1		1,0±0,02	2,3±0,18
0,2-0,8	7	16	16	11	3				0,5±0,63	1,8±0,09

Полученные данные измерения прироста в систематизированном виде представлены в таблице 4, 5, из которой видно, что с повышением ранга дерева, как сосны, так и березы, объемный прирост стволовой древесины увеличивается.

Таблица 4 – Величина объемного прироста сосны по данным модельных деревьев в сосново-березовых насаждениях различного состава и возраста

H, м	$D_{1,3м}$, см	Ранг дерева в насаждении	Объемный прирост (дм ³) сосновых деревьев в различном возрасте (лет)					
			10	20	30	40	50	60
Сосново-березовое насаждение: состав – 61С39Б;								
20,6	16	0,68	6	33	31	26	17	10
15,8	17,1	0,72	8	15	18	20	18	17
24,5	18,3	0,78	7	15	27	38	43	45
20,6	18,5	0,78	5	10	20	30	35	30
22,8	19,9	0,84	12	25	38	48	52	55
22	20	0,85	5	10	25	40	52	48
26,7	23	0,97	7	15	40	70	88	95
28,4	23,3	0,99	18	37	60	78	80	82
27,9	25	1,06	25	55	65	78	80	82
26,5	27,6	1,17	30,3	75	90	90	70	98
26,7	28,5	1,21	20	60	100	138	155	160
Сосново-березовое насаждение: состав – 95С5Б;								
24,1	19,4	0,76	7	15	28	38	45	50
23	21	0,83	10	25	35	40	38	30
20,3	21,5	0,85	10	23	48	60	58	35
25,3	22,8	0,90	10	23	48	60	58	35
27,9	25,3	1,00	10	25	55	85	110	125
25,8	27,3	1,07	20	45	65	80	90	100
28,5	28,3	1,11	21	50	64	99	170	160
25,1	28,6	1,13	14	45	70	85	92	115
24,7	30	1,18	12,5	30	50	70	130	200
Сосново-березовое насаждение: состав – 49С51Б;								
19,3	12,6	0,89	10	27	30	32		
18,5	14,4	0,99	22	38	42	45		
19,3	20	1,38	35	63	68	73		
21	19	1,31	27,5	70,7	70	80		
Сосново-березовое насаждение: состав – 10С90Б;								
19,6	12,4	0,87	6	25	32	34		
18,3	13,6	0,96	4	20	35	39		

Окончание таблицы 4.

17,5	14,9	1,05	5	20	37	42		
21	14,9	1,05	8	29	44	47		
17,3	14,9	1,05	7,8	25	38	42		
19,2	16	1,13	14	35	43	45		
19	17,6	1,24	15	40	50	55		
21	19,8	1,39	8	30	68	75		

Таблица 5 – Величина объемного прироста березы по данным модельных деревьев в сосново-березовых насаждениях различного состава и возраста

H, м	D _{1,3м} , см	Ранг дерева в насаждении	Объемный прирост (дм ³) сосновых деревьев в различном возрасте (лет)					
			10	20	30	40	50	60
Сосново-березовое насаждение: состав – 61С39Б;								
22	14,3	0,58	10	18	27	19	21	18
24,9	16,2	0,65		16	11	17	23	30
20,8	16,5	0,67		20	18	20	25	20
26,4	17	0,69	7,4	14	16	32	30	36
24,9	20	0,81		9,6	26	37	52	52
22,9	20,6	0,83	14	30	54	58	34	37
25	21	0,85		20	63	28	34	42
25,4	21,2	0,85		15	22	42	61	71
28,2	22,2	0,90		10,7	50	61	71	61
25,5	23,7	0,96		25	53	75	82	80
25,5	25	1,01		27,6	54	45	56	52
28,6	27	1,09		34	89	108	111	90
Сосново-березовое насаждение: состав – 95С5Б.								
24,5	19,7	0,78		56	55,6	51,4	47,6	40,2
23	20	0,79		60	46	46	48	46
25,7	20,4	0,80		61	75	75	68	72
25	22,2	0,87		65	43	67	67	83
23,7	25	0,98		68	67,8	81,9	72,2	89,4
23	25,5	1,00		54,6	49,9	78	74	96
26,5	26,9	1,06		64	108,7	114,4	127	90
25,5	27,2	1,07		70	93	102,1	102,4	78,8
23,5	29,6	1,17		65,4	93	85,8	105,9	114
Сосново-березовое насаждение: состав – 49С51Б;								
17,8	12,6	0,73	5	19,2	41,5	36,3		
20,5	13,2	0,76	5	18,7	45,3	40,6		
24,5	17,2	0,99	28	76,2	79,7	74,2		
23,8	18,6	1,08	5	53,7	101	95,3		
26	18,8	1,09	12	82	85	90		
25	20	1,16	18	65,9	94,5	110		
26,3	20,2	1,17	7	65,8	123	109		
27	29,9	1,73	42	140	198			
Сосново-березовое насаждение: состав – 10С90Б								
17,5	12,8	0,70	15	26	26,3	43,3		
18	14,3	0,78	6	18	38	45		
21	16	0,87	15	15	67	46,5		
19	16,3	0,89	6	30,8	69,9	59,9		
22	17	0,92	13	31	59,7	58		

Окончание таблицы 5.

23,5	18	0,98	12	99	99	70		
23	20	1,09	33	32,9	88,9	82,3		
25	23,8	1,29	31	78	139	137		
25	24,6	1,34	34	116	178	100		

У деревьев обеих пород с рангом 1 и более пределы изменения прироста находятся в близких пределах. Деревья же с рангом менее 0,7 образуют прирост на половину меньший, чем средние, а сосна при уменьшении доли в составе снижает его даже в 7-9 раз.

При большой доле участия березы (более 60% и до 90%) в насаждении проявляется ее угнетающая роль на прирост сосны, что заметно после 15-20 лет совместного произрастания. В итоге накопление стволовой древесины сосной снижается в среднем на 20–40 % в зависимости от доли участия ее в составе насаждения.

Полученные данные свидетельствуют о том, что при среднем расстоянии между деревьями от 2,2 до 2,8 и более соотношения диаметров лежат в области 0,9 и более. При соотношениях менее таких значений наблюдается превышение диаметра березы в среднем на 50%. Это означает, что при расстояниях между деревьями в среднем от 2,0 м и более происходит независимый рост сосны от березы по диаметру ствола. Отмеченные особенности взаимного влияния и накопления диаметра выявлены на примере сосново-березовых древостоев естественного происхождения. В культурфитоценозах повышенной густоты результат взаимодействия пород отражается не только на размерах ствола, но и создает предпосылки для отмирания особей сосны. Наиболее рельефно это заметно в культурфитоценозах с кулисным смешением пород.

Так, из пятирядной кулисы сосны при расстоянии между рядами от 1,3 до 1,5 м уже к 30 годам полностью выпадают два ряда, примыкающие к березовым, а оставшиеся сильно изреживаются. К 60-летнему возрасту из кулисы сосны остаются только центральные ряды (при расстоянии от них до рядов березы от 2,5 до 3,0 м) и идет дальнейший распад сосновых биогрупп. Несколько лучшая картина наблюдается при восьмирядных кулисах и аналогичных расстояниях между рядами. В 10-20-рядных кулисах сосны под влиянием березы находятся по два-три ряда с обеих ее сторон. Центральные же 8-14 рядов не испытывают угнетающего влияния березы. Береза в культурфитоценозах может располагаться не только в виде рядовой посадки. Ее семена, попадая в взрыхленную землю между рядами и борозд, образованных при посадке сосны, хорошо приживаются и в дальнейшем образуют компонент ценоза, составляющий росту сосны ощутимую конкуренцию.

Снижение темпов накопления диаметра сосной происходит неравномерно по возрастным периодам. Наиболее активно начало конкурирующего влияния березы сказывается на стадии смыкания полога, примерно в 13-15 лет.

Корреляционная связь прироста диаметра с размером ствола находится в пределах $R = 0,7-0,82$. На ее изменение значительное влияние оказывает изменчивость прироста. В смешанных с березой биогруппах наблюдается уменьшение амплитуды изменений замеренного прироста, что приводит к увеличению тесноты связи в зависимости его от диаметра. В чистых же по составу биогруппах прирост диаметра изменяется в больших пределах по грациям толщины деревьев, что влечет за собой снижение уровня коррелированности этих показателей. Это косвенно свидетельствует о более низком уровне конкурентных взаимоотношений между деревьями сосны, чем в смешанных биогруппах.

Аналитическая интерпретация прироста радиуса древесного ствола сосны (z) в возрасте 15-20 лет и диаметре березы (x) в пределах до 10-12 см в виде зависимости:

$$Z=1,808+0,902*x+4,346*y-0,026*x*x-0,27*x*y-0,127*y*y$$

показала, что при расстоянии (y) между деревьями 1-3 м наблюдается изменение прироста в пределах от 4 до 10 мм/5 лет.

У деревьев с большими диаметрами (и имеющими больший возраст - до 30 лет) он ни-

велируется до пределов 5-7 мм/5 лет.

Полученная величина множественного коэффициента корреляции взаимообусловленных изменений объемного прироста сосны и березы, ранга и возраста деревьев при различной доле участия пород в составе (от 10 до 90%) показала, что изменения ранга сосновых деревьев (y), объемного прироста в дм^3 (z) и возраста сосны (x) довольно тесно взаимосвязаны ($R = 0,68-0,70$) и отражаются аналитической зависимостью:

$$Z = 86,833 - 2,539 * x - 164,83 * y - 0,008 * x * x + 4,723 * x * y + 67,681 * y * y$$

Возрастные особенности деревьев слабее обуславливают изменчивость прироста деревьев ($R = 0,27-0,38$ при уровне значимости 0,05). Возможно, это связано с накопленной ошибкой многоступенчатых вычислений показателя объемного прироста. Аналитическая зависимость выражается в виде:

$$Z = -1,989 - 0,301 * x + 1,989 * y + 0,0001 * x * x + 0,012 * x * y - 0,0211 * y * y,$$

где z – объемный прирост сосновых деревьев, дм^3 ;

X – доля сосны в составе, %;

Y – возраст сосны, лет.

Заключение

Полученные данные показывают, что при густоте сосновых культур обеспечивающей расстояние между деревьями в пределах от 1 до 2 м наблюдается значительная дифференциация прироста (от 2 до 15 мм/5 лет).

Уменьшение густоты роста, способствующее увеличению расстояния между деревьями до 3-4 м, равно как и увеличение диаметра стволов (связанное с увеличением их возраста) нивелирует размер накопления древесины до величины 4-6 мм/5 лет.

Наиболее интенсивное влияние на прирост радиуса ствола (снижение на 45-50%) оказывают деревья березы с диаметром от 15 до 20 см при расстоянии от стволов сосны от 2,5 и менее метров. Деревья березы, по размеру меньшие на половину, снижают накопленные диаметра сосной в такой же степени уже на расстоянии от 1,5 и менее метров.

Для расчетов объемного прироста наиболее употребителен такой показатель, как отношение прироста по объему к приросту по диаметру. Его изменение оказалось тесно связанным с диаметром ствола на высоте 1,3 м и его возрастом ($R^2 = 0,79-0,86$) для насаждений с различной степенью участия сосны и березы и уровня производительности.

Повышение ранга дерева (от 1,3 до 1,5) как сосны, так и березы в возрасте от 20 до 50 лет увеличивает объемный прирост стволовой древесины до уровня 200 дм^3 .

Увеличение доли березы в составе в насаждении (от 60% до 90%) усиливает ее угнетающее влияние на прирост сосны, что заметно после 15-20 лет совместного произрастания.

Деревья сосны и березы высоких рангов ($> 1,2$) в возрасте от 30 до 50 лет имеют близкие пределы изменения объемного прироста (от 80 до 120 дм^3), что позволяет использовать его в качестве диагностирующего показателя уровня продуктивных возможностей почвенного потенциала.

Резюме. В статье описан прирост древесины в сосново-березовых насаждениях.

Abstract. The paper describes the accretion of trunk wood in coniferous - birch stands.

Временные и пространственные изменения планктона трансграничной реки Ипуть

И. Ф. РАССАШКО, В. И. РАЗЛУЦКИЙ

«Среди лугов и отмелей белёых
Течёт река радимичей»...
(Ю. Фатнев)

Введение

При создании особо охраняемых природных территорий возрастает роль международного сотрудничества, основанного на применении принципов Европейской экологической сети и Всемирной сети биосферных заповедников. В настоящее время разрабатывается программа действий по созданию трансграничных экологических коридоров вдоль белорусско-российской границы. С этих позиций перспективным является создание трансграничного заказника на базе природного комплекса в долине р. Ипуть. Есть основания рассматривать эту территорию как охраняемое водно-болотное угодье.

На водных объектах, подвергающихся антропогенному воздействию, при оценке качества воды по гидрохимическим, бактериологическим данным осуществляется изучение биологических показателей, включая биоразнообразие, количественные характеристики, структуру водных сообществ. Очевидные изменения в их видовом составе, других показателях быстро происходят в случае сбросов, содержащих загрязняющие вещества, или при других выраженных воздействиях. Видовой состав гидробионтов, структура сообществ служат итовыми характеристиками состояния водных экосистем за некоторый промежуток времени. За последние годы нами выполнен ряд исследований, цель которых состояла в изучении качества воды, степени разнообразия, структуры планктона разных участков р. Ипуть. В настоящее сообщение включен обобщенный материал по их результатам, они могут представлять интерес при дальнейших исследованиях в пойме Ипути.

Объект и методы исследования

Сбор гидробиологических и гидрохимических проб проводили в мае-сентябре 2005 г. в районе п. Приозерный (ниже г. Добруш) и в летнее время 2007-2008 гг. на трёх створах реки, протекающей в г. Добруш. Первый створ расположен возле городского пляжа, третий – находится в районе целлюлозно-бумажной фабрики «Герой труда», второй – между двумя указанными створами. Для определения гидрохимических и гидробиологических показателей использовались общепринятые методики. При взятии сетных количественных проб через планктонную сеть проливали 100 л воды, также брали осадочные пробы объемом 1 л и качественные пробы путем многократного протягивания планктонной сетки. Обработку проб делали под микроскопом, с использованием определителей по соответствующим группам.

Результаты и их обсуждение

Река Ипуть протекает по Смоленской, Брянской областям Российской Федерации, по Могилевской области, по Добрушскому и Гомельскому районам Гомельской области, является самым большим как по величине, так и по водности, левым притоком Сожа (он, в свою очередь, принадлежит к крупным притокам Днепра). Река используется как водоприемник осушительной сети, используется для промышленного и бытового водоснабжения (г. Добруш), для местного лесосплава и рыболовства. Среднегодовой расход воды в устье – 55,6 м³/с. Вода в реке относится к гидрокарбонатно-кальциевому классу; цветность равна 6-70⁰; активная реакция среды – 6,0-8,2; содержание кислорода – 8,0-11,5 мг/дм³ (61-91% насыщения) [1]. Вода реки выше г. Добруш (Состояние природной среды Беларуси: Экологический бюллетень 2004

г.[2]), например, в 2003 г. была отнесена к умеренно загрязнённой категории (ИЗВ=1,2). В 2005 г. по нашим данным [3] показатели гидрохимического режима р. Ипуть ниже г. Добруш (п. Приозёрный) были следующие: величины в годовом (весной и летом) аспекте варьировали незначительно – 7,52-7,82, соответствуя норме, осенью увеличивались до 8,18. Кислородный режим в реке в целом был благоприятным. Величины БПК₅ (1,65-3,70 мг О₂/дм³) от весны к середине и концу лета постепенно уменьшались, при этом весной оказывались близки к предельно допустимым, принятым в странах Днепровского бассейна, тогда как в июле, августе, сентябре соответствовали чистым условиям, нормам стран ЕС, РБ.

В результате изучения планктонных сообществ установлено, что фитопланктон р. Ипуть включает 39 видов и внутривидовых таксонов, в том числе синезеленых водорослей – 2, криптофитовых – 2, диатомовых – 22, зеленых – 13 (вольвоксовых – 1, хлорококковых – 12), при этом на створе 1 – 22, створе 2 – 8, створе 3 – 29 таксонов. На трех створах реки общими видами являются только 2 – *Melosira granulata* (Ehr.) Ralfs. из диатомовых и *Dictyosphaerium pulchellum* Wood из зеленых, хлорококковых водорослей. На двух других створах (1 и 3) их насчитывается 12, в том числе *Pediastrum duplex* Meyen, *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb., *Coelastrum sphaericum* Nag., *Amphora ovalis* (Kutz.) Kutz., *Melosira varians* Ag.

Зоопланктон Ипути в районе п. Приозерный (таблица) в 2005 г. включал 22 (3) вида и вариетета (в скобках здесь и ниже указано количество представителей, которые определены до рода и отряда). Количество видов и вариететов коловраток составляет 15 (2), кладоцер – 5, копепод 2 (1). По сравнению с другим притоком реки Сож – Беседью, количество видов и вариететов зоопланктона в Ипути сокращается почти в два раза, но оно больше в 1,5 раза по сравнению с таковым еще одного притока Сожа – р. Уза. Удельный вклад каждой из групп зоопланктона равен 68,0 % – коловратки, 20,0 % – кладоцеры и 12,0 % – копеподы. В Ипути обнаружено небольшое число видов, которые встречаются в других реках региона. В сезонном аспекте полученный материал показывает, что весной и летом зоопланктон реки был беден, но осенью его разнообразие и количественные характеристики оказались довольно значительными. В этот период доминирующими видами в зоопланктоне Ипути являлись коловратки *E. dilatata* как, например, в Беседи, и *Br. quadridentatus*. Что касается плотности и биомассы, то весной они равны 0,050 тыс. экз./м³ и 0,55 мг/м³, а осенью плотность увеличивается до 3,90 тыс. экз./м³, биомасса – до 21,20 мг/м³. В формировании плотности зоопланктона реки ведущая роль принадлежит весной копеподам, осенью – коловраткам. В формировании биомассы зоопланктона основную роль весной играют кладоцеры, осенью – копеподы.

В зоопланктоне реки в 2007-2008 гг. обнаружено 39 (2) видов и вариететов, из них коловраток – 11(2), кладоцер – 21, копепод – 7 (1), что составляет 31,7 %, 51,2 %, 17,1 % соответственно. Видовой состав сообщества на отдельных створах включает в 2007 г. от 3 (створ 3) до 9(2) -11(2) (створы 1 и 2), в 2008 г. – от 12 (створ 2) до 16 (створ 3) и 23 (створ 1) таксонов. На всем исследуемом участке в 2008 г. наибольшее количество видов относится к кладоцерам, их удельный вклад в разнообразие зоопланктона реки на каждом из створов равен 65,2 %, 75,0 %, 68,8 %. В 2007 г. на трех створах встречаются науплиальные и копеподитные стадии веслоногих ракообразных, на двух створах – общих видов 3: *Ac.harpaе*, *Ch. sphaericus*, *D. rostrata*. По данным, полученным в 2008 г., общих видов для трёх створов насчитывается 8. Им являются *Ac.harpaе*, *Ch. sphaericus*, *Sc. mucronata*, *B. longirostris*, *Sd. crystallina*, *Sm. vetulus*, *Eu. macruroides*, *Eu. macrurus*. На двух из исследуемых створов обнаружено по 4 общих вида, в том числе *Il. sordidus* и *M. dispar*, которые в водоёмах и водотоках региона встречаются редко.

Плотность отдельных видов зоопланктона варьирует: на створе 1 от 0,01 до 0,03 тыс. экз./м³, на створе 2 – 0,01-0,21, на створе 3 – 0,01-0,06 тыс. экз./м³. Общая плотность зоопланктона составляет 0,35 тыс. экз./м³, в том числе: коловраток – 0,03, кладоцер – 0,22, копепод – 0,10 тыс. экз./м³. Как и по видовому составу, в реке Ипуть наибольшее развитие имеют кладоцеры. Их вклад в формирование плотности всего сообщества равен 62,9 %, тогда как копепод – 28,6%, коловраток – 8,6%.

Таблица – Видовой состав зоопланктона реки Ипуть в районе г. Добруш

Виды-	2005	2007 г.	2008 г.
-------	------	---------	---------

Виды и варианты	индикаторы	г.	Створ 1	Створ 2	Створ 3	Створ 1	Створ 2	Створ 3
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Rotifera:								
<i>Asplanchna priodonta</i> (Gosse, 1850)	о-β	+				+		
<i>Ascomarpha ecaudis</i> (Perty, 1850)	о	+						
<i>Brachionus calyciflorus calyciflorus</i> (Pallas, 1776)	β-α	+						
<i>Br. quadridentatus brevispinus</i> (Ehrenberg, 1883)	β	+						
<i>Br. q. zernovi</i> (Voronkov, 1907)	β	+						
<i>Cephalodella</i> (Bory de St. Vincent, 1826) <i>sp.</i>		+						
<i>Cephalodella gibba</i> (Ehrenberg, 1832)	о							+
<i>Cephalodella forficata</i> (Ehrenberg, 1832)?	о-β					+		
<i>Conochilus unicornis</i> (Rousselet, 1892)	о	+				+		
<i>Epiphanes</i> (Ehrenberg, 1832) <i>sp.</i>		+						
<i>Euchlanis dilatata</i> Ehrenberg, 1832)	о-β	+		+				+
<i>Filinia longiseta longiseta</i> (Ehrenberg, 1834)	β	+						
<i>Hexarthra mira</i> (Hudson, 1871)	β			+				
<i>Keratella cochlearis cochlearis</i> (Gosse, 1851)	β-о	+						
<i>K. c. tecta</i> (Gosse, 1851)		+						
<i>K. quadrata</i> (Muller, 1786)	о-β		+					
<i>Lecane</i> (Monostyla) <i>vulla vulla</i> (Gosse, 1832)	о		+					
<i>L. (s.str.) luna luna</i> (Muller, 1776)	о-β	+						
<i>Mytilina</i> (Vincent, 1826) <i>sp.</i>				+				

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

<i>Polyartra dolicho- ptera</i> (Idel- son,1925)	o	+	+					
<i>Polyartra</i> (Ehrenberg, 1834) <i>sp.</i>				+				
<i>Synchaeta</i> (Ehrenberg, 1832) <i>sp.</i>		+	+					
<i>S. pectinata</i> (Ehren- berg,1832)	β -o	+		+				
<i>S. tremula</i> (Mul- ler,1786)			+					
<i>Testudinella patina</i> <i>patina</i> (Hermann,1783)	β	+						
<i>Trichocerca</i> (Lamarck,1801) <i>sp.</i>			+					
<i>Tr. iernis</i> (Gosse,1887)	o- β			+				
<i>Trichotria pocillum</i> <i>pocillum</i> (Muller,1776)	o	+						
<i>Bdelloidea fam.sp.</i>		+	+					
Cladocera: <i>Acroperus harpae</i> (Baird, 1834)	o- β		+		+	+	+	+
<i>Alona guttata</i> (Sars,1862)	o- β	+						+
<i>Al.rectangula</i> (Sars,1862)			+			+		
<i>Bosmina crassicornis</i> (Muller,1785)	o- β		+					
<i>B. longi- rostris</i> (Muller,1785)	o- β	+		+		+	+	+
<i>Ceriodaphnia me- gops</i> (Sars,1862)	o					+		
<i>Cr. reticulata</i> (Jur- ine,1820)	β			+		+		+
<i>Cr. quadrangula</i> (Muller,1785)	o						+	
<i>Chydorus sphaericus</i> (Muller,1785)	β	+	+	+		+	+	+
<i>Diaphanosoma</i> <i>brachyurum</i> (Lievin,1848)	o					+		
<i>Disparalona</i> <i>rostrata</i> (Koch,1841)			+		+	+		+
<i>Graptoleberis testudi- naria</i> (Fischer,1851)	o- β	+					+	

Окончание таблицы

1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Eurycercus lamellatus</i> (Muller, 1785)	o					+		
<i>Ilyocryptus sordidus</i> (Lievin, 1848)	β			+				+
<i>Monospilus dispar</i> (Sars, 1862)								+
<i>Pleuroxus trigonellus</i> <i>trigone-</i> <i>lus</i> (Muller, 1785)	β					+	+	
<i>Pl. truncatus truncatus</i> (Muller, 1785)		+				+		
<i>Scapholeberis mucronata</i> (Muller, 1785)	β		+			+	+	+
<i>Sida crystallina</i> (Muller, 1776)	o					+	+	+
<i>Simocephalus vetulus</i> (Muller, 1776)	o-β					+	+	+
<i>Streblocerus serricaudatus</i> (Fischer, 1849)	o					+		
Copepoda: <i>Acanthocyclops vernalis vernalis</i> (Fisseher, 1853)	β			+		+		
<i>Cyclops</i> (Muller, 1776) <i>sp.</i>				+	+	+	+	+
<i>Eudiaptomus</i> (Kiefer, 1932) <i>sp.</i>		+						
<i>Eucyclops macruroides</i> (Lilljeborg, 1901)	o					+	+	+
<i>E. macrurus</i> (Sars, 1863)	o-β	+				+	+	+
<i>Mesocyclops leuckarti</i> Claus, 1857)	o		+			+		
<i>Paracyclops fimbriatus</i> (Fischer, 1853)	o							+
<i>Thermocyclops crassus</i> (Fischer, 1853)		+			+			
<i>Th. oithonoides</i> (Sars, 1863)	o					+	+	
Копеподиты		+	+	+	+	+	+	+
Науплиусы		+	+	+	+	+	+	+

Всего в реке Ипуть за период исследований (2005, 2007-2008 гг.) обнаружено 50 (4) видов и вариететов зоопланктона, включая 22 (3) – из коловраток, 21 – из кладоцер, 7 (1) – из

копепод (таблица). Таксономическая структура сообщества по суммарным данным за три года характеризуется преобладанием коловраток – 46,3%, второе место по видовому разнообразию занимают ветвистоусые ракообразные – 38,9 %, удельный вклад веслоногих ракообразных равен 14,8 % (рисунок). На протяжении трех лет в Ипути отмечены *B. longirostris*, *Ch.sphaericus*. В 2005 г. в реке обнаружены и продолжают затем в отдельные периоды встречаться несколько видов: *G. testudinaria*, *Pl. truncatus truncatus*, *Eu. macrurus*, *Th. crassus*.

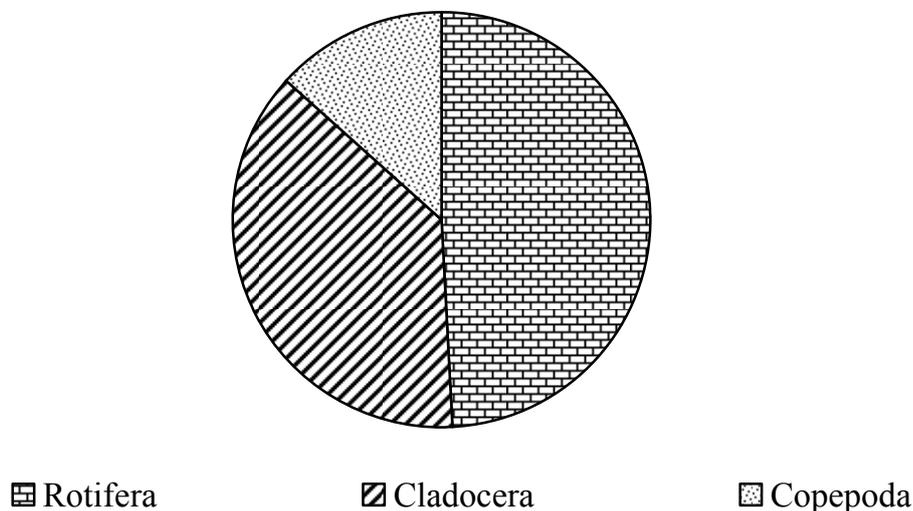


Рисунок – Таксономическая структура зоопланктона р. Ипуть

В планктоне Ипути обнаружено значительное количество видов-индикаторов. В зоопланктоне они составляют 86 % от общего числа видов, при этом преобладают индикаторы чистых и сравнительно чистых вод. Доля данных групп – олигосапробные и олиго – бета-мезосапробные индикаторы (их обозначения «0» и «β» даны в таблице) – составляет 72,1 % от общего числа таких видов. Доля индикаторов загрязненных условий равна 25,6 %.

Представляет интерес сопоставление данных, полученных в 2007 – 2008 гг. и ранее. В 2000-2001 гг. в Ипути [4] на границе с Россией важные показатели гидрохимического режима, в целом, соответствовали нормам и имели следующие значения: БПК₅ – 2,16-2,24, рН – 7,83-7,84, содержание кислорода – 7,88-9,20 мг/дм³, нитратного азота – 0,36-0,37 мг/дм³, фосфатов – 0,06-0,19 мг/дм³. Превышение ПДК загрязняющих веществ по азоту аммонийному, СПАВ, нефтепродуктам, марганцу, железу составляли 1,1, 2,0, 2,4, 3,8, 3,6 соответственно.

Сравнение таксономического состава зоопланктона реки в разные годы показывает, что если в 2005 г. в данном сообществе преобладали коловратки, то в 2007-2008 гг. – ветвистоусые ракообразные. В эти годы отмечены и разные доминирующие виды. По данным экспедиционных исследований качества поверхностных вод в бассейне Днепра, проведенным Колобаевым А.Н., Скрипниченко Л.Н., Тищиковым Г.М. [4], в 2000-2001 гг. в осенний и весенне-летний сезоны зоопланктон исследуемого участка реки Ипуть характеризовался низким видовым разнообразием (7-11 видов и форм), его плотность и биомасса были незначительными – 0,34-0,60 тыс. экз./м³, 0,38-2,36 мг/м³. Основу осеннего сообщества составляли единичные особи 6 видов коловраток, обусловившие 82,4 % численности и 58,0 % биомассы зоопланктона. Основу сообщества в весенне-летний период составляли науплиальные стадии циклопов (46,7 % общей численности), были единичные особи коловраток и ветвистоусых ракообразных. Авторы отмечают, что массовый вид зоопланктона *Synchaeta tremula* (29,4 % общей численности) является олигосапробом. Преобладание в сообществе зоопланктона реки в этот период сапробионтов с низкими индикаторными весами обусловило невысокие значения индекса сапробности – от 1,33 до 1,58.

Заключение

Фитопланктон р. Ипуть представлен видами, которые являются довольно характерными для рек региона. Количество видов зоопланктона, обнаруженных в Ипути в 2007-2008 гг., увеличилось по сравнению с 2005 г. и 2000-2001 гг., наблюдаются изменения в структуре сообщества. Плотность зоопланктона реки в настоящее время имеет величины, близкие с таковыми, установленными в 2000 – 2001 гг., но она отличается от плотности зоопланктона, приводимой для 2005 г., когда была отмечена ее большая вариабельность. Прослеживается тенденция к увеличению биомассы зоопланктона реки, ухудшению качества воды.

Резюме. В статье отражены данные по качеству воды, разнообразию, индексам степени развития планктонного сообщества реки Ипуть – притока реки Сож, которая протекает по Беларуси и России. Исследования проведены в мае-сентябре 2005 и летом 2007-2008 гг. представленные результаты были сопоставлены с ранее полученными и отражают характер многолетней динамики планктона реки Ипуть.

Abstract. Temporal and areal changes of plankton of the transboundary river Iput are considered in the paper. The findings about the quality of water, diversity, indexes of the degree of the plankton communities development of the river Sozh – river Iput which flow on the territories of Belarus and Russia are given. The present results are compared with the previous ones.

Литература

1. Калинин, М. Ю. Водные ресурсы Гомельской области / М.Ю. Калинин, А.А. Волчек. Мн.: Белсэнс, 2005. – 144 с.
2. Ежегодник состояния загрязнения окружающей среды на территории Республики Беларусь за 2004 год. – Мн.: Минсктиппроект, 2005. – 104 с.
3. Гидроэкологическое состояние рек бассейна Днепра (в пределах Гомельской области) / И.Ф. Рассашко, В.А. Собченко, Г.Г. Гончаренко [и др.].– Гомель: Гомельский гос. ун-т имени Ф.Скорины», 2008.- 124 с.
4. Колобаев, А.Н. Результаты специализированных экспедиционных исследований качества поверхностных вод в бассейне Днепра (в пределах Республики Беларусь). Программа экологического оздоровления бассейна реки Днепр / А.Н. Колобаев, Л.Н. Скрипниченко, Г.М. Тишиков. – Мн.: Белсэнс, 2004. – 80 с.

Связь мутантных генов окраса и заболеваемости в популяциях домашних кошек (*Felis catus*) г. Гомеля

С. А. Зяцьков, А. Н. Лысенко, Г. Г. Гончаренко

Введение

Домашняя кошка (*Felis catus*) является одним из молодых видов, относящихся к семейству Кошачьих (Felidae). Это семейство насчитывает 37 видов, которые произошли от общего предка 10,8 млн. лет назад [1, 2].

За весь период своего существования домашняя кошка играла существенную роль в истории человечества. Первоначально кошки помогали контролировать численность мышевидных грызунов, но впоследствии они расширили свою роль: в буддийских храмах в Японии стали использоваться для охраны от злых духов, на финикийских кораблях истребляли грызунов, а в древнем Египте считались священными животными [3].

К настоящему времени численность домашних кошек в мире значительно возросла и составляет более 400 млн., только в США их насчитывается более 88 млн. За последние два столетия селекционерам удалось вывести около 57 пород *Felis catus*, признанных крупнейшими обществами любителей домашних кошек (CFA и TICA) [4]. Такое большое разнообразие пород возникло благодаря искусственному отбору производимому человеком по группе генов ответственных за окраску меха, структуру волоса и морфологию [5].

Не так давно домашняя кошка стала использоваться как модельный объект для генетического анализа [6-9]. Полученные молекулярно-генетические данные выявили, что среди млекопитающих наиболее близким геномом к приматам и человеку обладают кошки [3, 10, 11].

Ученые идентифицировали у домашних кошек более 250 наследственных заболеваний [12], многие из которых аналогичны таковым у человека [13-15]. Поэтому исследование болезней кошек дает возможность изучения и диагностики болезней человека в лабораторных условиях.

Целью настоящей работы было выявить основные заболевания встречаемые у домашних кошек г. Гомеля, оценить связь наследственных заболеваний *Felis catus* с генами, отвечающими за окраску и структуру шерсти, а также провести сравнительный анализ генетической структуры по семи генам окраса и структуры меха у здоровых и больных особей *F. catus*.

Материалы и методы исследования

Для популяционно-генетического анализа были взяты 2 выборки домашних кошек г. Гомеля. В первую выборку входили здоровые особи г. Гомеля (680 особей). Во вторую – больные особи, поступившие в учреждение «Гомельская городская ветеринарная станция» - ГГВС (145 особей). Всего в г. Гомеле было проанализировано 825 взрослых животных *Felis catus*.

В каждой из исследованных выборок домашних кошек были изучены частоты встречаемости мутантных аллелей сцепленного с полом локуса Orange – доминантный аллель **O**, а также шести аутомомных локусов (Agouti – рецессивный аллель **a**, Dilute – рецессивный аллель **d**, Long hair – рецессивный аллель **l**, Piebald spotting – доминантный аллель **S**, White – доминантный аллель **W**, Tabby – рецессивный аллель **t^b**). Все мутантные аллели, за исключением аллеля **l**, влияют на окраску шерстного покрова и характер его распределения. Аллель **l** в гомозиготе определяет длинную шерсть. Фенотипическое проявление аллелей и их взаимодействие подробно описаны нами ранее [16, 17] и имеются в других работах [18, 19].

Частоты рецессивных аллелей (q) определялись путем извлечения квадратичного корня из частот соответствующих мутантных фенотипов, а доминантных (p) – из соотношения:

$p = 1 - q$. Ошибки частот для рецессивных и доминантных аллелей подсчитывались по следующим формулам: $\sqrt{\frac{1-q^2}{4n}}$ и $\sqrt{\frac{p(2-p)}{4n}}$, где n – общее число исследованных животных, определенное для каждого локуса с учетом того, что аллель **W** эпистатичен относительно всех аллелей, аллель **O** – относительно аллеля **a**. Кроме того, аллель **a**, находясь в гомозиготе, подавляет проявление аллелей **T** и **t^b**.

Частоту аллеля **O** определяли из соотношения: $q = \frac{2a+b}{2n}$, где a – фактически наблюдаемое число животных с генотипом **O/?** (оранжевые), b – фактически наблюдаемое число животных с генотипом **O/o** (черепаховые) и n – общее число исследованных по данному локусу животных ($n = a + b + c$, где c – число неоранжевых животных с генотипом **o/?**). Ожидаемые значения a , b , c были получены соответственно из соотношений:

$$\frac{1}{2}qn(1+q); \quad qn(1-q) \quad \frac{1}{2}n(2-q)(1-q).$$

Ошибка (q **O**) вычислялась по формуле: $\sqrt{\frac{q(2-3q)}{(3-4q)n}}$.

Доля самцов (m) определялась из соотношения $m = (4ac - b) / (2a + b)(b + 2c)$. Для получения ожидаемого соотношения фенотипов локуса удовлетворяющего равенству $m = 0.5$, ожидаемое число оранжевых животных принималось равным наблюдаемому; ожидаемое число черепаховых животных вычислялось из соотношения: $b = n(8a + n) - (2a + n)$; ожидаемое число неоранжевых – из соотношения $c = n - (a + b)$ [20-22].

Идентификация заболеваний проводилась по стандартным методикам под контролем специалистов из Гомельской городской ветеринарной станции.

Статистическую обработку полученных результатов выполняли с помощью специализированного пакета анализа данных *Microsoft Excel* и программы *Statistica 6.0*.

Результаты и обсуждение

В ходе проведенной работы по исследованию заболеваемости особей *Felis catus* в г. Гомеле нами было отмечено 27 различных заболеваний. Из них 8 оказались наследственными, среди которых 6 имели моногенный характер наследования (грыжа, непроходимость кишечника, врожденные порок развития конечностей, врожденная болезнь почек, мукополисахаридоз, гемофилия) и 2 – полигенный (мочекаменная болезнь, опухоли различного генеза).

Перечень встреченных заболеваний и количество больных особей по каждому из них у домашних кошек *Felis catus* г. Гомеля приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Встречаемость заболеваний у домашних кошек *Felis catus* г. Гомеля

	Болезни	Число больных особей
1.	демодекоз	14
2.	стоматит	14
3.	зубной камень	4
4.	вирусная инфекция	2
5.	мочекаменная болезнь	12
6.	воспаление глаз	8
7.	бронхит	9
8.	Отит	10
9.	цистит	6
10.	кальцивироз	1

Окончание таблицы 1

11.	дерматит	17
12.	экзема	5
13.	хронич.недостаток кальция	2
14.	грыжа	6
15.	непроходимость кишечника	2
16.	гастрит	4
17.	аллергия	3
18.	гепатит	2
19.	опухоли	19
20.	врожд. болезнь почек	1
21.	врожд. порок развития конечностей	1
22.	иммунодефицит	1
23.	остеопороз	2
24.	алопеция	3
25.	ЖДА	1
26.	гемофилия	1
27.	мукополисахаридоз	1
Всего		151

Из таблицы 1 видно, что из 27 наблюдаемых заболеваний наиболее часто (от 8 до 19) встречались: опухоли различного генеза, дерматит, демодекоз, стоматит, мочекаменная болезнь, отит, бронхит, воспаление глаз. Из них наследственными оказались только два заболевания (опухоли различного генеза и мочекаменная болезнь). 12 заболеваний следует отнести к редким, поскольку они встречались 1 - 2 раза, причем наследственными из них было 5: непроходимость кишечника, врожденные порок развития конечностей, врожденная болезнь почек, мукополисахаридоз, гемофилия. Следует отметить, что у некоторых кошек было встречено одновременно несколько заболеваний, в связи с этим общее число отмеченных случаев в таблице 1 больше размера взятой выборки (145).

Для определения генетической структуры *Felis catus* в двух выборках г. Гомеля нами были рассчитаны частоты встречаемости мутантных аллелей по 7 генам окраса и структуры меха отдельно у здоровых и больных особей. Полученные данные по частотам встречаемости аллелей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Аллельные частоты по семи генам окраса и структуры меха для здоровых и больных особей *Felis catus* г. Гомеля.

Аллель	Соотношение фенотипов		Частота мутантного аллеля	
	здоровые	больные	здоровые	больные
a	278/588	76/103	0,688±0,015	0,859±0,025
d	95/666	35/136	0,378±0,018	0,507±0,037
l	135/686	57/145	0,444±0,017	0,627±0,032
O	165/666	48/136	0,183±0,013	0,298±0,037
S	302/666	60/136	0,327±0,014	0,336±0,03
W	20/686	9/145	0,015±0,003	0,032±0,01
t^b	5/320	-	0,125±0,028	-

Исходя из данных, представленных в таблице 2, следует отметить высокие частоты для мутантных аллелей **a**, **l** и **d** значения которых в исследуемых выборках варьировали от 38 до 86%. Мутантные аллели **S** и **O** характеризовались средним значением частот встречаемости, поскольку в исследованных популяциях имели величины от 18 до 34%. Мутантные аллели локусов **White** и **Tabby** встречались с низкой частотой.

Наглядное изображение результатов сравнительного анализа частот встречаемости мутантных аллелей среди здоровых и больных кошек г. Гомеля приведены в виде диаграммы на рисунке 1.

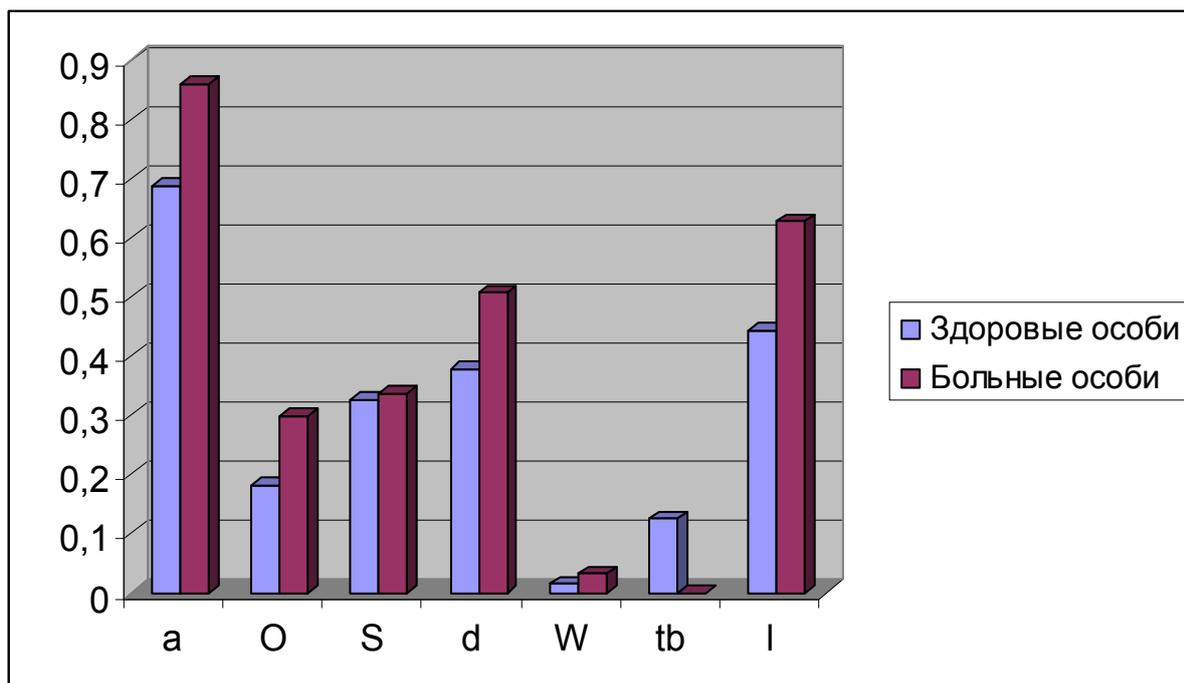


Рисунок 1 – Сравнительный анализ генетической структуры среди здоровых и больных особей домашних кошек г. Гомеля

Из рисунка хорошо видно, что среди больных особей *Felis catus* наблюдаются более высокие значения частот мутантных аллелей по 6 генам (Agouti, Dilute, Long hair, Orange, Piebald spotting, White). Отличия в аллельных частотах варьировали от 1% для аллеля S до 18% для I. Причем различия в аллельных частотах по 4 генам (Agouti, Orange, Dilute, Long hair,) оказались статистически высоко достоверными ($P_{st} > 0,999$).

Следует также отметить, что особей немутантного «дикого» окраса (генотип A-) среди здоровых кошек оказалось 31%, в то время как среди больных – только 14%. Столь высокое отличие по данному генотипу скорее всего неслучайно и может говорить о большей устойчивости «дикого» окраса кошек к различным болезням.

Таким образом, проведенный нами анализ выявил существенное отличие генетической структуры для здоровых и больных особей *Felis catus* г. Гомеля. Домашние кошки, несущие в своем генотипе мутантные аллели генов окраса и структуры меха, достоверно больше подвержены различным заболеваниям, чем особи с аллелями «дикого типа», это может объясняться тем, что мутация в гене затронула не только определенную цветовую вариацию шерсти, но и процессы развития, и регуляцию различных систем организма.

В ходе проведенных нами исследований был получен еще один интересный результат, касающийся связи мутантных по генам окраса генотипов и болезней кошек. Оказалось что среди спектра различных генотипов больных кошек только один – Oo (черепаховые кошки) достоверно предрасположен к развитию опухолей различного генеза, поскольку из 15 черепаховых опухоли были встречены у 10 (66,7%), тогда как во всей выборке из 145 кошек опухоли найдены только у 19 (13,1%).

Заключение

Таким образом, в результате проведенной работы было установлено, что из 27 заболеваний встреченных нами у домашних кошек г. Гомеля 8 являются наследственными (6 – моногенных и 2 – полигенных).

Выявлено, что особи *Felis catus*, мутантные по генам окраса и структуры меха достоверно, больше подвержены различным заболеваниям, чем особи с аллелями «дикого типа».

Установлена достоверная связь черепаховых окрасов (генотип **Oo**) *Felis catus* с предрасположенностью к образованию опухолей различного генеза.

Авторы статьи выражают глубокую признательность за оказанную помощь при проведении исследований сотрудникам учреждения «Гомельская городская ветеринарная станция».

Резюме. В результате проведенной работы было установлено, что из 27 заболеваний встреченных нами у домашних кошек г. Гомеля 8 являются наследственными (6 – моногенных и 2 – полигенных). Выявлено, что особи *Felis catus* мутантные по генам окраса и структуры меха достоверно больше подвержены различным заболеваниям, чем особи с аллелями «дикого типа». Установлена достоверная связь черепаховых окрасов (генотип **Oo**) *Felis catus* с предрасположенностью к образованию опухолей различного генеза.

Abstract. The connection between the mutant genes of colour and morbidity in the populations of domestic cats (*Felis catus*) is considered in the paper. It is established that 8 (6 - monogenic and 2 - polygenic) out of 27 diseases found in domestic cats are hereditary, and the cats with mutant genes of colour and fur structure are more subjected to the diseases.

Литература

1. Johnson, W.E. The late Miocene radiation of modern Felidae: a genetic assessment / W.E. Johnson, E. Eizirik, J. Pecon-Slattery, W.J. Murphy, A. Antunes, E. Teeling, S.J. O'Brien // *Science*, 2006. – V. 311. – P. 73–77.
2. Eizirik, E. Molecular genetics and evolution of melanism in the cat family / E. Eizirik, N. Yuhki, W.E. Johnson, M. Menotti-Raymond, S. Hannah, S.J. O'Brien, *Curr. Biol.*, 2003. – V. 13. – P. 1–20.
3. Menotti-Raymond, M. Second-Generation Integrated Genetic Linkage/Radiation Hybrid Maps of the Domestic Cat (*Felis catus*) / M. Menotti-Raymond, V.A. David, Z.Q. Chen, K.A. Menotti, S. Sun, A.A.S. Chaëffer, R. Agarwala, J.F. Tomlin, S. J. O'Brien, and W. J. Murphy // *Journal of Heredity*, 2003. – V. 94(1). P. – 95–106.
4. Menotti-Raymond, M. Patterns of molecular genetic variation among cat breeds / M. Menotti-Raymond, V.A. David, S.M. Pflueger, K. Lindblad-Toh, C.M. Wade, S.J. O'Brien, W.E. Johnson // *Genomics*, 2008. – V. 91. – P. 1–11.
5. Robinson, R. *Genetics for Cat Breeders* / R. Robinson. – London: Pergamon Press, 1977. – 202 p.
6. O'Brien, S.J.. Genetic mapping in mammals: chromosome map of domestic cat / S.J. O'Brien, W.G. Nash // *Science*, 1982. V. 216. – P.257–265.
7. O'Brien, S.J. Comparative gene mapping in the domestic cat (*Felis catus*) / S.J. O'Brien, S.J. Cevario, J.S. Martenson, M.A. Thompson, W.G. Nash, E. Chang, J.A. Graves, J.A. Spencer, K.W. Cho, H. Tsujimoto, L.A. Lyons // *J Hered*, 1997a. – V. 88. – P. 408–414.
8. O'Brien, S.J.. Comparative genomics: lessons from cats / S.J. O'Brien, J. Wienberg, L. A. Lyons // *Trends Genet*, 1997b. V. 13. – P. 393–399.
9. O'Brien, S.J. The Feline Genome Project / S.J. O'Brien, M. Menotti-Raymond, W.J. Murphy, N. Yuhki // *Annu Rev Genet*, 2002. – V. 36. – P. 657–686.
10. O'Brien, S.J. Genome maps 10. Comparative genomics. Mammalian radiations / S.J. O'Brien, J.F. Eisenberg, M. Miyamoto, S.B. Hedges, S. Kumar, D.E. Wilson, M. Menotti-Raymond, W.J. Murphy, W.G. Nash, L.A. Lyons, J.C. Menninger, R. Stanyon, J. Wienberg, N.G. Copeland, N.A. Jenkins, J. Gellin, M. Yerle, L. Andersson, J. Womack, T. Broad, J. Postlewait, O. Serov, E. Bailey, M.R. James, Marshall J.A. Graves. – *Science*, 1999a. – V. 286. – P.463–478.
11. O'Brien, S.J. The promise of comparative genomics in mammals / S.J. O'Brien, M. Menotti-Raymond, W.J. Murphy, W.G. Nash, J. Wienberg, R. Stanyon, N.G. Copeland, N.A. Jenkins, J.E. Womack, J.A. Marshall Graves. – *Science*, 1999b. – V. 286. – P.458–462, 479–481.

12. Nicholas, F.W. Mendelian inheritance in animals (MIA) / F.W. Nicholas, S.C. Brown, P.R.L. Tissier. – Sydney: Department of Animal Science, University of Sydney; Department of Animal Science, University of Sydney, 1998.
13. Fyfe, J.C. Glycogen storage disease Type IV: Inherited deficiency of branching enzyme activity in cats / J.C. Fyfe, U. Giger, T.J.V. Winkle, M.E. Haskins, S.A. Steinberg, P. Wang, D.F. Patterson // *Ped Res* 1992. – V. 32. – P. 719–725.
14. Gilbert, D.A. Chromosomal mapping of lysosomal enzyme structural genes in the domestic cat / D.A. Gilbert, J.S. O'Brien, and S.J. O'Brien. *Genomics*, 1988. – V. 2. – P. 329–336.
15. Jackson, C.E. Feline arylsulfatase B (ARSB): Isolation and expression of the cDNA, comparison with human ARSB and gene localization to feline chromosome A1 / C.E. Jackson, N. Yuhki, R.J. Desnick, M.E. Haskins, S.J. O'Brien, E.H. Schuchman // *Genomics*, 1992. – V. 14. – P. 403–411.
16. Гончаренко, Г.Г. Генетика. Анализ наследственных закономерностей на генах меха кошек *Felis catus* / Г.Г. Гончаренко, С.А. Зятков. – Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2007. – 108 с.
17. Зятков, С.А. Характер наследования и механизмы взаимодействия генов окраски меха у домашних кошек / С.А. Зятков // *Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины*, 2007. – № 6 (45). – С. 81–86.
18. Robinson, R. *Genetics for Cat Breeders* / R. Robinson. – London: Pergamon Press, 1977. – 202 p.
19. Бородин, П.М. Кошки и гены / П.М. Бородин. – Москва: Зоосалон, 1995. – 144 с.
20. Гончаренко, Г.Г. Мутантные гены окраски в популяциях домашних кошек Средней Азии и Европейской части СССР / Г.Г. Гончаренко, О.Е. Лопатин, Г.П. Манченко // *Генетика*. – 1985. – Т. XXI. – № 7. – С.1151–1158.
21. Манченко, Г.П. Новые данные о частотах мутантных генов окраски у домашних кошек СССР / Г.П. Манченко // *Генетика*, 1981. – Т.17. – №12. – С.2195.
22. Robinson, R. Cat gene frequencies in cities of the USSR / R. Robinson, G. P. Manchenko // *Genetica*, 1981. – V.55. – P.41.

УДК 631.41:546.81:546.48 (476)

Исследование ферментативной активности дерново-подзолистых почв

Н. И. Дроздова, В. Г. Свириденко, А. В. Хаданович, О. А. Панфиленко

Введение

Почвенные ферменты, являясь биологическими катализаторами, играют важную роль в преобразованиях органических веществ почвы, что оказывает влияние на экосистему в целом. Ферментативная активность служит одним из критериев биологической диагностики почв, используется при оценке плодородия почв и степени их окультуренности.

Из обнаруживаемых в природе 2000 ферментов в почве обладают активностью около 40, которые принадлежат к двум важнейшим классам: оксидоредуктазам и гидролазам [1]. С действием гидролаз связан переход высокомолекулярных органических веществ (белковых соединений, гумусовых кислот, целлюлозы и др.) в формы, доступные для растений и микроорганизмов. Гидролитические реакции играют важную роль в биохимических процессах формирования эффективного плодородия почв. Распад белковых веществ до полипептидов и аминокислот идет при участии протеаз. Инвертаза катализирует процессы превращения сахарозы, ее активность является характерным показателем биогенности почв. Амилазы действуют на высокомолекулярные полисахариды крахмал и гликоген [2]. Уреаза относится к группе ферментов амидогидролаз, катализирует гидролиз мочевины, попадающей в почву в составе растительных остатков, органических и азотных удобрений, а также образующейся в самой почве в качестве продукта превращения азотистых органических соединений.

Известно, что большинство микроэлементов ингибируют ферментативную активность, при этом степень ингибирования зависит от типа почвы и природы элементотоксиканта. Ингибирующее действие высоких концентраций соединений тяжелых металлов на ферментативную активность почв проявляется двояко: прямое, очевидно, заключается в образовании устойчивых хелатных комплексов за счет конкуренции с микроэлементами или нарушении уже существующих связей в молекулах биоорганических соединений, что может служить причиной инактивации ферментных систем; косвенное влияние ионов металлов заключается в нарушении процессов не связанных непосредственно с данными ферментами, но ведущими, в конечном счете, к инактивации [3]. Так как активность ферментов зависит от их третичной структуры, то любое взаимодействие, нарушающее эту структуру, либо подавляет, либо полностью инактивирует фермент.

В настоящее время исследования по влиянию различных доз тяжелых металлов на активность почвенных ферментов представляются актуальными, так как открывают перспективы использования ферментативной активности как критерия загрязненности почвы.

Тяжелые металлы, попадающие в виде различных соединений в почву как основную депонирующую среду наземных экосистем, вызывают различные нарушения в структуре комплекса почвенных микроорганизмов, что выражается в изменении ферментативной активности почв. В литературе описаны различные биологические методы индикации загрязнения почв тяжелыми металлами. Среди них метод, основанный на определении ферментативной активности, считается наиболее перспективным, так как активность ферментов является сравнительно более устойчивым и чувствительным показателем биогенности почв, чем микробиологические показатели.

К числу природных факторов, влияющих на ферментативную активность почвы, относят тип почвы, ее культурное состояние, гранулометрический состав, содержание гумуса, кислотность, влажность, температуру, и т.д., а к числу антропогенных факторов – виды, сочетания и концентрации тяжелых металлов и агрохимический фон, обусловленный внесением в почву минеральных и органических удобрений, химических соединений.

Вследствие физических и химических различий между почвами концентрация ионов металлов, приводящая к ингибированию ферментов, варьирует в зависимости от типа почвы. Различия между почвами определяются также разнообразием растительности, микроорганизмов и почвенной фауны, которые служат источниками ферментов, протекторными взаимодействиями внутри самой почвенной матрицы [4].

Целью настоящей работы явилось изучение влияния агрохимического фона и высоких концентраций нитратов кадмия и свинца на ферментативную активность дерново-подзолистых почв Гомельского района.

Объект и методы исследования

Объектом исследования служили образцы дерново-подзолистой песчаной, супесчаной, суглинистой почв Гомельского района.

Отбор проб проводился по стандартным методикам [5, 6]. Для закладки пробных площадок выделяли наиболее часто встречающиеся в напочвенном покрове растительные группировки. Пробные площадки закладывали размером 1х1м. Для исследования пробы отбирали на глубине 0-15 см почвенным буром после удаления дернины. При этом на каждой пробной площадке делали пять уколов пробоотборником. Из пяти проб составляли среднюю, из которой тщательно удаляли корни растений.

В отобранных и подготовленных к анализу почвенных образцах потенциометрически определяли рН водной и солевой вытяжки, содержание общего углерода и гумуса по методу Тюрина, подвижного фосфора. Определение активности инвертазы, амилазы, протеазы и уреазы проводили фотоколориметрически по описанным в литературе методикам [7].

Заражение ионами тяжелых металлов (Pb^{2+} , Cd^{2+}) отобранных образцов почвы проводили с использованием нитратов свинца и кадмия. Массы нитратов металлов, вносимых с раствором в пересчете на 5 г почвы составляли: для ионов Pb^{2+} при дозе в 1 ПДК – 0,26 мг, при 5 ПДК – 1,28 мг, при 10 ПДК – 2,56 мг; для ионов Cd^{2+} при 1 ПДК – 0,032 мг, при 5 ПДК – 0,16 мг, при 10 ПДК – 0,32 мг.

К навеске почвы массой 5 г приливали 100 мл соответствующего раствора нитрата кадмия или свинца. После энергичного встряхивания оставляли для взаимодействия твердой фазы с раствором в течение суток. За указанное время достигается максимальное поглощение ионов металлов из растворов, что подтверждают проведенные ранее кинетические исследования процессов сорбции [8]. Фильтрованием отделяли осадок с последующим определением активности почвенных ферментов. Параллельно закладывали холостой опыт. Все этапы эксперимента выполняли в трехкратной повторности.

Результаты и их обсуждение

Для каждого вида ферментативной активности в почве характерен определенный оптимум рН. Исследования влияния кислотности на некоторые виды ферментативной активности в дерново-подзолистых почвах показали, что оптимальные значения рН для уреаз, протеаз находятся в диапазоне 6,3-7,2 и 7,0-7,6, соответственно; для инвертазной активности – в диапазоне от 4,2-4,9, амилазной – 5,6-6,0 [3]. Даже незначительные изменения кислотности почвы могут стать причиной уменьшения активности ферментов в результате обратимых процессов ионизации или деионизации кислых и основных групп в активном центре фермента. При более значительных изменениях реакции среды почвы происходит необратимая денатурация ферментов.

В таблице 1 представлены некоторые агрохимические показатели исследуемых дерново-подзолистых почв.

Таблица 1 – Агрохимические показатели исследуемых дерново-подзолистых почв

Тип почвы	рН (H ₂ O)	рН (KCl)	Гумус, %	P ₂ O ₅ , мг/100г почвы
Дерново-подзолистая суглинистая	7,4	7,1	5,53 ± 0,31	0,040 ± 0,007
Дерново-подзолистая супесчаная	7,2	7,0	3,80 ± 0,65	0,660 ± 0,018
Дерново-подзолистая песчаная	7,5	7,2	1,73 ± 0,19	0,160 ± 0,022

В анализируемых почвенных образцах значение рН находилось в пределах 7,0-7,2, что по свидетельству литературных данных соответствует рН оптимуму для уреазной и протеазной активности почв. Активность инвертазы и амилазы в данных условиях, по-видимому, несколько снижается.

Результаты анализа показывают, что при сходном диапазоне значений рН почвенных растворов, большей ферментативной активностью обладают дерново-подзолистые суглинистые почвы (таблица 2).

Таблица 2 – Ферментативная активность дерново-подзолистых почв

Тип почвы	Активность ферментов (мг/10 г почвы за 24 часа)			
	уреаза	протеаза	инвертаза*	амилаза
суглинистая	0,38 ± 0,06	4,90 ± 0,61	4,76 ± 0,31	6,44 ± 0,48
супесчаная	0,19 ± 0,04	2,20 ± 0,35	5,56 ± 0,38	4,51 ± 0,41
песчаная	0,25 ± 0,03	4,22 ± 0,55	3,91 ± 0,34	3,52 ± 0,17

Примечание: * – единицы активности инвертазы – мг/100 г почвы за 24 часа

В работе изучено влияние некоторых агрохимических показателей (рН, содержание гумуса, подвижного фосфора) на ферментативную активность почв (таблица 3). По результатам корреляционного анализа установлен характер влияния кислотности почвенного раствора на активность ферментов уреазы, амилазы, протеазы, инвертазы. Рассчитанные коэффициенты корреляции в случае уреазы и протеазы указывают на прямую положительную зависимость (г соответственно составлял 0,28 и 0,54), для инвертазы и амилазы – на обратную зависимость между указанными величинами в исследуемом диапазоне рН 7,0-7,2. Активность ферментов возрастала по мере увеличения степени гумусированности почв. Корреляционные коэффициенты в этом случае составляли от 0,24 до 0,98. Особо тесная связь выявлена для ферментов уреазы и амилазы, слабая зависимость – для протеазы и инвертазы. Концентрация подвижных фосфатов снижает активность уреазы, протеазы и амилазы, на что указывают отрицательные значения коэффициентов корреляции.

Таблица 3 – Корреляционные связи ферментативной активности почв с некоторыми агрохимическими свойствами

Показатели	уреаза	протеаза	инвертаза	амилаза
рН (H ₂ O)	0,39	0,75	-0,99	-0,39
рН (KCl)	0,28	0,54	-0,69	-0,16
Гумус, %	0,63	0,24	0,49	0,98
P ₂ O ₅	-0,87	-0,99	0,77	-0,36

Для изучения влияния высоких концентраций ионов кадмия и свинца при моноэлементном загрязнении исследовалась ферментативная активность дерново-подзолистых суглинистых почв разной степени окультуренности. Пашня представляла собой поле, засеянное клевером мясокрасным (*Trifolium incarnatum*). Луг – пастбищно-сенокосный с доминированием злаковых культур: мятлик луговой (*Poa pratensis*), осока вздутая (*Carex inflata*), пырей ползучий (*Elytrigia reptans*), тимофеевка луговая (*Phleum pratense*).

Как показали результаты исследования, активность всех изучаемых ферментов выше в луговых почвах, как в случае контрольного варианта (за контроль принимали почвы с естественным содержанием элементов), так и после заражения образцов ионами свинца и кадмия (таблицы 4-5). Это может быть, отчасти, объяснено большей стабильностью луговой экосистемы и меньшим антропогенным воздействием на нее. В контрольных образцах активность инвертазы находилась в пределах от 5,23 до 10,94 мг/100 г почвы за 24 часа, амилазы – от

5,98 до 8,54; протеазы – от 2,75 до 4,45; уреазы – от 0,29 до 0,72 мг/10 г почвы за 24 часа, соответственно, для окультуренной и слабоокультуренной почв.

Экспериментально установлено, что внесение ионов свинца в количестве от 32 до 320 мг/кг почвы, что соответствует 1-10 предельно-допустимым концентрациям элемента, вызывает снижение инвертазной, амилазной, протеазной и уреазной активности на 7-72%, 5-64%, 18-76%, 39-86%, соответственно (таблица 4).

Таблица 4 – Изменение активности почвенных ферментов в зависимости от вносимой дозы нитрата свинца

Дерново-подзолистая суглинистая почва	Фермент	Активность ферментов (мг/10 г почвы за 24 часа) при внесении соответствующих концентраций свинца			
		Контроль	1 ПДК	5 ПДК	10 ПДК
Окультуренная (пашня)	Инвертаза*	5,38 ± 0,83	5,02 ± 0,61	3,35 ± 0,44	1,52 ± 0,32
	Амилаза	6,32 ± 0,82	6,02 ± 0,71	4,01 ± 0,24	2,30 ± 0,43
	Протеаза	2,74 ± 0,31	2,25 ± 0,64	1,02 ± 0,02	0,67 ± 0,05
	Уреаза	0,28 ± 0,04	0,17 ± 0,04	0,08 ± 0,01	0,04 ± 0,01
Слабоокультуренная (луг)	Инвертаза*	10,93 ± 0,35	10,54 ± 0,34	7,98 ± 0,43	4,85 ± 0,42
	Амилаза	8,52 ± 0,83	8,24 ± 0,74	6,35 ± 0,83	4,15 ± 0,42
	Протеаза	4,32 ± 0,43	4,03 ± 0,43	2,36 ± 0,63	1,55 ± 0,31
	Уреаза	0,69 ± 0,09	0,42 ± 0,07	0,25 ± 0,03	0,12 ± 0,01

Примечание: * – единицы активности инвертазы – мг/100 г почвы за 24 часа

При внесении в дерново-подзолистую суглинистую почву 32 мг/кг свинца (1 ПДК) активность инвертазы, амилазы, протеазы изменялась незначительно по сравнению с контролем. Достоверное уменьшение активности в данных условиях отмечали только для фермента уреазы, что подтверждено результатами однофакторного дисперсионного анализа. Уреазная активность снижалась в 1,6 раза для слабоокультуренной луговой почвы и в 1,8 раза – для образцов окультуренной.

Концентрация ионов свинца, соответствующая 5 и 10 ПДК, оказывала достоверное ингибирующее действие на все рассматриваемые ферменты, что подтвердили результаты дисперсионного анализа. В ходе эксперимента отмечено снижение активности ферментов в окультуренной почве (пашне): инвертазы – в 3,3 раза, амилазы – в 2,6 раза, протеазы – в 4,2 раза, уреазы – в 7,9 раз по отношению к контрольным образцам почв. Для луговой слабоокультуренной почвы снижение активности ферментов при указанных условиях составило: инвертазы – в 2,3 раза, протеазы – в 2,8 раза, уреазы – в 7 раз по сравнению с фоновыми условиями.

Таким образом, нами установлено, что ферменты по их чувствительности к действию высоких концентраций ионов свинца можно расположить в ряд: уреазы > протеазы > инвертазы > амилазы.

В ходе эксперимента установлено, что характер влияния катионов кадмия на активность рассматриваемых ферментов отличается от действия ионов свинца. Максимальное ингибирующее действие ионы кадмия оказывают на протеазную и уреазную активность почв. При концентрации 15 – 30 мг/кг почвы (5-10 ПДК) активность данных ферментов снижается на 43-80% и 54-71%, соответственно, по сравнению с контролем.

Как показывают данные таблицы 5, при внесении нитрата кадмия в дозе, соответствующей 1 ПДК активность инвертазы, амилазы, протеазы и уреазы изменялась незначительно. По результатам дисперсионного анализа достоверным можно считать только влияние высоких концентраций нитрата кадмия (более 1 ПДК). При внесении 5 ПДК элемента активность инвертазы и амилазы снижалась для луговой почвы в 1,2 раза, для пашни – в 1,3 раза. При 10 ПДК активность амилазы пашни уменьшилась примерно в 2,2 раза, а для луга – в 1,7 раза.

При дозе 5 и 10 ПДК активность протеазы снижалась в 1,8 – 4,9 раза для пашни, а для луга – в 1,4 -2,2 раза. В ходе опыта подтверждено, что внесение 5 ПДК ионов кадмия достоверно снижает активность уреазы дерново-подзолистой окультуренной почвы в 2,3 раза, сла-

боокультуренной луговой – в 1,4 раза. При дозе элемента в 10 ПДК активность уреазы продолжала понижаться и в пашне в 3,7 раза, на лугу – в 2,3 раза.

Таблица 5 – Изменение активности ферментов в зависимости от вносимой дозы нитрата кадмия

Дерново-подзолистая суглинистая почва	Фермент	Активность ферментов (мг/10 г почвы за 24 часа) при внесении соответствующих концентраций кадмия			
		Контроль	1 ПДК	5 ПДК	10 ПДК
Окультуренная (пашня)	Инвертаза*	5,38 ± 0,83	5,36 ± 0,83	4,21 ± 0,63	3,01 ± 0,52
	Амилаза	6,32 ± 0,82	6,29 ± 0,90	5,01 ± 0,54	2,99 ± 0,21
	Протеаза	2,74 ± 0,31	2,71 ± 0,32	1,56 ± 0,12	0,55 ± 0,01
	Уреаза	0,28 ± 0,04	0,25 ± 0,02	0,13 ± 0,02	0,08 ± 0,01
Слабоокультуренная (луг)	Инвертаза*	10,93 ± 0,35	10,92 ± 1,43	9,50 ± 1,03	8,31 ± 0,35
	Амилаза	8,52 ± 0,83	8,49 ± 0,84	7,15 ± 0,53	4,98 ± 0,62
	Протеаза	4,32 ± 0,43	4,29 ± 0,55	3,23 ± 0,42	2,03 ± 0,23
	Уреаза	0,69 ± 0,09	0,65 ± 0,04	0,52 ± 0,02	0,31 ± 0,02

Примечание: * – единицы активности инвертазы – мг/100 г почвы за 24 часа

Экспериментально установлено, что ферменты по их чувствительности к действию высоких концентраций нитрата кадмия составляют последовательность: протеаза ≈ уреаза > амилаза > инвертаза.

Заключение

Изучено влияние некоторых агрохимических показателей (рН, содержание гумуса, подвижного фосфора) на ферментативную активность дерново-подзолистых почв Гомельского района. По итогам корреляционного анализа установлен характер влияния данных показателей на активность уреазы, амилазы, протеазы, инвертазы в почве.

Исследование влияния различных концентраций нитратов кадмия и свинца на ферментативную активность дерново-подзолистых суглинистых почв показало, что максимальное ингибирующее действие ионы кадмия и свинца при моноэлементном внесении оказывают на протеазную и уреазную активность почв. В случае ионов кадмия достоверным можно считать только влияние высоких концентраций элемента (более 1 ПДК). Ферменты по их чувствительности к действию высоких доз нитрата свинца образуют последовательность: уреаза > протеаза > инвертаза > амилаза. Активность уреазы достоверно снижается даже при внесении ионов свинца в концентрации, соответствующей 1 ПДК элемента. Таким образом, высокая чувствительность уреазной активности к ионам свинца может служить диагностическим критерием степени загрязненности почв.

Резюме. Исследовано влияние различных концентраций нитратов кадмия и свинца на ферментативную активность дерново-подзолистых суглинистых почв. Установлено, что внесение ионов свинца в количестве от 32 до 320 мг/кг почвы, что соответствует 1-10 предельно-допустимым концентрациям элемента, вызывает снижение инвертазной, амилазной, протеазной и уреазной активности на 7-72%, 5-64%, 18-76%, 39-86% соответственно. Максимальное ингибирующее действие ионы кадмия при моноэлементном внесении оказывают на протеазную и уреазную активность почв. При концентрации ионов кадмия 15 - 30 мг/кг почвы (5-10 ПДК) активность данных ферментов снижается на 43-80% и 54-71% соответственно по сравнению с контролем. Ферменты по их чувствительности к действию высоких доз нитрата свинца образуют последовательность: уреаза > протеаза > инвертаза > амилаза, для нитрата кадмия - протеаза > уреаза > амилаза > инвертаза. Высокая чувствительность уреазной активности к ионам свинца может служить диагностическим критерием степени загрязненности почв данным элементом.

Abstract. The influence of various cadmium and lead nitrates concentrations on the enzymatic activity of sod-podzol loam soils is analyzed in the paper. It is ascertained that application of lead in the quantity from 32 to 320 mg/kg of soil, which corresponds to 1-10 maximum allowable concentration of the element, causes the established decrease of invertase, amylase, protease and urease activity for 7-72%, 5-64%, 18-76%, 39-86% pro tanto. The cadmium nitrate produces the maximum inhibitory action on the protease and urease activity of soils. In the concentration of 15-30 mg/kg of soil the activity of the enzymes descends for 43-80% and 54-71%. In experimental conditions it was discovered that the activity of all the enzymes involved is higher in soils with low degree of cultivation and changes less under the influence of toxicant elements. It is possible to arrange the enzymes according to their sensitivity to great quantities of the toxicants: for lead nitrate - urease > protease > invertase > amylase; for cadmium nitrate - protease > urease > amylase > invertase. High sensitivity of the urease activity to the lead ions may serve as the diagnostic criterion of soil pollution with the element.

Литература

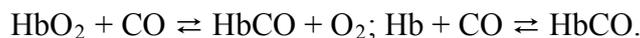
1. Тейт, Р. Органическое вещество почвы. – М., 1991.
2. Афанасьев, Я. Н. Почвоведение и агрохимия. – Мн., 1977.
3. Черных, Н.А. // Химизация сельского хозяйства. 1991, №1. С.40-42.
4. Пейве, Я. В. Биохимия почв. М., 1961.
5. ГОСТ 28168-89. Почвы. Отбор проб. Издание официальное.- М.: Изд-во стандартов, 1989.
6. Ягодин, Б. А. Агрохимия. – М., 1989.
7. Минеев, В. Г. Практикум по агрохимии. – М., 1989.
8. Хаданович, А.В. //Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2005. – №4(31). – С.84-89.

УДК 612.111.14/15

Восстановление карбоксигемоглобина до оксигемоглобина

В. А. ИГНАТЕНКО, А. В. ЛЫСЕНКОВА, В. А. ФИЛИПОВА

Оксид углерода (II) (CO) при дыхании, легко преодолевая легочно-капиллярную мембрану альвеол, проникает в кровь, вступая во взаимодействие с гемоглобином (Hb) эритроцитов, образуя карбоксигемоглобин (HbCO), вытесняя при этом кислород. Оксид углерода (II) связывается как с окисленной (HbO₂), так и с восстановленной формой гемоглобина (Hb), представляющими Fe (II) – гемоглобины.

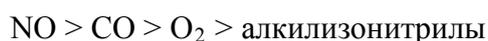


Известно, что при фотодиссоциации HbCO под действием кванта света (hν) CO удаляется от гема на небольшое расстояние. При снятии действия hν опять происходит образование карбоксигемоглобина.

Скорость присоединения CO к гемоглобину примерно в 10 раз ниже скорости присоединения кислорода. В то же время скорость диссоциации HbCO приблизительно в 360 раз меньше скорости диссоциации HbO₂. Отношение этих скоростей определяет относительное сродство CO к Hb и равно примерно 360. Этим и определяется быстрое образование HbCO в крови при низком содержании CO во вдыхаемом воздухе. Так, например, при содержании в воздухе CO 0,1%, кислорода 21%, приблизительно 50% Hb превращается в HbCO. Это приводит к гипоксемии и выводу из транспортной функции большей части гемоглобина.

Особенность взаимодействия CO с гемоглобином заключается в кооперативном эффекте и во влиянии связанного CO на диссоциацию кислорода. Связывание 3 молекул CO с тремя гемами Hb приводит к образованию прочной связи четвертого гема с кислородом и невозможности его передачи тканям.

Лиганды, соединяющиеся с гемоглобином (Fe(II)- гемоглобин), имеющие кооперативный эффект и зависящие от pH, образуют ряд по степени сродства к Hb



Представленная информация подтверждает трудности, возникающие при восстановлении к оксигенации токсических карбоксигемоглобинов.

Материалы и методы исследования

Окси Hb получали из свежей донорской крови по описанному ранее методу [8]. Омытые трижды 0,15 М раствором NaCl эритроциты подвергали осмотическому шоку в 0,01М Na-фос-фатном буфере pH-7,2 с последующим центрифугированием при 16000 об/мин., для опытов брали супернатант, концентрацию белка изменяли в пределах 10⁻⁴ ÷ 10⁻⁵ М и определяли спектрофотометрически по экстинции для λ=415 нм.

MetHb получали добавлением к раствору HbO₂ (ε₄₁₅=125000 М⁻¹ см⁻¹, фосфатный буфер 0,015 М, pH 7,0) избытка феррицианида с последующим отделением низкомолекулярных соединений гельфильтрацией на сефадексе G – 25.

HbCO получали пропусканием через водный раствор HbO₂ окиси углерода, которая образовывалась при добавлении серной кислоты к водному раствору муравьиной кислоты; дезоксиHb – добавлением к HbO₂ гидросульфита натрия [11]. Для защиты HbO₂ от окисления кислородными свободными радикалами использовали цистеин, цистин, глутатион окис-

ленный, глутатион восстановленный, сывороточный альбумин. Окисление серосодержащих соединений, содержащих S-S и –SH группы, до остатков цистеиновой кислоты контролировали на аминокислотном анализаторе после кислотного гидролиза в 6 н HCl.

В качестве ловушек радикалов OH и H использовали растворы спиртов, концентрацию которых изменяли от 0,01 до 1 М.

Растворы исследуемых веществ помещали в стеклянный сосуд, закрывали и ставили на кварцевый излучатель ультразвуковой головки. Ультразвуковую головку помещали в сосуд, через который циркулировала охлажденная вода, подаваемая насосом термостата U-10 для охлаждения излучателя и облучаемой пробы. Ультразвуковые колебания частоты 880 кГц получали с кварцевого излучателя диаметром 4 см. от ультразвукового терапевтического аппарата УТП-1 с изменяемой интенсивностью 0,2-2 Вт/см²

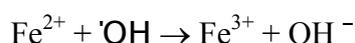
Температура плавления ферро- и ферриформ Hb до и после действия ультразвука определяли по измерениям, проводимым на прецизионном дифференциальном адиабатическом сканирующем микрокалориметре ДАСМ-1М при скорости прогрева 2 К/мин и избыточном давлении 4,1 атм.

Результаты и обсуждение

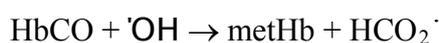
Известно, что Fe (III) – гемоглобин не носит кооперативного характера при взаимодействии с лигандами.

Для восстановления способности Hb оксигенироваться, HbCO перевели в состояние metHb.

В качестве активного лиганда взяли гидроксильный радикал 'OH, получаемый в ультразвуковом поле. При действии УЗ на водные растворы образуется 'OH радикал, который может взаимодействовать с железом Fe (II), переводя его в Fe (III) с образованием гидроксид иона радикала, то есть



Аналогичная реакция происходит и при взаимодействии Fe (II) – гемоглобина-HbCO с 'OH радикалом.



Железо (II) ферро-гемоглобин в озвучиваемых водных растворах окисляется в основном 'OH –радикалами. Константа скорости взаимодействия железа (II) гемоглобина с 'OH –радикалом $k = 3,6 \cdot 10^{10} \text{ M}^{-1} \text{ c}^{-1}$. Эта величина больше констант скоростей реакций железа (II) с другими продуктами сонолиза воды.

Действие УЗ на водный раствор HbCO в атмосфере воздуха приводит к его окислению до метHb, что проявляется коротковолновым сдвигом полосы Core в УФ области спектра поглощения, возникновением полосы с максимумом на 630 нм. (рис. 1). Превращение HbCO происходит количественно (рис. 1). Это подтверждается окислением оксиHb той же концентрации $\text{K}_3 [\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (рис. 1, кривая 4). Обработка раствора метHb, полученного окислением $\text{K}_3 [\text{Fe}(\text{CN})_6]$ или в УЗ поле, NaBH_4 приводит к образованию дезоксиHb, который после пропускания через раствор атмосферного воздуха превращается в HbO₂ (рис. 1, кривые 3,1).

Кривые, характеризующие связывание кислорода с исходным Hb и гемоглобином, полученным после восстановления метHb NaBH_4 , образованного в ультразвуковом поле, практически совпадают (рис. 2). Удовлетворительно совпадают и $p_{50}\text{O}_2$ исходного Hb и гемоглобина, полученного из метHb NaBH_4 . Как следует из рис. 2 и табл. 1, в начальный период озвучивания (30 мин.) структура молекулы Hb по связыванию кислорода не нарушена и оксигенация протекает полностью.

Методом дифференциальной сканирующей микрокалориметрии определена температура денатурации HbO₂, HbCO и метHb, а также метHb после окисления этих ферроформ в

УЗ поле. Анализируя кривые теплопоглощения, можно заключить, что тепловая стабильность метНв, полученного окислением НвО₂ в метНв и метНв, полученного окислением НвСО в УЗ поле практически совпадают (рис. 3). Это также свидетельствует об отсутствии существенных нарушений в четвертичной структуре белка, отсутствии конформационных изменений при окислении ферроформ свободными радикалами, генерируемыми в УЗ поле.

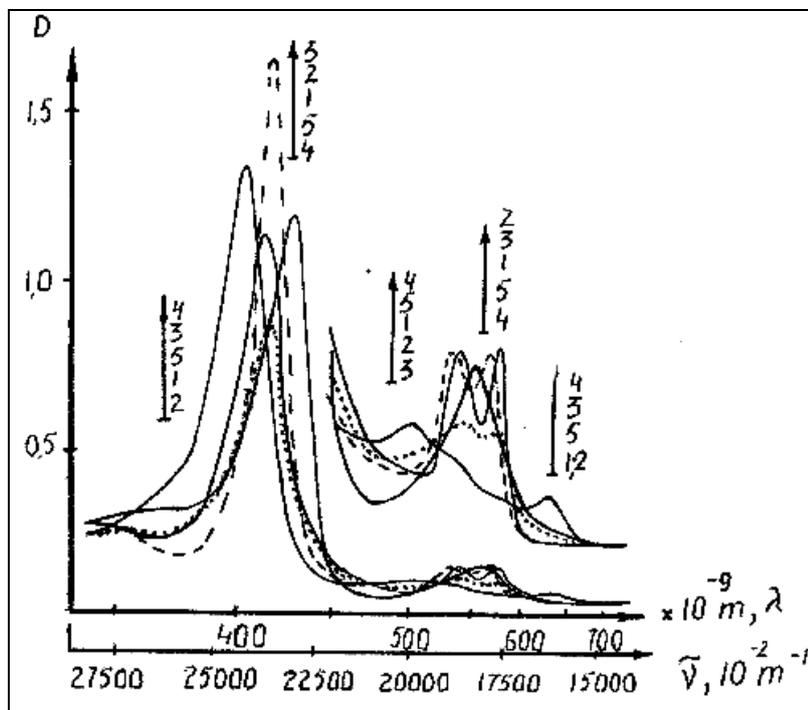


Рисунок 1 – Спектры поглощения форм гемоглобина с различной степенью окисления железа и лигандного состояния: 1,1 – окси-Нв; 2,2 – карбоксиНв; 3,3 – дезоксигНв; 4,4 – метНв; 5,5 – ферриль-ная форма Нв. Спектры 1, 2, 3, 4, 5 в области 450 – 720 нм прописаны при пяти-кратном усилении. Концентрация гемоглобина $1,06 \cdot 10^{-5}$ м.

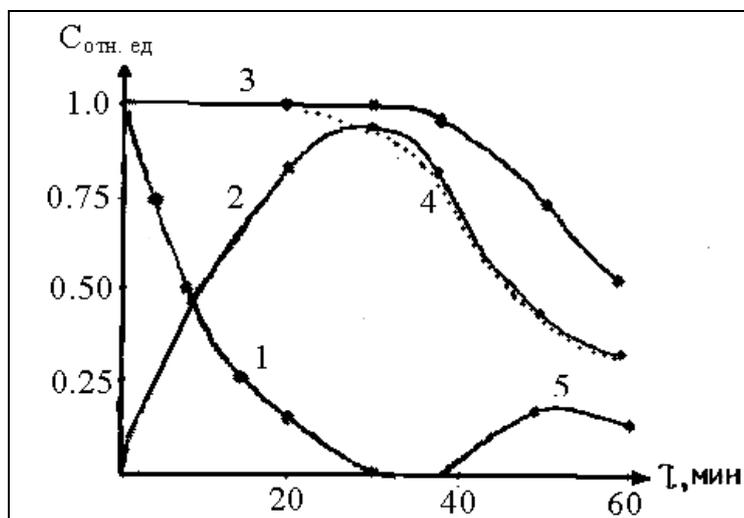


Рисунок 2 – Кинетика убыли в УЗ поле в атмосфере воздуха НвСО (1) образования метНв (2), деструкции гемина (3), образования оксиНв из метНв после восстановления NaBH₄ (Спектрофотометрически определяли на 630 нм концентрацию полученного метНв из НвСО, а затем добавляли избыток K₃Fe(CN)₆ переводя оставшийся НвСО в метНв. Суммарный метНв обрабатывали NaBH₄) (4), дальнейшего превращения метНв (5) (разность между 3 и 4). Концентрация исходного НвСО $1 \cdot 10^{-5}$ м, водный раствор, pH=7,0, C – измеряемая концентрация Нв и гемина, за единицу принята первоначальная концентрация оксиНв. Интенсивность УЗ 2 Вт/см².

Ускорение окисления НвСО в метНв в УЗ поле наблюдали только после повышения температуры до 60°C, когда начинаются процессы денатурации и агрегации белка. Можно полагать, что окисление ферроформ Нв в метНв в УЗ поле происходит под действием свободных радикалов, а не вызвано повышением температуры и усиливающимися при этом процессами аутоокисления.

Таблица 1. Изменение $p_{50}O_2$ коэффициента Хилла гемоглобина, после действия ультразвука и последующей обработкой $NaBH_4$.

	$p_{50} O_2$ мм.рт.ст	n- константа Хилла	t^0 C среды	РН среды
Исходный НвО ₂	14	2,7	18	6,7
*НвСО после 22,5 мин действия УЗ и обработки $NaBH_4$	14	2,7	18	6,7
*НвСО после 37,5 мин действия УЗ и обработки $NaBH_4$	11	2,5	18	6,7
*НвСО после 57,5 мин действия УЗ и обработки $NaBH_4$	5	1,2	18	6,7

Примечание: Концентрация НвО₂- $1 \cdot 10^{-5}$ М. Интенсивность УЗ 1 Вт/см². p_{50} определяли по зависимости изменения спектров поглощения НвО₂ при образовании его из дезоксигемоглобина.

*Спектрофотометрически определяли ($\lambda = 630$ нм) концентрацию полученного метНв из НвСО, а затем добавляли избыток $K_3 [Fe(CN)_6]$, переводя оставшийся НвСО в метНв. От избытка $K_3 [Fe(CN)_6]$ освобождались на колонке с сефадексом G-25. Суммарный метНв обрабатывали $NaBH_4$.

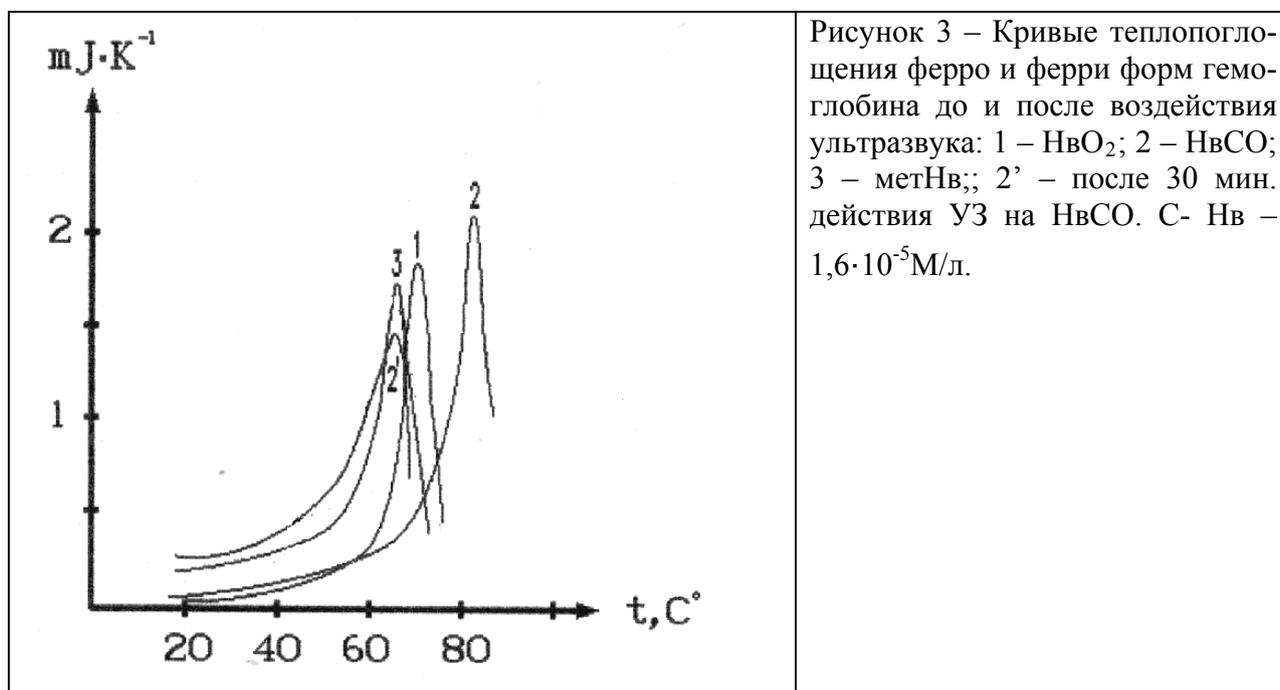


Рисунок 3 – Кривые теплопоглощения ферро и ферри форм гемоглобина до и после воздействия ультразвука: 1 – НвО₂; 2 – НвСО; 3 – метНв; 2' – после 30 мин. действия УЗ на НвСО. С- Нв – $1,6 \cdot 10^{-5}$ М/л.

Дальнейшее воздействие УЗ на метНв приводит к образованию новой неустойчивой формы Нв, максимум поглощения полосы Сорс которой сдвинут в длинноволновую область и отличается по положению максимумов от спектров поглощения НвО₂ или НвСО. Полученный спектр более похож на спектр поглощения метНв сразу после добавления перекиси водорода (рис.1, кривая 5), когда образуется феррильная форма Нв.

Зависимость выхода метНв от мощности ультразвукового воздействия на водный раствор ферроНв приведена на рис. 4 (кривая 2). Аналогичный характер имеет зависимость окисления ионов Fe (II) до Fe (III) в ультразвуковом поле от мощности УЗ.

Добавление в водный раствор спиртов приводит к защитному эффекту, усиливающемуся с увеличением концентрации спиртов, серосодержащих соединений, а также белков, например, сывороточного альбумина (рис. 5), причем в последнем деструкции в основном подвергаются S-S связи. При достаточно высоких концентрациях спиртов оксиНв не окисляется в ультразвуковом поле за промежутки времени, в течение которых в отсутствии спиртов наблюдали полное превращение ферроНв в ферриНв. Причем добавление одинаковых мо-

лярных концентраций соединений ловушек вызывало повышение стабильности НвСО к окислению в УЗ поле, которое хорошо коррелировало со значениями констант скоростей взаимодействия 'ОН радикалов с указанными спиртами [3]. Вследствие образования из спиртов окиси углерода происходит быстрое превращение НвО₂ в НвСО, как известно, гемоглобин обладает в 360 раз более высоким сродством к СО, чем к О₂ [4].

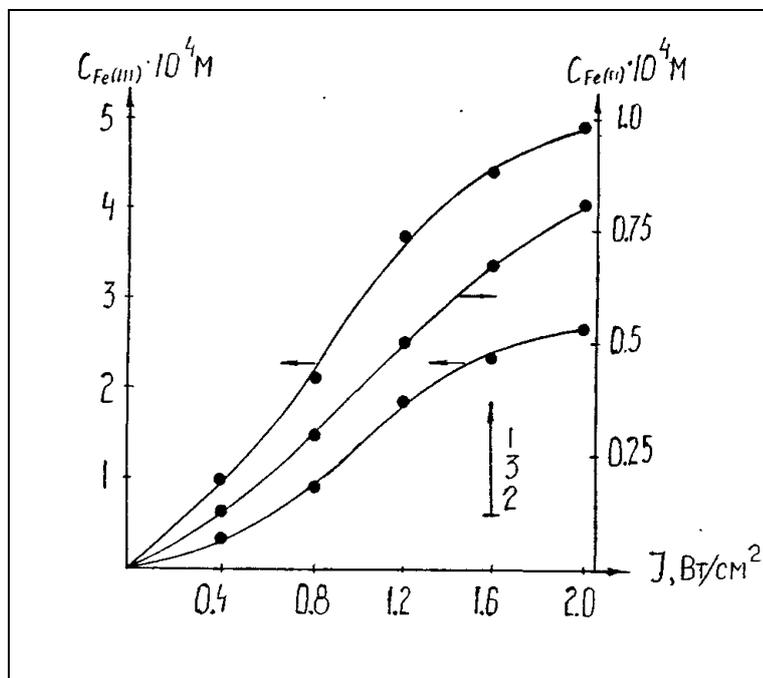


Рисунок 4 – Зависимости окисления ферроформ водного раствора закиси железа (1) и оксиНв (2) в ферриформы и восстановления ферри-ионов в ферроформу (3) радикалами этанола от интенсивности УЗ поля. Кривая, характеризующая образование ацетальдегида, с точностью до 10% совпадает с кривой 3.. Кривые 1 и 2 получены в атмосфере воздуха, 3 – в атмосфере азота, в десятипроцентном водно-этанольном растворе. Время озвучивания растворов 5 мин. Концентрация ионов Fe (II) в составе оксиНв $5 \cdot 10^{-4}$ м, FeSO₄ – 10^{-3} м, этанола – 2м, Na – фосфатный буфер, pH – 6,8 (0,01 М).

Окисление двухвалентного железа в трехвалентное в ультразвуковом поле обусловлено действием промежуточных радикалов, возникающих в воде при действии ультразвуковых колебаний. Молекулы воды внутри кавитационной полости переходят в возбужденное состояние и распадаются на радикалы 'Н и 'ОН [1, 5, 7, 10]. Предполагается также возможность образования гидратированных электронов (e^-_{ag}) [1, 10]. В атмосфере кислорода или воздуха первоначально образовавшиеся радикалы Н и e^-_{ag} с высокой скоростью взаимодействуют с О₂:

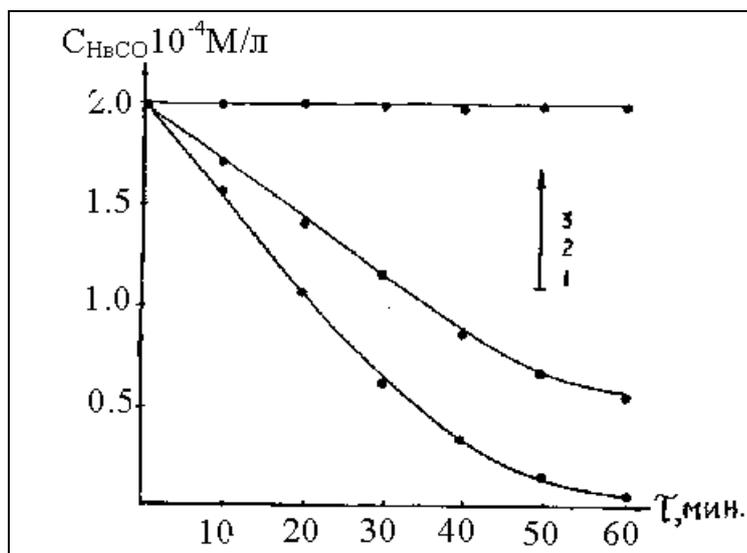


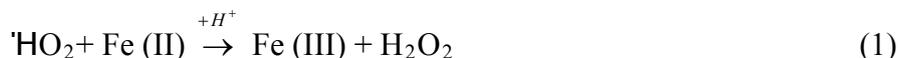
Рисунок 5 – Кинетика окисления НвСО в метНв под действием УЗ в отсутствие защитных реагентов (1), в присутствии сывороточного альбумина (2) и этилового спирта (3). Концентрация НвСО $2 \cdot 10^{-4}$ м, САЧ – $5 \cdot 10^{-3}$ м, этанола – 2 м, Na – фосфатный буфер pH – 6,8 (0,01 м), интенсивность ультразвука 2Вт/см², частота 880 кГц.

Константы скорости этих реакций $2 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1} \text{ с}^{-1}$ [2] и следовательно, основными продуктами сонолиза воды являются 'НО₂, 'О⁻₂, Н₂О₂.

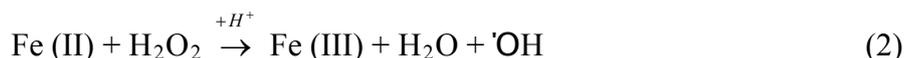
Гидратированные электроны очень эффективно ($K=2,3 \cdot 10^{10} \text{ м}^{-1} \text{ с}^{-1}$) реагируют с ионами H^+ [2]

$$e^-_{\text{ag}} + \text{H}_3\text{O}^+ \rightarrow \text{H} + \text{H}_2\text{O},$$

поэтому в кислой среде промежуточные продукты сонолиза воды – HO_2 реагируют с Fe (II), давая в конечном итоге пероксид водорода [3]



Пероксид водорода, образовавшийся в ультразвуковом поле, например, при дисмутации O_2^- или HO_2 , вследствие рекомбинации радикалов OH или же вследствие реакции (1), окисляет ионы двухвалентного железа давая Fe (III) и радикалы OH [2, 3]



Константа скорости этой реакции относительно невелика: [2, 9] $K_2 = 76 \text{ м}^{-1} \text{ с}^{-1}$

Гидроксильные радикалы, образовавшиеся при разложении пероксида по реакции (2) или в ультразвуковом поле, окисляют с высокой скоростью ионы двухвалентного железа:



Константа скорости этой реакции $K_3 = 3 \cdot 10^8 \text{ м}^{-1} \text{ с}^{-1}$. Реакции (1) и (2) относительно медленные, а константа скорости реакции (3) высока, следовательно, ионы Fe (II) будут в основном окисляться до Fe (III) радикалами OH .

Ферриформа Нв, в свою очередь, окисляется до феррипероксидных форм HvFe(IV) радикалом OH или пероксидом водорода до Fe (V) [12].

В спектре поглощения ферри Нв после действия УЗ в длинноволновой области спектра за полосой Сорэ наблюдаются изменения, характерные для феррипероксидной формы Fe (IV) миоглобина [12]. Кинетическая кривая образования ионов Fe (III) при облучении ультразвуком водного раствора FeSO_4 в зависимости от мощности излучения близка по форме кинетической кривой окисления ферроНв в ферриНв. Симбатность хода кривых 1 и 2 на рис. 4 свидетельствует, что окисление HvO_2 в метНв протекает под действием свободных радикалов, образовавшихся вследствие расщепления молекул воды в присутствии атмосферного воздуха, а эффективность захвата радикалов OH свободными ионами железа и в комплексе с протопорфирином IX сравнимы между собой по порядку величин. Еще одним доказательством того, что HvO_2 и HvCO окисляются в метНв под действием свободных радикалов, служит защитный эффект спиртов, являющихся "перехватчиками" свободных радикалов. В то же время спирты значительно уменьшают тепловую устойчивость гемоглобина табл.2.

Таблица 2. Значения температуры денатурации оксиНв, карбоксиНв и метНв в 0,02 М, К – фосфатном буфере и оксиНв в водно-спиртовых растворах.

Образец	$t^0_{\text{д}} \text{ C}$
оксиНв (HvO_2)	71.0
КарбоксиНв (HvCO)	82.0
МетНв ($\text{Hv H}_2\text{O}$)	67.0

При взаимодействии радикалов OH и H со спиртами возможно образование радикальных продуктов спиртов вследствие отрыва атома водорода:



Радикалы спиртов рекомбинируют также между собой, образуя следующие продукты:



В атмосфере кислорода первоначально образовавшиеся радикалы H и e^-_{ag} с наиболь-

шей скоростью реагируют с O_2 с образованием $'O_2'$ и $'HO_2'$. Поэтому возможно взаимодействие радикалов спиртов, например, с $'HO_2'$ с образованием



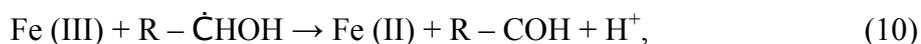
Следует отметить, что радикалы $'OH$ и $'H$ достаточно эффективно взаимодействуют с функциональными группами белка, особенно эффективно с остатками цистеина или цистина, образуя радикалы макромолекул. Действительно, добавляя в избытке сывороточный альбумин, можно существенно уменьшить скорость окисления оксиHв в метHв (рис. 5).

Радикалы спиртов взаимодействуют с радикалами макромолекул и образуют сшивки:



Однако стационарные концентрации радикалов спирта и белков малы, и поэтому число образовавшихся сшивок относительно мало.

Можно предположить, что метHв, образовавшийся в ультразвуковом поле вследствие окисления ферроформ Hв (реакции (1) – (3)), восстанавливается обратно в дезоксиHв радикалами спиртов в следующей реакции:

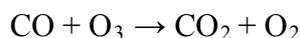


аналогичной реакции ионов $Fe(III)$ в водно-спиртовых средах (рис.4 кривая 3).

Заключение

Рассмотренная модель окисления HвCO гидроксильным радикалом до метHв, а затем при помощи $NaBH_4$ восстановление метHв до дезокси гемоглобина и при поглощении кислорода до HвO₂ хорошо реализуется в растворах гемоглобина и гемолизатах эритроцитов.

Наряду с $'OH$ радикалом в качестве агента способного перевести HвCO в метHв можно использовать озон. Эта радикальная молекула при взаимодействии с CO превращает последнюю в CO₂



При взаимодействии озона с HвCO, последний окисляется до метHв с образованием CO₂.

Вопрос восстановления оксигенации гемоглобина лежит в возможности ухода от кооперативного и рН эффектов при связывании лигандов, а в лучшем случае и невозможности связывании их с гемоглобином.

Резюме. Изучены окислительно-восстановительные процессы карбоксигемоглобина. Предлагаемая модель включает в себя три основных этапа: окисление карбоксигемоглобина в метгемоглобин при действии гидроксильных радикалов в водной среде, порожденных ультразвуковой частотой 880 кГц; дальнейшее превращение метгемоглобина в дезоксигемоглобин при действии $NaBH_4$; окисление дезоксигемоглобина в оксигемоглобин кислородом. Было установлено, что белковый компонент в карбоксигемоглобине сопротивляется ультразвуковой фазе более эффективно, чем в оксигемоглобине.

Abstract. The consecutive process of carboxyhemoglobin oxidation-reduction into oxihemoglobin is studied in the paper. The suggested model involves three main steps: carboxyhemoglobin oxidation into methemoglobin by hydroxyl radicals in aqueous medium generated by ultrasound with the frequency of 880 Hz; methemoglobin reduction into deoxyhemoglobin by $NaBH_4$; deoxyhemoglobin oxidation into oxyhemoglobin by oxygen. The investigation reveals that protein component in carboxyhemoglobin resists ultrasonic phase more efficiently than that of oxyhemoglobin.

Литература

1. Маргулис, М.А. Звукохимические реакции и сонолюминесценция / М.А. Маргулис. – М.: Химия, 1986, с.285.
2. Пратт, Дж. Методы и достижения биореорганической химии / Дж. Пратт. – М.: Мир. 1978, с. 133.

3. Своллоу, А. Радиационная химия / А. Своллоу. – М.: Атоиздат. 1976, с. 277.
4. Уайт, А. Основы биохимии / А. Уайт, Ф. Хандлер, Э. Смит Р., Р. Хилл, И. Леман – М.: Мир. 1981, т. 3, с. 1878.
5. Фендлер, Е. Методы и достижения в физико-органической химии / Е. Фендлер, Дж. Фендлер. – М.: Мир, 1973, с. 221.
6. Шарпатый, В.А. Радиационная химия биополимеров / В.А. Шарпатый. – М.: Энергоиздат, 1981, с.167.
7. Эльпинер, И.Е. Биофизика ультразвука / И.Е. Эльпинер. – М.: Наука, 1973, с.383.
8. Benesch, R. E. Affinity labeling of the polyphosphate binding site of hemoglobin / R. E. Benesch, R. Benesch, R. D. Renthal, N. Maeda. -Biochemistry, 1972, v. 11, N 19, p. 3576-3582.
9. Chance, M. X-ray absorption studies of myoglobin peroxide reveal functional differences between globins and heme enzymes / M. Chance, L. Powers, G. Kumar and B. Charice. -Biochemistry, 1986, v.25, p.1259-1265.
10. Christnan, C.L. Evidence for free radicals produced in aqueous solutions by diagnostic ultrasound / C.L. Christnan, A.J. Carmichael, M.M. Mossoba, P. Riesz. -Ultrasonics, 1987, v. 25, N 1, p. 31-34.
11. Van Kampen, E. J. Spectrophotometry of hemoglobin and hemoglobin derivatives / E. J. Van Kampen, W.G. Zijlstra. -Adv. Cl in. Chem., 1983, v. 23, p.199-257.
12. Whitburn, K.D. Redox transformations in ferrimyoglobin induced by radiation generated free radicals in aqueous solution / K.D. Whitburn, D. Kevin, J.J. Shiek, R.M. Sellers, M.Z. Hoffman. -J.Biol.Chem., 1982, v.257, N 4, p.1860-1869.

УДК 612:612.43:612.017.1-057.6(476.2-2Гом)

Исследование гормонального статуса жителей г. Гомеля при аутоиммунном поражении

Л. А. Евтухова, Т. В. Потылкина, Н. И. Резникова, А. А. Потапченко

Аутоиммунный тиреоидит – патология щитовидной железы, отражающая взаимодействие генетической предрасположенности с такими эндогенными факторами как возраст и уровень половых гормонов [1, 2].

Тонкая регуляция функции щитовидной железы осуществляется по принципу обратной связи [6, 7]. Гипофиз продуцирует тиреотропин (ТТГ), который стимулирует щитовидную железу. Активными гормонами щитовидной железы являются свободный Т₃ - трийодтиронин и свободная фракция Т₄ – тироксин. Петля обратной связи замыкается действием Т₃ и Т₄ на гипофиз. Таким образом, гиперфункция щитовидной железы подавляет продукцию ТТГ и наоборот, гипофункция щитовидной железы стимулирует гипофиз производить больше ТТГ. Схема принципа обратной связи в регуляции гормонов щитовидной железы представлена на рисунке 1 [14, 15].

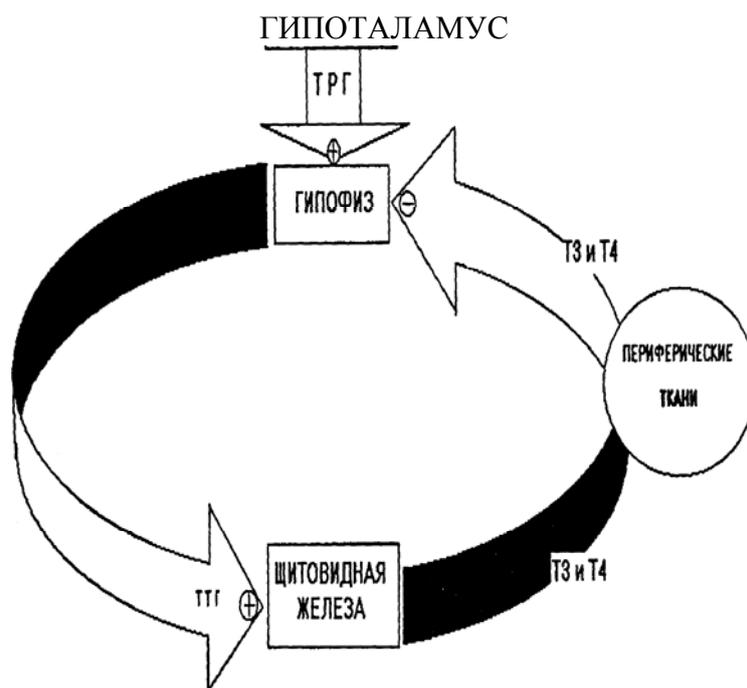


Рисунок 1 – Принцип обратной связи в регуляции гормонов щитовидной железы

Диагностику патологий щитовидной железы целесообразно начинать с измерения ТТГ. При получении низких или повышенных результатов ТТГ для дальнейшей характеристики стадии заболевания следует определять уровень СТ₄. При диагностике гипотиреоза, если ТТГ оказывается повышенным, исследование СТ₃ не требуется. Уровень СТ₃ важно определять при наблюдении за ситуациями с одновременно низкими значениями ТТГ и СТ₄. Вопрос о дальнейших исследованиях решается лабораторией (рефлекс-тестирование) в зависимости от результатов первичного измерения ТТГ. Без консультации с клиницистом рефлекс-тестирование обычно не выходит за рамки определения [12, 13].

Установлено, что при гипертиреозе влияние гормонов щитовидной железы на углеводный обмен сказывается в форме повышенной скорости всасывания глюкозы из кишечни-

ка в кровь, а при гипотиреозе – наоборот. При СД I – типа глюкоза в крови накапливается, не переходя в печень и мышцы. При СД II – типа происходит усиленный переход глюкозы в кровь, вследствие разложения гликогена печени. Таким образом, изменение нормальной физиологии щитовидной железы может повлечь за собой расстройство других органов и систем, в том числе и поджелудочной железы [3, 8, 9, 10, 11].

В этой связи актуальными являются вопросы изучения взаимосвязи нарушений активности щитовидной и поджелудочной желез при аутоиммунном поражении у людей среднего возраста [4, 5].

С этой целью было обследовано 100 человек в возрасте 50 лет с нарушениями функций поджелудочной и щитовидной желез. Исследования проводились на базе Гомельского областного эндокринологического диспансера. В венозной крови, используя радиоиммунологический, иммунолюминиметрический и индикаторный методы исследования, определяли количество тиреоидных гормонов щитовидной железы (Т3, Т4), тиреотропного гормона гипофиза (ТТГ), содержание антител к ткани щитовидной и поджелудочной желез. Для подтверждения наличия сахарного диабета определяли количество сахара в периферической крови. У 69 человек из 100 на фоне патологии щитовидной железы была обнаружена патология поджелудочной железы. Аутоиммунный тиреоидит (АИТ) проявлялся гипо-, гипер- и эутиреозом, патология поджелудочной железы в виде сахарного диабета. У обследованных, при аутоиммунном поражении, отмечается увеличение щитовидной железы. Наиболее типичным является присутствие симптоматики гипотиреоза, реже гипертиреоза. У незначительной части пациентов с АИТ наблюдается эутиреоз.

Среди обследованных с АИТ эутиреоидное состояние щитовидной железы наблюдалось у 12 человек, когда гормональный статус железы практически соответствует норме, но наблюдается гиперплазия щитовидной железы 2-3 степени, что в дальнейшем приводит к изменению содержания гормонов. При эутиреозе концентрация гормонов Т3, Т4, ТТГ находится в пределах нормы (Т3 – $1,36 \pm 0,04$ нмоль/л; Т4 – $118,0 \pm 9,1$ нмоль/л; ТТГ – $2,46 \pm 0,1$ мкЕд/л). Диагноз АИТ ставят на основе изменений нормальной концентрации АТ к антигену щитовидной железы. Этот показатель в данных исследованиях превышал норму и составил: $2035,1 \pm 31$ МЕ/л.

У обследованных лиц с эутиреоидным состоянием щитовидной железы и с сахарным диабетом (8 человек) содержание Т3 в крови составило $1,91 \pm 0,1$ нмоль/л (норма 1,4-2,8 нмоль/л), Т4 – $140,0 \pm 11,3$ нмоль/л (норма 88-144 нмоль/л), ТТГ $1,40 \pm 0,1$ мкЕд/л (норма 1-5). Это может привести к гипертиреозу, связанному с уменьшением концентрации ТТГ. У таких людей может наблюдаться гиперплазия щитовидной железы, ведущая к нарушениям гормонального статуса организма.

Содержание антител к антигенам щитовидной железы у данной группы людей превышает норму и составляет $1980,4 \pm 28,4$ МЕ/л, что свидетельствует о нарушениях нормального функционирования щитовидной железы. Это состояние оказывает негативное влияние на другие органы и системы, в том числе и на поджелудочную железу. При этом повышенное выделение антител разрушительно действуют на β -клетки островкового аппарата поджелудочной железы, в результате чего нарушается секреция инсулина и увеличивается уровень сахара в крови до $10,5 \pm 0,5$ ммоль/л, что приводит к возникновению сахарного диабета.

При эутиреоидном состоянии щитовидной железы патология поджелудочной железы не столь велика. И здесь возможно, что аутоиммунное поражение поджелудочной железы возникло независимо от аутоиммунного поражения щитовидной железы, но ввиду того, что в данном случае имеется повышенное содержание антител к тканям поджелудочной и щитовидной желез, можно предположить взаимосвязь этих аутоиммунных процессов – тиреоидита и сахарного диабета.

Гипертиреоидное состояние щитовидной железы характеризуется гиперпродукцией гормонов щитовидной железы. У обследованных лиц наблюдается диффузный и узловой токсический зоб. Из 100 обследованных людей с АИТ у 41 человека отмечался гипертиреоз и у 28 из них он сочетался с сахарным диабетом. Содержание Т3 и Т4 в крови превышало норму в 2-3 раза. Так, уровень Т3 в венозной крови составлял $7,2 \pm 0,9$ нмоль/л, уровень Т4 –

376,0±15,7 нмоль/л. Уровень Т3 и Т4 в крови у людей с сочетанием гипертиреозного состояния и с сахарным диабетом превышал норму в два раза (Т3 – 4, 80±0,1 нмоль/г, Т4 – 281,6±7,0 нмоль/л), а уровень ТТГ был снижен почти в 10 раз и составлял – 0,15±0,01 мкЕд/л.

Аутоиммунную природу гипертиреозного состояния щитовидной железы (в 5 случаях) подтвердило высокое содержание антител к ткани щитовидной железы. Было установлено 8-9 кратное увеличение содержания антител к антигену щитовидной железы (9651,4±158,1 МЕ/л). При гипертиреозе, в целом, не наблюдается выделение антител к антигену поджелудочной железы, но сахарный диабет возникает, по-видимому, на основе патологического состояния щитовидной железы, обусловленного усиленным выделением тиреоглобулинов.

Гипотиреоз является одной из наиболее часто встречающихся патологий, которая обусловлена недостаточным количеством тиреоидных гормонов и высокой концентрацией ТТГ в крови, что объясняется регуляторной функцией этого гормона.

Из 100 обследованных у 47 человек наблюдается гипотиреозное состояние щитовидной железы: у 33 из них сочетающееся с патологией поджелудочной железы. Содержание Т3 в крови составило 0,93±0,1 нмоль/л, Т4 – 38,5±1,9 нмоль/л, что меньше нижней границы нормы в 2,5 раза. При уменьшенном содержании Т3 и Т4 наблюдается достаточное увеличение концентрации ТТГ в крови, почти в 2 раза (ТТГ – 9,10± 0,38 мкЕд/л). Анализ на содержание антител к антигенам щитовидной железы показал повышенное их содержание, что подтверждает аутоиммунное происхождение гипотиреоза. Уровень антител к ткани щитовидной железы составил 4466,4±51,4 МЕ/л, что превышает норму в 4 раза.

Таким образом, результаты исследования показали, что процентное соотношение случаев сочетания аутоиммунного тиреоидита на стадиях гипо-, гипер- и эутиреоза с сахарным диабетом равно 70:68:66, что приблизительно составляет 1:1:1. Это свидетельствует о том, что частота возникновения сахарного диабета при гипо-, гипер- и эутиреозе практически одинакова, хотя наибольший процент АИТ связан с гипотиреозным состоянием щитовидной железы, наименьший – с эутиреозным состоянием щитовидной железы.

Резюме. Изучены особенности проявления дисбаланса гормонов в организме жителей Гомельской области с аутоиммунной патологией.

Abstract. The manifestations features of hormone misbalance of organisms of Gomel citizens with autoimmune pathology are considered in the paper.

Литература

1. Кахана, М.С. Патопфизиология эндокринной системы / М.С. Кахана.-М.: Медицина, 1990.-314с.
2. Раскин, А.М. Аутоиммунные процессы в патологии щитовидной железы / А.М. Раскин.-Л.: Медицина, 1993.-227с.
3. Балаболкин, М.И. Сахарный диабет: 100 вопросов и 100 ответов/ М.И. Балаболкин. – М.: Медицина, 1992. – 54с.
4. Баранов, В.Г. Болезни эндокринной системы и обмен веществ: руководство по внутренним болезням / В.Г. Баранов; под ред. А.Л. Меченикова. – М.: Медгиз, 1995. – 303 с.
5. Богданович, В.И. Сахарный диабет / В.И. Богданович. – Ниж. Нов.: НГМА, 1997. – 55 с.
6. Сапин, М.Р. Анатомия человека / М.Р. Сапин. – М.: Медицина, 1997. – С. 86-89.
7. Слука, Б.А. Гистология / Б.А. Слука. – М.: Медицина, 2001. – 331с.
8. Старкова, Н.Т. Руководство по клинической эндокринологии / Н.Т. Старкова. – СПб.: Питер, 1996.-544с.
9. Покровский, В.М. Физиология человека / В.М.Покровский. – М.: Медицина, 1998. -448с.
10. Баранов, В.Г. Физиология эндокринной системы / В.Г.Баранов. – Л.: Наука, 1987. –680с.
11. Холодова, Е.А. Болезни щитовидной железы – ранние признаки, дифференциальный диагноз / Е.А.Холодова. – Мн.: Вышэйшая школа, 1991. – 217с.

12. Балаболкин, М.И. Эндокринология / М.И.Балаболкин. – М.: Медицина, 1980. – 620с.
13. Лейбсон, Л.Г. Физиология эндокринной системы / Л.Г.Лейбсон. — Л.: Медгиз, 1983. – 648с.
14. Алешин, Б.В. Гипоталамус и щитовидная железа / Б.В. Алешин. – М.: Медицина, 1983. – 602с.
15. Диагностика и мониторинг заболеваний щитовидной железы / V Всемирная Организация здравоохранения. – Женева, 2001. – 21с.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 03.02.09

УДК 581.5:581.52:581.526.3:574.5(282)(476.2-2 Гом)

Содержание тяжелых металлов в растениях различных экологических групп водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий

Т. В. МАКАРЕНКО

Введение

Растительной клетке присуща способность активно поглощать вещества, необходимые для ее жизнедеятельности, против градиента концентрации и активно накапливать их. Благодаря этому свойству растения накапливают микроэлементы в концентрациях, в сотни раз превышающих их содержание в грунте и в тысячи раз — в воде [1–4]. Группа ученых [5] отмечает способность макрофитов концентрировать некоторые элементы в количествах, больших, чем в хирономидах и рыбах.

Химический состав растений определяется не только средой обитания, но и различной поглотительной способностью самих растений по отношению к разным элементам. Это было доказано многочисленными полевыми наблюдениями [1, 2, 4].

Целью работы явилось изучение уровней накопления некоторых тяжелых металлов высшими водными растениями различных экологических групп и выявление тест-объектов для проведения экологического мониторинга водоемов.

Материалы и методы

Отбор проб высших водных растений производился с мая по август 2000-2002 гг. в водоемах г. Гомеля и прилегающих территорий, различающихся по степени антропогенной нагрузки. В процессе выполнения работы собраны макрофиты, широко распространенные в водоемах Беларуси, которые относятся к 4 экологическим группам: I – свободноплавающие неприкрепленные – ряска малая (*Lemna minor* L.) и водяной орех (*Trapa natans* L.); II – плавающие прикрепленные растения – кубышка желтая (*Nuphar luteum* (L) Sm.) и горец земноводный (*Polygonum amphibium* L.); III – подводные (погруженные) растения – элодея канадская (*Elodea canadensis* Rich.), роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.), рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.); IV – надводные (земноводные или воздушно – водные) растения – стрелолист обыкновенный (*Sagittaria sagittifolia* L.), сусак зонтичный (*Vallisneria spiralis* L.), частуха подорожниковая (*Alisma plantago-aquatica* L.), манник напывающий (*Glacaria fluitans*), болотница болотная (*Eleocharis palustris*), камыш озерный (*Scirpus lacustris* L.), тростник обыкновенный (*Phragmites communis* Trin) [4].

Анализировалась надземная часть макрофитов. Исключение составляли растения I-ой экологической группы со слабо развитой корневой системой, которые анализировались полностью. Макрофиты II-ой и IV-ой групп срезались как можно ближе ко дну водоема. Для III-ей группы использовались «грабельки» [6]. Пробы растений после тщательного ополаскивания последовательно высушивали до воздушно-сухого состояния и озоляли до белой золы в муфельной печи при 450°C [7]. Содержание металлов в золе растений определяли атомно-эмиссионным спектральным методом на спектрофотометре IGSM в лаборатории физико-химического анализа Института геохимии и геофизики НАН Беларуси.

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показывают, что концентрация всех изучаемых металлов значительно варьирует для разных видов макрофитов, принадлежащих к одной группе, ото-

бренных как в разных водоемах опробования, так и в одном водоеме. Значительно варьирует и среднее содержание изучаемых металлов у представителей разных групп, отобранных в одном водоеме, что отмечается и в литературе [4]. О том, что размах «нормальных» концентраций химических элементов в растениях одного вида выглядит большим, сообщается во многих работах [1–4, 8, 9,]. Исследования 45 видов водных растений различных экологических групп показали [10], что существует не только широкая межвидовая, но и внутривидовая изменчивость емкости и селективности поглощения различных элементов.

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов (мг/кг сухого веса) в растениях различных экологических групп

Показатель	Свинец	Медь	Цинк	Марганец	Кобальт	Хром	Никель
Растения I экологической группы							
Мин-Макс	2,61-8,58	3,60-35,20	51,80-51,80	1235-5069	2,44-5,72	2,13-58,14	1,85-46,20
Среднее по группе	5,52	16,93	51,80	2429	4,11	17,55	15,35
Растения II экологической группы							
Мин-Макс	0,67-22,45	1,48-10,21	20,14-38,48	176-985	0,20-3,60	0,46-15,21	0,71-13,38
Среднее по группе	5,13	3,65	30,26	454	1,28	2,55	2,99
Растения III экологической группы							
Мин-Макс	2,62-9,37	4,43-19,64	30,57-107,25	338-3513	0,85-6,64	1,00-29,72	1,91-38,63
Среднее по группе	5,11	8,07	63,22	2029	3,21	6,50	7,39
Растения IV экологической группы							
Мин-Макс	1,23-5,83	0,91-15,36	16,20-89,42	214-1410	0,16-1,96	0,57-13,15	0,82-9,46
Среднее по группе	2,75	6,93	43,67	608	0,75	4,11	3,41

При сопоставлении особенностей накопления тяжелых металлов растениями различных экологических групп водоемов опробования выяснилось (таблица 1), что химический состав изучаемых растений отражает типичную для абсолютного большинства макрофитов картину количественного соотношения металлов [3, 11, 12]: высокое содержание марганца, величина которого у растений I-ой группы достигает 2427,0 мг/кг сухого вещества; затем на один-два порядка ниже содержание цинка; далее в пределах до 10,0 мг/кг располагаются медь (исключая плавающие неприкрепленные растения); в пределах до 8,0 мг/кг – хром и никель (исключение также составляют растения I-ой группы); в пределах до 6,0 мг/кг – кобальт и свинец. Содержание марганца в растениях изучаемых водоемов превышает концентрацию остальных металлов в 33-590 раз, а цинка – в 5-18 раз. Концентрация марганца имеет значительные различия у растений разных экологических групп: у гидрофитов I и III-ей групп металла в 3,5–5,0 раз больше, чем в других группах. Полученные результаты нашли подтверждение в литературе [1-4]. Для меди, кобальта и хрома наблюдается одинаковая тенденция – аномально высокое накопление у представителей I-ой группы и незначительная вариабельность в содержании для растений остальных групп. Самым низким уровнем содержания среди изученных элементов отличается кобальт, особенно у макрофитов IV-ой группы.

Результат сравнения средних величин, полученных в исследованиях, с фоновым содержанием металлов в водоемах республики (таблица 2) следующий: концентрация хрома и никеля (на один, а иногда и два порядка), цинка (на порядок), марганца в 1,5 – 8,0 раза, меди в 2,0 – 5,0 раза (исключение – растения II-ой группы) и свинца в 1,2 – 2,3 раза превышает фон. Накопление марганца в гидрофитах изучаемых водоемов и в водоемах республики заметно выше уровня его естественного содержания в растениях, приводимого в литературных источниках, а в некоторых случаях концентрация марганца намного превышает уровень токсичности [1, 2, 9]. Вероятной причиной этого явления могут быть региональные геохими-

ческие особенности распределения марганца в почвах и донных отложениях изучаемых территорий и, соответственно, в растениях водоемов.

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в гидрофитах водоемов и водотоков Беларуси (мг/кг сухого веса) по данным [1, 2]

Элемент	Среднее содержание в растениях по литературным данным*	Содержание в гидрофитах по данным натуральных наблюдений		
		Среднее фоновое	Максимальное в чистых водоемах и водотоках	Максимальное в загрязненных водоемах и водотоках
Хром	2,0–5,0	0,34	11,25	43,0
Никель	0,05–5,0	0,30	11,25	40,8
Цинк	15,0–100,0	1,41	42,10	177,5
Медь	2,0–15,0	3,48	32,60	135,5
Свинец	0,1–5,0	2,38	12,63	832,9
Марганец	Токсичное > 500	301,15	3180,50	3180,5

* Данные, используемые в работах [1, 2]

Как указывается в литературе [1, 2], максимальные количества никеля, меди, свинца и хрома по республике определены в макрофитах водоемов Гомеля и, реже, Могилева. Однако максимальные уровни накопления металлов в загрязненных водоемах республики, приведенные в таблице 2, выше данных, установленных для изучаемых водоемов в 3,0 раза и более. Исключение составляют концентрации марганца для представителей I и III-ей групп и никеля для растений I-ой группы, собранных в водоемах опробования, превышающие аналогичные показатели в загрязненных водоемах республики более чем в 1,2 раза. Количество цинка в макрофитах изучаемых территорий не достигает уровня загрязненных водоемов республики. Высокая концентрация никеля в растениях водоемов Гомеля и окрестностей, очевидно, обуславливает и немалое содержание других элементов, так как, по мнению Мура Д. В. и Рамамурти С. [13], для большинства водных растений никель является высокотоксичным элементом и способствует увеличению проницаемости клеточных оболочек, что повышает их чувствительность к воздействию других металлов. По данным тех же авторов [13], количество хрома в растениях незагрязненных областей редко выходит за верхнюю границу 5 мг/кг. Превышение данной величины у растений I-ой группы в изучаемых водоемах, составляющее, в среднем, 3,5 раза, может свидетельствовать о загрязнении воды водоемов Гомеля и близлежащих территорий, хотя о факторах, влияющих на поглощение хрома водными растениями, известно относительно мало [13]. По обобщенным данным Кабата–Пендиас А. и Пендиас Х. [9], содержание свинца редко превышает 3,0 мг/кг, а цинка – 45 мг/кг. В таком случае растения изучаемых водоемов загрязнены и свинцом, и цинком (исключение IV-ая группа, а для цинка и II-ая группа). Но, вместе с тем, макрофиты водоемов опробования не выходят на первое место в республике по количеству загрязнителей. Все вышесказанное указывает на неблагоприятное, но отнюдь не критическое состояние водной растительности водоемов Гомеля и окрестностей. Более низкое содержание металлов в изучаемых макрофитах по отношению к результатам исследования, полученным коллегами из Лаборатории озераведения БГУ для г. Гомеля [1, 2], говорит о протекании процессов самоочищения внутри водоемов и, возможно, о снижении поступления токсикантов в водоемы опробования. Также следует учесть, что высокие уровни накопления металлов в растительности не всегда сопровождаются загрязнением почв (а для водных растений – донных отложений), что связано с внекорневым поступлением части тяжелых металлов в наземные органы растений [9, 14]. Значительные количества металлов в растениях водоемов Гомеля и прилегающих территорий могут являться следствием загрязнения воздушных масс города.

Если провести сравнение полученных в настоящих исследованиях данных с фоновыми концентрациями металлов в растениях р. Березины в пределах Березинского биосферного заповедника [4], то следует отметить, что представители водоемов опробования сильно загрязнены изучаемыми металлами, за исключением марганца. Для р. Березины содержание хрома, свинца, никеля и цинка в макрофитах было ниже предела обнаружения, концентрация меди и кобальта изменялась в пределах 1–10 мг/кг. Но в растениях загрязненной р. Свислочь соединений цинка, никеля, хрома и меди на порядок, а свинца и кобальта, в среднем, в 2–8 раза больше, чем у представителей водоемов г. Гомеля и близлежащих территорий [4].

Максимальное содержание всех изучаемых элементов, за исключением цинка, наблюдается у растений I-ой экологической группы, что было отмечено и другими исследователями [15, 16, 17]. В наибольшей степени эта разница заметна для меди, никеля и хрома. В литературных источниках указывается на тот факт, что чем больше растение связано с водой, тем в большей степени в его тканях накапливаются медь, свинец и цинк [18], а свободноплавающие гидрофиты I-ой группы получают элементы минерального питания преимущественно из воды [1-3, 8, 16]. Очевидно, высокое содержание элементов у представителей данной группы характеризует общий высокий уровень содержания тяжелых металлов в воде водоемов опробования, а также их доступность в водных массах для растений. Известно, что представители I-ой группы могут поглощать токсиканты также и из воздушных масс [9, 14]. У плавающих неприкрепленных растений отмечено максимальное содержание свинца, а, как указывается в литературе, переносимый по воздуху свинец – главный источник свинцовых загрязнений и легко поглощается растениями через листву [9].

Наряду с плавающими неприкрепленными гидрофитами в водоемах опробования подводные растения III-ей группы также отличаются достаточно высокой концентрацией изучаемых металлов. Наличие у представителей III-ей группы сильно развитых, рассеченных листьев со значительной площадью сорбции способствует активному усвоению металлов не только из донных отложений, но и, частично, из воды. Большинство исследователей указывают на более высокую аккумулирующую способность подводных растений III-ей группы, в сравнении с макрофитами I-ой группы [1-3, 8, 19]. Но в изучаемых водоемах подводные растения уступают свободноплавающим по уровню аккумуляции металлов: у макрофитов III-ей группы определена максимальная концентрация только цинка. Это может служить подтверждением значительного вклада аэрального поступления токсикантов в водоемы опробования наряду с поверхностным стоком и несанкционированными сбросами. Содержание тяжелых металлов у погруженных растений в 1,5–10 раз выше, чем у макрофитов IV-ой группы. На образование единицы биомассы рдест (III-я группа) поглощает в два раза больше элементов минерального питания, чем тростник (IV-ая группа) [20]. Это свидетельствует о высокой поглотительной способности погруженных растений и об их очистительной роли в водоеме [20].

Растения II и IV-ой групп характеризуются относительно невысокими уровнями накопления тяжелых металлов, что отмечалось и другими исследователями [4]. Среднее содержание свинца и никеля у растений данных групп различается незначительно. Накопление кобальта у представителей II-ой экологической группы выше, чем у макрофитов IV-ой группы, тогда как минимальное содержание всех остальных изученных элементов, отмечено у плавающих прикрепленных растений. Минимальный уровень накопления металлов представителями II и IV-ой групп (особенно II-ой группы) делают их менее пригодными для использования при проведении экологического обследования водоемов. Растения I-ой и III-ей групп могут рассматриваться как приоритетные объекты при техногеохимических индикациях и мониторинге, на что указывают и другие авторы [1, 2, 4]. Погруженная растительность наиболее полно характеризует состояние гидроэкосистемы и изменения, происходящие в водоеме, так как отличается наибольшей способностью к накоплению химических элементов [1, 2].

Заключение

Изучение содержания каждого из металлов в водной растительности водоемов опробования позволило получить следующие ряды накопления:

I гр. : Mn > Zn > Cr > Ni ≥ Cu > Pb > Co

II гр.: Mn > Zn > Pb > Cu > Ni > Cr > Co

III гр. Mn > Zn > Cu ≈ Ni > Cr > Pb > Co

IV гр. Mn > Zn > Cu > Cr > Ni > Pb > Co

Принадлежность исследованных видов водных растений к различным экологическим группам в значительной мере определяет их способность концентрировать тяжелые металлы. В больших количествах в растениях содержатся так называемые «биометаллы» – марганец и цинк. Медь – высокотоксичный металл для большинства водных растений, более токсичный, чем свинец [13], и накопление его в растениях III и IV-ой групп в значительных количествах говорит о повышенном содержании доступных форм меди в водоемах. Если элементы повышенной концентрации – марганец и цинк – абсолютно преобладают вне зависимости от принадлежности растений к различным экологическим группам, то по градации накопления меди, никеля, свинца и хрома водная растительность экологических групп отличается. И в чистых, и в загрязненных водоемах республики хром и никель располагаются на последних местах по степени накопления [1, 2, 4]. «Продвижение» хрома, никеля и свинца вперед в рядах накопления металлов у макрофитов в водоемах опробования свидетельствует о загрязненности растений хромом и никелем, а в некоторых случаях и свинцом. Самым низким уровнем аккумуляции в растениях среди изученных элементов отличается кобальт.

Полученные в настоящих исследованиях данные подтверждают высокий уровень загрязнения водной растительности водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий изучаемыми металлами. Отмечается неблагоприятное, но отнюдь не критическое состояние водной растительности водоемов городской территории и окрестностей города.

Максимальный уровень накопления изучаемых металлов, за исключением цинка, характерен для представителей I-ой группы. Однако следует учитывать, что для растений группы характерно накопление токсикантов не только из воды водоемов, но и из загрязненных городских воздушных масс. Высокой аккумулярующей способностью отличаются также гидрофиты III-ей группы, для которых основными источниками поступления минеральных компонентов в ткани выступают вода и донные отложения водоемов. Погруженные растения III-ей группы целесообразно использовать для оценки загрязнения водоемов не исключая полностью анализ представителей других экологических групп.

Резюме. Элементы повышенной концентрации – марганец и цинк – абсолютно преобладает вне зависимости от принадлежности растений к различным экологическим группам, по градации накопления меди, никеля, свинца и хрома водная растительность экологических групп отличается. Принадлежность исследованных видов водных растений к различным экологическим группам в значительной мере определяет их способность концентрировать тяжелые металлы. Полученные в настоящих исследованиях данные подтверждают высокий уровень загрязнения водной растительности водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий изучаемыми металлами. Отмечается неблагоприятное, но отнюдь не критическое состояние водной растительности водоемов городской территории и окрестностей города. Максимальный уровень накопления изучаемых металлов, за исключением цинка, характерен для представителей I-ой группы.

Abstract. The concentration of heavy metals in plants of various ecological groups in reservoirs of Gomel and adjacent territories is studied in the paper.

Литература

1. Власов, Б. П. Использование высших водных растений для оценки и контроля за состоянием водной среды: методические рекомендации / Б. П. Власов, Г. С. Гигевич. – Мн.: Изд-во БГУ, 2002. – 84 с.

2. Гигевич, Г.С. Высшие водные растения Беларуси: Эколого – биологическая характеристика, использование и охрана / Г.С. Гигевич, Б.П. Власов, Г.В. Вынаев. – Мн.: БГУ, 2001. – 231с.
3. Микрякова, Т.Ф. Распределение тяжелых металлов в высших водных растениях Угличского водохранилища / Т.Ф. Микрякова // Экология. – 1994. – № 1. – С. 16–21.
4. Савченко, В.В. Микроэлементы в водных растениях Беларуси (на примере рек Березина и Свислочь) / В.В. Савченко, И.К. Вадковская // Природопользование, 1996. – вып.1 – С. 124–127.
5. Гладышев, М.И. Содержание металлов в экосистеме и окрестностях рекреационного и рыбоводного пруда Бугач / М.И. Гладышев, И.В. Грибовская, Е.А. Иванова и др. // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28: № 3. – С. 320–328.
6. Катанская, В.М. Высшая водная растительность континентальных водоемов СССР: Методы изучения / В.М. Катанская. – Л.: Наука, 1981. – 187с.
7. Никаноров, А.М. Биомониторинг тяжелых металлов в пресноводных экосистемах / А.М. Никаноров, А.В. Жулидов, А.Д. Покаржевский. – Л.: Гидрометеоздат, 1985. – 143 с.
8. Гигевич, Г.С. Мониторинг высшей водной растительности как метод контроля за трансформацией природной среды / Г.С. Гигевич, Б.П. Власов // Природопользование в условиях дифференцированного антропогенного воздействия. – Minsk: Sosnowies, 2000. – С. 186–192.
9. Кабата–Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях: Пер. с англ. / А. Кабата–Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439с.
10. Adams, F.S. The influence of nutrient pollution levels upon element constitution and morphology of *Elodea canadensis* Rich. in Michx / F.S. Adams, D.R. Mackenzie, H. Cole, W.P. Marilyn // Environ. Pollut. – 1971. – Vol. 1. – P. 285–298.
11. Дикиева, Д. Химический состав макрофитов и факторы, определяющие концентрацию минеральных веществ в высших водных растениях / Д. Дикиева, И.А. Петрова // Гидробиологические процессы в водоемах. – Л.: Наука, 1983. – С. 107–213.
12. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение / Ильин В.Б. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151с.
13. Мур, Дж.В. Тяжелые металлы в природных водах / Дж.В. Мур, С. Рамамурти. – М.: Мир, 1987. – 288с.
14. Хомич, В.С. Экогеохимия городских ландшафтов Беларуси / В.С. Хомич, С.В. Карарека, Т.И. Кухарчик. – Минск : РУП «Минсктиппроект», 2004. – 260 с.
15. Микрякова, Т.Ф. Содержание тяжелых металлов в макрофитах Шекснинского плеса Рыбинского водохранилища / Т.Ф. Микрякова // Биология внутренних вод. – 1990. – № 87. – С. 31–34.
16. Микрякова, Т.Ф. Накопление тяжелых металлов макрофитами в условиях различного уровня загрязнения водной среды / Т.Ф. Микрякова // Водные ресурсы. – 2002. – Т. 29, № 2. – С. 253–255.
17. Кадукин, А.И. Аккумуляция железа, марганца, цинка, меди и хрома у некоторых водных растений / А.И. Кадукин, В.В. Красинцева, Г.И. Романова, Л.В. Тарасенко // Гидробиологический журнал. – 1982. – Т. 18, № 1. – С. 79–82.
18. Никаноров, А.М. Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах / А.М. Никаноров, А.В. Жулидов. –Л.: Гидрометеоздат, 1991. –311с.
19. Микрякова, Т.Ф. Тяжелые металлы в макрофитах Рыбинского водохранилища / Т.Ф. Микрякова // Водные ресурсы. – 1996. – Т. 23, № 2. – С. 234–240.
20. Якубовский, К.Б. Самоочищение вод в зависимости от физиологических особенностей высших водных растений / К.Б. Якубовский, А.И. Мережко // Гидробиологический журнал. – 1982. – т. 18, № 2. – С. 62–68.

УДК 599.6/.73:591.46(476.2)

Патоморфологические изменения органов мочеполовой системы диких промысловых копытных, добытых на территории зоны отчуждения

А. В. Гулаков

Чернобыльская катастрофа, беспрецедентная по своим масштабам, сказалась на состоянии экосистем обширных пространств Беларуси, Украины и европейской части России. Но особенно значительными оказались экологические последствия катастрофы в районах, непосредственно прилегающих к Чернобыльской АЭС. Последствия облучения для растительного и животного мира были наиболее заметными на расстоянии до нескольких десятков километров от места выброса только в зоне отчуждения.

С точки зрения формирования тканевых доз и радиобиологических последствий после аварии на Чернобыльской АЭС ведущим изотопом является ^{137}Cs . Отдельные органы благодаря выраженному поступлению в них радиоцезия (в связи с интенсивным ионным и энергетическим обменами) подвергаются огромному токсическому воздействию как самого радионуклида, так и его дочерних продуктов распада, в частности ^{137}Ba [1].

Почки активно накапливают радиоактивный цезий, при этом его концентрация может достигать очень больших величин, являясь причиной патологических изменений в данных органах [2, 3]. Половая система, обеспечивающая как генеративную, так и копулятивную (сексуальную) функции также весьма чувствительна к радиационному воздействию. Отмечаются атипичные митозы, вакуолизация, пикноз ядер, растворение цитоплазмы, уменьшение просвета семенных канальцев, обеднение семенников энергетическими веществами [4].

Поэтому при проведении радиоэкологического мониторинга за промысловыми копытными в послеаварийный период особый интерес представляло изучение состояния органов выделительной и половой систем диких животных как наиболее подверженных воздействию ионизирующего излучения.

Основным объектом исследований являлись дикие промысловые копытные животные: лось (*Alces alces* L.), косуля европейская (*Capreolus capreolus* L.) и дикий кабан (*Sus scrofa* L.), обитающие на территории зоны отчуждения после катастрофы на Чернобыльской АЭС.

Наиболее загрязненный радионуклидами участок, где проводились исследования, находился в зоне отчуждения аварийного выброса Чернобыльской АЭС в районе деревень Борщевка, Молочки, Погонное, Радин, Аревичи, Дроньки Хойникского района Гомельской области, где уровень загрязнения территории ^{137}Cs составлял 1100–8184 кБк/м² и ^{90}Sr – 185–1633 кБк/м². Данная местность расположена в Полесском зоогеографическом районе и находится в подзоне широколиственно-сосновых лесов. Основную часть изучаемой территории занимают дерново-подзолистые (дерново-глееватые рыхлосупесчаные или связнопесчаные почвы) – 80 % и менее значительную часть – аллювиальные (пойменные) и торфяно-болотные почвы – 20 %. Район характеризуется, главным образом, низким и плоским рельефом с конечноморенными грядами, террасами и равнинами. Территория исследования расположена в междуречье рек Припять и Днепр на расстоянии 10–35 км от Чернобыльской АЭС.

От диких животных, добытых на территории радиоактивного загрязнения, производили отбор проб почек и семенников для проведения патоморфологического и гистологического исследования.

Исследование клинического состояния диких копытных проводили согласно общепринятым методикам. Обращали внимание на общее состояние животных, упитанность, координацию движений, состояние шерстного покрова, видимых слизистых оболочек, лимфатических узлов. Кусочки щитовидной железы фиксировали в 10 % растворе нейтрального

формалина. Срезы готовили в Гомельском государственном медицинском университете на серийном микротоме из парафиновых блоков и окрашивали их гематоксилинэозином.

В результате послеубойного осмотра было установлено, что у всех добытых животных упитанность хорошая, кожные покровы чистые, эластичные, шерстный покров густой и прочно удерживается. Слизистые оболочки имели бледно-розовый цвет без видимых патологических изменений. Органы и ткани находились в естественном положении без физиологических изменений.

За период исследований нами были проанализированы патоморфологические изменения в почках диких животных, добытых на территории зоны отчуждения.

В почках под воздействием радиоактивного излучения поражается клубочковый аппарат почек. Контрактуры миофибрилл приводят к длительному спазму артериол и следовательно, к прекращению кровообращения в структурах нефрона. Последовательно возникающие дистрофические и некробиотические изменения заканчиваются сморщиванием и фрагментацией клубочков. Возникает гибель клеточных элементов с образованием характерных структурных изменений в клубочках в виде феномена «тающей льдинки» [5]. Итогом данного процесса является развитие почечной недостаточности.

Так, например, в почках лосей находили обширные некрозы эпителия проксимальных извитых канальцев (рисунок 1).

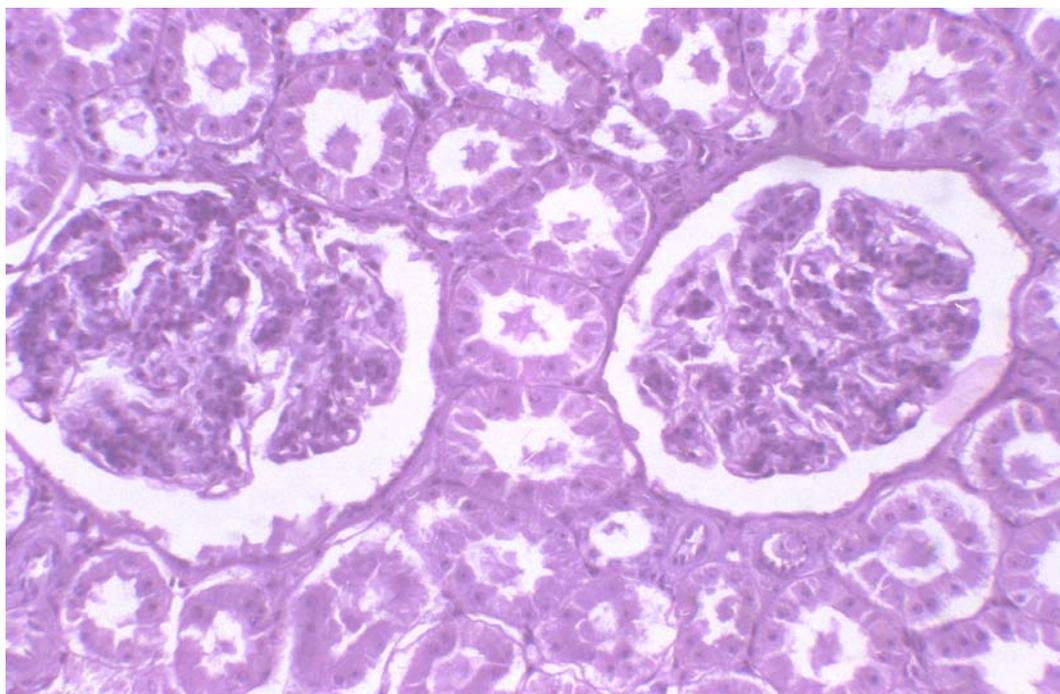


Рисунок 1 – Зернистая дистрофия канальцевого эпителия

Это было связано, скорее всего, с острой патологией сердечно-сосудистой системы – возможно у животного наблюдался длительный агональный период.

В почках дикого кабана наблюдали признаки гломерулонефрита (гломерулонефрит) с минимальными изменениями, полнокровие сосудов, очаговую зернистую дистрофию канальцевого эпителия (рисунок 2).

Гонады относятся к наиболее радиочувствительным органам. Изменения в половых железах сказываются как на плодовитости животных, так и на жизнеспособности и полноценности потомства. В семенниках поражаются молодые сперматоциты и происходит нарушение клеточных ядер, что ведет к снижению плодовитости самцов. В яичниках в первую очередь поражаются молодые ооциты и значительно позднее – зрелые половые клетки. Чем выше доза облучения, тем медленнее идёт процесс нормализации овогенеза.

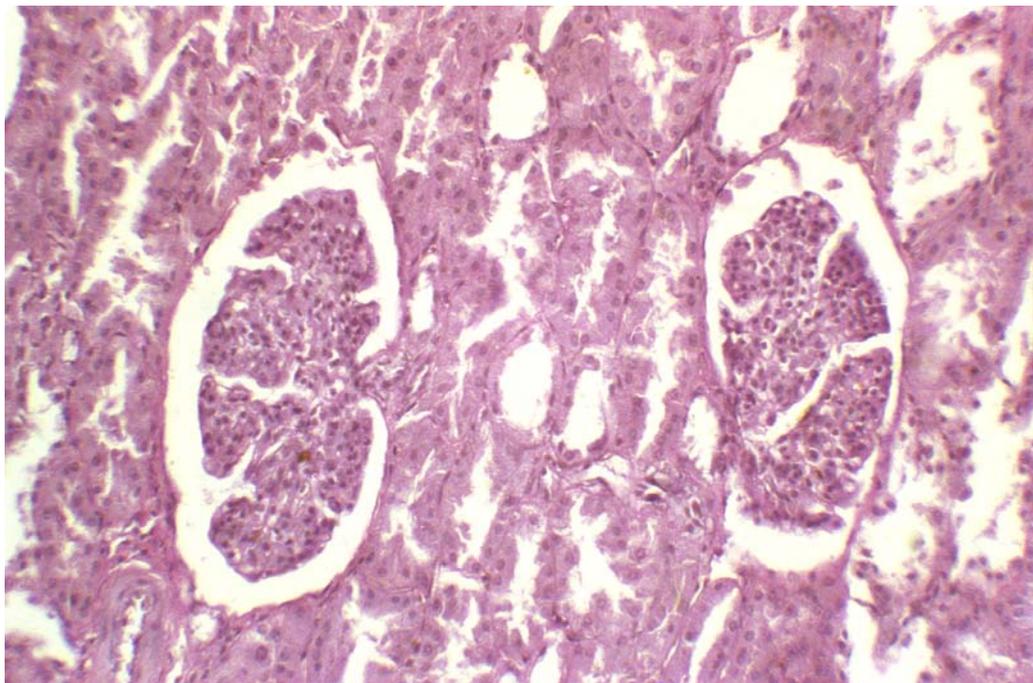


Рисунок 2 – Признаки гломерулопатии (гломерулонефрит) с минимальными изменениями

Очень важным с практической и научной точек зрения является вопрос о том, как влияет ^{137}Cs на репродуктивные процессы, течение беременности и внутриутробное развитие зародыша. Проникновение ^{137}Cs в систему мать–плод индуцирует врожденные пороки развития при наличии генетической предрасположенности к их возникновению (так называемые мультифакториальные врожденные пороки развития). Антиметаболическое (токсическое) действие инкорпорированного радиоцезия проявляется снижением синтетических процессов в закладках окостенения костей скелета зародышей, нарушением гормоногенеза [6].

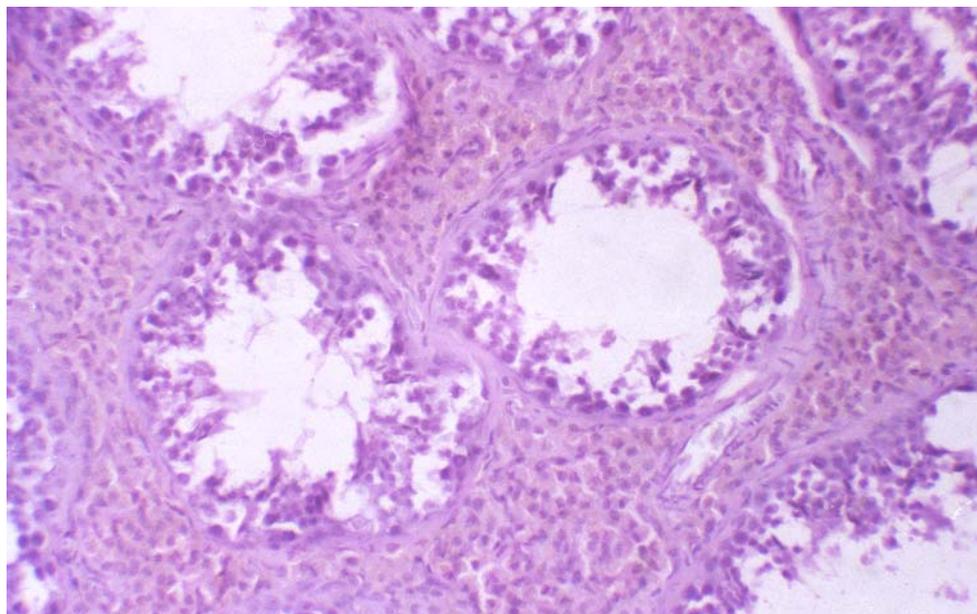


Рисунок 3 – Умеренная атрофия сперматогенного эпителия

Нами в семенниках лосей, добытых на территории зоны отчуждения, было установлено уменьшение числа семяродных клеток, а также отеки и кровоизлияния. Наблюдалось умеренная атрофия сперматогенного эпителия и пролиферация клеток Лейдига (рисунок 3).

В семенниках европейской косули, добытой на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения, отмечали от умеренной, местами выраженной атрофии до резко выраженной атрофии сперматогенного эпителия (рисунок 4, 5).

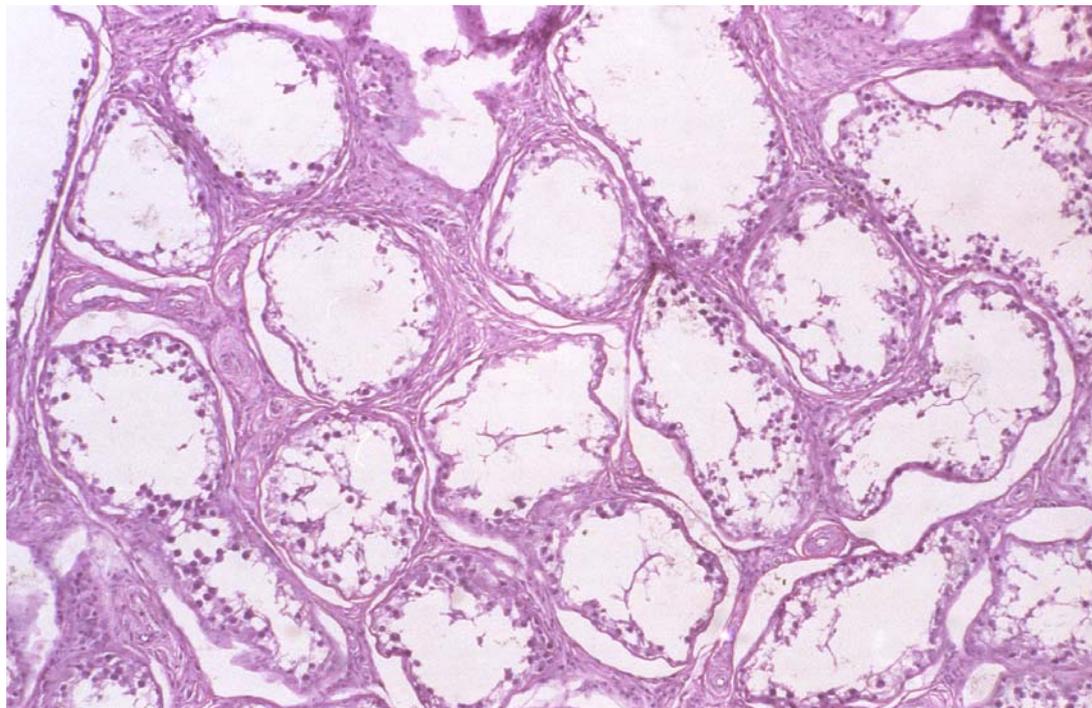


Рисунок 4 – Умеренная, местами выраженная атрофия сперматогенного эпителия

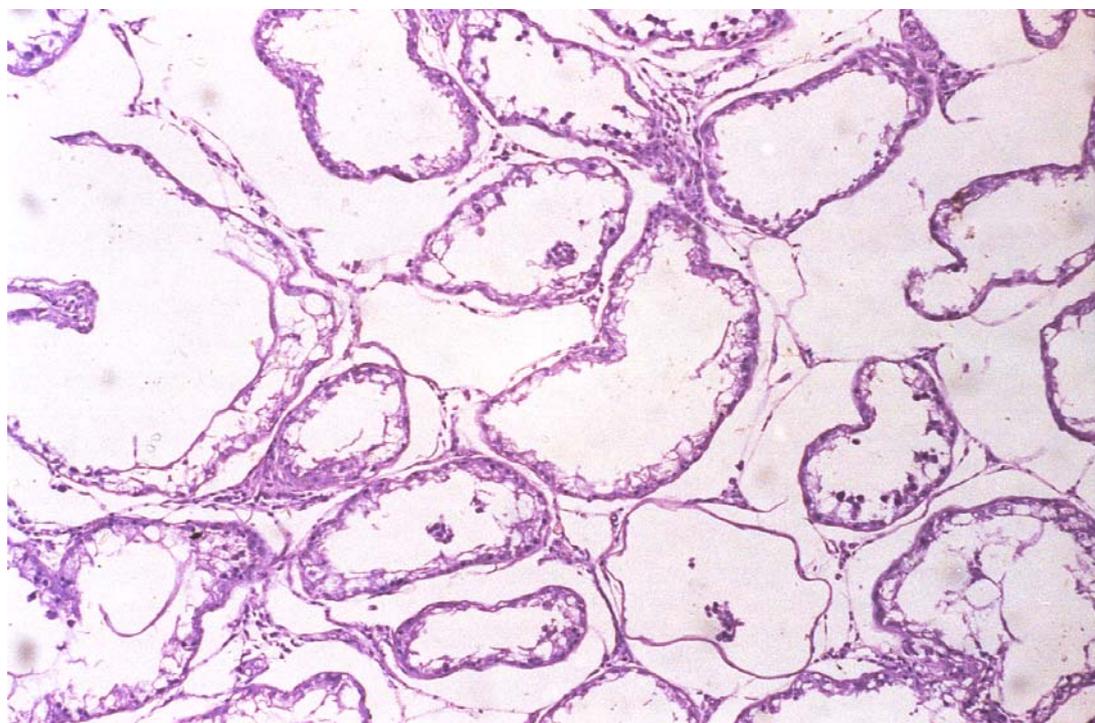


Рисунок 5 – Резко выраженная атрофия сперматогенного эпителия

Почти такие же патоморфологические изменения репродуктивной системы были характерны и для дикого кабана. В семенниках животных наблюдалась атрофия сперматогенного эпителия от небольшой очаговой до умеренно выраженной, а также пролиферация клеток Лейдига (рисунок 6, 7).

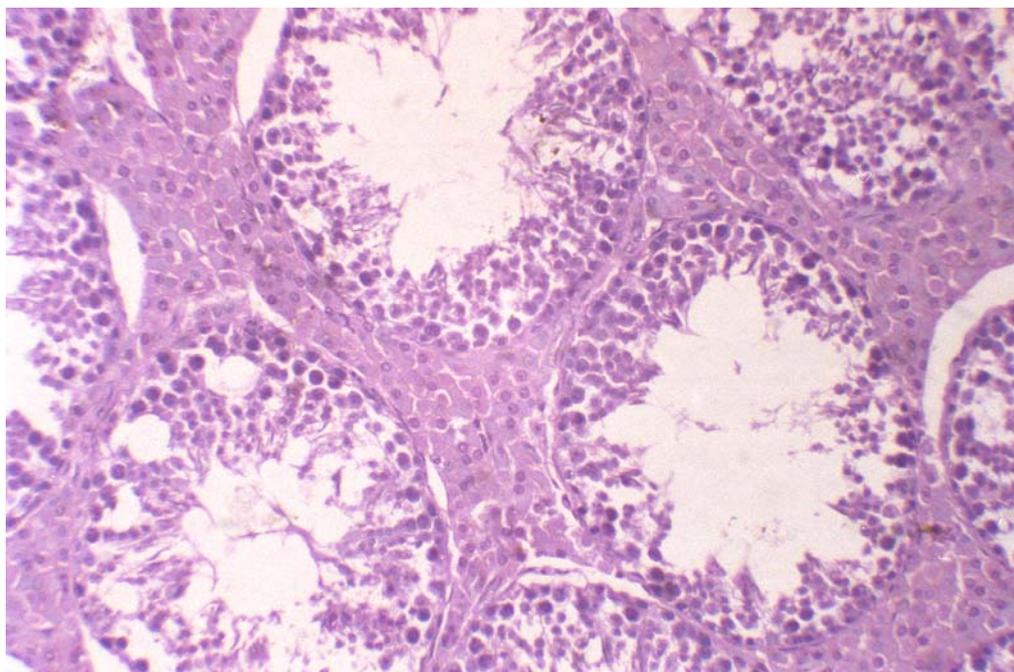


Рисунок 6 – Очаговая небольшая атрофия сперматогенного эпителия

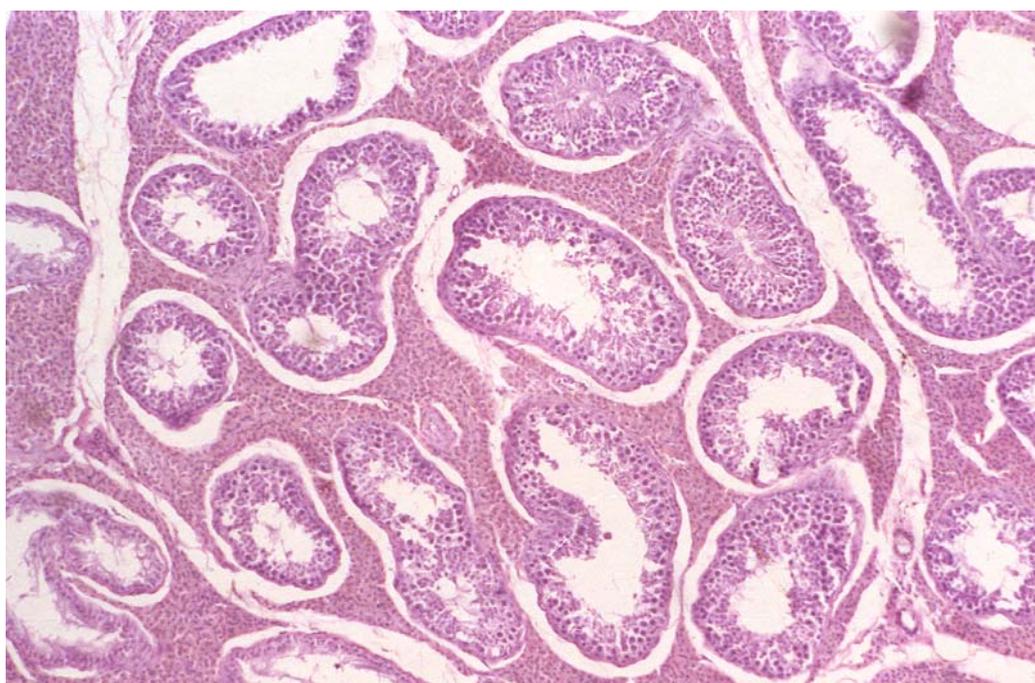


Рисунок 7 – Умеренно выраженная атрофия сперматогенного эпителия

Следует отметить, что в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС у диких промысловых копытных, обитающих на территории с различной плотностью радиоактивного загрязнения, изменения во внутренних органах при патологоанатомическом обследовании были выражены значительно слабее или ткани имели нормальное гистологическое строение.

Так, например, у животных, добытых на территории зоны отселения в период 1996–2003 годов, в почках наблюдали признаки гломеруллопатии с минимальными изменениями. В семенниках отмечалась маловыраженная атрофия сперматогенного эпителия, очаговая небольшая пролиферация клеток Лейдига, в сердце умеренный отек стромы и очаговая фрагментация мышечных волокон.

Следует отметить, что схожие изменения наблюдались в органах и тканях сельскохозяйственных животных, эвакуированных из зоны аварии [7, 8].

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено, что патоморфологические изменения во внутренних органах и тканях диких промысловых копытных наблюдались только в начальный период аварии. Они характеризовались по степени выраженности значительной вариабельностью и зависели от места добычи и возраста животных.

Резюме. В работе представлены данные о состоянии секреторной и репродуктивной системы, наиболее распространенных видов диких промысловых животных, обитающих на территории зоны отчуждения после аварии на ЧАЭС. Показаны основные патоморфологические изменения в полученных органах добытых животных. Результаты гистологических исследований показали, что морфологические изменения в органах и тканях добытых животных имеют высокую степень вариабельности.

Abstract. Pathological and morphological changes of the organs of the urino-genital system of wild game hoofed animals living in the exclusion zone are studied in the paper. The Results of histological examination show that morphological and physiological changes of organs and tissues of the animals have considerable variability.

Литература

1. Марей, А.Н. Глобальные выпадения Cs – 137 и человек / А.Н. Марей, Р.М. Бархударов, Н.Я. Новикова. – М.: Атомиздат, 1974. – 168 с.
2. Гулаков, А.В. Радиоэкология диких промысловых животных и пресноводных рыб после аварии на Чернобыльской АЭС / А.В. Гулаков, К.Ф. Саевич. – Минск: Веды, 2006. – 168 с.
3. Гулаков, А.В. Радиоэкологические аспекты состояния отдельных популяций дикого кабана, обитающего на территории радиоактивного загрязнения / А.В. Гулаков // Қазақстанның Биологиялық ғылымдары. – 2008. – № 3. – С. 101–108.
4. Бандажевский, Ю.И. Патологические процессы в организме при инкорпорации радионуклидов / Ю.И. Бандажевский. – Минск: Белрад, 2002. – 142 с.
5. Бандажевский, Ю.И. Патология инкорпорированного радиоактивного излучения / Ю. И. Бандажевский. – Минск: Белорусский государственный технологический университет, 1999. – 136 с.
6. Мацюк, Я.Р. Особенности становления структуры и функции семенников у потомства при воздействии инкорпорированных радионуклидов / Я.Р. Мацюк [и др.] // Достижения медицинской науки Беларуси. – Выпуск 2. – 1997. – 126 с.
7. Экологические и радиобиологические последствия Чернобыльской катастрофы для животноводства и пути их преодоления / под ред. Р.Г. Ильязова – Казань: Фэн, 2002. – 330 с.
8. Адаптация агроэкоферы к условиям техногенеза / под ред. Р.Г. Ильязова – Казань: Фэн, 2006. – 664 с.

Сорбция ионов щелочных и щелочноземельных металлов алкилрезорциновым пенопластом

С. М. ПАНТЕЛЕЕВА, С. А. МЕЧКОВСКИЙ, Т. И. РАДКЕВИЧ

Введение

Ионообменные материалы с высоким содержанием фенольных групп проявляют уникальные сорбционные свойства [1], в том числе повышенную способность дифференцированного обмена протона на ион металла с четко выраженной предпочтительностью к ионам s-элементов большого радиуса. В сочетании с высокой чувствительностью обменного процесса к протонной активности жидкой фазы эта особенность фенольных ионообменников указывает на перспективность их применения в аналитической химии, технологии очистки производственных отходов и загрязненных грунтов, геохимических исследованиях [2].

В приложении к процессам выделения микроэлементов большую значимость имеет специфика концентрационной зависимости емкости и селективности сорбции целевых компонентов. Особый интерес в этом плане представляют нелинейные формы зависимости сорбции от концентрации [3, 4] и концентрационные уровни появления экстремумов на изотермах сорбции [4, 5]. Последнее определяет необходимость новых подходов в оценке характеристик функциональных групп сорбентов с учетом возможностей не только количественных, но и качественных изменений во взаимодействии сорбент – сорбат при варьировании в широких пределах концентрации сорбата, электролитного фона, протонной активности жидкой и гелевой фаз.

Нами в данной работе исследована концентрационная и pH-зависимость сорбции ионов Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Ca^{2+} , Sr^{2+} и Ba^{2+} алкилрезорциновым пенопластом (АРП), синтезированным на основе природных органоминеральных сланцев [6]. Оценены уровни нелинейности изотерм сорбции в различных концентрационных интервалах исследуемых металлов для pH 2-9 при варьировании концентрации электролитного фона.

Экспериментальная часть

Применены методы потенциометрического титрования (стеклянный индикаторный электрод и хлорсеребряный электрод сравнения) и микромасштабной фронтальной хроматографии [7]. Кривые потенциометрического титрования и фронтальные выходные кривые для всех изученных систем расчетным путем переведены в форму функций Грегора [8]:

$$\text{pH} = \text{pK}_a + \text{nlg} \frac{a}{1-a}, \quad \text{pM} = \text{pK}_{\text{RM}} + \text{nlg} \frac{a}{1-a},$$

где pK_a и pK_{RM} соответственно константа протолитической кислотности функциональной группы и константа образования соединения функциональная группа – ион металла, a – степень превращения сорбента в металл-форму, n – угловой коэффициент, т.е. тангенс угла наклона функций

$$\text{pH} = \int \left(\text{lg} \frac{a}{1-a} \right), \quad \text{pM} = \int \left(\text{lg} \frac{a}{1-a} \right).$$

В качестве титрантов использованы водные растворы гидроксидов исследуемых ионов металлов (при изучении сорбции щелочных металлов) или раствор гидроксида натрия (в случаях щелочноземельных металлов). Данные потенциометрического титрования использованы для построения рК-спектров брэнстедовской кислотности [9, 10].

Хроматографические измерения проводили с использованием микроколонок [7] размером (50*2) мм при скорости потока подвижной фазы 1 см³/мин. Концентрацию ионов металлов на выходе из колонки определяли во фракциях объемом 5 см³ методами атомноэмиссионной и молекулярноабсорбционной спектроскопии.

Результаты и их обсуждение

На рис. 1 представлены рК-спектры сорбента АРП, иллюстрирующие изменение емкостных (q , ммоль-экв/г) и интенсивных (pK_a) характеристик обмена ионов в системах $H^+ - Li^+$, $H^+ - Cs^+$ и $H^+ - Sr^{2+}$ на фоне хлоридов соответствующих металлов и фазовом отношении сорбент – раствор (по массам) 0,300 : 20,00. Значения pK_a приведены в виде усредненных величин, отвечающих интервалу изменения рН (в процессе потенциометрического титрования) равному единице.

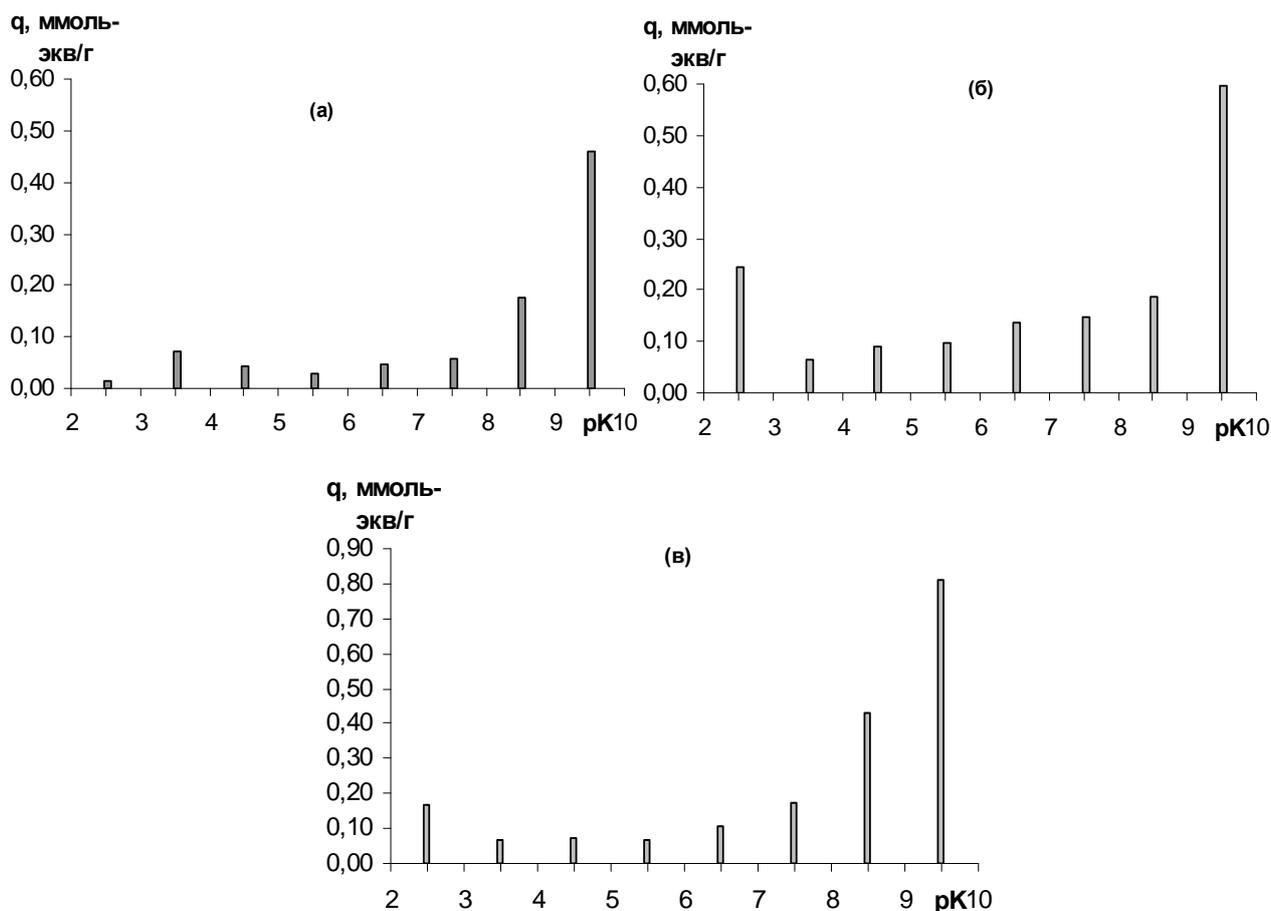


Рисунок 1 – Бренстедовские рК-спектры при обмене в системах: $H^+ - Li^+$ (а), $H^+ - Cs^+$ (б), $H^+ - Sr^{2+}$ (в).

Из приведенных данных следует, что в сорбенте преобладают способные к ионному обмену функциональные группы, характеризующиеся величинами pK_a в интервале 8-10. Это отвечает природе фенольных групп, степень диссоциации которых может варьировать в зависимости от плотности структуры матрицы и протонодонорных свойств других активных центров. Суммарная емкость этих групп варьирует с изменением природы металла и составляет по ионам Li^+ , Cs^+ и Sr^{2+} соответственно 0,90; 1,57 и 1,89 ммоль-экв/г. Такая особенность, очевидно, является характерным свойством природных полифункциональных сорбентов [11, 12] в связи с существенным влиянием соседних протонодонорных и протоноакцепторных групп на механизм обмена протон – металл. Сводные данные, приведенные в таблице 1, подтверждают эту точку зрения.

Таблица 1. Обменная емкость как функция рН жидкой фазы

Системы ионов	рK _a			
	2-4	4-6	6-8	8-10
H ⁺ – Li ⁺	0.08	0.07	0.11	0.64
H ⁺ – Na ⁺	0.16	0.17	0.29	0.78
H ⁺ – K ⁺	0.27	0.19	0.39	0.81
H ⁺ – Rb ⁺	0.34	0.19	0.25	0.83
H ⁺ – Cs ⁺	0.31	0.19	0.29	0.79
H ⁺ – Ca ⁺	0.12	0.13	0.21	1.06
H ⁺ – Sr ²⁺	0.23	0.14	0.28	1.24
H ⁺ – Ba ²⁺	0.25	0.27	0.41	1.01

В качестве показателя, характеризующего селективность сорбента по отношению к исследуемым металлам, может быть использована величина приращения емкости обмена протон – металл (Δq) относительно металла, выбранного как элемент сравнения. На рис. 2 и 3 представлены значения Δq при использовании в качестве системы сравнения H⁺ – Na⁺.

Как видно из приведенных данных, в интервале величин рK_a 2-7 селективность незначительна, несмотря на то, что в данной области обмен протона на металл имеет место (см.

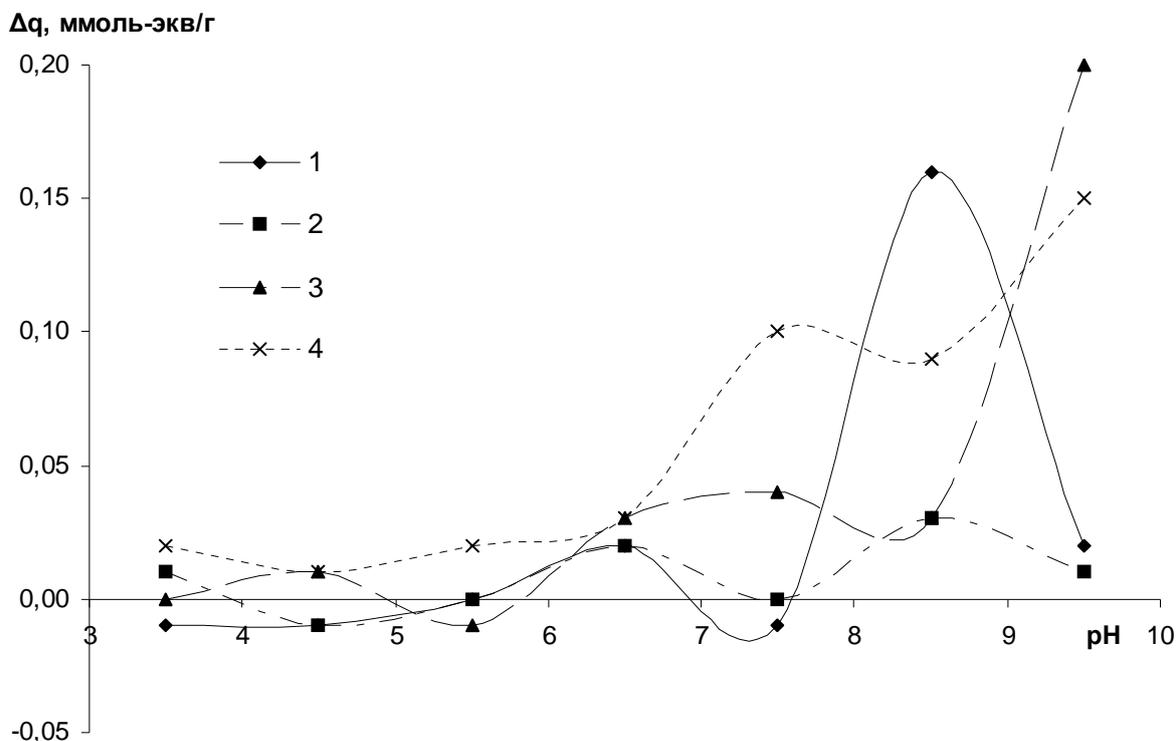


Рисунок 2 – Приращение протоннообменной емкости в зависимости от рН жидкой фазы при обмене в системах: H⁺ – Li⁺ (1), H⁺ – K⁺ (2), H⁺ – Rb⁺ (3), H⁺ – Cs⁺ (4).

рис. 1). Селективные свойства сорбента весьма значительны на уровне величин рK_a 7-10, что подтверждает представления [1] об особой роли фенольных групп в сорбционном процессе.

Варьирование емкостных и селективных свойств полифункционального сорбента с изменением рН среды указывает на наличие существенных изменений сольватационных и протонодонорных свойств гелевой фазы в процессе замещения протона на ион металла. Согласно [5, 13], надмолекулярная структурная организация воды в полимере включает три сосуществующие формы: 1) вода первого гидратационного слоя фиксированных функциональных групп и противоионов; 2) вода второго гидратационного слоя, характеризующаяся нарушением структуры водородных связей с высокой степенью разупорядо-

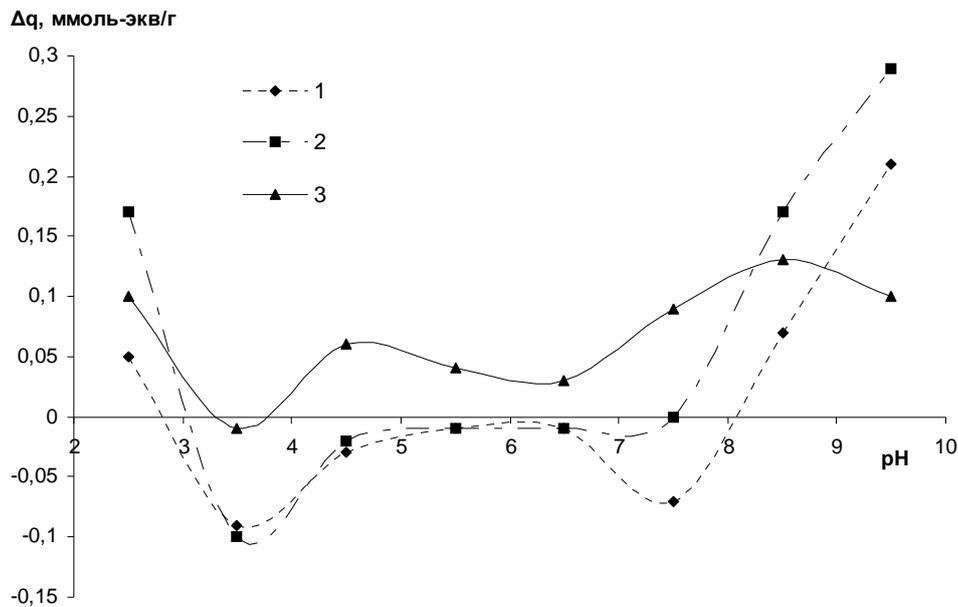


Рисунок 3 – Приращение протоннообменной емкости в зависимости от pH жидкой фазы при обмене в системах: $H^+ - Ca^{2+}$ (1), $H^+ - Sr^{2+}$ (2), $H^+ - Ba^{2+}$ (3).

ченности; 3) вода со структурой, близкой к ее структуре во внешнем растворе. Эти разновидности вносят свойственный им вклад в процесс самоорганизации при формировании супрамолекулярных структур [12, 13], что в свою очередь определяет интенсивность протонирования – депротонирования функциональных групп и, следовательно, процесс обмена протон – ион металла. Известно [14], что эффекты межмолекулярного и межатомного взаимодействия в граничных слоях способны определяющим образом влиять на такие эффекты, как вязкость, теплопроводность, электропроводность и др. Эффекты такого уровня, безусловно, сказываются на емкостных и селективных характеристиках ионообменных процессов. В первую очередь это относится к полифункциональным ионообменникам, получаемым на основе природных материалов [11].

Результаты потенциметрического титрования сорбента АРП на фоне хлоридов лития, цезия и стронция представлены на рис. 4 в форме функций Грегора [8].

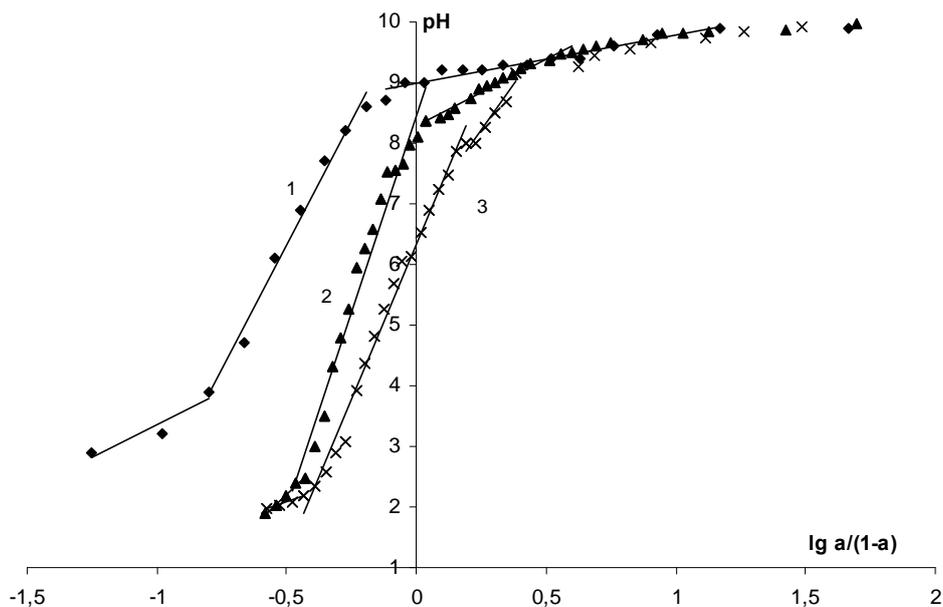


Рисунок 4 – Функции Грегора при обмене в системах: $H^+ - Li^+$ (1), $H^+ - Sr^{2+}$ (2), $H^+ - Cs^+$ (3).

Линеаризация титриметрических данных в данном случае имеет целью установление характера отклика системы сорбент – раствор электролита на действие вводимого в систему

реагента, способного превращать Н-форму сорбента в металл-форму. Наличие изломов на графиках зависимости рН жидкой фазы от $\lg \frac{a}{1-a}$, где a – доля реагента от общего его количества, требуемого для превращения в металл-форму функциональных групп сорбента, характеризующихся определенным значением pK_a , указывает на существенные различия условий обмена в разных интервалах рН. Для всех изученных систем характерно наличие прямолинейных участков с угловыми коэффициентами выше 1. Эти участки относятся к слабокислым, нейтральной и слабощелочной областям. Их протяженность варьирует в зависимости от природы металла. Соответственно варьирует и положение изломов относительно оси рН, за пределами которых угловые коэффициенты меньше 1 (табл. 2).

Таблица 2. Угловые коэффициенты в функции Грегора по данным потенциметрических измерений

Системы ионов	рН		
	2-4	4-8	8-10
$H^+ - Li^+$	0.53	5.14	0.10
$H^+ - Na^+$	0.19	3.35	0.35
$H^+ - K^+$	0.34	4.98	0.85
$H^+ - Rb^+$	0.30	6.59	0.61
$H^+ - Cs^+$	0.19	6.37	0.75
$H^+ - Ca^{2+}$	0.35	4.79	0.33
$H^+ - Sr^{2+}$	0.49	8.15	0.54
$H^+ - Ba^{2+}$	0.61	3.27	0.46

Как видно, условия замещения протона на металл в разных областях рН существенно различаются. В интервале величин рН 4-8 проявляется наличие эффектов, препятствующих переносу металла в фазу сорбента. Областям с низкими и высокими значениями рН характерны противоположные эффекты – усиление переноса металла в сорбент. Согласно [8], аномально большие наклоны рассматриваемых функций связаны с ростом отрицательного заряда матрицы сорбента по мере депротонирования функциональных групп. Вторая точка зрения [5, 15] базируется на представлении о формировании в гелевой фазе протонных барьеров.

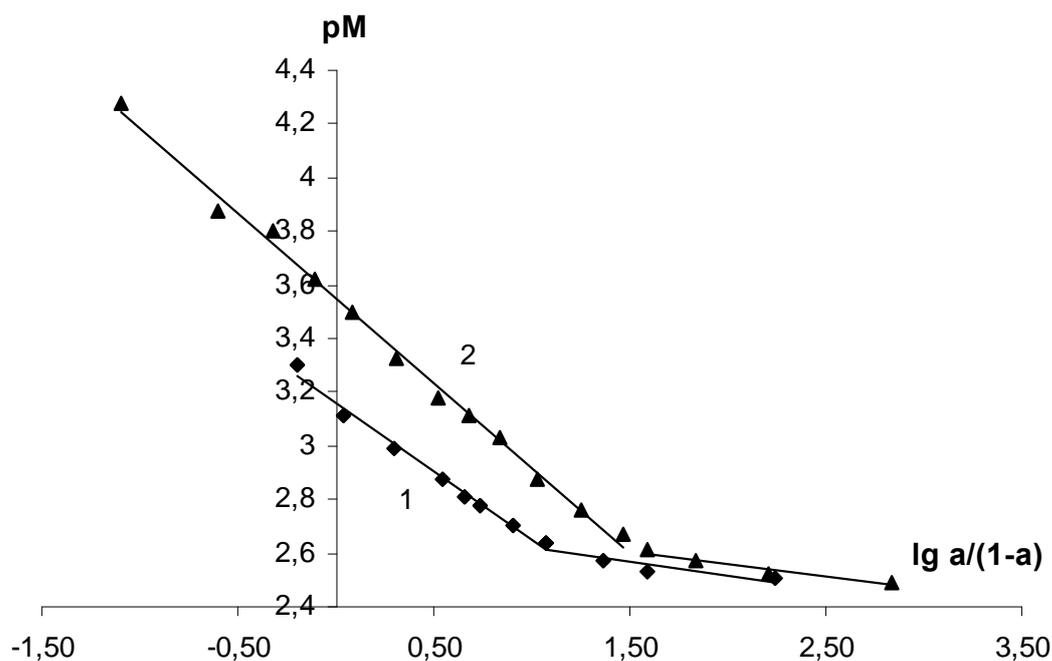


Рисунок 5 – Функции Грегора при обмене в режиме фронтальной хроматографии. Системы: $H^+ - K^+$ (1), $H^+ - Cs^+$ (2).

ров, препятствующих вхождению ионов металлов в сорбент. Наблюдаемые изломы на кривых с этих позиций могут быть объяснены качественными изменениями в формировании надмолекулярных водных структур, что определяющим образом отражается на характере эстафетной трансляции протонов [5, 16]. На этой основе объяснимы и крайне низкие угловые коэффициенты функций Грегора в сильноокислой и щелочной средах. В результате доннановской сорбции H^+ или OH^- ионов исходные водные структуры гелевой фазы разрушаются и разупорядоченная среда [13] определяет усиление переноса металла в сорбент.

Метод микромасштабной фронтальной хроматографии [7] позволяет получать информацию о межфазном переносе ионов металлов в зависимости от их концентрации в подвижной фазе. При этом результаты экспериментов, соответствующие равновесным условиям межфазного переноса, пригодны для получения данных о концентрационной зависимости констант распределения обменивающихся компонентов [7, 17]. На рис. 5, 6 представлены в логарифмической форме данные о взаимосвязи концентрации металла в подвижной фазе и степенью заполнения сорбента ионами металла. Данная зависимость соответствует функции Грегора, и величины угловых коэффициентов несут информацию о факторах, определяющих интенсивность межфазного переноса ионов.

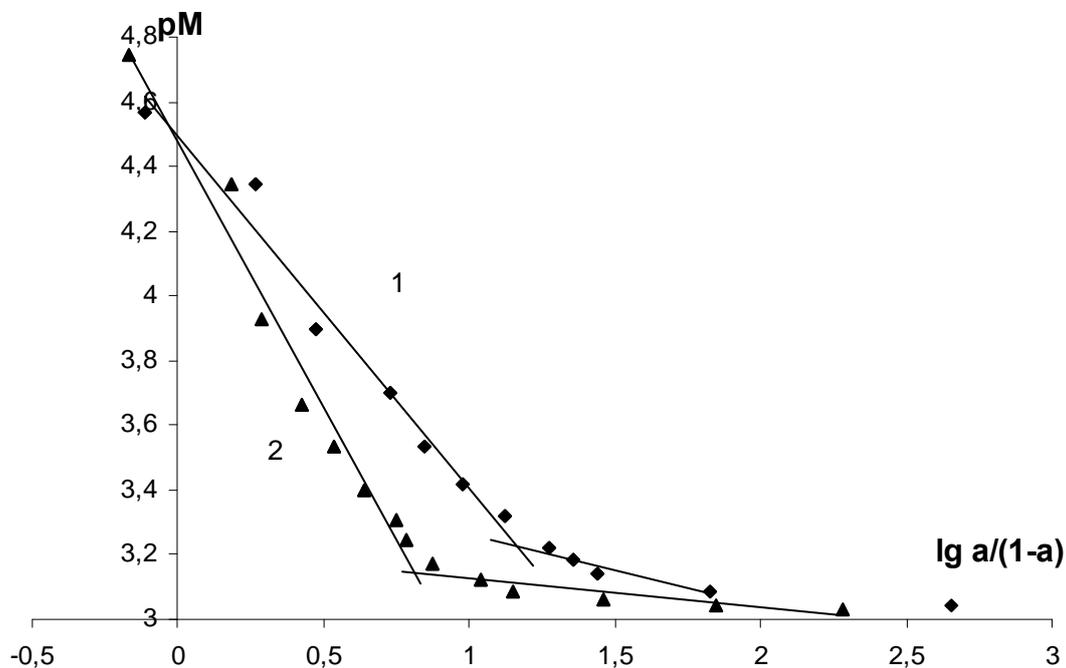


Рисунок 6 – Функции Грегора при обмене в режиме фронтальной хроматографии. Система $H^+ - Sr^{2+}$ при pH 5 (1), pH 10 (2).

В общих чертах для всех изученных нами систем имеет место сходство функций: на графиках имеются изломы, положение которых заметно варьирует относительно осей рМ и $\lg \frac{a}{1-a}$ в зависимости от природы металла, его исходной концентрации в подвижной фазе и pH среды.

Как показывают результаты экспериментов, на обоих участках прямолинейных графиков (рис. 5, 6) для однозарядных катионов угловые коэффициенты меньше единицы (табл.3).

Это согласуется с данными потенциометрических измерений: с ростом концентрации ионов металла в системе снижается интенсивность его переноса в фазу сорбента. Сходные зависимости получены ранее [18] при изучении обмена на сульфостирольных катионообменниках.

В случаях двухзарядных катионов (рис. 6) в области рМ > 3 наклоны графиков значительно выше, в чем проявляется эффект электроселективности. Вместе с тем при рМ < 3, где наблюдается излом линий, их наклоны очень низкие (табл. 3). Последнее можно рассматривать как следствие качественного изменения режима гидратации ионов в гелевой фазе. Явле-

ние коллапса ионизированного полимера с ростом концентрации ионов в контактирующем растворе [19], по-видимому, имеет ту же природу.

Таблица 3. Угловые коэффициенты функций Грегора по данным хроматографических измерений

Системы ионов	рН	рМ	
		2-3	3-5
H ⁺ – K ⁺	5	-0.020	-0.410
H ⁺ – Cs ⁺	5	-0.020	-0.510
H ⁺ – Sr ²⁺	5	-0.022	-0.977
H ⁺ – Sr ²⁺	10	-0.009	-1.480

Эффекты рН (рис. 6) имеют сходство с данными, полученными методом потенциометрического титрования – снижение наклона функции $pH = \int \left(\lg \frac{a}{1-a} \right)$ равнозначно возраста-

нию наклона функции $pM = \int \left(\lg \frac{a}{1-a} \right)$

Заключение

1. Результаты экспериментов свидетельствуют, что алкилрезорциновый пенопласт, синтезированный на основе природных сланцев, обладает хорошо выраженными катионообменными свойствами. Преобладающая часть функциональных групп, способных к обмену протона на ионы металлов, характеризуется величинами pK_a в пределах 8-10. Сорбент проявляет достаточно выраженную селективность к ионам Cs⁺ и Sr²⁺.

2. Концентрационная зависимость констант обмена протона на металл имеет сложный характер – функции Грегора имеют угловые коэффициенты, существенно отличающиеся от единицы, и указывают на возрастание сродства к ионам металла, замещающим протон, по мере снижения концентрации ионов металла в жидкой фазе.

Резюме. Методами рН-метрического титрования и микромасштабной фронтальной хроматографии изучены особенности селективных свойств алкилрезорцинового пенопласта при варьировании рН жидкой фазы в пределах 2-10 и концентрации ионов металла в интервале $10^{-5} - 10^{-2}$ моль/л. Концентрационная и рН-зависимости констант обмена протонов на ионы щелочных и щелочно-земельных металлов оценены на основе рК-спектров и функций Грегора. Показано, что ионный обмен характеризуется возрастанием сродства сорбента к ионам металлов по мере снижения их концентрации в жидкой фазе.

Abstract. The sorption of alkaline and alkaline-earth metals by alkyl-resorcin foam plastic is considered in the paper. By the methods of pH metrical titration and microscale phrontal chromatography the peculiarities of the selective properties of alkyl-resorcin cellular plastic at pH liquid stage variation within 2-10 and at the metal ions concentration within the limits of $10^{-5} - 10^{-2}$ mole per liter are studied. The pH and concentration dependences of the constants of protons exchange on the ions of alkaline and alkaline-earth metals are estimated on the basis of pK spectra and Gregor functions. It is shown that ion exchange is characterized by the increase in the sorbing agent affinity with the ions of metal with decrease in their concentration in liquid stage.

Литература

1. Иванов, В.А. Фенольные иониты. Выдающаяся роль в развитии ионообменной хроматографии и удивительные свойства // Сорбционные и хроматографические процессы / В.А. Иванов, В.И. Горшков, О.Т. Гавлина, М.В. Обрезкова. – 2003. – Т. 3. – № 4. – С.375.

2. Лукашев В.К. Искусственные сорбенты в прикладной и экспериментальной геохимии. Мн.: Химия, 1992.
3. Подпружникова, Е.В. Комплексообразующие и ионообменные свойства волокнистого ионита ВИОН АН-1 // Журнал физической химии. / Е.В. Подпружникова, Ю.М. Хорошевский, В.М. Зареченский, М.П. Зверев. – 2000. – Т. 74. – № 8. – С. 1526.
4. Атаманенко, И.Д. Сорбция ионов никеля из водных растворов ионитами. // Коллоидный журнал / И.Д. Атаманенко, С.В. Вербич, А.П. Криворучко. – 2001. – Т. 63. – № 5. – С. 586.
5. Лагодзинская, Г.В. Лабильные супрамолекулярные структуры и их динамика в ассоциированных жидкостях по данным ЯМР // Изв. Академии наук. Серия химическая / Г.В. Лагодзинская, Н.Г. Юнда, Г.Б. Манелис. – 2006. – № 4. – С. 577.
6. Коноваленко, Н.А. А. с. 1007381 СССР Получение алкилрезорциновых пенопластов // Открытия. Изобретения / Н.А. Коноваленко, В.Д. Александров. -1990. – № 26. – С. 34.
7. Сумская, Н.Р. Жидкостная хроматография хлорида меди (II) на кремнеземе, модифицированном аминодифосфоновой кислотой // Журнал физической химии / Н.Р. Сумская, Ю.В. Холин, В.Н. Зайцев – 1997. – Т. 71. – № 5. – С. 905.
8. Лейкин, Ю.А. Уравнение Грегора для описания кислотно-основного равновесия фосфорсодержащих катионитов // Сорбционные и хроматографические процессы / Ю.А. Лейкин, Т.А. Черкасова. – 2004. – Т. 4. – Вып. 5. – С. 625.
9. Bruno Leuenberger Application of Integral pK Spectrometry to the Titration Curve of Fulvic Acid // Anal. Chem / Bruno Leuenberger, Paul W. Schindler. – 1986. – V. 58. – P.1471.
10. Shamrikova, E.V. Acid-base properties of water-soluble organic matter of forest soils, studied by the pK-spectroscopy method // Chemosphere / E.V. Shamrikova, M.A. Ryazanov, E.V. Vanchikova. – 2006. –V. 65. – P. 1426.
11. Пинский, Д.Л. К вопросу о механизмах ионообменной адсорбции тяжелых металлов почвами // Почвоведение / Д.Л. Пинский. – 1998. – № 11. – С. 1348.
12. Шатаева, Л.К. Пептидная саморегуляция живых систем (факты и гипотезы)/ Л.К. Шатаева, В.Х. Хавинсон, И.Ю. Ряднова. – СПб.: Наука, 2003. – С. 17.
13. Лук, В. II Вода в полимерах. М., 1984.- С. 50. // Water in Polymers / Ed. by Stanley P. Roland. American Chemical Society, Washington, D.C. 1980.
14. Залкин, В.М. Влияние межатомного взаимодействия контактирующих веществ на свойства их граничных слоев // Ж. физ. химии / В.М. Залкин. 1996. –Т. 70. – № 9. –С. 1638.
15. Цыганов, А.Р. Биофизические основы рациональных способов внесения минеральных удобрений / А.Р. Цыганов, А.М. Гордеев, И.Р. Горки: Вильдфлуш, 2006. – С.60.
16. Зацепина, Г.Н. Физические свойства и структура воды / Г.Н. Зацепина. М.:Академия, 1998.
17. Рудаков О.Б. Растворитель как средство управления процессом в жидкостной хроматографии // Сорбционные и хроматографические процессы / Г.Н. Зацепина. 2003. – Вып. 3. № 1. – С. 6.
18. Раихенберг, Д. Ионный обмен / Под ред. Марийского Я. М.: Мир. 1968. – С. 104. Ion exchange. A Series of Advances / Ed. By Marinsky Jacob A. V. 1. New York, 1966.
19. Семчиков, Ю.Д. Высокмолекулярные соединения / Ю.Д. Семчиков. – М.: Изд. центр “Академия”, 2003.

Обоснование выбора реперных населенных пунктов для целей оптимизации проведения мониторинга доз внутреннего облучения на радиоактивно-загрязненных территориях Республики Беларусь

Д. Н. Дроздов

Введение

Законодательством Республики Беларусь закреплено положение [1], определяющее последовательность проведения персонального обследования жителей Республики Беларусь, проживающих на территории радиоактивного загрязнения на СИЧ-установках. Данные обследования жителей позволяют определить эффективность проведения защитных мероприятий, исследовать закономерности формирования лучевых нагрузок конкретных групп населения и определить приоритетность мероприятий по их снижению. Согласно положению [1], предусматривается установление доз облучения жителей населенных пунктов, где годовая эффективная доза облучения за год может превышать 1 мЗв. К такой группе могут быть отнесены жители населенных пунктов расположенных на территории, где уровень загрязнения территории выше 1 Ки/км².

Использование инструментальных методов позволяют с наименьшей погрешностью, по сравнению с косвенным и расчетным методами, оценивать дозы облучения населения пострадавших территорий. Инструментальное определение доз облучения проводится в отношении инкорпорированного ¹³⁷Cs с использованием стационарных и мобильных СИЧ-установок в учреждениях системы Министерства здравоохранения. В отдаленном периоде чернобыльской аварии корректная оценка средних годовых эффективных доз облучения может быть осуществлена посредством проведения целенаправленных и регулярных прямых СИЧ- и ТЛД- измерений жителей наиболее типичных, в отношении условий дозоформирования, НП.

Цель настоящей работы заключается в том, чтобы разработать подход, позволяющий производить выбор наиболее представительных в отношении формирования СГЭД внутреннего облучения жителей сельских НП.

Материалы и методы

Материалом исследования послужили данные СИЧ-измерений базы Государственного дозиметрического регистра. Для 372 (326 – НП обучающей выборки и 46 – контрольной) НП Гомельской области были рассчитаны значения средней годовой эффективной дозы (СГЭД) внутреннего облучения. Результаты СИЧ-обследования были собраны за период 2005–2007 гг. Информация о плотности загрязнения населенных пунктов ¹³⁷Cs была представлена Республиканским центром радиационного контроля и мониторинга окружающей среды.

При расчете СГЭД внутреннего облучения жителей сельских была принята модель равновесного содержания ¹³⁷Cs в теле человека, когда значение среднего в течение года суточного поступления радионуклида соответствует его среднему суточному выведению. СГЭД внутреннего облучения жителей ¹³⁷Cs ($E_{\text{НП}}^{\text{int}}$) определяется согласно выражению:

$$E_{\text{НП}}^{\text{int}} = K_d \cdot \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i / M_i), \text{ мЗв/год}, \quad (1)$$

где K_d – дозовый коэффициент, равный 2,5 (мЗв/год)/(кБк/кг); Q_i – содержание ¹³⁷Cs в организме i -го человека по данным СИЧ-измерений, кБк; M_i – масса тела i -го человека, кг; n – количество обследованных на СИЧ жителей НП.

Применены методы прикладной статистики: корреляционный, регрессионный анализ, многофакторный кластерный и дисперсионный анализ. Статистическая обработка была проведена с помощью пакета статистических программ STATISTICA 6.0

Результаты и их обсуждение

С помощью процедуры факторного анализа и построения системы корреляционных связей было определены ведущие факторов дозоформирования. В частности: плотность загрязнения территории ^{137}Cs , коэффициент перехода ^{137}Cs в продукты питания, доля активной части населения (трудоспособные жители) и площадь продуктивного леса на селитебной (до 3 км) территории НП. Использование перечисленного набора факторов в их совокупности позволяет оценить 85 % вариации СГЭД внутреннего облучения.

Обращает внимание тот факт, что совокупное значение суммарного веса ведущих факторов дозоформирования превышает суммарное значение парциального вклада каждого из факторов по отдельности. Это может быть объяснено двумя аргументами. Во-первых, зависимость не носит строгий линейный характер. Во-вторых, среди факторов дозоформирования присутствует разнонаправленный характер действия на СГЭД внутреннего облучения. При усиливающем влиянии одного из факторов совокупность остальных факторов может оказать обратный эффект. Так, например, с увеличением значений плотности загрязнения территории ^{137}Cs , коэффициент перехода ^{137}Cs и площадь продуктивного леса наблюдается увеличение СГЭД внутреннего облучения. В то же время увеличение доли активного населения в НП ведет к снижению СГЭД. Для того чтобы впоследствии учесть разнонаправленный характер связи, была введена виртуальная величина – удельная площадь леса, которая представляет собой отношение площади продуктивного леса к числу активного населения.

В качестве одного из факторов дозоформирования мы использовали эмпирические значения коэффициента перехода ^{137}Cs из почвы в молоко, который рассчитывался как отношение удельной активности молока, произведенном в НП к плотности загрязнения ^{137}Cs территории НП. Однако согласно [5, 6], в отдаленный период аварии молоко может формировать менее 50 % вклада в СГЭД внутреннего облучения. Таким образом, целесообразно учитывать остальные компоненты рациона, среди которых наибольший вклад в формирование дозы создают картофель, мясо (свинина и говядина) и дикорастущие грибы. Используя материалы, приведенные в [4], для каждого НП мы рассчитали эффективный коэффициент поступления ^{137}Cs в продукты питания. Для чего использовались установленные коэффициенты перехода ^{137}Cs в перечисленные продукты для разных типов почвы. Используя значения эффективный коэффициент поступления, а также некоторые характеристики почвы – кислотность и доля обменного калия, для каждого НП был введен интегральный показатель, характеризующий поведение ^{137}Cs в почвах НП.

С учетом ведущих факторов дозоформирования и характер установленных связей, нами была произведена классификация всех НП составивших обучающую выборку. Для этого было произведено разбиение пространства данных k -методом средних. Процедура проведения кластерного анализа взята из [7]. В качестве метрики пространства было выбрано Евклидово расстояние, при котором объекты рассматриваются как элементарные точки пространства.

Таблица 1 – Усредненные значения факторных признаков и СГЭД внутреннего облучения жителей НП в различных классах

Класс	К-во НП	Плотность загрязнения, Ки/км ²	Удельная площадь продуктивного леса, м ² /чел	Почвенный показатель, м ² /кг	Доза внутреннего облучения, мЗв/год
1	153	2,93±0,14	68,74±10,42	3,17±0,04	0,07±0,01
2	54	9,96±0,42	55,93±25,65	2,30±0,08	0,12±0,01
3	119	3,49±0,17	15,01±2,11	1,78±0,04	0,04±0,01

В результате были получены 3 класса сельских НП, которые имеют достоверное различие между значениями СГЭД внутреннего облучения и значениями ведущих факторов дозоформирования. В таблице 1 приведены результаты сравнения.

По двум признакам различие получено с достоверностью не менее 90%. Качество классификации было оценено с помощью критерия Уилкса, который является показателем вероятности ошибки для использованного способа разделения объектов в классы [7]. Величина критерия Уилкса не превысила 15%, что свидетельствует о высоком качестве проведенной классификации. В каждом классе была построена регрессионная модель, позволяющая перейти к расчету СГЭД внутреннего облучения жителей НП. Для каждого класса было построено линейное уравнение вида:

$$y = a + bx,$$

где в качестве независимой переменной использовалось значение плотности загрязнения территории НП. Параметры регрессионной модели приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Параметры регрессионных уравнений для различных классов

Регион	Свободный член (a)	Угловой коэффициент (b)	Коэффициент аппроксимации
1	0,069	0,008	0,67
2	0,019	0,009	0,81
3	0,006	0,010	0,85

Соответствие регрессионной модели эмпирическим данным было проверено на контрольной выборке. НП были выбраны случайным способом, из различных районов Гомельской области.

Для определения принадлежности НП контрольной выборки соответствующему классу, с помощью процедуры дискриминантного анализа было построено правило классификации [8]. Правило классификации предполагает, что принадлежность объекта классу определяется минимальным расстоянием до его центра в Евклидовой метрике пространства.

Значение классифицирующей функции для каждого класса может быть выражено посредством коэффициента дискриминации, который был рассчитан с помощью дискриминантных функции для каждого класса. С помощью пакета прикладных программ Statistica 6.0 дискриминантные функции были получены в алгебраическом виде (3-5):

$$Y1 = - 0,82 \cdot F1 + 0,35 \cdot F2 + 2,04 \cdot F3 - 1,81, \tag{3}$$

$$Y2 = 4,37 \cdot F1 - 0,20 \cdot F2 - 0,06 \cdot F3 - 5,59, \tag{4}$$

$$Y3 = - 0,93 \cdot F1 - 0,36 \cdot F2 - 2,60 \cdot F3 - 2,39. \tag{5}$$

Таким образом, классифицируемый объект относился к тому классу, значение дискриминантной функции и коэффициента дискриминации, для которого было максимальным. Из таблицы 2 следует, что линейные дискриминантные функции обеспечивают 95% правильной классификации.

Таблица 3 – Процент правильных решений при проведении классификации объектов выборки

Номер класса	% правильных решений	1	2	3
1	97	149	0	4
2	87	4	47	3
3	95	6	0	113
ИТОГО	95	159	47	120

С помощью алгебраических линейных уравнений дискриминантных функций (1 – 3) для НП контрольной выборки был рассчитан коэффициент дискриминации, с помощью которого была определена принадлежность НП к своей классной группе. После чего по регрессионной модели была рассчитана СГЭД внутреннего облучения жителей НП.

Среднее значение в контрольной выборке по результатам СИЧ-измерений составило 0,071 (стандартное отклонение 0,042), в контрольной выборке, рассчитанной по модели 0,076 (стандартное отклонение 0,045). Достоверная вероятность того, что рассчитанное значение хорошо согласуется с эмпирическими данными было оценено с помощью критерия Манна-Уитни. В данном случае достоверная вероятность составила 54 %. Полученная нами регрессионная модель, основанная на эмпирических данных, позволяет адекватно оценивать СГЭД внутреннего облучения жителей сельских НП, расположенных на территории радиоактивного загрязнения.

Таким образом, использование некоторой ограниченной выборки НП позволяет построить регрессионную зависимость между СГЭД внутреннего облучения жителей НП и фактором плотности загрязнения, которая способна адекватно оценивать СГЭД внутреннего облучения. Поэтому в дальнейшем мы, исходя из характера распределения СГЭД внутреннего облучения жителей НП, для каждого класса получили минимальное и достаточное число представительных – опорных НП.

В качестве основного показателя мы использовали стандартное геометрическое отклонение распределения СГЭД внутреннего облучения жителей НП. Поскольку стандартное отклонение связано с объемом выборки и степенью вариации СГЭД через стандартную геометрическую ошибку мы оценили оптимальное число случайной бесповторной выборки по уравнению (6):

$$n = \frac{N \cdot t^2 \cdot \sigma_G^2}{N \cdot \delta^2 + t^2 \cdot \sigma_G^2} \quad (6)$$

где n – необходимое число репрезентативных НП в классной группе; N – общее количество НП, составляющих генеральную совокупность; t – критическое значение критерия Стьюдента, определяемое по заданной доверительной вероятности ($P=0,60$, $t=0,842$); δ^2 – точность оценки (предельная погрешность для принятой доверительной вероятности), принята 40%; σ_G – стандартное геометрическое отклонение.

Используя уравнение (4), для каждой классной группы были получены минимальное количество НП, и для каждого класса сформирована случайным способом репрезентативная выборка. Так, для первого класса достаточно использовать 9 НП, для второго – 8 и для третьего – 8 НП. Выбор конкретных НП как реперных должен быть произведен исходя из следующих критериев:

- 1 критерий “репрезентативной обеспеченности”;
- 2 критерий “демографического благополучия”;
- 3 критерий “экономической целесообразности”.

Критерий “репрезентативной обеспеченности” предполагает, что реперные НП должны быть выбраны среди наиболее показательных НП каждого класса. Их использование позволяет учитывать особенности формирования СГЭД внутреннего облучения жителей НП, имеющих различные экологические условия. Критерий “демографического благополучия” определяется тем, насколько полно будут представлены все возрастные группы в ходе проведения обследования. Выполнение критерия “экономической целесообразности” предполагает целевое использование затрат на проведение СИЧ-измерений жителей ограниченного числа реперных НП.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование позволяет разработать основу для оптимизации системы мониторинга доз внутреннего облучения в Республике Беларусь, нацеленного

на прямые инструментальные измерения жителей реперных НП. Выбор реперных НП является можно считать статистически обоснованным. Он представляет собой последовательный алгоритм действий, выполнение которых позволяет качественно и количественно оценить состав группы реперных НП. Регулярные обследования жителей реперных НП на СИЧ позволяют построить прогностическую регрессионную модель расчета СГЭД внутреннего облучения жителей, для НП в которых измерения не были проведены, либо количество обследованных за текущий период времени не достаточно для адекватной оценки СГЭД.

Резюме. В работе предложен алгоритм выбора наиболее представительных – реперных населенных, использование которых позволяет проводить мониторинг доз внутреннего облучения жителей сельских населенных пунктов.

Abstract. The consecutive algorithm of actions for choosing standard settlements for monitoring the doses of internal irradiation in the contaminated areas in the Republic of Belarus is presented in the paper.

Литература

1. Закон Республики Беларусь от 22.02.1991 №634-ХП (ред.12.07.2001) «О социальной защите граждан, пострадавших от катастрофы на Чернобыльской АЭС». Зарегистрировано в национальном реестре правовых актов Республики Беларусь 15 марта 2001 г №2/283
2. 20 лет после чернобыльской катастрофы: последствия в Республике Беларусь и их преодоление. Национальный доклад / Комитет по проблемам последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС при Совете Министров Республики Беларусь; под ред. В.Е. Шевчука. – Мн., 2006. – 112 с.
3. Дроздов, Д.Н. Выбор критериев для разработки системы мониторинга доз облучения населения, пострадавшего в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС / Дроздов Д.Н. // Чернобыльские чтения-2007: Сборник материалов (25 апреля 2007 г. Гомель) /Под ред. Е. Я. Сосновской, Гомель, ГУ "Республиканский научно-практический центр радиационной медицины и экологии человека", 2007. – С. 13-17.
4. Радиационный мониторинг облучения населения в отдаленный период после аварии на Чернобыльской АЭС / ТС проект RER/9/074/ Балонов М.И., Барковский А.Н., Брук Г.Я., Власова Н.Г., Голиков В.Ю., Кенигсберг Я.Э., Перевозников О.Н., Чумак В.В., Шевчук В.Е./ Вена, Австрия, 2007, 119 с.
5. Shandala, N. K. Rate setting and regulatory control of the radionuclides content in foodstuffs / N. K. Shandala [et. al.] // IRPA 11 Abstracts 11th International Congress on the International Radiation Protection Association, 23-28 May 2004, Madrid. Spain. – 2004. – P. 60-61.
6. Shandala, N. K. Monitoring of radistionhygiene situation in areas of disposition of nuclear power plants / N. K. Shandala [et. al.] // IRPA 11 Abstracts 11th International Congress on the International Radiation Protection Association, 23-28 May 2004, Madrid. Spain. – 2004. – P. 259-260.
7. Боровиков, В.П. Популярное введение в программу STATISTICA: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / В.П. Боровиков. – М.: КомпьютерПресс, 1998. – 269 с.
8. Богомолов, А.В. Диагностика состояния человека: математические подходы / А.В. Богомолов, Л.А. Гридин. – М.: Медицина, 2003. – 464 с.

Активные формы магния и использование их в методе соосаждения

Ю. А. ПРОЛЕСКОВСКИЙ, В. Г. СВИРИДЕНКО, Е. Л. ЗЫКОВА

Введение

Магний является одним из самых распространенных элементов в земной коре и занимает шестое место после кислорода, кремния, алюминия, железа, кальция. В литосфере содержание магния составляет 2,1%. В природе встречается только в виде химических соединений и входит в состав многих минералов (карбонатов, силикатов и других). В растительных и животных организмах содержание магния достигает сотых долей процента. Ион Mg^{2+} является комплексообразователем в пигменте зеленых растений – хлорофилле (до 2%) - бионеорганическом соединении, играющем важную роль в процессе фотосинтеза. Внесение магниевых соединений в почву заметно повышает урожайность некоторых культурных растений.

В последние десятилетия активно изучалась проблема практического использования водного раствора природного бишофита, магниевое концентрата ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$), открытого в Предуралье. Оценены благоприятные перспективы его применения в медицине, сельском хозяйстве, растениеводстве и животноводстве. Аналогичное направление имеют исследования перспектив использования в народном хозяйстве концентрированных природных рассолов Припятского прогиба (с концентрацией ионов магния 1–22 г/л). Уникальный поликомпонентный состав белорусских рассолов позволяет в ближайшем будущем рассматривать их в качестве ценного гидроминерального сырья для получения карбонатов магния, кальция, стронция, хлорида и бромида натрия, борной кислоты, кристаллического йода, аммонийных продуктов, рубидия, некоторых других редких и рассеянных элементов.

Перспективным направлением комплексного использования рассолов в химпроизводстве является изучение возможностей выделения магния и кальция. Для получения указанных щелочноземельных элементов представляет практический интерес метод частичной или полной разгрузки высокоминерализованных природных вод от кальция и магния. Установлено, что магний и кальций в растворах можно количественно разделить в форме гидроксидов путем варьирования значения pH среды в узких неперекрывающихся пределах. Однако, как показали наши исследования, метод дробного осаждения не дает полного количественного разделения магния и кальция. Нами было проведено осаждение магния в виде двойной соли магний-аммонийного фосфата раствором гидрофосфата натрия из природных рассолов. Показано, что при оптимальных условиях (pH=9, температура 20⁰ С, время перемешивания 3 мин., время отстаивания 60 мин.) магний может быть эффективно осажден из рассолов с практическим выходом 90 – 99% в виде магний-аммонийного фосфата. Данная комплексная соль магния может быть использована в качестве модифицированного сорбента для анализа природных вод [1], очистки почв, донных отложений, растительных объектов от тяжелых металлов, радионуклидов кальция и стронция. Двойной фосфат магния-аммония является ценным минеральным удобрением и может быть полезен для известкования кислых почв.

Известно, что магний и кальций в кислых средах существуют в виде нескольких комплексов, причем выход каждого из них определяется концентрацией анионов и величиной константы равновесия его образования. Количественно определяя содержание магния и кальция в растворе, а также концентрацию аниона, можно с большой степенью точности рассчитывать выход каждого комплекса. Данная информация может быть использована в химпроизводстве при комплексной переработке природных рассолов и при разработке методов группового концентрирования микроэлементов с применением осаждаемых комплексов в виде коллекторов.

Так как в образцах природных рассолов содержится ряд сильных электролитов (NaCl , KCl , CaCl_2 , MgCl_2 – макрокомпоненты), физико-химическое поведение ионов в подземных водах можно оценить только с учетом коэффициентов активности. Использование природных рассолов как источника минерального сырья и сложности их аналитического контроля тесно связано с решением задачи описания реального содержания компонентов в растворах. Для решения этих проблем необходимы разработка, использование и адаптация новых методов, которые достаточно точно определяют реальную концентрацию сильных электролитов в многокомпонентной системе.

Поэтому при изучении минерализованных рассолов с повышенным содержанием макрокомпонентов с учетом возможностей их комплексной переработки для оценки реальной концентрации необходимо учитывать не только валовое содержание, но и активность электролитов и ионов. Для расширения концентрационных пределов теории сильных электролитов Дебая-Хюккеля применительно к сложным поликомпонентным растворам с высокой ионной силой (порядка нескольких единиц) нами изучена возможность расчетов γ_{\pm} индивидуальных электролитов (MgCl_2) на основе теоретической модели Робинсона-Стокса.

Цель настоящей работы – оценить способы термодинамического расчета активных форм магния в минерализованных растворах, изучить возможности использования некоторых соединений магния (карбонатов, гидрофосфатов, гидроксидов) в качестве коллекторов для группового концентрирования важнейших элементов гидроминерального и нефтепоискового значения.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования использовались высокоминерализованные природные рассолы Припятской впадины с общей минерализацией 100 – 250 г/л, содержащие большой набор неорганических макро- и микрокомпонентов. Определение важнейших физико-химических показателей рассолов, содержания важнейших катионов и анионов выполняли по стандартным методикам [2]. Оценку активных форм магния в образцах рассолов проводили на основе теоретической модели Робинсона-Стокса и уравнения второго приближения теории Дебая-Хюккеля.

Результаты и их обсуждение

Результаты научных исследований показывают, что магний может присутствовать в природных и минерализованных водах в форме растворимых солей или ионов магния, мало- и нерастворимых соединений: сульфатов, гидрокарбонатов и карбонатов, в форме комплексов с низкомолекулярными органическими веществами и т.д. Поэтому весьма актуальна проблема изучения общих (валовых) форм магния. Активные формы могут быть изучены ионометрическими методами и использованием специальных ионоселективных электродов или рассчитаны термодинамическими способами.

По данным физико-химического анализа природных рассолов Припятской впадины нами проведен термодинамический расчет выхода ионов магния и форм его комплексных соединений в зависимости от содержания анионов в растворе [3]. Расчеты показали, что в интервале значений логарифма концентрации анионов от -4 до 0 доминирующей формой является MgCO_3 , а в интервале -3 – 4 – свободные ионы магния. С увеличением содержания карбонат-ионов выход MgCO_3 возрастает с 19 до 91%. Преобладание MgCO_3 по сравнению с комплексом $[\text{MgHCO}_3]^+$ и MgSO_4 наблюдается во всем интервале концентраций.

Хорошие результаты определения $\gamma_{\pm}\text{MgCl}_2$ для концентрированных растворов получены нами [4], используя уравнение Робинсона-Стокса с тремя параметрами: a , h , a_w . Поэтому для расчета γ_{\pm} солей типа АВ или АВ₂ применяли уравнение:

$$\lg \gamma_{\pm} = -\frac{A \cdot |z_+ \cdot z_-| \cdot \sqrt{I}}{1 + 0,329 \times 10^8 \cdot a \cdot \sqrt{I}} - \frac{h}{v} \lg a_w - \lg[1 - 0,018(h - v)m],$$

где, γ_{\pm} – средний коэффициент активности; I – ионная сила раствора; h – количество молекул воды, связанных с одной молекулой растворенного вещества; ν – число ионов из молекул растворенного вещества; a_w – активность воды; m – моляльность раствора.

Первое слагаемое правой части уравнения – эта величина, введенная Дебаем и Хюккелем. Второе слагаемое вносит поправку на пониженную активность воды в солевом растворе, третье слагаемое учитывает гидратацию ионов, то есть связывание ν ионов с h молекулами воды, которые при этом перестают действовать как молекулы растворителя. Данное уравнение успешно используется для описания растворов при значениях I до 4.

В таблице 1 представлены сравнительные значения коэффициентов активности $\gamma_{\pm}\text{MgCl}_2$ в природных рассолах с разной ионной силой.

Таблица 1 – Сравнительные значения коэффициентов активности $\gamma_{\pm}\text{MgCl}_2$ в природных рассолах Припятской впадины

№ п/п	$\gamma_{\pm}\text{MgCl}_2$ (1)	$\gamma_{\pm}\text{MgCl}_2$ (2)	Ионная сила раствора
1	0,341	0,327	0,46
2	0,335	0,325	0,47
3	0,300	0,217	1,27
4	0,297	0,251	2,06
5	0,306	0,251	2,11
6	0,306	0,251	2,13
7	0,320	0,240	2,99
8	0,400	0,238	3,14
9	0,313	0,236	3,29
10	0,284	0,236	3,30
11	0,333	0,227	4,65

Примечание: 1 – расчет по уравнению Робинсона-Стокса

2 – расчет по уравнению Дебая-Хюккеля (второе приближение)

Значение коэффициентов активности $\gamma_{\pm}\text{MgCl}_2$, вычисленные по уравнениям Робинсона-Стокса и второго приближения Дебая-Хюккеля для маломинерализованных растворов, практически совпадают (ионная сила 0,46 – 1,27). При ионной силе выше единицы расчет γ_{\pm} целесообразнее проводить по уравнению Робинсона-Стокса. Нами также установлено, что величины средних коэффициентов активности электролитов в концентрированных растворах сложного состава (с $I=4-9$) можно рассчитать с удовлетворительной точностью методами Кузнецовой и Брызгалина [5].

Повышенное содержание ионов магния в природных высокоминерализованных рассолах до 22 г/л позволяет использовать их в качестве коллекторов для концентрирования и выделения микрокомпонентов, таких как медь, железо, цинк, кобальт и др.

Соосаждение является одним из простых и эффективных способов концентрирования. Соосадителями могут быть неорганические, органические и смешанные соединения. В качестве неорганических соосадителей применяют гидроксиды, фосфаты, карбонаты, оксалаты, гидрофосфаты и другие неорганические соединения, нерастворимые в данной среде.

Для осаждения магния и кальция в виде карбонатов удобно использовать в качестве осадителя карбонат натрия. Вместе с осадками карбонатов магния и кальция будут осажаться микроколичества меди, цинка, кобальта в виде основных солей переменного состава, марганца и железа (II) в виде карбонатов, железа (III) в виде гидроксида.

Содержание иона магния в высокоминерализованных рассолах Припятского прогиба составляет 0,008 – 1,00 моль/л, осадок карбоната магния начинает образовываться при $\text{pH} \approx 10,3$. Количество ионов кальция находится в пределах 0,01 – 2,20 моль/л, при этих условиях образование осадка карбоната начнется при $\text{pH} \approx 8$.

Механизм соосаждения ионов меди, цинка, железа, марганца может быть различным:

– данные ионы сами способны образовывать твердую фазу с данным осадителем (карбонатом натрия): $PP_{CuCO_3} = 2,5 \cdot 10^{-10}$; $PP_{ZnCO_3} = 1,45 \cdot 10^{-11}$; $PP_{FeCO_3} = 3,47 \cdot 10^{-11}$; $PP_{MnCO_3} = 1,8 \cdot 10^{-11}$; $PP_{Fe(OH)_3} = 3,2 \cdot 10^{-38}$;

– адсорбция ионов. Так как, осаждение карбонатов кальция и магния проводим в щелочной среде, то, осаждаясь, они адсорбируют на поверхности ионы OH^- , Cl^- и приобретают отрицательный заряд, увлекая в осадок положительнозаряженные ионы Cu^{2+} , Zn^{2+} , Mn^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} и другие;

– окклюзия. Процесс осаждения проводится в исследуемом растворе, кристаллизация осадка протекает с высокой скоростью, между осадками карбонатов кальция и магния и ионами металлов возникают химические соединения, сам осадок имеет аморфную структуру, что дает возможность ионам меди, цинка, марганца, железа располагаться не только на поверхности, но и внутри осадка.

Используя в качестве коллектора смешанный карбонат кальция-магния, удастся осадить из природных рассолов до 90% меди, цинка, железа, марганца.

Поддержание pH исследуемого раствора в пределах точно определенных численных значений в процессе выделения микроэлементов является важнейшим условием успешного их осаждения. Если среда исследуемого раствора кислая, то регулирование pH проводят прибавлением растворов едких щелочей или буферных смесей. Операции необходимо проводить в присутствии соответствующих индикаторов, точнее регулировку проводят на pH-метре. Выбор прибавленной щелочи или буферной смеси должен быть согласован с последующими аналитическими операциями.

Изменяя pH минерализованного раствора, можно последовательно выделить микроэлементы в виде соответствующих фосфатов, используя гидрофосфат натрия, при этом удается отделить самый токсичный элемент – стронций. Так осаждение $CaHPO_4$ и $SrHPO_4$ происходит в слабокислой среде при pH=5,0-6,0, фосфаты микроэлементов осаждаются из нейтральных и щелочных растворов. Необходимо выделить особенность взаимодействия катиона магния с вышеуказанным осадителем. Выделение магния до 95% достигается, если к раствору добавить смесь гидроксида и хлорида аммония. Магний осаждается в виде магний-аммонийной соли, однако при pH>10 можно получить и осадок фосфата магния. Результаты выделения микроколичеств меди, цинка, марганца с осадком фосфата магния представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты осаждения меди цинка и железа гидрофосфатом натрия из природных рассолов (мг/л)

Медь			Цинк			Марганец		
осадок	рассол	%	осадок	рассол	%	осадок	рассол	%
8,02	72,25	90,5	21,12	19,03	90,1	21,18	19,04	89,9
5,58	8,13	84,9	22,03	20,46	92,8	30,95	28,42	91,8
14,90	13,61	91,3	29,08	27,12	93,3	19,79	17,36	87,7
21,93	20,98	95,7	27,14	25,57	94,2	28,93	26,15	90,4

Осаждение микроэлементов в виде гидроксидов проводили с использованием гидроксида натрия. Содержание железа и магния во много раз превышает содержание микроэлементов, поэтому указанные элементы выступают в качестве смешанных коллекторов. Исследования показали, что соосаждение меди, цинка, марганца с осадками гидроксидов железа и магния зависит от pH среды, состава и концентрации солевого фона.

Соосаждение компонентов начинается при pH раствора > 3, отвечающем условиям гидролиза микрокомпонента, причем с ростом pH полнота выделения увеличивается. Основной осаждаемой формой, по нашему мнению, является нейтральный гидроксокомплекс типа $Me(OH)_n$. В области pH раствора, когда микроэлементы присутствуют в виде заряженных форм, соосаждение обусловлено тем, что он вступает в кислотно-основное взаимодейст-

вие с коллектором. Микроэлементы гидролизуются в поверхностных слоях коллектора, образуя в конечном счете нейтральный гидроксокомплекс. Максимальное соосаждение гидролизующего элемента с гидроксидом железа достигается при значениях рН среды, отвечающих образованию микроэлементами самостоятельной твердой фазы.

Метод концентрирования с использованием гидроксидов элементов позволяет при последовательном увеличении рН раствора выделить из природных рассолов несколько групп элементов, при рН=5-8 будут осаждаться железо, медь, цинк и частично магний; при рН=9-11 – кобальт, марганец, магний, никель; при рН=11-13 – кальций; при рН>13 – стронций.

Заключение

При ионной силе растворов 0,46 – 1,27 коэффициенты активности $\gamma_{\pm}\text{MgCl}_2$, вычисленные по уравнениям Робинсона-Стокса и второго приближения Дебая-Хюккеля, практически совпадают. Для минерализованных рассолов с ионной силой больше 1,00 расчет γ_{\pm} целесообразнее проводить по уравнению Робинсона-Стокса.

Повышенное содержание магния в природных высокоминерализованных рассолах позволяет использовать его в качестве смешанного коллектора с соединениями кальция для выделения микроколичеств элементов меди, цинка, марганца, железа.

Вопросы использования природных рассолов как перспективного химического сырья мало изучены и пока еще не решены, поэтому научные разработки по выделению отдельных элементов из высокоминерализованных подземных вод актуальны в масштабах Республики Беларусь. Практический интерес представляет получение минеральных добавок веществ для премиксов в комбикорма в птицеводстве и животноводстве, а также минеральных удобрений на основе поликомпонентного сырья, в качестве которого могут быть использованы природные рассолы Припятского прогиба.

Резюме. В статье рассматривается распространение общих и активных форм магния в природных растворах различных видов. Для расчета коэффициента активности ионов магния в растворах с ионной силой более единицы использована теоретическую модель Робинсона-Стокса. Авторами разработаны аналитические методы выделения элементов из природных высокоминерализованных рассолов Припятской впадины. Рассмотрены возможности выделения кальция и магния с использованием щелочей, гидрокарбоната и карбоната натрия. Неорганические осадители позволяют выделять группы элементов в виде соответствующих солей. Коллекторы карбонатов и гидрофосфатов кальция и магния позволяют осаждать из растворов ионы кобальта, меди, марганца, цинка и др. Полученные микрокомплексы могут быть использованы в качестве минеральных добавок для премиксов в комбикорма в птицеводстве и животноводстве, а также минеральных удобрений на основе поликомпонентного сырья природных рассолов.

Abstract. Diffusion peculiarity, substance gross and active magnesium forms in different natural water types are considered in the paper. It is shown that theoretical Robinson-Stocks model gives an opportunity to calculate magnesium ion activity coefficient with ion force more than 1 in solutions with high precision. The analytical methods of isolating chemical elements from natural brines found in the Pripjat depression, and the methods of depositing calcium and magnesium by adding caustic natron, natrium hydro-phosphate and natrium carbonate are also considered.

Литература

1. Пролесковский, Ю.А. Природные рассолы: аналитические возможности выделения химических элементов / Ю.А. Пролесковский, В.Г. Свириденко, Е.Л. Зыкова // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – Гомель, 2007. – № 6. – С.40 – 46.
2. Пролесковский, Ю.А. Особенности распространения, количественной оценки валовых и активных форм аммония в природных водах и рассолах / Ю.А. Пролесковский, Е.А.

Клементьева, С.М. Пантелеева // Проблемы экологии Белорусского полесья. Сб. науч. тр. вып. 2. – Гомель, 2002. – С. 162 – 168.

3. Пролесковский, Ю.А. Сравнительная оценка коэффициентов активности сильных электролитов поликомпонентных высокоминерализованных рассолов / Ю.А. Пролесковский, Цзян Сяо Хун, Г.А. Медведева // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – Гомель, 2003.- №5. – С. 84 – 89.

4. Пролесковский, Ю.А. Особенности распространения, оценки содержания валовых и активных форм калия в природных водах различного типа / Ю.А. Пролесковский, В.Г. Свириденко, Е.Л. Зыкова // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины, 2008. – № 5. – ч.2. – С 79 – 82.

5. Цзян Сяо, Хун Содержание, формы распространения и выделение некоторых макроэлементов из природных рассолов Беларуси: автореф. на соиск. уч. степ. канд. хим. наук / Хун Цзян Сяо; Гом. гос. ун-т. – Минск, 2000. – 21с.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 03.02.09

УДК 630.5

Концептуальный подход к выращиванию смешанных хвойных и дубовых древостоев с примесью мягколиственных пород

В. Ф. БАГИНСКИЙ, П. В. КОЛОДИЙ

Введение

Известно, что в наибольшей степени выполняют различные целевые функции смешанные разновозрастные леса [1–3]. В них сохраняется лесная среда, биологическое разнообразие и обеспечивается выполнение эколого-защитных функций. Они более устойчивы к ветровалам, различным болезням и повреждениям. Поэтому в лесах, особенно природоохранного назначения, рекомендуется формировать преимущественно разновозрастные леса смешанные по составу и сложные по форме, чаще семенного происхождения.

В Беларуси наиболее часто смешанные насаждения представлены хвойно- и дубово-мягколиственными древостоями. Примесь мягколиственных пород к сосне, ели и дубу характерна практически для всех геоботанических подзон и типов леса [4].

В настоящее время в смешанных хвойно- и дубово-мягколиственных древостоях направление ведения хозяйства, в т.ч. и возраст главной рубки определяется по главной породе: сосне, ели, дубу, которые имеют возраст рубки 81-100 и 101-120 лет, а в лесах I группы – 101-120 и 121-140 лет [5]. К этому времени мягколиственные деревья, возраст рубки которых значительно ниже, значительно теряют свои технические качества.

Поэтому лесоводы часто задаются вопросами: какие насаждения, чистые или смешанные, формировать к возрасту главной рубки; если формировать смешанные древостои, то какая доля других пород, особенно мягколиственных, должна оставаться в составе; как влияет смешение древесных пород на количественные, качественные и экономические показатели рубок главного пользования и т.д.

Однозначные ответы на данные вопросы дать невозможно, так как настоящая проблема зависит от множества факторов и находится на стыке нескольких дисциплин: лесоводства, лесной таксации, лесоустройства и экономики лесного хозяйства. К области лесоводства относятся методы и технологии рубок главного и промежуточного пользования. К области лесной таксации относится изучение динамики и продуктивности изучаемых насаждений, а также оценка их товарности. К области лесоустройства – установление возрастов и оборотов рубки, организация хозяйственных секций. К области экономики относится оценка себестоимости выращивания древостоев и оценка стоимости полученной лесопродукции.

Основной задачей данной работы является изучение актуальности вышеизложенной проблемы на примере некоторых лесхозов с целью разработки концепции ведения хозяйства в смешанных насаждениях.

Материалы и методы исследования

Методика исследований базировалась на общепринятых лесоводственных, лесотаксационных и биоценологических методах [6–8]. Анализ материала проводился системно [9, 10].

Объектами исследования являлись смешанные хвойно- и дубово-мягколиственные древостои с различным долевым участием главной и сопутствующих пород. Для оценки наличия указанных насаждений в лесном фонде был выполнен анализ состояния смешанных сосновых, еловых и дубовых древостоев старше 50 лет в Речицком, Борисовском, Костюковичском и Столбцовском лесхозах, принятых в качестве модельных. Выборочным путем в каждом лесхозе были отобраны по 2 лесничества, в каждом из которых проанализировали наличие исследуемых древостоев.

Результаты и их обсуждение

Исследования, проведенные многими учеными, показали, что хвойные и твердолиственные деревья остаются относительно здоровыми и неповрежденными до 140-160 лет. Мягколиственные, наоборот, подвержены поражению различными гнилями уже с 50-60-летнего возраста. В наибольшей степени стволовыми гнилями поражается осина. В возрасте 50-55 лет древостои этой породы ежегодно теряют 2-3% деловой древесины, с возраста 56 лет и до 60 ежегодные потери увеличиваются до 3-4%, а после 60 лет большая часть стволов осины очень быстро полностью теряет свои технические качества.

Несколько позже (на 5-7 лет) аналогичная ситуация наблюдается и для ольхи. Если же в смешанном насаждении ольха представлена порослевыми деревьями 3-4 генерации, что в настоящее время часто имеет место, то в этом случае по развитию стволовых гнилей ольха становится аналогичной осине. Береза лучше чем осина и ольха противостоит стволовым гнилям. Но и она после 60 лет начинает быстро терять прирост и, хотя и в меньшей мере, но ее древесина тоже ускоренно теряет технические качества.

Из изложенного вытекает, что деревья мягколиственных древесных пород, произрастающие в составе хвойных и твердолиственных насаждений, будучи оставлены на корню, к моменту главной рубки хвойных и твердолиственных теряют свои технические качества, и государство несет значительные убытки. В то же время сегодня нет нормативных документов, которые позволили бы на законных основаниях вырубить мягколиственные деревья, растущие в составе хвойных и твердолиственных насаждений, до наступления возраста рубки, установленного для главных пород этих насаждений.

Закономерно, что прежде, чем начинать разработку какой-либо нормативной базы, необходимо убедиться, что она нужна, что проблема, поднятая в данной работе, не единична, а носит массовый характер в лесном фонде республики. С этой целью в восьми лесничествах по материалам лесоустройства выполнена выборка всех выделов смешанных хвойных и дубовых древостоев старше 50 лет с разбивкой их на группы в зависимости от доли в составе главной породы.

Насаждения старше 50 лет в лесном фонде лесхозов составляют от 15 до 50% покрытой лесом площади (таблица 1). В среднем этот показатель равен 35%. Распределение площадей рассматриваемых насаждений по породам вполне согласовывается с долевым участием данных формаций в лесах республики и ареалом их распространения.

Таблица 1 – Доля насаждений старше 50 лет в лесном фонде

Лесхоз	Лесничество	Площадь покрытая лесом, га	Площадь насаждений старше 50 лет, га			
			всего	сосновых	еловых	дубовых
Речицкий	Милоградское	8 548,5	3 877,8	2 549,0	–	672,0
	Борщевское	7 518,3	2 902,6	1 586,1	–	955,5
Борисовский	Пруд-Баранское	10 322,3	1 637,0	725,0	669,0	–
	Зембинское	9 986,3	4 042,1	3 059,0	675,0	–
Костюковичский	Паньковское	10 271,1	2 569,7	1 410,5	469,7	226,2
	Бельнковичское	7 957,7	3 060,2	1 661,0	649,1	30,2
Столбцовский	Налибокское	8 787,1	4 421,8	1 365,5	1 099,5	–
	Окинчицкое	8 511,8	2 221,4	1 837,9	194,3	–

Климатические условия Беларуси благоприятны для выращивания различных видов древесных и кустарниковых растений. Многие из них произрастают совместно на определенной территории, образуя смешанные и сложные насаждения в различных соотношениях и при самых разнообразных качественных взаимосвязях. Из таблицы 2 видно, что наиболее часто встречаются смешанные сосновые насаждения с долей сосны 7-9 единиц. Для еловых древостоев

характерна обратная зависимость – чаще всего встречаются смешанные ельники с участием ели 5-7 единиц. Аналогичная закономерность характерна и для смешанных дубрав.

Значительную примесь других пород в насаждениях с преобладанием хвойных или дуба можно объяснить несколькими причинами.

Во-первых, в действующих нормативах рубок ухода [11] приводятся целевые составы выращиваемых смешанных и сложных насаждений лишь к возрасту спелости, без указания таковых на промежуточных стадиях выращивания, что усложняет выработку стратегии достижения итогового результата.

Таблица 2 – Структура насаждений старше 50 лет (числитель – га, знаменатель – %)

Доля главной по- роды	Лесничество							
	Мило- град- ское	Бор- шев- ское	Пруд- Баран- ское	Зем- бин- ское	Пань- ков- ское	Белын- кович- ское	Нали- бок- кое	Окин- чиц- кое
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Сосновые насаждения								
9 единиц	<u>405,8</u> 30,1	<u>166,4</u> 23,9	<u>152,0</u> 42,2	<u>598,5</u> 41,2	<u>480,4</u> 44,6	<u>239,1</u> 36,3	<u>611,3</u> 57,4	<u>535,5</u> 39,3
8 единиц	<u>425,8</u> 31,6	<u>182,0</u> 26,1	<u>100,4</u> 27,9	<u>345,4</u> 23,8	<u>278,2</u> 25,8	<u>201,3</u> 30,6	<u>327,7</u> 30,8	<u>453,3</u> 33,3
7 единиц	<u>211,5</u> 15,7	<u>171,9</u> 24,7	<u>68,5</u> 19,0	<u>265,7</u> 18,3	<u>158,4</u> 14,7	<u>96,1</u> 14,6	<u>56,3</u> 5,3	<u>199,1</u> 14,6
6 единиц	<u>82,6</u> 6,1	<u>92,3</u> 13,2	<u>16,0</u> 4,4	<u>98,9</u> 6,8	<u>104,6</u> 9,7	<u>41,0</u> 6,2	<u>30,5</u> 2,9	<u>136,9</u> 10,0
5 единиц	<u>182,9</u> 13,6	<u>62,8</u> 9,0	<u>22,9</u> 6,4	<u>141,8</u> 9,8	<u>37,4</u> 3,5	<u>80,4</u> 12,2	<u>38,7</u> 3,6	<u>38,4</u> 2,8
4 единицы	<u>37,1</u> 2,8	<u>21,6</u> 3,1	–	<u>1,8</u> 1,2	<u>18,7</u> 1,7	–	–	–
Итого	<u>1345,7</u> 100,0	<u>697,0</u> 100,0	<u>359,8</u> 100,0	<u>1452,1</u> 100,0	<u>1077,7</u> 100,0	<u>657,9</u> 100,0	<u>1064,5</u> 100,0	<u>1363,2</u> 100,0
Еловые насаждения								
9 единиц	–	–	<u>29,0</u> 8,9	<u>35,6</u> 12,1	<u>1,7</u> 0,5	<u>22,9</u> 7,7	<u>8,5</u> 1,4	<u>10,9</u> 10,3
8 единиц	–	–	<u>50,2</u> 15,9	<u>46,5</u> 15,8	<u>10,7</u> 3,1	<u>64,7</u> 21,7	<u>79,4</u> 13,1	<u>3,3</u> 3,1
7 единиц	–	–	<u>53,3</u> 16,4	<u>41,0</u> 13,9	<u>48,3</u> 13,9	<u>72,1</u> 24,2	<u>106,1</u> 17,6	<u>7,8</u> 7,4
6 единиц	–	–	<u>74,9</u> 23,0	<u>84,6</u> 28,8	<u>99,4</u> 28,6	<u>64,3</u> 21,6	<u>158,7</u> 26,3	<u>45,8</u> 43,2
5 единиц	–	–	<u>110,9</u> 34,1	<u>84,3</u> 28,7	<u>111,2</u> 32,0	<u>71,8</u> 24,1	<u>236,2</u> 30,1	<u>38,3</u> 36,1
4 единицы	–	–	<u>7,0</u> 2,2	<u>2,2</u> 0,7	<u>76,9</u> 22,1	<u>1,9</u> 0,6	<u>15,6</u> 2,6	–
Итого	–	–	<u>325,3</u> 100,0	<u>294,2</u> 100,0	<u>347,9</u> 100,0	<u>297,7</u> 100,0	<u>604,5</u> 100,0	<u>106,1</u> 100
Дубовые насаждения								
9 единиц	<u>15,2</u> 2,8	<u>92,9</u> 21,2	–	–	–	<u>2,8</u> 10,4	–	–
8 единиц	<u>67,1</u> 12,5	<u>79,7</u> 18,2	–	–	–	<u>1,4</u> 5,2	–	–
7 единиц	<u>124,4</u> 23,3	<u>71,8</u> 16,4	–	–	–	<u>2,9</u> 10,8	–	–
6 единиц	<u>145,4</u> 27,2	<u>55,5</u> 12,7	–	–	<u>54,6</u> 46,4	<u>11,0</u> 40,9	–	–

Окончание таблицы 2

5 единиц	$\frac{91,0}{17,0}$	$\frac{87,4}{20,0}$	–	–	$\frac{44,0}{37,4}$	$\frac{5,6}{20,8}$	–	–
4 единицы	$\frac{91,9}{17,2}$	$\frac{50,3}{11,5}$	–	–	$\frac{19,0}{16,2}$	$\frac{3,2}{11,9}$	–	–
Итого	$\frac{535,0}{100,0}$	$\frac{437,6}{100,0}$	–	–	$\frac{117,6}{100,0}$	$\frac{26,9}{100,0}$	–	–

Во-вторых, в Беларуси до настоящего времени для большинства смешанных древостоев еще отсутствуют программы целевого лесовыращивания.

В-третьих, цель хозяйства в смешанном древостое обычно направлена на создание благоприятных условий для роста главной породы. Поэтому при проведении рубок ухода в хвойных и дубовых насаждениях вырубает деревья березы, осины, ольхи, которые препятствуют росту и развитию предпочитаемых древесных видов. Но полностью деревья мягколиственных пород не удаляют по лесоводственным, общебиологическим, экологическим, технологическим и др. соображениям. К 50-60 годам в составе хвойных и твердолиственных древостоев имеется от 10 до 60% деревьев березы и осины, реже ольхи. И в таком состоянии насаждение обычно стоит до возраста главной рубки.

В-четвертых, при проведении санитарных рубок разрешается выбирать больные и поврежденные стволы. Если же при этом убирают здоровые спелые деревья мягколиственных пород, что нередко происходит, то это является грубым нарушением действующих нормативных документов.

Рассматриваемые насаждения занимают от 7 до 20% покрытых лесом земель (таблица 3). Сравнение площади смешанных хвойных и дубовых насаждений с площадью всех древостоев старше 50 лет показывает, что смешанные древостои занимают от 32 до 66% или в среднем 1400 га в лесничестве.

Смешанные сосновые насаждения встречаются повсеместно и составляют от 40 до 80% всех древостоев данной формации старше 50 лет. Средняя площадь таких насаждений по лесничествам равна 1000 га.

Смешанные ельники занимают 44-74% площади всех еловых древостоев старше 50 лет. Средняя площадь их в лесничествах – 280 га и в значительной степени зависит от зональных особенностей распространения ели в республике.

Дуб формирует смешанные насаждения практически со всеми древесными породами. По этой причине чистые дубравы встречаются обычно лишь в спелом или перестойном возрасте. Подтверждают это и данные таблицы 3: смешанные дубовые насаждения составляют от 46 до 89% площади дубрав рассматриваемого возраста.

Таблица 3 – Количество смешанных насаждений старше 50 лет в лесном фонде

Показатель	Лесничество							
	Милоградское	Борщевское	Пруд-Баранское	Зембинское	Паньковское	Белынкo-вичское	Налибокское	Окинчицкое
Всего смешанных насаждений старше 50 лет, га	1 880,7	1 134,6	685,1	1 746,3	1 543,2	982,5	1 669,0	1 469,3
% смешанных насаждений старше 50 лет от площади лесничества	22,0	15,1	6,6	17,5	15,0	12,3	19,0	17,3
% смешанных насаждений старше 50 лет от площади всех насаждений старше 50 лет	48,5	39,1	41,9	43,2	60,1	32,1	37,7	66,1

Окончание таблицы 3

% смешанных сосновых насаждений старше 50 лет от площади всех сосновых насаждений старше 50 лет	52,8	43,9	49,6	47,5	76,4	39,6	78,0	74,2
% смешанных еловых насаждений старше 50 лет от площади всех сосновых насаждений старше 50 лет	–	–	48,6	43,6	74,1	45,9	55,0	54,6
% смешанных дубовых насаждений старше 50 лет от площади всех сосновых насаждений старше 50 лет	79,6	45,8	–	–	52,0	89,1	–	–

Обобщая изложенное, можно отметить, что смешанные насаждения имеют значительное представительство в лесном фонде. Следует также подчеркнуть, что во многих обследованных лесных массивах в возрасте 70 лет и выше естественный отпад на 80-90% представлен мягколиственными деревьями, которые не были вырублены в процессе проведения рубок ухода. Поэтому для оптимизации выращивания хвойно- и дубово-мягколиственных древостоев в дополнение к имеющейся нормативной базе по рубкам леса необходимо разработать нормативно-правовой акт, который будет охватывать приспевающий период состояния смешанных насаждений, когда происходит наибольшая потеря деловой мягколиственной древесины. При этом выборка мягколиственных деревьев должна проводиться не механически, а с соблюдением определенных концептуальных подходов, а именно:

- удаление мягколиственных деревьев не должно приводить к расстройству насаждения в целом, т.е. потери им своих основных лесоводственных и экологических функций;
- необходимо разработать нормы вырубке мягколиственной части насаждений; за один прием с учетом состава древостоя, его возраста и полноты;
- требуется установить приоритеты при вырубке различных мягколиственных деревьев;
- при проведении вырубке мягколиственных деревьев необходимо соблюдать основные требования к проведению постепенных рубок: обеспечение предварительного естественного возобновления главных пород, ускоренный световой прирост оставшихся деревьев и т.д.;
- при проведении рубки нельзя оставлять без внимания состояние деревьев главной породы. При наличии определенных показаний (болезнь, повреждение, угнетение роста и т.д.) они тоже могут быть вырублены;
- в процессе выращивания смешанных насаждений необходимо стремиться к формированию составов, рекомендуемых в таблице 4.

Таблица 4 – Формирование состава смешанных хвойно- и дубово-мягколиственных древостоев старше 50 лет

Тип леса и тип условий произрастания	Класс бонитета	Состав древостоя в возрасте, лет			
		60	70	80	90 и старше
<i>Сосновые древостои</i>					
Сосняки кисличные, С ₂	I ^a	8С2Б – 9С1Б	9С1Б	10С+Б	10С
Сосняки мшистые, А ₂ и орляковые, В ₂	I	8С2Б	8С2Б – 9С1Б	9С1Б	10С

Окончание таблицы 4

Сосняки черничные, В ₃	II	7С3Б	8С2Б	9С1Б	10С
Сосняки долгомошные, А ₄	III	7С3Б-6С4Б	7С3Б-8С2Б	8С2Б-9С1Б	10С+Б
<i>Еловые древостой</i>					
Ельники снытевые, Д ₃	I ^a	8Е2Б	8Е2Б	9Е1Б	10Е
Ельники кисличные, Д ₂	I	7Е3Б	7Е3Б	9Е1Б	10Е
Ельники мшистые, В ₂	II	8Е2Б	9Е1Б	10Е+Б	10Е
Ельники черничные, С ₃	II	7Е3Б	7Е3Б	8Е2Б	10Е+Б
<i>Дубовые древостой</i>					
Дубрава снытевая, Д ₃ и крапивная, Д ₄	I	6Д4Б	7Д3Б	8Д2Б	10Д
Дубрава кисличная, Д ₃	II	7Д3Б	8Д2Б	9Д1Б	10Д
Дубрава черничная, С ₃	III	7Д3Б	7Д3Б-8Д2Б	8Д2Б-9Д1Б	10Д

Заключение

В результате исследований установлено, что для предотвращения экономических и лесоводственных потерь необходимо разработать методы и нормативные документы, позволяющие изъять спелую древесину мягколиственных деревьев в составе смешанных хвойных и твердолиственных насаждений до наступления возраста спелости главных пород этих древостоев.

Предложенные концептуальные подходы и целевые составы формирования смешанных хвойных и дубовых насаждений могут служить основой для разработки нормативной базы ведения хозяйства в них в возрасте 50 лет и более.

Резюме. Статья касается состояния смешанных хвойных и дубовых древостоев, которым более 50 лет. Была выдвинута концепция формирования этого состава древостоя во время последней вырубki.

Abstract. The paper considers the state of mixed coniferous and oak stands which are over 50 years of age. A conception of the formation of these stands composition by the age of final deforestation is introduced.

Литература

1. Побединский, А.В. Особенности рубок ухода в лесах с ограниченным режимом лесопользования / А.В. Побединский, В.И. Желдак // Лесное хозяйство. – 1989. – № 9. – С. 24-27.
2. Побединский, А.В. Сравнительная оценка одновозрастных и разновозрастных древостоев // Лесное хозяйство. – 1988. – № 2. – С. 40-43.
3. Атрохин, В.Г. Формирование высокопродуктивных насаждений / В.Г. Атрохин. – М.: Лесная промышленность, 1980. – 230 с.
4. Юркевич, И.Д. География, типология и районирование лесной растительности / И.Д. Юркевич, В.С. Гельтман. – Минск: Наука и техника, 1965. – 288 с.
5. Багинский, В.Ф. Лесопользование в Беларуси / В.Ф. Багинский, Л.Д. Есимчик. – Минск: Беларуская навука, 1996. – 367 с.
6. Антанайтис, В.В. Закономерности лесной таксации / В.В. Антанайтис. – Каунас: ЛитСХА, 1976. – 127 с.
7. Анучин, Н.П. Лесная таксация / Н.П. Анучин. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 519 с.
8. Сукачев, В.Н. Основы лесной типологии и биоценологии / В.Н. Сукачев. – М.: Наука, 1972, т. 1. – 418 с.

9. Буш, К.К. Применение системного анализа в лесоведении / К.К. Буш, И.К. Иевинь // Лесоведение. – 1975. – № 1. – С. 15-19.
10. Багинский, В.Ф. Лекции по системному анализу для лесоводов : учеб. для вузов / В.Ф. Багинский. – Брянск: БГИТА, 1997. – 157 с.
11. ТКП 143-2008 (02080). Правила рубок леса в Республике Беларусь. – Введ. 01.01.09. – Минск.: МЛХ, 2008. – 92 с.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 03.02.09

Распределение ^{241}Am в профиле почвы зоны отчуждения ЧАЭС в условиях затопления территории

С. А. ТАГАЙ

Введение

Зона отчуждения ЧАЭС на территории Беларуси входит в состав Полесского государственного радиационно-экологического заповедника (ПГРЭЗ). По ландшафтным признакам эта территория представляет собой низинную, сильно заболоченную равнину. Около 35 % земель ПГРЭЗ в прошлом было мелиорировано, однако из-за перекрытия мелиоративных каналов для снижения пожароопасной обстановки и уменьшения сброса воды с загрязненной территории в р. Припять начались процессы вторичного заболачивания. В результате обширные массивы, занятые бывшими сельскохозяйственными угодьями и лесными насаждениями, сейчас подвергаются затоплению. Состав чернобыльского загрязнения отличается относительно низким вкладом трансурановых элементов (ТУЭ), однако в почве зоны отчуждения наблюдается рост удельной активности ^{241}Am в результате продолжающегося распада материнского ^{241}Pu ($T_{1/2}=15,16$ г.). Важной исследовательской задачей является анализ и характеристика распределения долгоживущего ^{241}Am ($T_{1/2}=432,2$ г.) на территории зоны отчуждения в условиях развивающегося затопления и заболачивания.

Материалы и методика

Исследования проводили в 2007 г. на опытных объектах бывших сельскохозяйственных угодий и лесных насаждений, расположенных вблизи одного из самых обширных затоплений на территории зоны отчуждения – Борщевского водоема (рисунок 1), общая площадь которого

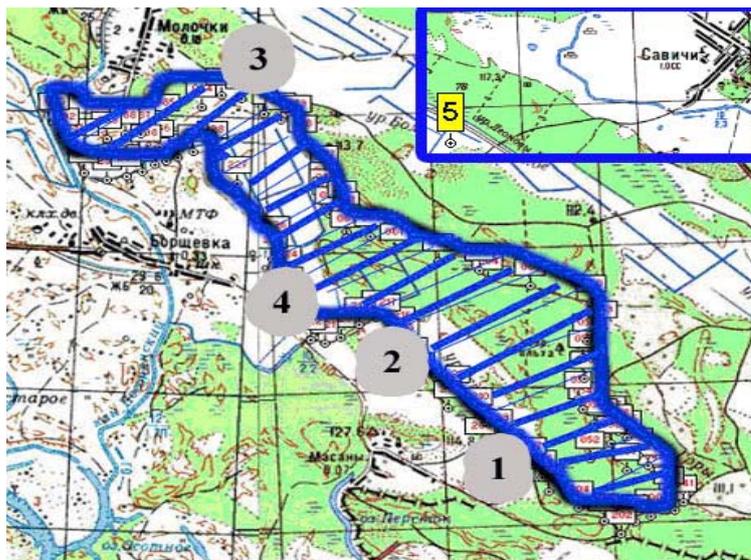


Рисунок 1 – Опытные объекты лесных насаждений (1 – 3) и залежей (4, 5)

составляет около 1100 га, протяженность в направлении с северо-запада на юго-восток в районе бывших населенных пунктов (б.н.п.) Молочки – Борщевка – Масаны – Чемков на расстояние 16,7 км [1]. На каждом объекте были заложены пробные площади, отличающиеся

расстоянием от края водной поверхности. Первая пробная площадь П-1 расположена в относительной близости от края водной поверхности и подвергается регулярному сезонному затоплению, П-2 расположена по рельефу несколько выше первой и характеризуется умеренным характером увлажнения, а П-3 каждого объекта расположена на самых верхних элементах рельефа и практически не подвергается затоплению. Пробная площадь П-0 непосредственно принадлежит береговой зоне самого водоема и образована грунтом формирующихся донных отложений, эта пробная площадь всегда находится под слоем (1-2 см) воды даже в период сезонного спада водной поверхности. Таким образом, четыре пробные площади условно характеризуют разные режимы увлажнения: П-0 постоянно затоплена, П-1 регулярно затопляется, П-2 периодически затопляется, П-3 сухоходольная.

Отбор образцов почвы выполняли пробоотборником с разъемной грунтоприемной трубой [2] на глубину 20 см. Колонки грунта 5-7 уколов разделяли послойно на 2 см слои. Отбор проб лесной подстилки на опытных объектах лесных насаждений производили с использованием металлической рамки 20x20 см с режущей кромкой. При отборе проб производились замеры уровней грунтовых вод (УГВ) и мощности эквивалентной дозы (МЭД). Содержание ^{241}Am в образцах почвы определяли методом гамма-спектрометрии в геометрии «дента» по низкоэнергетическому γ -излучению ($E_\gamma=59,5$ кэВ) с использованием полупроводникового детектора расширенного энергетического диапазона «Canberra-GX3020» (серия XtRa). Минимально детектируемая активность (МДА) оценивалась для минеральной матрицы с аттестованной активностью ^{137}Cs 2751 ± 300 Бк/кг и составила для ^{241}Am 1,68 Бк/кг и 4,16 Бк/кг за 24 и 4 часа измерений соответственно. Длительность экспозиции составляла 1 ч ÷ 12 ч, статистическая погрешность измерения ^{241}Am при этой экспозиции находилась в пределах 15-50 %. Контроль качества измерений проводили с использованием тестовых проб почвы, полученных по программе обеспечения качества мониторинга радиоактивного загрязнения QAP Департамента Энергетики США и в рамках профессиональных тестов МА-ГАТЭ [3]. Результаты межлабораторного сличения значений удельной активности ^{241}Am имели оценку «приемлемый». В почвенных слоях также определяли содержание органического вещества по ГОСТ 26213-91, зольность по ГОСТ 27784-88, pH_{KCl} – потенциометрическим методом по ГОСТ 26483-85.

Результаты и обсуждение

Для сравнительной количественной оценки интенсивности вертикальной миграции ^{241}Am в почве пробных площадей с разным режимом увлажнения были рассчитаны центры запаса (см), которые характеризуют глубины, ниже и выше которых залегает 50 % от общего содержания радионуклида в профиле. Данный параметр (медиана распределения), характеризуя половину запаса радионуклида и соответствующую ей отметку глубины почвенного профиля, наилучшим образом применим для оценки интенсивности вертикальной миграции радионуклидов за период, прошедший после выпадений [4]. Другой параметр – содержание ^{241}Am в слое 10-20 см дополняет представление о миграции радионуклида и характеризует долю радионуклида, которая на момент проведения исследований уже вышла за пределы 10 см слоя.

Лесные насаждения. Пробные площади в лесных насаждениях, непосредственно примыкающих к Борщевскому водоему, были заложены на трех опытных объектах в грабовом, сосновом и дубово-березовом лесу. Количественные характеристики распределения ^{241}Am в почве этих насаждений представлены в таблице 1. Наибольшая миграция ^{241}Am наблюдается в почвенном профиле грабового леса, где центр запаса достигает 5-см глубины. При этом на всех пробных площадях объекта более 10% запаса радионуклида вышло за пределы 10-см слоя почвы и распределилось до 20-см глубины.

В сосновых и дубово-березовых насаждениях наблюдается значительно меньшее проникновение ^{241}Am вглубь почвенного профиля, здесь центр запаса только приблизился к 3-см границе. Выход радионуклида за пределы 10-см почвы небольшой и составляет несколько процентов от общего запаса в 20-см слое. Более 90% запаса ^{241}Am в сосновом и дубово-

березовом лесу продолжают находиться в пределах 10-см слоя почвы. Сдвиг центра запаса ²⁴¹Am до 4,7±1,0 см (в 2 раза) на постоянно-затопленной площадке П №0 соснового леса относительно среднего 2,5±0,4 см на площадях П №1-3 этого объекта, вероятно, может быть обусловлен влиянием водного фактора.

Таблица 1 – Характеристики распределения ²⁴¹Am в почве пробных площадей опытных объектов лесных насаждений

№ объекта, тип, н. пункт	Пробная площадь	МЭД (1м), мкЗв/ч	Запас в слое 0-20 см, кБк/м ²	Центр запаса, см	Распределение в слоях % от общего в 0-20 см		
					подстилка	0-10 см	10-20 см
№1, Дубово-березовые естествен. (50-летние), Масаны	П №1	1,4	49,5±17,9	2,7±0,1	1,7	97,5	1,4
	П №2	1,8	37,2±5,9	3,5±0,2	1,1	97,5	1,4
	П №3	1,9	26,0±0,1	2,5±0,1	3,4	95,9	0,7
	П №1-3	1,7±0,3	37,9±11,3	2,9±0,5	2,0	97,0	1,0
	П №0	1,5	42,5±8,4	2,7±0,5	–	99,0	1,0
№2, Грабовые естествен. (50-летние), Масаны	П №1	2,7	67,3±0,4	4,9±0,4	0,3	86,3	13,5
	П №2	2,6	57,8±4,2	7,2±0,1	0,5	76,9	22,6
	П №3	2,6	87,6±7,4	5,8±0,5	0,9	83,2	15,9
	П №1-3	2,6±0,1	70,9±15,2	5,9±1,1	0,6	82,1	17,3
	П №0	2,3	115,7±22,4	5,4±1,1	–	88,1	11,9
№3, Сосновые искусствен. (25-летние), Молочки	П №1	2,7	22,9±3,9	2,9±0,1	1,2	96,0	2,8
	П №2	2,9	13,7±2,5	2,1±0,1	4,3	93,9	1,6
	П №3	3,1	17,0±3,8	2,4±0,1	6,2	90,5	3,4
	П №1-3	3,0±0,2	17,9±4,7	2,5±0,4	3,9	93,5	2,6
	П №0	2,3	15,3±3,1	4,7±1,0	–	95,6	4,4

Вместе с тем, результаты свидетельствуют, что в почвенном комплексе лиственных насаждений, как грабовых, так и дубово-березовых, не произошло сдвига центра запаса ²⁴¹Am на постоянно-затопленных площадках П №0 относительно среднего на других площадях П №1-3 этих объектов. В целом, в почвенном блоке лесных насаждений не выявлено отчетливой зависимости миграции ²⁴¹Am от режима увлажнения, однако установлена выраженная тенденция усиленной миграции радионуклида в грабняке.

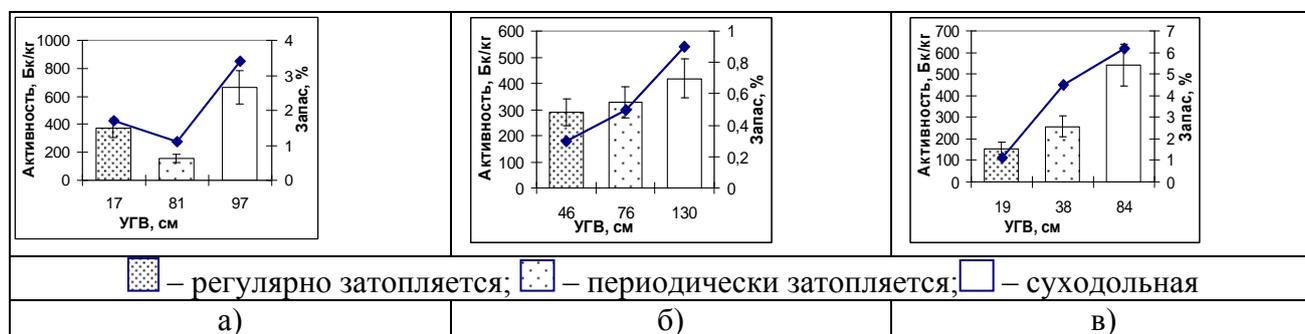


Рисунок 2 – Удельная активность и запас ²⁴¹Am в подстилке лесных насаждений с различным УГВ а) дубово-березовые, б) грабовые, в) сосновые.

Результаты анализа удельной активности ²⁴¹Am в лесной подстилке показали четкую зависимость между содержанием радионуклида в подстилке лесных насаждений и режимом затопления, который характеризуется УГВ. При самых низких УГВ во всех лесных насажде-

ниях (рисунок 2) отмечаются наивысшие уровни содержания ^{241}Am в подстилке, что является, очевидно, следствием интенсификации процессов высвобождения радионуклида из подстилки при увлажнении тех пробных площадей, которые подвергаются регулярному затоплению. Запас ^{241}Am (средний по объекту, %) в подстилке насаждений убывает в ряду сосновые > дубово-березовые > грабовые. При этом подстилка соснового леса депонирует 3,9 % радионуклида, а в грабняке менее 1% остается в подстилке.

Бывшие сельскохозяйственные угодья. Почвенная структура объектов после загрязнения в 1986 г. не нарушалась, вследствие чего образовались залежи. Пробные площади П №0-3 опытного объекта №4 (рисунок 1), примыкающего к Борщевскому водоему, располагаются на разнотравно-злаковом лугу с дерново-подзолистой песчаной почвой вблизи б.н.п. Масаны.

Опытный объект № 5 (рисунок 1) вблизи б.н.п. Савичи был подобран для сравнения на старомелиорированной территории торфяно-болотных почв, подвергающихся постоянно-му сезонному подтоплению, но непосредственно к водоему эти угодья не прилегают. Количественные параметры, характеризующие распределение ^{241}Am в профиле почвы на этих объектах, приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристики распределения ^{241}Am в почве пробных площадей на объектах бывших сельскохозяйственных угодий

№ объекта, тип почвы, н. пункт	Пробная площадь	МЭД (1м), мкЗв/ч	Запас в слое 0-20 см, кБк/м ²	Центр запаса, см	Распределение в слоях, % от общего в 0-20см	
					0-10 см	10-20 см
№4, Дерново-подзолистая песчаная, Масаны	П №1	1,9	69,5±13,0	3,5±0,7	96,2	3,8
	П №2	2,1	28,0±5,6	3,2±0,6	97,0	3,0
	П №3	2,4	49,9±9,9	3,4±0,7	98,6	1,4
	П №1-3	2,1±0,2	49,1±20,7	3,4±0,2	97,2	2,8
	П №0	1,6	25,3±5,1	5,4±1,1	88,7	11,3
№5, Торфяно-болотная, Савичи	периодически подтопляется	6,3	57,1±8,6	4,1±0,7	98,4	1,6

Сравнительная оценка влияния увлажнения и органического вещества на миграцию ^{241}Am в профиле почвы. Роль органического вещества в образовании подвижных форм таких искусственных радионуклидов, как ^{90}Sr , ^{137}Cs , ^{238}Pu , $^{239+240}\text{Pu}$, ^{241}Am детально рассматривалась в работе [5], где был выполнен сравнительный анализ распределения этих радионуклидов по молекулярно-массовым фракциям органического вещества в почве. Было установлено, что ^{241}Am и другие ТУЭ, являясь типичными комплексообразователями, прочно связываются с малорастворимыми фракциями специфических гумусовых веществ в почве, что служит одним из объяснений слабой подвижности этих изотопов в почвенном профиле. Причем в органогенных слоях почвенного профиля они избирательно входят в состав фракций более высоких молекулярных масс, чем в минеральных горизонтах. С увеличением глубины почвенного слоя наблюдается постепенное перераспределение ^{241}Am в пользу фракций органических веществ с меньшими молекулярными массами. Транспорт ^{241}Am в более глубокие почвенные слои происходит в составе металлоорганических производных фульвокислот, которые проявляют наибольшую миграционную способность в почве.

Результаты наших исследований, выполненных на объектах лесных насаждений и бывших сельскохозяйственных угодий зоны отчуждения ЧАЭС, находятся в согласии с вышеприведенными выводами авторов работы о поведении ^{241}Am в почве природных биогеоценозов. Очевидно, ^{241}Am прочно аккумулируется органическим веществом верхних почвенных слоев, что и препятствует выносу радионуклида за пределы 10 см слоя почвы даже

на площадках, подвергающихся регулярному затоплению (рисунок 3). Только на постоянно-затопленной площади объекта №4 (залежь с дерново-подзолистой песчаной почвой, б.н.п. Масаны) произошел существенный сдвиг центра запаса ^{241}Am до $5,4 \pm 1,1$ см относительно среднего $3,4 \pm 0,2$ см (таблица 2) на других площадках этого объекта. Режим постоянного увлажнения способствовал выносу более 11 % радионуклида за пределы 10 см слоя дерново-подзолистой песчаной почвы (рисунок 3), что в 4 раза превышает данный показатель на других площадках этого объекта.

На бывших сельскохозяйственных угодьях б.н.п. Савичи (объект №5), представленных торфяно-болотной почвой, более 98 % радионуклида продолжает оставаться в слое 10 см с центром запаса на глубине $4,1 \pm 0,7$ см. В почвенных слоях этого объекта до глубины 8 см вниз по профилю регистрировались высокие абсолютные значения удельной активности ^{241}Am , достигающие максимума 1980 Бк/кг в слое 4-6 см. Однако из общего запаса $57,1 \pm 8,6$ кБк/м² за пределы 10 см слоя почвы переместилось только 1,6 %, несмотря на регулярное сезонное подтопление этого объекта. Относительный выход запаса ^{241}Am за пределы верхнего 10 см слоя почвы объекта №5 совпадает с таковым на суходольной площадке залежи с дерново-подзолистой песчаной почвой объекта №4 (рисунок 3).

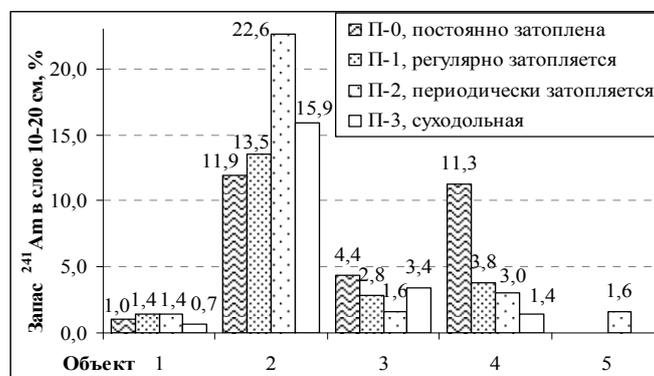


Рисунок 3 – Запас ^{241}Am (%) в слое 10-20 см на пробных площадях с разным режимом увлажнения: 1 – дубово-березовые насаждения; 2 – грабовые насаждения; 3 – сосновые насаждения; 4 – залежь, дерново-подзолистая песчаная почва; 5 – залежь, торфяно-болотная почва

Таким образом, распределение запаса ^{241}Am в профиле торфяно-болотной почвы показало, что за 20 лет после радиоактивных выпадений торфяники даже в условиях регулярного увлажнения обладают исключительной способностью противостоять миграции этого радионуклида, прочно закрепляя его в слое органического горизонта [6].

В лесных насаждениях, в отличие от залежей, аналогичные параметры (центр запаса и запас (%) в слое 10-20 см) на постоянно-затопленных площадках в пределах погрешностей совпадают со средними по объекту (таблица 1). Данное обстоятельство можно объяснить тем, что в лесных насаждениях ^{241}Am и другие ТУЭ после выпадений первоначально удерживались подстилкой, которая выполнила роль барьера, до сих пор удерживая радионуклиды. Следует отметить, что распределение относительного запаса ^{241}Am (%) в слое 10-20 см почвы имеет сходство и сопоставимо с распределением органического вещества (%) в этом же слое. На всех объектах №1-4 за пределами 10 см слоя почвы установлена корреляционная зависимость между запасом ^{241}Am и содержанием гумуса в каждом 2 см слое почвы ($R^2 = 0,58$).

Среди изученных объектов особо выделяется объект №2, где произрастают грабовые насаждения. Объект отличается как максимальным выходом ^{241}Am за пределы 10 см слоя почвы (рисунок 3), так и наибольшим содержанием гумуса в слое 10-20 см на всех пробных площадях. Вероятно, ряд специфических факторов, присущих почвам этого типа насаждений, способствует повышению здесь миграционной способности ^{241}Am . Известно, что опад лиственных насаждений оказывает большее влияние на миграционную способность радионуклидов, чем опад хвои сосны [7]. Это происходит в результате более быстрого разложения листьев этих на-

саждений, чем хвой сосны. Дальнейшая минерализация и гумификация подстилки происходит еще более интенсивно в грабовом лесу по сравнению с другим объектом лиственных насаждений (объект №1, дубово-березовые насаждения), что и обуславливает равновесное обогащение почвы новыми порциями органического вещества, подвижные фракции которого постоянно перемещаются вглубь профиля. Очевидно, после попадания на почвенный покров грабовых насаждений, ^{241}Am здесь подвергается более интенсивному вовлечению в миграционный поток органического вещества вследствие образования подвижных комплексных соединений с гумусовыми веществами почвы. Кроме того, рН почвы на объекте грабовых насаждений характеризуется наименее кислым диапазоном, чем на других объектах и находится границах 4,8-6,0. Как указывают авторы [8], в этом диапазоне катионы Am^{3+} легко гидролизуются и проявляют коллоидные свойства, что также способствует повышению миграции радионуклида. Вероятно, совокупность действия всех факторов в природной обстановке грабняка и определила к настоящему времени значительный вынос запаса ^{241}Am (от 11% до 22%) за пределы 10 см слоя почвы на всех пробных площадях данного объекта.

Заключение

Результаты показали, что на объектах лесных насаждений и бывших сельскохозяйственных угодий в процессах миграции ^{241}Am по почвенному профилю существенную роль выполняет органическое вещество почвы, проявляя одновременно аккумулятивную и транспортную функцию. Сдвиг центра запаса ^{241}Am и существенное увеличение выхода (в 2-4 раза) радионуклида за пределы 10 см слоя почвы под действием увлажнения отмечено только на постоянно-затопленных площадках сосновых насаждений и залежи с дерново-подзолистой песчаной почвой, отличающихся низким содержанием органического вещества. Торфяники прочно блокируют ^{241}Am в слое органогенного горизонта, что определяет их исключительную способность противостоять миграции этого радионуклида даже в условиях регулярного увлажнения.

В целом, органическое вещество почвы выполняет протекторную функцию [9] по отношению к ^{241}Am , как и к другим радиоактивным элементам, проявляя свойство связывать радионуклиды в малоподвижные и труднодиссоциирующие соединения, что обеспечивает мощную защитную роль почвы, несмотря на усиление увлажнения в результате развивающихся заболачиваний территории зоны отчуждения ЧАЭС.

Автор выражает благодарность зав. лабораторией радиэкологии ГНУ «Институт радиобиологии», к.б.н. Кудряшова В.П. за ценные замечания в обсуждении результатов работы, а также сотрудников РНИУП «Институт радиологии» и ПГРЭЗ за участие в выполнении аналитических определений и отбора проб на территории зоны отчуждения.

Резюме. Исследования были выполнены на бывших пахотных землях и лесных участках за исключением зоны территорий в условиях затопления. Были проанализированы количественные особенности распределения ^{241}Am в почве – опись, глубина центра описи и распределение радионуклида между слоями почвы. Показано, что органический материал играет существенную роль в перемещении ^{241}Am по профилю почвы.

Abstract. ^{241}Am distribution in the soil of the Chernobyl exclusion zone in the conditions of flooding is considered in the paper. The investigations have been carried out on the former agricultural lands and forest sites within the exclusion zone territory in the condition of flooding. Quantitative characteristics of ^{241}Am distribution in soil - inventory, depth of the centre of inventory and distribution of radionuclide between soil layers have been analyzed. It is shown that an organic material plays an essential role in ^{241}Am migration in the soil profile.

Литература

1. Евдокимов, В.Н. Радиэкологическое состояние водных систем зон отчуждения и

отселения и их компонентов (обзор)/ В.Н. Евдокимов, А.В. Раздорских // 20 лет после чернобыльской катастрофы: сб.науч.тр./Комчernобыль, ПГРЭЗ; редкол.: Ю.И. Бондарь [и др.]. – Гомель: РНИУП «Институт радиологии», 2006. – С.37-45.

2. Пробоотборник для послойного извлечения образцов грунта: патент на полезную модель № 3793 Респ. Беларусь; МПК G 01N1/04 / И.М. Булавик, А.Н. Переволоцкий, Н.В. Дударева, С.А. Тагай; заявитель РНИУП «Институт радиологии». – и 20060831; заявл. 07.12.06;опубл.30.08.07 // Афіцыйны бюл./Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2007. – № 4(57). – С. 231-232.

3. Shakhashiro A. et al. Report on the IAEA-CU-2006-03 World-wide open proficiency test on the determination of gamma emitting radionuclides [Electronic resource] / Mode of access: <http://www.iaea.org>.

4. Кудельский, А.В. Радиоизотопы чернобыльских выпадений-оценка почвенной миграции и потенциальных угроз качеству подземных вод Беларуси/А.В. Кудельский, Дж.Т. Смит, В.И. Пашкевич, Н.В. Сасина, А.И. Янков // Литасфера. – 2007. – №1(26). – С. 149-151.

5. Агапкина, Г.И. Содержание и органические формы соединений техногенных радионуклидов в почвенных растворах луговых и болотных экосистем/Г.И. Агапкина, А.И. Щеглов, Ф.А. Тихомиров // Вестн. МГУ. Сер. Почвоведение. – 2001. – №4. – С. 2-12.

6. Соколик, Г.А. Влияние органических компонентов на состояние плутония и америция в почвах и почвенных растворах/Г.А. Соколик, С.В. Овсянникова, И. М. Кимленко // Радиохимия. – 2003. – № 1. – С. 160-164.

7. Молчанова, И.В. Эколого-геохимические аспекты миграции радионуклидов в почвенно-растительном покрове / И.В. Молчанова, Е.Н. Караваева. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 158 с.

8. Конопля, Е.Ф. Радиация и Чернобыль: Трансурановые элементы на территории Беларуси/Е.Ф. Конопля, В.П. Кудряшов, В.П. Миронов. – Гомель:РНИУП«Институт радиологии», 2007. – 128 с.

9. Орлов, Д.В. Гуминовые вещества в биосфере/ Д.В. Орлов // Соровский образовательный журнал. – 1997. – №2. – С. 56-63.

Оценка биохимических показателей крови КРС в зависимости от витаминного состава растительных кормов

Л. А. БЕЛЯЕВА, Г. А. МЕДВЕДЕВА

Для организации полноценного кормления сельскохозяйственных животных необходимо знать их потребность в отдельных витаминах и определять витаминную питательность кормов. Недостаток в корме даже одного из витаминов может привести к заболеванию – авитаминозу. В практике часто встречаются гиповитаминозы — авитаминозные заболевания в нерезко выраженной форме. Они могут возникнуть не только из-за недостатка в рационе витаминов, но и вследствие плохого их усвоения или недостаточного синтеза в организме [1].

Наибольший ущерб животноводству наносит часто встречающаяся форма А-авитаминоза А-гиповитаминоз. При этом снижается репродуктивная способность животных, сопротивляемость организма инфекционным заболеваниям, А-витаминная ценность молока и яиц, снижается жизнеспособность молодняка. Такая форма А-авитаминоза опасна тем, что она трудно распознается, так как признаки А-гиповитаминоза весьма разнообразны и проявляются в слабой форме, особенно у взрослых животных. А-гиповитаминозы возникают главным образом при стойловом содержании животных, особенно в конце зимовки. К этому времени корма теряют большую часть витамина, а летние запасы в теле животных истощаются. Поэтому большое значение имеет анализ рациона на содержание в нем провитамина А – каротина.

Но содержание каротина в рационе может служить лишь ориентировочным показателем обеспеченности животных витамином А, так как использование каротина корма животными колеблется в широких пределах. Поэтому более полное представление о степени обеспеченности животных витамином А дают исследования содержания каротина и витамина А в крови, молоке, в яичном желтке и печени. При этом следует учесть, что однократное определение количества витамина А в крови, молоке, яйце не дает правильного представления о степени обеспеченности организма витамином А.

Только длительное наблюдение за поступлением каротина из рациона и содержанием витамина А в крови, молоке, печени могут более полно характеризовать состояние обеспеченности животных витамином А [2].

Оценка качества кормов и крови по содержанию витаминов является наиболее проблемной в современном животноводстве. Наибольший интерес для ветеринаров представляют гипо- и авитаминозы тех витаминов, которые непосредственно связаны с нормальной продуктивностью. И это прежде всего гипо- и авитаминозы витаминов А, Е, D. Накоплен огромный материал, свидетельствующий о том, что питательная ценность кормов изменяется. В связи с этим возникает необходимость некоторых питательных веществ в корме, совершенствование нормативов кормления и систем рационального использования, оценки и контроля качества кормов.

Цель работы заключалась в оценке некоторых биохимических показателей крови сельскохозяйственных животных в зависимости от витаминного состава кормов.

Полученные данные могут быть использованы для оценки степени усвоения витаминов, содержащихся в данном виде продукции сельского хозяйства. Контроль за витаминной обеспеченностью входит в общий комплекс зоотехнических и ветеринарных мероприятий по организации полноценного питания животных. При этом учитывается вид и продуктивность животного, особенности его витаминной потребности и сезон года, условия содержания и тип кормления. Последнее даёт возможность правильно оценить вероятность возникновения того или иного гипо- и авитаминозов, организовать его контроль и профилактику.

Объектом исследований явились растительные корма и кровь крупного рогатого скота (КРС) хозяйств Гомельской области.

Биохимические исследования кормов и крови проводились на базе Гомельской областной ветеринарной лаборатории. Объекты исследований поступали из хозяйств Чечерского, Кормянского, Речицкого, Добрушского, Рогачёвского и Хойниковского районов.

Исследование биохимических показателей крови и витаминного состава кормов проводилось общепринятыми методами. Определение каротина в кормах и сыворотке крови основано на способности каротина растворяться в петролейном эфире, давая при этом жёлтую окраску, интенсивность которой пропорциональна содержанию каротина. Концентрация последнего в фотометрических растворах должна быть в пределах 0,4 — 4 мг/см³. Определение витамина А в крови основано на щелочном гидролизе и экстракции витамина А из плазмы крови при помощи летучих растворителей. Все полученные данные математически обработаны.

Критерием обеспеченности крупного рогатого скота каротином и витамином А может служить содержание каротина и витамина А в сыворотке или плазме крови. Предельное содержание каротина в сыворотке крови коров колеблется в зависимости от сезона года и поступления с кормами, его доступности, и составляет в норме в пастбищный период — 0,9 – 2,8 мг/%, в зимний стойловый — 0,4 – 1,0 мг/%. Содержание каротина, равное 0,2 – 0,3 мг/% и менее, тесно коррелирует с истощением его запасов в печени и значительным уменьшением уровня его поступления с кормами рациона [3].

По литературным данным [4], снижение уровня витамина А в крови отмечается при недостатке каротина и витамина А в кормах, плохом их усвоении из-за хронических заболеваний органов пищеварения и печени. Снижение уровня витамина А до 0,4 мг/% свидетельствует о почти полном истощении его запасов в печени и предшествует появлению внешних признаков А-авитаминоза: огрубление волосяного покрова, образование на коже в области шеи холки и вдоль спины к корню хвоста слоистых чешуек.

В ходе выполнения исследований был проведён анализ различных растительных кормов и крови КРС на содержание каротина и витамина А. Пробы отобраны в хозяйствах Чечерского, Кормянского, Речицкого, Рогачёвского, Добрушского и Хойниковского районов. В таблице 1 представлено содержание каротина в различных кормах хозяйств Гомельской области.

Таблица 1 – Содержание каротина в кормах разных хозяйств Гомельской области n=3, p=0,95

Продукция сельского хозяйства	Содержание каротина, мг%					
	Чечерский район	Кормянский район	Речицкий район	Добрушский район	Рогачёвский район	Хойниковский район
Сено	4,65±0,45	47,86±3,75	60,45±6,75	23,76±2,86	54,56±5,56	65,78±7,45
Силосная масса	12,43±1,65	58,20±3,96	71,64±7,45	35,87±3,36	64,32±6,20	78,34±8,14
Норма	0,90 – 2,80					

Результаты определения каротина в кормах показывают, что его содержание в данных видах продукции сельского хозяйства превышает норму. Данная тенденция характерна для всех изученных хозяйств. Тем не менее, наблюдается значительная разница по содержанию каротина в кормах разных хозяйств. Так, минимальное содержание каротина отмечено в Чечерском районе (4,65 мг/%), максимальное — в Хойниковском районе (78,34 мг/%). Низкое содержание каротина в кормах некоторых хозяйств может быть связано с условиями заготовления и хранения кормов. В последнее время для стабилизации каротина и витаминных препаратов в кормах при их хранении успешно используют ряд веществ, обладающих антиокислительными свойствами. Также установлено, что антиокислители замедляют разрушение каротина и витамина А не только в кормах, но и непосредственно в желудочно-кишечном тракте, способствуя повышению витаминной обеспеченности организма.

Из данных таблицы 1 видно, что содержание каротина в силосной массе значительно выше, чем в сене. Так, например, в Чечерском районе содержание каротина в сене составля-

ет 4,65 мг/%, а в силосной массе — 12,43 мг/%; в Добрушском районе 23,76 мг/% и 35,87 мг/% соответственно. Это объясняется тем, что каротин накапливается более интенсивно в облиственных частях растений, чем в стеблях (до цветения растений). И эта разница по содержанию каротина в листьях и стеблях с ростом растений увеличивается. Таким образом, витаминная ценность растений в ранних стадиях роста выше, чем в более поздних.

Нами проведён анализ содержания каротина и витамина А в крови КРС по сезонам. Результаты исследований приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание каротина и витамина А в крови КРС по сезонам n=3, p=0,95

Районы Гомельской области	Биохимические показатели крови, мг/%	Сезоны			
		весна	лето	осень	зима
Чечерский	каротин	0,35±0,04	0,94±0,08	0,82±0,08	0,08±0,02
	витамин А	21,49±1,87	30,12±2,88	26,87±1,76	22,45±1,66
Кормянский	каротин	0,84±0,06	2,10±0,12	0,98±0,06	0,42±0,02
	витамин А	22,65±2,05	58,45±3,67	46,98±3,12	26,34±1,80
Речицкий	каротин	2,24±0,32	5,68±1,23	4,22±1,12	1,15±0,12
	витамин А	30,76±3,56	46,32±3,15	40,23±2,56	26,45±1,88
Добрушский	каротин	0,62±0,06	1,88±0,80	0,74±0,26	0,55±0,09
	витамин А	20,24±1,98	42,16±2,85	38,18±2,87	28,36±2,45
Рогачёвский	каротин	2,06±0,12	4,68±0,88	3,96±0,56	2,54±0,56
	витамин А	28,48±3,15	54,32±4,20	44,58±3,25	36,47±3,15
Хойникский	каротин	4,56±1,12	9,26±1,56	7,32±1,45	5,46±1,20
	витамин А	34,48±3,58	58,69±3,48	50,23±3,65	32,78±3,25

Норма содержания каротина в крови сельскохозяйственных животных составляет 0,28 – 1,00 мг/%, витамина А — 24,00 – 80 мг/%.

Из представленных данных видно, что чётко прослеживается сезонная зависимость содержания каротина и витамина А в крови КРС. Так, максимальное содержание этих компонентов отмечено в летний и осенний сезоны; минимальное содержание в весенний и зимний сезоны. Так, например, в Кормянском районе содержание каротина в весенний период составляет — 0,84 мг/%, в летний период — 2,10 мг/%, в осенний период — 0,98 мг/%, в зимний период — 0,42 мг/%; содержание витамина А соответственно — 22,65; 58,45; 46,98 и 26,34 мг/%. В Хойникском районе содержание каротина в весенний период составляет — 4,56 мг/%, в летний период — 9,26 мг/%, в осенний период — 7,32 мг/%, в зимний период — 5,46 мг/%; содержание витамина А, соответственно — 34,48; 58,69; 50,23 и 32,78 мг/%. В пастбищный период (весна-осень) животные получают «натуральные» корма, содержащие достаточное количество каротина. Поэтому содержание каротина и витамина А у КРС в этот период значительно выше, чем в стойловый. При хранении заготовленных кормов отмечается частичное разрушение каротина. Следовательно, с питанием животные недополучают данный компонент, что отражается на биохимических показателях крови.

Результаты исследований показывают, что содержание каротина и витамина А в крови животных разных районов Гомельской области различно. Максимальное содержание каротина и витамина А в крови животных отмечено в Речицком и Хойникском районах, минимальное количество — у животных Чечерского и Добрушского районов. Это может быть связано с условиями заготовки и хранения кормов (видом и сортом растений, стадией вегетации, количеством осадков в период вегетации, агротехникой выращивания кормов (например, азотные удобрения и известкование почвы увеличивают синтез каротина)); сбалансированием рациона питания животных по недостающим компонентам за счёт витаминных добавок, протеина; условиями содержания животных (вентиляция помещений, прогулки, инфракрасное и ультрафиолетовое облучение). Как использует организм животных каротин зависит также от того, есть ли в организме условия для его метаболизма и превращение в витамин А. Известно, что при угнетении микрофлоры преджелудочков усвоение каротина

затруднено. Превращение каротина в организме замедляют некоторые антибиотики, инсектициды, минеральные удобрения, главным образом нитраты, переходящие в нитриты под влиянием желудочного сока.

Нами проведена оценка содержания каротина и витамина А в крови КРС разных возрастных групп и различных хозяйств Гомельской области в стойловый период (зима-весна). Полученные результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Содержание каротина и витамина А в крови КРС разных возрастных групп $n=3$, $p=0,95$

Районы Гомельской области	КРС	Содержание некоторых биохимических показателей, мг/%	
		каротин	витамин А
Чечерский	коровы	0,15±0,04	20,14±1,20
	телята	0,07±0,01	11,43±0,08
Кормянский	коровы	0,62±0,05	24,78±1,64
	телята	0,30±0,02	16,41±1,08
Речицкий	коровы	1,84±0,12	28,15±2,78
	телята	0,94±0,02	17,24±1,21
Добрушский	коровы	0,64±0,03	24,78±±2,04
	телята	0,40±0,02	18,42±1,52
Рогачёвский	коровы	2,23±0,64	32,92±2,41
	телята	1,85±0,42	24,18±2,06
Хойникский	коровы	4,82±0,26	32,56±2,64
	телята	3,41±0,24	26,58±2,12

Норма содержания каротина в крови коров составляет 0,28 – 0,70 мг/%, телят — 0,21–0,90 мг/%; содержание витамина А: в крови коров — 40,00 – 80 мг/%, телят 60 — 80 мг/%.

Данные таблицы 3 свидетельствуют о том, что содержание каротина и витамина А в крови телят значительно ниже, чем в крови коров. Это можно объяснить тем, что при достаточном поступлении каротина с кормами в печени животного происходит превращение его в витамин А и накопление. Поэтому у взрослых животных по сравнению с молодняком отмечается его повышенное содержание. Количество витамина А в плазме или сыворотке крови — более стабильный показатель, чем концентрация каротина. Это связано с тем, что уровень витамина контролируется соответствующими биологическими механизмами и определяется его запасами в печени, интенсивностью обменных процессов и физиологическим состоянием животных. Более полно характеризовать состояние обеспеченности животных витамином А могут только длительные наблюдения за поступлением каротина из рациона, содержание в крови, молоке, печени. Существование особого взаимодействия между каротином и витамином А создаёт необходимость пересмотра вопроса нормирования А-витаминного питания крупного рогатого скота в направлении установления оптимального соотношения между каротином и витамином А в рационе, особенно для высокопродуктивных животных.

Результаты исследований показывают, что у всех возрастных групп обследованных животных разных хозяйств Гомельской области в стойловый период наблюдается недостаточное содержание в крови каротина и витамина А. В связи с этим хозяйствам рекомендуется дополнительное введение каротина в виде сушеной моркови, хвойной муки, масляного концентрата витамина А, а также специальных витаминных кормов. Сочетание натуральных кормов с витаминными препаратами промышленного производства является наиболее рациональным путём решения проблемы обеспеченности витаминами в животноводстве.

Резюме. В результате работы изучена зависимость содержания каротина и витамина А в крови крупного рогатого скота в зависимости от количества каротина в кормах, от сезона года и возраста животных. Результаты проведенных исследований могут быть использованы для контроля витаминной обеспеченности сельскохозяйственных животных, а также дают возможность правильно оценить вероятность возникновения гиповитаминоза, организовать его контроль и профилактику.

Abstract. The estimation of bio-chemical characteristics of blood depending on the vitamin composition of vegetable forage is given in the paper. The results of the investigations can be used for proper vitamin supplies of cattle and for the prevention of the hypovitaminosis.

Литература

1. Щеглов, В.В. Корма: приготовление, хранение, использование / В.В. Щеглов, Л.Г. Боярский. – М.: Агропромиздат, 1990. – 255 с.
2. Емелина, Н.Т. Витамины в кормлении сельскохозяйственных животных и птицы / Н.Т. Емелина, В.С. Крылова, Е.А. Петухова. – М.: «Колос», 1980. – 312 с.
3. Богданов, Г.А. Кормление сельскохозяйственных животных / Г.А. Богданов. – М.: Агропромиздат, 1990. – 624 с.
4. Привало, О.Е. Витамины в кормлении сельскохозяйственных животных / О.Е. Привало. – К.: Ураджай, 1983. – 160 с.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 03.02.09

УДК 614.876(476.2)

Степень экстрагируемости ^{137}Cs из сена (опыты *in vitro*)

Е. И. ДЕГТЯРЕВА

Введение

В настоящее время доза внутреннего облучения населения практически полностью определяется продуктами питания. Потребление продуктов животноводства, в основном молока, произведенного на загрязненной радионуклидами территории, является одним из основных источников внутреннего облучения населения, проживающего на этой территории. Актуальной является проблема поиска дешевых и эффективных мероприятий, способствующих уменьшению перехода ^{137}Cs из суточного рациона животных в их продукцию. Это связано с тем, что сейчас наиболее эффективным механизмом уменьшения всасывания в желудочно-кишечном тракте животных является ионообменная сорбция. В качестве сорбентов для снижения резорбции радиоактивного цезия зарекомендовали себя гексацианоферраты. Введение ферроцина в суточный рацион животных способствует увеличению себестоимости производимой продукции (молока). При выборе других мероприятий способных снижать переход ^{137}Cs из рациона в молоко необходимо учитывать ряд требований, предъявляемых к ним, они не должны оказывать отрицательного воздействия на организм животного, снижать качественных показателей продукции и быть дешевыми.

Перспективным направлением решения поставленной проблемы является введение грубых кормов в суточный рацион крупного рогатого скота [1]. Вместе с тем данный вопрос недостаточно проработан.

Данная работа посвящается научно-методическому обоснованию степени высвобождения ^{137}Cs из грубых кормов, выращенных на территории радиоактивного загрязнения.

Для прогноза уровня содержания ^{137}Cs в продуктах питания (молоке) необходимо знать коэффициент доступности радионуклида (КД) из корма в желудочно-кишечный тракт (ЖКТ) животного. Коэффициент доступности радионуклидов зависит от 2-х параметров: один из них – истинный коэффициент всасывания (ИКВ) определяет максимальную способность перехода радионуклида через слизистую оболочку кишки и может считаться константой в силу физиологии животного и физико-химической природы радионуклида. Второй, взаимосвязанный параметр с КД, назовем экстрагируемой долей радионуклида (ЭДР), он меняется в зависимости от вида корма, химической природы радионуклида и представляет собой его долю, которая способна всосаться в желудочно-кишечном тракте животного и перейти в молоко. Коэффициент доступности радионуклидов представляет собой произведение этих двух величин:

$$\text{КД} = \text{ИКВ} * \text{ЭДР}$$

Коэффициент перехода ^{137}Cs из суточного рациона коров в молоко (КП_{сут.рацион-молоко}) находится в прямой пропорциональной зависимости от КД радионуклида в желудочно-кишечном тракте животных. Поэтому, зная коэффициент доступности данного радионуклида, можно спрогнозировать его концентрацию в молоке крупного рогатого скота.

Для оценки коэффициента доступности ^{137}Cs из сена был использован метод, разработанный Н. Бересфордом и Д. Синглтон, 1991 [2].

Процент экстрагируемости ^{137}Cs из корма рассчитывали по формуле:

$$\% \text{Э} = [^{137}\text{Cs}_{\text{ф-те}}] / [^{137}\text{Cs}_{\text{обр}}] * 100\%,$$

где $\% \text{Э}$ – процент экстрагируемости ^{137}Cs из образца, %;
 $^{137}\text{Cs}_{\text{ф-те}}$ – концентрация ^{137}Cs в фильтрате, Бк;
 $^{137}\text{Cs}_{\text{обр}}$ – концентрация ^{137}Cs в образце, Бк.

Материалы и методы исследования

Методика препарирования объектов исследования предусматривала приготовление водных цезиевых вытяжек из сена различного качества. Данный вид корма был заготовлен на территории населенного пункта Шерстин колхоза "Октябрь", который расположен в 20 км к северо-западу от районного центра Ветка и в 34 км от г. Гомель.

Одинаковые навески сена (3г) выдерживали в дистиллированной воде в течение 2,5 – 240 минут, периодически перемешивая раствор. Аналогично приготавливали кислотную цезиевую вытяжку, применяя вместо воды 0,1Н раствор соляной кислоты. Твердая фаза (сено) и жидкая фаза (цезиевая вытяжка) исследовались на наличие ^{137}Cs . Процент экстрагируемости радионуклида (%Э) из корма, являющийся определяющим параметром КД, вычислялся по формуле 2. В методике эксперимента проверялась оптимальность соотношения твердой фазы к жидкой 1:20 в плане максимальной экстрагируемости. Результаты спектрометрии математически обрабатывались по разработанной для данного эксперимента методике.

$$A_{\text{общ}} = A_{\text{э-та}} + A_{\text{сена}}$$

$$A_{\text{э-та}} = A_{1\text{ э-та}} + A_{2\text{ э-та}},$$

где $A_{1\text{ э-та}}$ – удельная активность экстракта, полученного в ходе опыта, Бк/л;
 $A_{2\text{ э-та}}$ – удельная активность фильтрата, поглощенного сеном, Бк/л;

$$A_{1\text{ э-та}} = A_{1\text{ э-та}}^I \cdot V_{1\text{ э-та}}$$

$$A_{2\text{ э-та}} = A_{2\text{ э-та}}^I \cdot V_{2\text{ э-та}}$$

$$V_{\text{э-та}} = V_{1\text{ э-та}} + V_{2\text{ э-та}},$$

где $A_{1\text{ э-та}}^I$ – активность экстракта, полученного в опыте, Бк/пр;
 $A_{2\text{ э-та}}^I$ – активность экстракта, поглощенная сеном, Бк/пр;
 $V_{1\text{ э-та}}$ – объем экстракта, полученного в опыте, мл;
 $V_{2\text{ э-та}}$ – объем экстракта, поглощенного сеном, мл.

$$A_{\text{сена общ.}} = A_{\text{сена}} - A_{2\text{ э-та}}$$

$$A_{\text{сена}} = A_{\text{сена}}^I \cdot m_{\text{сена}}$$

$$m_{\text{сена}} = m_{\text{получ.сена}} - m_{\text{э-та}}$$

$$m_{\text{ф-ра}} = 0,005 \text{ кг},$$

где $A_{\text{сена}}$ – удельная активность сена, Бк/кг;
 $A_{\text{сена}}^I$ – активность сена, Бк/пр;
 $m_{\text{сена}}$ – масса сена, кг;

Статистическая обработка результатов исследований проводилась с использованием пакета статистических программ "Statistica" версии 5.0.

Гамма – спектрометрию проб проводили на комплексах: TENNELEC и CANBBERA производства США с полупроводниковыми коаксиальными диффузионно-дрейфовыми детекторами из сверхчистого германия.

Результаты и их обсуждение

Влияние качества сена на степень экстрагируемости ^{137}Cs из него водой

В связи с неправильной заготовкой и хранением сена до 40% данного корма приходит в непригодное для скармливания животным состояние. Неклассные корма зачастую включают в рацион дойного стада и ремонтных телок, что приводит к снижению удоев и жирности молока, а также к уменьшению привесов животных. Необходимо было выяснить, влияет ли качество корма на степень экстрагируемости из него ^{137}Cs .

Качество сена определяли как визуально: по цвету, запаху, ботаническому составу трав, консистенции; так и в результате зоотехнического его анализа. По результатам зоотехнического анализа отобранные пробы сена относятся к 1 и 3 классам. В эксперименте была

установлена степень экстрагируемости ^{137}Cs из сена 1 и 3 классов. Статистически обработанные результаты сведены в таблицу 1.

Таблица 1 – Степень экстрагируемости ^{137}Cs из сена 1 и 3 классов, (%)

t, мин	V ₁ , мл	A _{1э-т} , Бк/л	V ₂ , мл	A _{2э-т} , Бк/л	A _{э-т} , Бк/л	m _с , г	A _с , Бк/кг	A _{общ} , Бк/кг	% ВЫХОД ^{137}Cs
Степень экстрагируемости ^{137}Cs из сена первого класса									
15	46	4054	14	13321	17375	3,5	95179	112554	15
30	45	5633	15	16900	22533	3,5	80267	102800	22
60	44,5	5494	14,5	16862	22356	3,7	87138	109494	20
90	44,5	6236	14,5	19138	25374	3,6	69862	95236	26
120	41	6695	19	14447	34142	3,4	80553	101695	33
240	39,5	8253	20,5	15902	34155	3,7	46598	100753	34
Степень экстрагируемости ^{137}Cs из сена третьего класса									
15	35,8	5483	24,3	8082	20565	3,85	85418	98983	20
30	35	6286	25	8800	23086	3,9	77200	92286	25
60	41	6268	19	13526	22794	3,8	58307	71833	30*
90	39,5	6941	20,5	11512	18453	3,2	68488	86941	21
120	34	7811	26	20115	18926	3,65	83218	102144	19*
240	37	6734	23	21565	18299	3,4	76101	94400	19*

где в табл. 3 обозначены:

t, мин – время экстракции (мин);

V₁ – количество полученного экстракта (мл);

A_{1э-т} – удельная активность экстракта (Бк/л);

V₂ – количество экстракта сорбированного сеном;

A_{2э-т} – удельная активность экстракта сорбированного сеном (Бк/л);

A_{э-т} – общая удельная активность экстракта (Бк/л);

m_с – масса сена (г);

A_с – удельная активность сена (Бк/кг);

A_{общ} – сумма активностей сена после экстрагирования из него ^{137}Cs и экстракта

% выход ^{137}Cs – экстрагируемость ^{137}Cs из сена (%);

*-достоверное различие по сравнению с контролем при p < 0,05, а остальные результаты достоверны при p < 0,1.

В ходе процессов разложения в сене произошли биохимические изменения, как в клеточных стенках, так и в клетках растений, составляющих этот вид корма.

В связи с тем, что сено сорбировало некоторое количество экстракта, а в дальнейшем оно высушивалось, то часть радионуклидов, вышедшая в вытяжку, вторично была поглощена сеном.

Разрушение в ходе гнилостных процессов органических веществ и частичное разрушение клеточных стенок в сене 3-го класса привело к быстрому выходу ^{137}Cs из него в течение 1,5 часовой экстракции – 30%. Однако за четыре часа экстрагирования ^{137}Cs из сена первого и третьего классов в водную среду перешло 34% и 19%, соответственно.

Таким образом, за 4 часа экстракции из сена 1-го класса в экстракт перешло в 1,79 раза больше ^{137}Cs , чем из сена 3-го класса. При гниении клетчатки в ней реализуется процесс микрофазного разделения лигнина и гемицеллюлоз, находящихся в состоянии вынужденного смешивания. Это приводит к дополнительной структурной активации клетчатки сена за счет увеличения свободного объема межфазных лигноуглеводных областей. Поэтому можно предположить, что клетчатка способна сорбировать на себя ^{137}Cs из водных сред.

Влияние pH среды на степень экстрагируемости ^{137}Cs из сена

Значения pH среды в желудочно-кишечном тракте жвачных животных изменяются следующим образом: в ротовой полости pH 8,5-9, в рубце – 7,3, в сетке – 6,1, книжке – 5,7, в сычуге от 1 до 3, в тонком кишечнике 9,5, в толстом кишечнике – 10,3 [3].

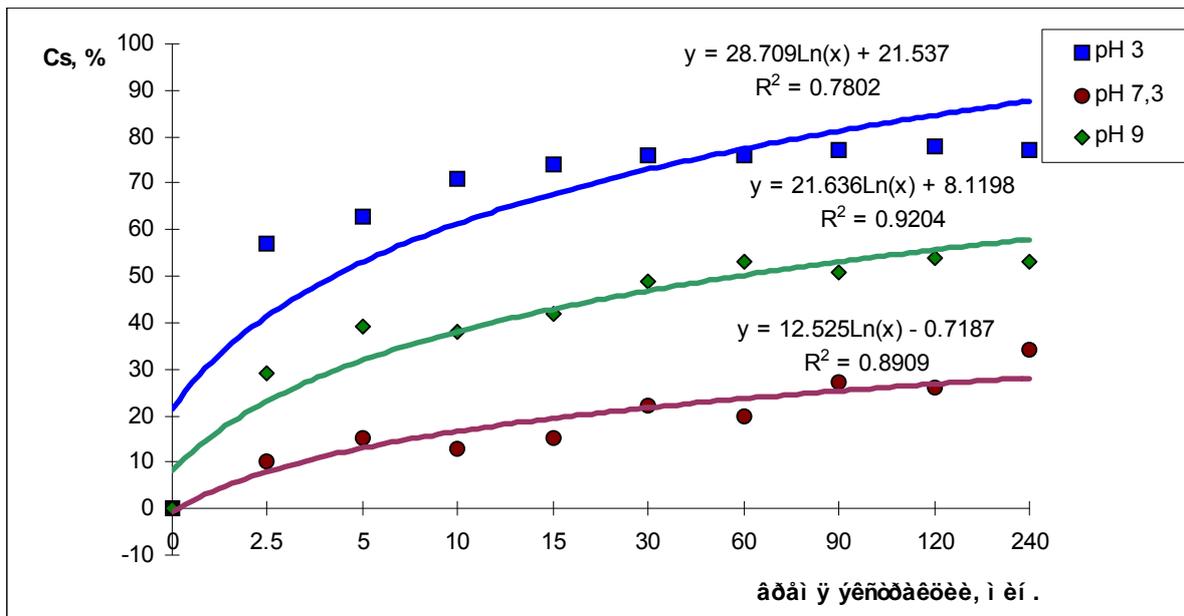


Рисунок 1 – Влияние изменения pH среды на степень экстрагируемости ^{137}Cs из сена

В результате проведенных исследований получены сведения о влиянии изменения pH среды (от кислой до щелочной) на степень экстрагируемости ^{137}Cs из сена. Результаты исследований представлены графически на рис. 1.

Степень экстрагируемости ^{137}Cs из сена выше в кислой по сравнению со слабощелочной средой в 1,5 раза, соответственно (при $p < 0,05$). Можно предположить, что степень высвобождения ^{137}Cs зависит от степени разрыхления клеточных стенок. Кислая среда раствора, воздействуя на целлюлозу клеточных стенок, разрушает ее. Деструктивное действие соляной кислоты приводит к изменению физико-химических свойств целлюлозных волокон, т.е. происходит к частичному осахариванию целлюлозы. Продукты распада (целюдекстрины, глюкоза) переходят в раствор. Все это приводит к нарушению целостности клеточных стенок, тем самым способствуя быстрому выходу ^{137}Cs из сена в раствор.

Влияние механической обработки сена на степень экстрагируемости ^{137}Cs

Консистенция содержимого рубца жвачных животных зависит от соотношения кормовых частиц разного размера. Размер частиц зависит от рациона: так, в рубце до 16% пищевых частиц имеют размеры до 4 мм; 9% – до 2 мм; 15% – до 1мм; 17% – до 0,5 мм; 43% – до 0,25мм [4].

То есть в рубце половина корма находится очень в измельченной форме. В связи с вышеизложенным были проведены лабораторные опыты по изучению зависимости экстрагируемости ^{137}Cs из сена от степени измельчения корма. Объектом исследования являлось сено, измельченное до 1 см, и сено, измельченное в электрической мельнице до пылеобразного состояния. Полученные результаты приведены на рис. 2.

Зависимость высвобождения ^{137}Cs из сена и сенной муки в водную среду описываются следующей функцией $y=a+b \ln x$, однако для сена $a=12,599728$ и $b= 2,446422$, а для сенной муки $a=52,363174$ и $b= 7,6606922$. Из полученных результатов, которые графически отражены на рис. 4, видно, что механическая обработка значительно увеличила выход ^{137}Cs из образцов одного вида корма в экстракт (на 60%). Это связано с увеличением площади контакта корма с экстрагентом при измельчении.

Механизм экстракции ^{137}Cs из сенной муки в отличие от такового из сена носит более равномерный характер. Степень измельчения сена значительно увеличивает долю экстрагируемого из него ^{137}Cs (выход ^{137}Cs в экстракт на 60% больше из сенной муки, чем из сена).

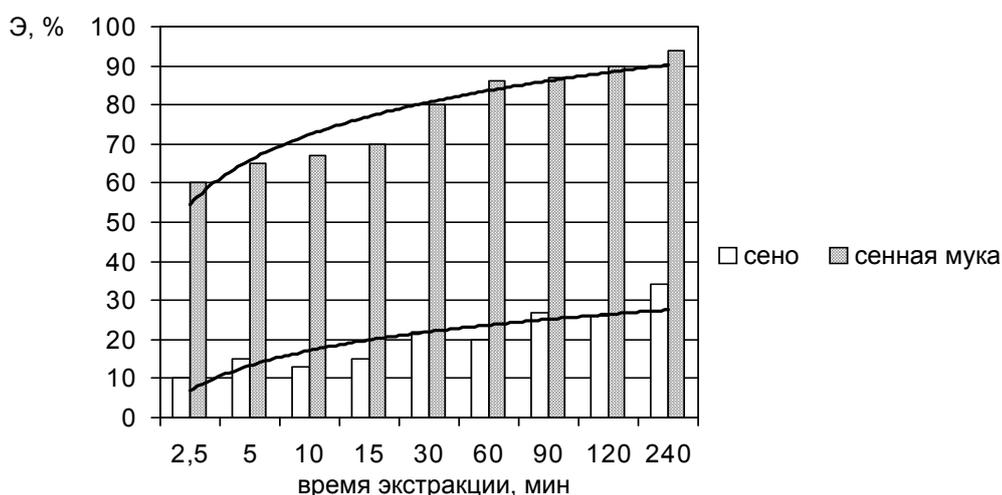


Рисунок 2 – Зависимость высвобождения ^{137}Cs из сена от степени его измельчения. Логарифмические линии тренда

Заключение

- Таким образом, в ходе проведения лабораторных опытов нами установлено, что за 4 часа экстракции из сена 1-го класса в экстракт перешло в 1,79 раза больше ^{137}Cs , чем из сена 3-го класса. При гниении клетчатки в ней реализуется процесс микрофазного разделения лигнина и гемицеллюлоз, находящихся в состоянии вынужденного смешивания. Это приводит к дополнительной структурной активации клетчатки сена за счет увеличения свободного объема межфазных лигноуглеводных областей. Поэтому можно предположить, что клетчатка способна сорбировать на себя ^{137}Cs из водных сред.

- Степень экстрагируемости ^{137}Cs из сена выше в кислой, чем в щелочных средах в 1,5 раза соответственно (при $p < 0,05$).

- Механическое измельчение сена приводит к увеличению экстрагируемости из него ^{137}Cs на 60%.

Резюме. В работе аргументирована возможность прогноза концентрации ^{137}Cs в молоке крупного рогатого скота (КРС), находящегося на территории радиоактивного загрязнения. Поступление ^{137}Cs в молоко зависит от перехода ^{137}Cs из почвы в состав кормов, входящих в суточный рацион. Процент экстрагируемости радионуклида зависит от качества грубых кормов и степени их деструкции.

Abstract. The possibility of predicting the ^{137}Cs concentration in the milk of the cattle living in contaminated areas is considered in the paper.

Литература

1. Киршин, В.А. Ветеринарная радиобиология / А.Д. Белов, В. А. Бударков. – М.: Агропромиздат, 1986. – 175 с.
2. Beresford N.A., Mayes R.W., Singleton D.L., Howard B.J., Eayres H.F., Lamb C.S., Livens F.R. & Barnett C.L. Development of a method to rapidly predict the availability of radiocaesium: Final report to Ministry of Agriculture Fisheries and Food; B.J. Howard.– №ТО7051fl.– Grange/– oven–Sands, 1991. – 51 p.
3. Георгиевский, В.И. Физиология сельскохозяйственных животных / В.И. Георгиевский.– М.: Агропромиздат, 1990. – 591 с.
4. Курилов, Н.В. Физиология и биохимия пищеварения жвачных / Н.В. Курилов. – М.: Книга, 1971. – 670 с.

УДК: 541.515:616.155.18

Взаимодействие энергии электромагнитных волн КВЧ-и СВЧ диапазона с биологическими объектами

В. А. ИГНАТЕНКО, В. А. ПОДОЛЯКО, Л. А. ЕВТУХОВА

Введение

Наблюдаемые в водных растворах процессы под действием СВЧ и КВЧ электромагнитного излучения имеют большое физиотерапевтическое значение, так как протекающие *in vitro* реакции, инициированные электромагнитной энергией, возможно происходят и в живом организме. Регистрация с помощью спектрометрии веществ, образующихся в водной среде под действием СВЧ и КВЧ электромагнитных волн, позволяет подойти к вопросу их идентификации и их действия на живой организм [1-2].

В первичном акте взаимодействия энергии СВЧ и КВЧ с молекулами воды возможно возникновение возбужденного состояния атома или молекулы воды, в результате чего появляется свободный электрон, который может стать инициатором свободного радикала. Как известно, одним из факторов, вызывающих гибель клетки, является инициирование перекисного окисления липидов мембран в результате взаимодействия со свободными радикалами и пероксидами, которые образуются в водной среде при действии на нее высокоэнергетического излучения: ионизирующее, рентгеновское, ультрафиолетовое излучение, ультразвук, СВЧ и т.д. [3-5].

Имеется значительное сходство в протекании окислительно-восстановительных реакций органических соединений в разбавленных водных растворах под действием вводимой энергии через свободно радикальные процессы. Поглощение в коротковолновой области ультрафиолета обусловлено имеющимися в структуре образующихся веществ неспаренных электронов, которые обуславливают абсорбцию, зависящую от концентрации и подчиняющуюся закону Бера. Так в работе М.С. Левинсона показано, что под действием ультразвуковых волн в воде возникает изменение поглощения в ультрафиолетовой области от 190 до 250 нм. Максимум изменений приходится в области 203-205 нм. В классических работах Левинсона показывалось, что под действием ультразвука в воде, образовывались азотная кислота и перекись водорода. При этом максимум поглощения образовавшихся продуктов соответствовал 203-205 нм. Этот максимум сохранялся в течение длительного времени, что свидетельствует об образовании стабильных продуктов сонолиза воды [6-9].

Материалы и методы

В связи с тем, что при действии электромагнитных волн на водные растворы в них вводилась электромагнитная энергия, которая могла соответствовать релаксационным колебаниям молекул воды, мы предположили, что в этом случае может возникнуть изменение поглощения обычной воды в ультрафиолетовой области. При действии КВЧ-диапазона в пределах частот от 42,2 до 53,5 ГГц и 61,21 ГГц с интенсивностью от 10 до 40 мВт на см² наблюдали возрастание поглощения в области 203-205 нм. При продувке облучаемого раствора углекислым газом появление данного максимума не наблюдалось. Из-за малого образования продуктов результата действия электромагнитной энергии на воду идентификация этих продуктов не была произведена. Попадание в воду каких-либо продуктов из материала сосуда, в котором производилось облучение, исключалось, так как наблюдались образования аналогичных продуктов при облучении воды в стеклянных и в кварцевых сосудах.

Выпаривание облученной воды и растворение остатков в новой порции неозвученной воды давало картину поглощения в ультрафиолете (рисунок 1).

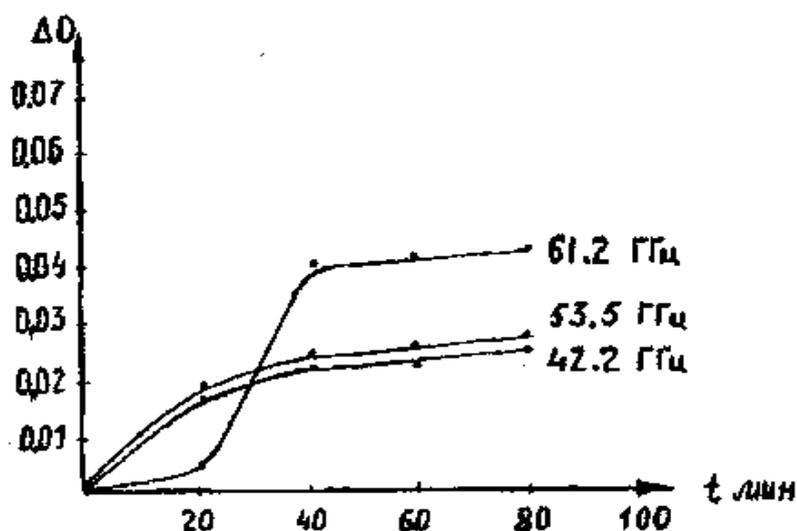


Рисунок 1 – Изменение оптической плотности бидистиллята, облученного различными частотами КВЧ мощностью 10-40 мВт/см²

Электромагнитными волнами КВЧ- диапазона, представленного выше, действовали на раствор гемоглобина (гемолизат). Концентрация гемоглобина была 10⁻⁵ М/л. Результаты действия электромагнитных волн определяли по спектру поглощения прописываемого на регистрирующем спектрофотометре Spereord M – 40 в области 210-700 нм [9-11].

Результаты и их обсуждение

При действии электромагнитного излучения на раствор гемоглобина в течение одного часа наблюдали незначительные уменьшение оптической плотности полосы поглощения триптофана в области 280-290 нм и увеличение оптической плотности поглощения в области 350-390 нм. Спектрофотометрически в произведенных экспериментах не наблюдали переход окси-формы гемоглобина в мет-форму, что соответствовало бы превращению железа (II) в железо (III) характеризующегося максимумами поглощения на 500нм и на 630 нм.

Полученные результаты первичных механизмов действия КВЧ- диапазона позволили предположить, что миллиметровые волны обладают выраженным корректирующим действием на реологические свойства крови и гемостаз человека. Однако работы, свидетельствующие о применении и эффективности КВЧ-терапии лиц с сосудистой патологией головного мозга, являются единичными [1, 6, 12].

Нами проводилась работа по изучению динамики показателей, характеризующих вязкость крови у лиц с сосудистой патологией мозга и изучались основные реологические и коагуляционные детерминанты крови в остром периоде ишемического инсульта, а также их динамика в процессе КВЧ-терапии.

Клинической формой хронической сосудистой мозговой недостаточности является дисциркуляторная энцефалопатия (ДЭ).

Совместно с кафедрой реабилитации УО «Гомельский государственный медицинский университет» на базе железнодорожного профилактория проводилась работа по изучению динамики показателей, характеризующих вязкость крови у больных ДЭ и влияние КВЧ-терапии на эти показатели. Было обследовано 70 человек с ДЭ I-II стадии.

В опытную группу вошло 39 пациентов, которым наряду с медикаментозной терапией проводилась КВЧ-терапия.

КВЧ-терапия проводилась аппаратом «ПРАМЕНЬ П14ТВ» (КБ «Луч», г.Гомель) на рабочей частоте 53,5 ГГц. Использовался режим непрерывного излучения с качанием частоты в пределах ± 0,025 ГГц. Облучались синокаротидные зоны с двух сторон, по 15 минут каждая. Курс КВЧ-терапии составил 10 сеансов ежедневно.

Контрольную группу составили 32 человека, которым проводилась только медикаментозная терапия с использованием сосудорегулирующих, ноотропных и витаминных препаратов.

В качестве критериев, характеризующих кровь, исследовали уровень фибриногена плазмы и показатель гематокрита по общепринятым методикам ОСТа Минздрава РБ.

В контрольной группе исследования проводили на 1, 5, 10 и 15-й день лечения.

В опытной группе исследования проводились в 1-й день – до начала КВЧ-терапии, а далее – на 5-й и 10-й день в процессе КВЧ-терапии и через 5 дней после окончания КВЧ-терапии. Результаты исследования отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Динамика показателей крови у жителей г.Гомеля с ДЭ-патологией в процессе курса КВЧ-терапии

День исследования	Контрольная группа (N=32)		Опытная группа (N=39)	
	Гематокрит M±m	Фибриноген M±m	Гематокрит M±m	Фибриноген M±m
1	46.00±0.89	3.87±0.17	47.15±0.54	4.36±0.13*
5	46.36±0.69	4.04±0.15	44.46±0.47*	4.04±0.12
10	45.65±0.64	4.03±0.14	42.82±0.49**	3.87±0.09
15	45.66±0.63	4.04±0.13	42.18±0.41**	3.85±0.07

Примечание: достоверность различий показателей в контрольной группе по сравнению с опытной: * – $P < 0,05$; ** – $P < 0,01$.

В результате исследований установлено, что показатели гематокрита до начала лечения у лиц контрольной и опытной группах существенно не различались, содержание фибриногена в крови у больных контрольной группы было существенно ниже, чем в опытной ($P < 0,05$).

На пятый, десятый и через пятнадцать дней по окончании КВЧ-терапии у пациентов опытной группы отмечено достоверное уменьшение показателя гематокрита по сравнению с первым днем (соответственно: $P < 0,05$, $P < 0,01$ и $P < 0,01$). В опытной группе установлено также достоверное снижение фибриногена на 10-й день КВЧ-терапии и через 5 дней по окончании КВЧ-терапии по сравнению с 1 днем (соответственно: $P < 0,01$ и $P < 0,01$). Существенной динамики гематологических показателей у лиц контрольной группы в процессе лечения не выявлено.

Исследования показали, что наиболее информативными критериями гемостаза при ишемическом инсульте являются: увеличение агрегации тромбоцитов и эритроцитов, жесткости эритроцитов, повышение вязкости крови, гиперпротромбинемия, изменение белкового коэффициента в сторону нарастания фибриногена, гиперлипидемия. В настоящее время сформировались достаточно определенные представления о значимости лекарственных препаратов, влияющих на агрегатное состояние крови, в системе экстренной терапии ишемического инсульта, однако результаты лечения во многих случаях достаточно неоднозначны, а в некоторых – неудовлетворительны.

Были обследованы 70 человек в остром периоде ишемического инсульта. В первую группу вошли 30 человек, которым проводилась недифференцированная базисная терапия инсульта. Вторая группа состояла из 40 человек, которым наряду с базисной терапией проводилась КВЧ-терапия. Контрольную группу составили 25 практически здоровых лиц.

КВЧ-терапию начинали со второго дня лечения и проводили ежедневно в течении 9-10 сеансов на курс. С этой целью использовали аппарат «Прамень – П14ВТ» с рупорным фидером диаметром 2 см. Использовали рабочую частоту 53,5 ГГц с мощностью излучения 30 мВт. В качестве зон облучения были выбраны биологически активные точки (БАТ) GI-4 и E-36. Общее время облучения за сеанс составляло 30-32 минуты.

Динамика неврологической симптоматики оценивалась с помощью бальной шкалы. Оценку неврологического дефицита проводили на 1, 5, 10 и 20 день болезни. Интегральным показателем служил коэффициент регресса неврологического дефицита в процентах.

Агрегацию тромбоцитов (АТ) изучали по методике Ворг в модификации О'Вриен (1969) с регистрацией на агрегометре "SOLAR AP-2110". Вычисляли относительный показатель агрегации тромбоцитов – коэффициент спонтанной агрегации (АТКспонт.) и коэффициент индуцированной агрегации на 2, 4 и 8 минуте (АТК2, АТК4 и АТК8). Агрегация эритроцитов (АЭ) изучалась по методике И.Я. Ашкинази. Деформируемость эритроцитов изучалась модифицированным методом С. Tannert и W. Lux. Показатели коагулограммы изучали по общепринятым методикам ОСТа Минздрава РБ. Исследование крови лиц первой и второй групп, а также динамику неврологической симптоматики проводили параллельно на 1-2, 5-6, 10-11, 15-16 день болезни.

В результате проведенных исследований выяснилось, что в остром периоде ишемического инсульта уже на 2 день значительно ухудшаются реологические свойства крови обследованных, а также показатели коагулограммы (таблица 2).

Таблица 2 – Реологические и коагуляционные показатели крови у здоровых и больных ИИ в 1-2 день

Показатели	Здоровые лица	1 группа (1-2 день)
АТКсп	1,25±0,11	4,47±0,29
АТК2	13,60±1,69	29,68±2,01
АТК4	25,36±2,07	52,22±2,89
АТК8	46,08±3,27	73,93±3,52
АЕ	65,7±1,70	81,74±0,80
ДЕ	2,37±0,05	1,52±0,04
Гематокрит	38,90±1,02	47,18±0,91
Фибриноген	2,83±0,18	3,92±0,15
Протр. индекс	96,40±1,35	93,43±1,73
АПТВ	39,4±0,37	28,89±0,32
Спонт. фибринолиз	17,84±0,67	13,28±0,70
Ретракция сгустка	68,14±1,10	75,73±1,65

Данные изменения максимально проявляются к 5-10 дню болезни и в некоторых случаях сохраняются в течение всего острого периода инсульта.

Во второй группе до проведения КВЧ-терапии исследуемые показатели достоверно не отличаются от таковых в первой группе в 1-2 день болезни (таблица 3).

Таблица 3 – Динамика показателей лиц первой группы в процессе базовой терапии

Показатели	5-6 день	11-12 день	15-16 день
АТКсп	5,52±0,85	5,32±0,45	4,54 ± 0,49
АТК2	37,93±4,37	39,2± 3,89*	36,41 ± 2,67
АТК4	62,56± 5,33	65,13±3,80*	67,72±4,12**
АТК8	92,91± 5,85**	92,20± 3,54**	85,03±5,42
АЕ	83,33±1,23	80,15±1,05	78,18±0,97
ДЕ	1,61±0,06	1,59±0,04	1,61±0,05
Гематокрит	47,26±0,80	46,36±0,69	46,08±0,62
Фибриноген	4,09±0,17	3,91±0,14	4,02±0,12
Протр. индекс	94,89±1,54	96,04±1,15	97,96±1,35*
АПТВ	29,12±0,50	31,33±0,26**	33,80±0,28**
Спонт. фибринолиз	12,68±0,76	13,05±0,63	12,58±0,68
Ретракция сгустка	77,93±1,60	80,68±1,16	81,27±1,14*

Примечания: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$ (по сравнению с первым днем)

В результате КВЧ-терапии (таблица 4) к 5 сеансу произошло достоверное улучшение большинства показателей. К 15-16 дню практически все исследуемые параметры приблизились к нормативным.

Таблица 4 – Динамика реологических и коагуляционных показателей крови лиц 2 группы в процессе КВЧ-терапии

Показатели	До КВЧ	5-6 день	10-11 день	15-16 день
АТКсп	4,03±0,38	2,02±0,41**	1,59±0,12***	1,36±0,16***
АТК2	28,33±2,27	25,65±2,18	24,86±2,14	19,87±1,85**
АТК4	50,44±3,29	44,00±3,24	38,94±2,92*	32,34±2,68***
АТК8	70,58±4,13	59,30±4,37	51,27±3,53**	46,49±3,69***
АЕ	83,91±0,80	79,97±0,81**	78,51±0,84** *	77,21±1,15***
ДЕ	1,41±0,03	1,58±0,03***	1,66±0,03***	1,76±0,04***
Гематокрит	47,87±0,53	44,83±0,59***	43,08±0,52** *	41,34±0,43***
Фибриноген	4,31±0,14	4,04±0,11	3,78±0,12**	3,68±0,10**
Протр. индекс	96,18±1,29	93,88±1,15	94,45±1,29	92,37±1,24*
АПТВ	29,38±0,50	31,70±0,49**	33,03±0,41** *	35,60±0,44***
Спонт. фибринолиз	12,56±0,69	14,69±0,69*	15,68±0,62**	17,54±0,95***
Ретракция сгустка	81,90±0,84	76,83±0,87***	76,16±0,95** *	74,14±0,92***

Примечания: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$ (по сравнению с первым днем)

Существенные различия наблюдались в динамике неврологического дефицита. В 1 группе он снизился с 4,75 до 3,13 баллов (коэффициент регресса – 41,85), а во 2 группе – с 5,67 до 2,77 баллов (коэффициент регресса – 55,43).

Заключение

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют, что система гемостаза является достаточно чувствительным звеном к КВЧ-воздействию.

КВЧ-терапия на частоте 53,5 ГГц значительно улучшает реологические свойства крови и показатели коагулограммы, и может использоваться в комплексном лечении при остром периоде ишемического инсульта.

Резюме. В работе были изучены основные механизмы влияния электромагнитных волн КВЧ- и СВЧ-диапазона. На основании результатов клинического исследования авторы пришли к выводу, что КВЧ-терапия значительно улучшает реологические свойства крови и может быть использована в комплексном лечении людей с острым расстройством кровоснабжения головного мозга.

Abstract. The problems of the interaction of electromagnetic waves of the EHF–SHF range with biological objects are considered in the paper. It is shown that EHF-therapy improves blood flow characteristics considerably and may be used in the complex treatment of people with acute derangement of brain blood supply.

Литература

- 1 Кассирский, И.А. Клиническая гематология / И.А.Кассирский, Г.А.Алексеев. – М.: Медицина, 1970. – 796 с.
- 2 Белоусова, О.И. Радиация и система крови / О.И. Белоусова, Т.Г.Горизонтов, М.И.Федотова. – М.: Медицина, 1979. – 112 с.
- 3 Крепс, Е.М. Липиды клеточных мембран Адаптационная функция липидов / Е.М.Крепс. – Л.: Наука, 1981. – 339 с.
- 4 Краузе, А.А. Синтез и кардиоваскулярная активность замещенных 3-циано-3,4-дигидропиримидин-2-тионов/А.А.Краузе//Химико-фармакологический журнал. – 1985. – Т.19, № 5. – С.540-545.
- 5 Козлов, М.М. Мембранный скелет эритроцита. Теоретическая модель/ М.М.Козлов, В.С. Маркин // Биологические мембраны. – 1986. – Т.3, № 4. – 110 с.
- 6 Клиорин, А.И. Функциональная неравнозначность эритроцитов / А.И. Клиорин, Л.А. Тиунов . – Л.: Наука, 1974. – 148 с.
- 7 Антонов, В.Ф. Структура биомембран. Липидные поры / В.Ф.Антонов // Соровский образовательный журнал. – 1998. – № 10 . – 13 с.
- 8 Гулевский, А.К. Влияние низкотемпературного воздействия на проницаемость мембран эритроцитов, реконструированных в средах разного ионного состава / А.К. Гулевский // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1981. – Т.91. – № 5. – С.551-552.
- 9 Гительзон, И.И. Закономерности распределения эритроцитов по стойкости к различным гемолитикам / И.И. Гительзон, И.А.Тересков // Вопросы биофизики, биохимии и патологии эритроцитов: сб.статей. – Красноярск, 1961. – С.30-59.
- 10 Браун, Д.М. Химия электрона в конденсированных средах / Д.М.Браун, Ф.С. Дейтон . – М.: Наука, 1966. – 457 с.
- 11 Игнатенко, В.А. Действие ультразвука на водные и водно-спиртовые растворы метгемоглобина / В.А.Игнатенко.- Журнал физической химии.-Т. LXXII.- №2.-1988.-С.441-449.
- 12 Маргулис, М.А. Восстановление железа(III) в растворах $K_3(Fe(C_2O_4)_3)$ в поле ультразвуковых волн / .М.А. Маргулис, Мальцев А.Н. – Вестник МГУ, серия Химия, N 6, С.44-48.

Кинетический подход к описанию стабильности дисперсий холестерина

В. А. Филиппова, А. В. Лысенкова, М. В. Одинцова

Введение

Атеросклероз и его основные осложнения продолжают лидировать в структуре заболеваемости и смертности западных стран и России. В ЕС экономические потери, связанные с сердечнососудистыми заболеваниями, достигли в 2005 г. 169 млрд. евро, из которых 105 млрд. составили расходы на их лечение, а 64 млрд. пришлось на потери, понесенные в результате снижения производительности труда и преждевременной смерти больных [1]. Действие большинства препаратов, используемых для профилактики и лечения атеросклероза, направлено на снижение выработки холестерина и понижение его концентрации в крови, однако существует и другой способ уменьшения угрозы формирования атеросклеротической бляшки – это повышение коллоидной стабильности холестерина в кровяном русле.

К препаратам, обладающим ярко выраженным антикоагуляционным действием, относится гепарин, многофакторное воздействие которого на организм человека широко используется в современной медицине. Изучение влияния различных доз гепарина на коллоидную стабильность холестериновых дисперсий явилось целью настоящего исследования.

Материалы и методы исследования

Исследование коллоидной стабильности холестерина в растворах, моделирующих его состояние в биологических жидкостях человека, выполнялось путем измерения кинетических параметров процесса коагуляции, инициированного добавлением электролита-коагулятора. Коллоидные растворы холестерина с концентрацией от 300 до 400 мг/л готовились методом ультразвукового диспергирования атеросклеротических бляшек. Концентрация холестерина измерялась энзиматическим колориметрическим методом по стандартной методике.

Изучение скорости коагуляции холестерина выполнялось фотометрическим методом,

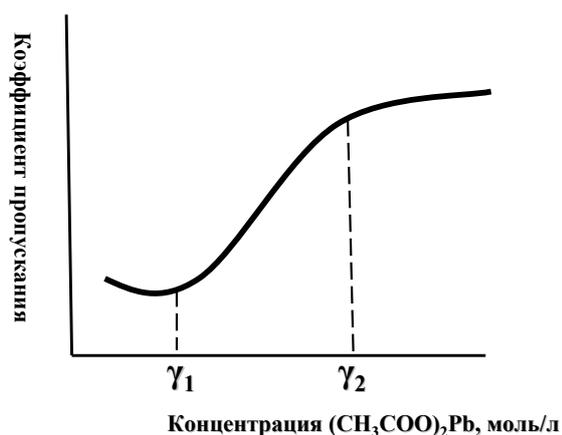


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента пропускания коллоидного раствора холестерина от концентрации электролита-коагулятора.

основанным на выявлении графической зависимости коэффициента пропускания раствора от содержания электролита-коагулятора. В качестве коагулятора использовался 0,015 М раствор $\text{Pb}(\text{II})$ ацетата. Коэффициент пропускания (К) определялся фотометрическим методом на КФК – 2МП при длине волны 540 нм. Коэффициент пропускания является характеристикой числа частиц дисперсной фазы. Чем больше число коллоидных частиц в единице объема дисперсной системы, тем ниже коэффициент пропускания. Увеличение К свидетельствует об уменьшении числа дисперсных частиц в ходе коагуляционного процесса. Характерный вид кривой коагуляции представлен на рисунке 1.

Предложенный метод позволил описать динамику коагуляции и рассчитать эффективные константы скорости ее медленной и быстрой стадий. Кроме того, он был использован для определения порога медленной коагуляции

(γ_1) по первому скачку коэффициента пропускания и порога быстрой коагуляции (γ_2) по второму скачку указанного коэффициента.

Для определения константы скорости быстрой коагуляции была измерена кинематическая вязкость коллоидных растворов холестерина. Для измерения вязкости использовался капиллярный стеклянный вискозиметр ВПЖ-1.

Результаты и их обсуждение

Зависимость коэффициентов пропускания коллоидных растворов холестерина от концентрации электролита-коагулятора в присутствии различных доз гепарина представлена на рис. 1.

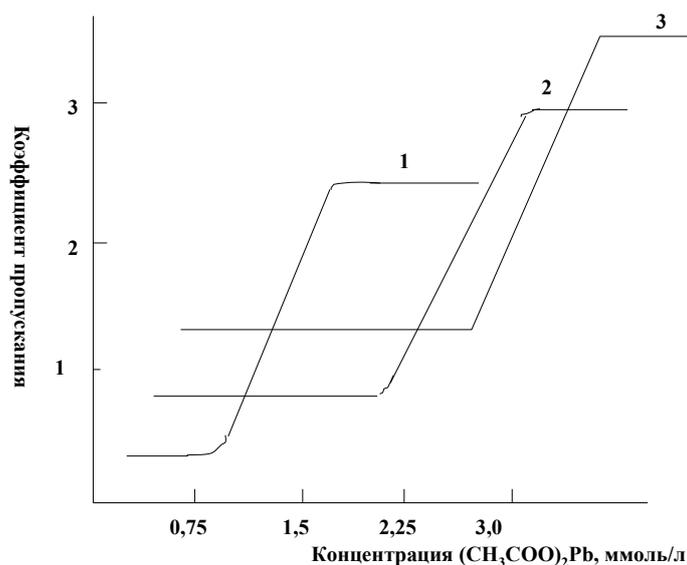


Рисунок 2 – Кинетические кривые коагуляции холестерина в присутствии различных концентраций гепарина: (1) без гепарина, (2) доза гепарина 0,2 г/л, (3) доза гепарина 0,4 г/л.

Полученные кинетические кривые свидетельствуют о наличии трех стадий коагуляции: скрытой, медленной и быстрой. Рассматривая медленную коагуляцию холестерина как химическую реакцию первого порядка, мы рассчитывали эффективные константы ее скорости, используя основное уравнение закона действующих масс [2]:

$$\lg K = \lg k_1 + m \lg C_{\text{эл-та}} \quad (1)$$

Быстрая коагуляция считается процессом второго порядка. Константа скорости быстрой коагуляции рассчитывалась по уравнению [3]:

$$k_2 = 4kT/3\eta, \quad (2)$$

где k – константа Больцмана, T – температура, K, η – кинематическая вязкость среды. Таким образом, константа скорости быстрой коагуляции зависит только от температуры и вязкости дисперсионной среды.

Значения констант скорости быстрой и медленной коагуляции холестерина из модельных растворов в присутствии различных доз гепарина представлены в таблице 1.

Таблица 1. Кинетические параметры коагуляции холестерина

Доза гепарина, г/л	Константа скорости медленной коагуляции, мин ⁻¹	Константа скорости быстрой коагуляции, мин ⁻¹
0	$7,58 \times 10^{-22}$	$4,25 \times 10^{-21}$
0,2	$0,77 \times 10^{-22}$	$3,89 \times 10^{-21}$
0,4	$0,33 \times 10^{-22}$	$2,36 \times 10^{-21}$

Динамика коагуляции, рассмотренная как в дисперсиях холестерина, так и в дисперсиях холестерина с добавлением различных доз гепарина, позволило количественно оценить влияние данного антикоагулянта на стабильность холестерина в модельных растворах. Коэффициент стабильности холестериновых дисперсий (W) определялся отношением констант скорости быстрой и медленной коагуляции [4]:

$$W = k_2/k_1 \quad (3)$$

Таблица 2.

Влияние гепарина на коэффициент стабильности дисперсии холестерина	
Доза гепарина, г/л	Коэффициент стабильности (W)
0	5,60
0,2	50,6.
0,4	70,7

Таким образом, даже небольшие дозы гепарина являются мощным стабилизирующим фактором, увеличивающим в десятки раз устойчивость коллоидных растворов холестерина, моделирующих дисперсии холестерина в крови.

Важной характеристикой коллоидной стабильности холестерина является порог коагуляции (γ), т.е. минимальная концентрация электролита коагулятора, инициирующая коагуляцию в одном литре коллоидного раствора.

Порог коагуляции можно рассматривать как критерий коллоидной стабильности холестерина в модельном растворе; чем больше γ , тем стабильнее коллоидный раствор. Таким образом, сравнивая значения порогов коагуляции дисперсий холестерина без лекарственных препаратов и в присутствии препаратов-антикоагулянтов, можно количественно оценить эффективность их стабилизирующего действия. Значения порогов коагуляции свинец (II) ацетата, соответствующих различным дозам гепарина представлены в таблице 3.

Таблица 3. Влияние дозы гепарина на порог коагуляции электролита-коагулятора

№	Доза гепарина, г/л	Порог коагуляции, моль/л
1	0	1,125
2	0,2	3,375
3	0,4	3,750

Полученные данные свидетельствуют о том, что гепарин обладает высокой стабилизирующей активностью по отношению к холестерину, причем увеличение его дозы в самом широком диапазоне концентраций, сопровождается ростом стабильности коллоидных растворов холестерина.

Заключение

В настоящем исследовании рассмотрено влияние гепарина на коллоидную стабильность холестериновых дисперсий, моделирующих состояние холестерина в крови. Основным методом исследования явился кинетический метод, позволяющий рассчитать важнейшие параметры коагуляционного процесса, протекающего под воздействием электролитов в дисперсных системах холестерин- вода.

Использование законов коллоидной химии для описания стабильности дисперсий холестерина в кровяном русле позволяет моделировать процесс образования атеросклеротических бляшек и количественно оценивать влияние лекарственных препаратов, обладающих антикоагуляционным действием.

Резюме. Настоящая работа посвящена одной из наиболее актуальных проблем современной медицины – профилактике и лечению атеросклероза. Целью исследования явилось изучение

влияния гепарина на коллоидную стабильность дисперсий холестерина, моделирующих его состояние в кровяном русле. Для количественной оценки антикоагуляционной активности гепарина был предложен кинетический метод исследования, изучающий воздействие различных доз данного препарата на скорость коагуляции холестерина из модельных растворов. Результаты исследования легли в основу создания математической модели, включающей такие кинетические параметры, как константы скорости медленной и быстрой стадий коагуляционного процесса, а также коэффициент стабильности золя, рассчитанный как отношение констант скорости. Исследования показали, даже небольшие дозы гепарина являются мощным стабилизирующим фактором, в десятки раз увеличивающим устойчивость коллоидных растворов холестерина, моделирующих дисперсии холестерина в крови.

Abstract. The kinetic approach to the description of the cholesterol dispersions stability is presented in the paper. The investigation is devoted to one of the most urgent problems of the modern medicine – treating atherosclerosis. The aim of the research work was to study the heparin effect on colloidal stability of the cholesterol dispersions that imitated its state in blood. The kinetic method of investigation that examined the effect of heparin doses on the rate of coagulation was used to determine the effectiveness of heparin anticoagulating activity. The results of the investigation were applied to develop the mathematical model that involved the rate constants of fast and slow steps of coagulation and stability constant calculated as the ratio of the rate constants. The obtained data proved that even small doses of heparin is a powerful stabilizing factor which is able to increase the stability of cholesterol dispersions in blood thus preventing the formation of atherosclerotic spots.

Литература

1. Белова, Л.А. Биохимия процессов воспаления и поражения сосудов. Роль нейтрофилов /Л.А. Белова //Биохимия-1997. том 62. – вып.6. – С. 659–668.
2. Варфоломеев, С.Д. Биокинетика: Практический курс /С.Д. Варфоломеев, К.Г. Гуревич // ФАИР-ПРЕСС. – М., 1999. – 720 с.
2. Захарченко, В.Н. Коллоидная химия. / В.Н.Захарченко //Учеб.для медико-биологических спец.вузов 2-е изд., перераб. и доп.-М., Высш.шк.,1989. – 238 с.
3. Евстратова, К.И. Физическая и коллоидная химия /К.И. Евстратова, Н.А. Куприна, Е.Е. Малахова //Учеб. Для фарм. Вузов и факультетов под ред. К.И.Евстратовой.-М., Высш.шк.,1990. – 487 с.
4. Фролов, Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы / Ю. Г. Фролов //Учебник для вузов.-2-е изд., перераб. и доп.-Химия:, 1988.-464 с.

УДК 595.7(476)+591.5

Жесткокрылые (Ectognatha, Coleoptera) прибрежных урбоценозов р. Сож

Н. Г. ГАЛИНОВСКИЙ

Городская среда обитания представляет собой особую экосистему, характеристики которой в значительной степени отличаются от естественных местообитаний: более высокая температура и сухость воздуха, значительное загрязнение выбросами автотранспорта и др. Однако, в отличие от естественных сообществ, фауна городов Беларуси изучена в недостаточной степени. Существует ряд работ, посвященных исследованиям городской фауны парков, газонов, пустырей. В то же время наряду с этими, наиболее распространенными в городе местообитаниями животных, существуют также и прибрежные урбоценозы, которые в меньшей степени интересовали исследователей, несмотря на то, что все крупные города страны расположены на реках.

Ранее нами были предприняты первые попытки в некоторой степени ликвидировать эти пробелы [1, 2]. Данная работа призвана дополнить ранее полученные предварительные данные.

Цель исследования – выявление видового состава и характеристика биоразнообразия жесткокрылых, обитающих на берегу р. Сож в пределах города Гомеля.

Материал и методика

Стационарный сбор жесткокрылых проводился с мая по июль 2007 года на трех участках на побережье реки Сож в пределах Гомеля (рисунок).

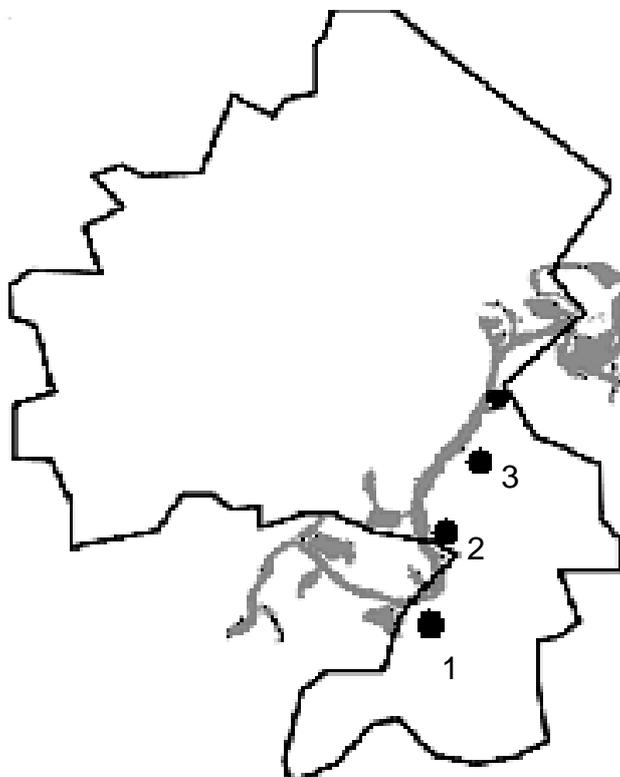


Рисунок – Участки, где проводился стационарный сбор материала. 1 – стационар «Вход в город»; 2 – стационар «Новобелицкий мост»; 3 – стационар «Пляж»

Стационары представляли собой следующие участки:

- 1) «вход в город». Стационар наименее подверженный рекреационной нагрузке. Расположен на границе города;
- 2) «новобелицкий мост». Берега покрыты большим количеством прибрежной растительности. Рекреационная нагрузка незначительная, преимущественно встречаются рыбаки;
- 3) «пляж». Характеризуется значительной рекреационной нагрузкой, представляет собой небольшую заводь.

В качестве почвенных ловушек использовались полистироловые стаканчики, объемом 0,25 л, на одну треть заполненные фиксатором – 9% раствором уксусной кислоты. Ловушки выставлялись из расчета 10 почвенных ловушек на один стационар в течение 7 дней.

Идентификация видов жесткокрылых проводилась с использованием общепринятых определительных таблиц.

Показатели α -разнообразия в сообществах были рассчитаны с использованием программного пакета «BioDiversity Pro». Расчет индекса разнообразия Шеннона проводился с использованием натурального основания логарифма. Доминирование в сообществе определялось по шкале Ренконена [3], согласно которой виды, доля которых составляет более 5% от общего числа особей, считаются доминантными; 2-5% – субдоминантными; 1-2% – рецедентными; менее 1% – субрецедентными.

Автор выражает глубокую признательность доктору биологических наук, профессору О.Р. Александровичу за помощь в определении некоторых видов, а также студентке биологического факультета Т.Н. Свиридовой за помощь в сборе материала.

Результаты и их обсуждение

Всего за период исследований было обработано 420 ловушко-суток, собрано 2029 экземпляров жесткокрылых 123 видов, относящихся к 17 семействам (таблица).

Таблица – Видовой состав и степень доминирования (%) жесткокрылых в прибрежных урбоценозах р. Сож

Семейство и вид	Стационар		
	«Вход в город»	«Новобелицкий мост»	«Пляж»
1	2	3	4
ANTHICIDAE LACORDAIRE, 1825			
<i>Anthicus axillaris</i> Schmidt, 1842	0	0,96	0
<i>Anthicus flavipes</i> (Panzer, 1797)	0	0	0,14
<i>Notoxus monoceros</i> (Linnaeus, 1761)	0,17	0,82	0,69
BYRRHIDAE LATREILLE, 1806			
<i>Byrrhus fasciatus</i> (Forster, 1771)	0,35	0	0
<i>Cytilus sericeus</i> (Forster, 1771)	0	0,14	0
CANTHARIDAE IMHOFF, 1856			
<i>Cantharis lateralis</i> Linnaeus, 1758	0	0	0,14
CARABIDAE LATREILLE, 1802			
<i>Acupalpus exiguus</i> (Dejean, 1829)	0	0	0,14
<i>Agonum afrum</i> (Duftschmid, 1812)	0	0,28	0
<i>Agonum dolens</i> (Sahlberg, 1827)	0,17	0,14	0
<i>Agonum impressum</i> (Panzer, 1797)	7,16	5,08	7,43
<i>Agonum muelleri</i> (Herbst, 1784)	0	0,14	0
<i>Agonum sexpunctatum</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,41
<i>Agonum versutum</i> Sturm, 1824	0,17	0,14	0
<i>Agonum viduum</i> (Panzer, 1797)	0	0,14	0

Продолжение таблицы

1	2	3	4
<i>Amara communis</i> (Panzer, 1797)	0,52	0,41	0
<i>Amara famelica</i> Zimmermann, 1831	0	0,14	0
<i>Amara familiaris</i> (Duftschmid, 1812)	0,17	0,14	0
<i>Amara spreta</i> Dejean, 1831	0	5,35	0,55
<i>Amara tibialis</i> (Paykull, 1798)	0	0	0,14
<i>Anchomenus dorsalis</i> (Pontoppidan, 1763)	0	0	0,14
<i>Anisodactylus binotatus</i> (Fabricius, 1787)	0,69	1,23	0,41
<i>Anisodactylus signatus</i> (Panzer, 1797)	0	0	0,14
<i>Anthracus consputus</i> (Duftschmid, 1812)	0	0,27	0
<i>Asaphidion flavipes</i> (Linnaeus, 1761)	0,52	0,41	1,1
<i>Badister lacertosus</i> Sturm, 1815	0	0	0,14
<i>Badister peltatus</i> (Panzer, 1797)	0,17	0	0
<i>Badister unipustulatus</i> Bonelli, 1813	0	0,41	0
<i>Bembidion articulatum</i> (Panzer, 1797)	0,17	0	0,14
<i>Bembidion assimile</i> Gyllenhal, 1810	0	0,41	0
<i>Bembidion biguttatum</i> (Fabricius, 1779)	0,52	0,27	0,41
<i>Bembidion deletum</i> Audinet-Serville, 1821	0	0	0,14
<i>Bembidion dentellum</i> (Thunberg, 1787)	0,17	0	0
<i>Bembidion gilvipes</i> (Sturm, 1825)	0	3,02	0
<i>Bembidion guttula</i> (Fabricius, 1792)	0,17	0	0
<i>Bembidion obliquum</i> Sturm, 1825	0	0,14	0
<i>Bembidion properans</i> (Stephens, 1828)	9,9	4,8	1,1
<i>Bembidion quadrimaculatum</i> (Linnaeus, 1761)	0,35	1,23	1,79
<i>Bembidion tetracolum</i> Say, 1823	0	1,92	1,51
<i>Bembidion varium</i> (Olivier, 1795)	1,75	0,14	2,2
<i>Carabus glabratus</i> Paykull, 1790	0,17	0	0
<i>Carabus granulatus</i> Linnaeus, 1758	0,17	1,51	0,14
<i>Carabus nemoralis</i> O.F.Müller, 1764	0	0,14	0
<i>Chlaenius nigricornis</i> (Fabricius, 1787)	0,34	0	1,51
<i>Chlaenius nitidulus</i> (Schränk, 1781)	2,79	1,23	3,3
<i>Chlaenius tibialis</i> Dejean, 1826	0,52	0	0,41
<i>Chlaenius vestitus</i> (Paykull, 1790)	0	0,14	0
<i>Clivina fossor</i> (Linnaeus, 1758)	1,22	1,1	0,83
<i>Dyschiriodes aeneus</i> Dejean, 1825	0,52	2,61	0
<i>Dyschiriodes globosus</i> Herbst, 1784	0	1,92	0
<i>Dyschiriodes intermedius</i> (Putzeus, 1846)	0,17	0	0
<i>Dyschiriodes politus</i> Dejean, 1825	0	0,14	0,14
<i>Dyschirius arenosus</i> Stephens, 1827	0,7	0,27	0,55
<i>Elaphrus cupreus</i> Duftschmid, 1812	0	0,27	0
<i>Europhilus micans</i> (Nicolai, 1822)	0,17	0,14	0
<i>Europhilus thoreyi</i> (Dejean, 1828)	0	0,14	0
<i>Harpalus affinis</i> (Schränk, 1781)	0	0,14	0,14
<i>Harpalus autumnalis</i> (Duftschmid, 1812)	0,17	0	0
<i>Harpalus flavescens</i> (Piller et Mitterpacher, 1783)	0	0	0,14
<i>Harpalus latus</i> (Linnaeus, 1758)	0,17	0,14	0

Продолжение таблицы

1	2	3	4
<i>Harpalus rufipes</i> (Degeer, 1774)	0	1,51	0,14
<i>Harpalus solitarius</i> Dejean, 1829	0	0,14	0
<i>Harpalus tardus</i> (Panzer, 1797)	0	0,14	0
<i>Loricera pilicornis</i> (Fabricius, 1775)	0,69	1,66	3,03
<i>Microlestes maurus</i> (Sturm, 1827)	0	0	0,14
<i>Microlestes minutulus</i> (Goeze, 1777)	0,17	0,41	0,69
<i>Notiophilus palustris</i> (Duftschmid, 1812)	0	0,14	0
<i>Oodes helopioides</i> (Fabricius, 1792)	5,06	3,02	5,32
<i>Oxypselaphus obscurus</i> (Herbst, 1784)	0	0,96	0
<i>Panagaeus bipustulatus</i> (Fabricius, 1775)	0	0,14	0
<i>Panagaeus cruxmajor</i> (Linnaeus, 1758)	0,87	0,41	0,41
<i>Patrobus atrorufus</i> (Strom, 1768)	0	0,27	0,14
<i>Philorhizus spilotus</i> (Illiger, 1798)	0	0,14	0
<i>Platynus assimilis</i> (Paykull, 1790)	0	3,43	0,14
<i>Poecilus cupreus</i> (Linnaeus, 1758)	8,38	6,31	2,2
<i>Poecilus lepidus</i> (Leske, 1785)	0,35	0,27	0,14
<i>Poecilus versicolor</i> (Sturm, 1824)	18,5	8,09	3,16
<i>Pterostichus anthracinus</i> (Illiger, 1798)	3,32	2,47	0,83
<i>Pterostichus gracilis</i> (Dejean, 1828)	0,17	0	0
<i>Pterostichus melanarius</i> (Illiger, 1798)	0,35	1,1	0
<i>Pterostichus niger</i> (Schaller, 1783)	0	0,14	0
<i>Pterostichus oblongopunctatus</i> (Fabricius, 1787)	0	0,14	0
<i>Pterostichus quadrifoveolatus</i> Letzner, 1852	0	0,14	0
<i>Pterostichus strenuus</i> (Panzer, 1797)	0	0,41	0,14
<i>Pterostichus vernalis</i> (Panzer, 1796)	4,01	2,32	4,4
<i>Stenolophus mixtus</i> (Herbst, 1784)	0,87	0,27	0,14
<i>Stenolophus teutonius</i> (Schrank, 1781)	0,17	0	0
<i>Syntomus truncatellus</i> (Linnaeus, 1761)	0,17	1,37	0
CHRYSOMELIDAE LATREILLE, 1802			
<i>Chrysomela saliceti</i> Weise, 1884	3,32	0	0,28
<i>Lema cyanella</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,14
<i>Pachnephorus pilosus</i> (Rossi, 1790)	0	0,14	0,69
<i>Pachnephorus tessellatus</i> (Duftschmid, 1825)	0	0,14	1,38
<i>Phaedon laevigatus</i> (Duftschmid, 1825)	0	11,11	0
CURCULIONIDAE LATREILLE, 1802			
<i>Lepyryus palustris</i> (Scopoli, 1763)	0,17	0	0,14
<i>Otiorhynchus scaber</i> (Linnaeus, 1758)	0,17	0,14	0
<i>Chlorophanus viridis</i> (Linnaeus, 1785)	0	0,27	0
DERMESTIDAE LATREILLE, 1807			
<i>Dermestes frishi</i> Kugelann, 1792	0	0,27	0
<i>Dermestes lanarius</i> Illiger, 1801	0	0	0,14
ELATERIDAE LEACH, 1815			
<i>Agriotes lineatus</i> (Linnaeus, 1767)	0	0,82	0,41
<i>Agriotes obscurus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,82	0

Окончание таблицы

1	2	3	4
---	---	---	---

<i>Agriotes sputator</i> (Linnaeus, 1758)	0	0,27	0
<i>Agrypnus murinus</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,14
<i>Ampedus sanguinolentus</i> (Schrank, 1776)	0	0	0,14
<i>Negastrius pulchellus</i> (Linnaeus, 1761)	0	0,14	0
GYRINIDAE LATREILLE, 1810			
<i>Orectochilus villosus</i> (O.F.Müller, 1776)	0	0	0,14
HISTERIDAE GYLLENHAL, 1808			
<i>Hypocacculus rufipes</i> (Kugelann, 1792)	0	0	0,14
LIMNICHIDAE ERICHSON, 1846			
<i>Linnichus sericeus</i> (Duftschmid, 1825)	0	0,14	0
NITIDULIDAE LATREILLE, 1802			
<i>Soronia grisea</i> (Linnaeus, 1758)	0	0	0,14
SCARABAEIDAE LATREILLE, 1802			
<i>Aphodius niger</i> (Panzer, 1797)	2,79	0,82	0,83
<i>Aphodius plagiatus</i> (Linnaeus, 1767)	1,05	0,55	0,41
<i>Hoplia graminicola</i> (Fabricius, 1792)	0	0	0,55
<i>Ochodaeus chrysomeloides</i> (Schrank, 1825)	0	0	0,14
<i>Odonteus armiger</i> (Scopoli, 1843)	0	0,27	0
<i>Rhyssemus germanus</i> (Linnaeus, 1767)	13,79	6,99	45,63
SILPHIDAE LATREILLE, 1807			
<i>Silpha carinata</i> Herbst, 1783	1,4	1,23	0,55
<i>Silpha tristis</i> Illiger, 1798	0,17	0	0
<i>Thanatophilus dispar</i> Herbst, 1793	0	0,27	0,14
STAPHYLINIDAE LATREILLE, 1802			
<i>Geostiba circellaris</i> (Gravenhorst, 1806)	0,35	1,37	0,41
<i>Micropeplus tesserula</i> Curtis, 1828	0,17	0	0
<i>Philonthus sanguinolentus</i> (Gravenhorst, 1802)	3,14	0,27	0
<i>Staphylinus erythropterus</i> Linnaeus, 1758	0	0	0,14
TENEBRIONIDAE LATREILLE, 1802			
<i>Crypticus quisquilis</i> (Linnaeus, 1761)	0,17	0,41	0,14
<i>Opatrum sabulosum</i> (Linnaeus, 1761)	0	0,14	0
THROSCIDAE LAPORTE DE CASTELNAU, 1840			
<i>Trixagus dermestoides</i> (Linnaeus, 1767)	0	0	0,14
Всего особей	573	729	727
Всего видов	55	84	67
Информационное разнообразие, H'	1,28	1,56	1,10
Концентрация доминирования, D	0,08	0,04	0,22
Выравненность по Пиллу, e	0,32	0,35	0,26

При рассмотрении спектра обнаруженных видов жесткокрылых, было выявлено, что 20 видов впервые зафиксированы для данного региона Беларуси (*A. axillaris*, *A. flavipes*, *A. consputus*, *B. peltatus*, *Ch. tibialis*, *D. intermedius*, *H. solitarius*, *M. maurus*, *P. bipustulatus*, *P. cruxmajor*, *Ph. spilotus*, *P. pilosus*, *O. scaber*, *D. frishi*, *O. villosus*, *S. grisea*, *O. chrysomeloides*, *Th. dispar*, *M. tesserula*, *Ph. sanguinolentus*), а 3 вида – впервые для территории Беларуси (*A. afrum*, *B. deletum* и *H. rufipes*) [4, 5].

В целом в прибрежных урбоценозах Гомеля доминировало 4 вида жесткокрылых (*A. impressum*, *P. cupreus*, *P. versicolor* как представители жукелиц и *Rh. germanus* – представи-

тель пластинчатоусых жуков).

Видовое богатство и численность жесткокрылых существенно отличались на разных стационарах. Так, стационар, находящийся на окраине города, характеризовался как самой низкой численностью жесткокрылых, так и наиболее низким видовым богатством (таблица). В то же время на участке, который больше всех был подвержен рекреационной нагрузке, была отмечено значительное число видов и обилие жесткокрылых, уступающее лишь стационару «Новобелицкий мост».

Спектр доминирующих видов на различных стационарах также варьировал. Следует сказать, что общих доминантов, преобладавших на всех исследованных береговых участках, было всего два – *A. impressum* и *Rh. germanus*. При этом относительное обилие последнего вида значительно превышало численность как *A. impressum*, так и остальных видов. Особенно это отразилось на стационаре «Пляж», где относительное обилие *Rh. germanus* достигло 45,63%. На окраинном стационаре при достаточно высоких показателях информационного разнообразия преобладали, кроме выше упомянутых *A. impressum* и *Rh. germanus*, 4 вида (*B. properans*, *O. helopioides*, *P. cupreus* и *P. versicolor*). На промежуточном стационаре «Новобелицкий мост», который характеризовался наиболее высокими показателями информационного разнообразия и выравненности на фоне самой низкой концентрации доминирования, в числе доминантов были отмечены также *A. spreta*, *P. cupreus*, *P. versicolor*, *Ph. laevigatus*. При этом последний вид был отмечен только на этом участке. На стационаре «Пляж» среди доминантов наряду с *A. impressum* и *Rh. germanus* доминировал лишь *O. helopioides*. Вообще, для последнего стационара («Пляж») характерно наименьшие показатели информационного разнообразия и выравненности при высокой степени концентрации доминирования, что может свидетельствовать об сообществе в достаточной степени сформированном, на котором обитают виды, хорошо приспособленные к условиям сильной рекреационной нагрузки.

Выводы

1 В береговых урбоценозах р. Сож в пределах г. Гомель было выявлено 123 вида жесткокрылых из 17 семейств, из которых доминировали представители родов *Amara*, *Agonum*, *Bembidion*, *Oodes*, *Poecilus*, *Rhyssalus*, *Phaedon*.

2 В береговых местообитаниях выявлено 20 видов жесткокрылых, ранее не указанных в литературе для региона исследований и 3 вида (*Agonum afrum*, *Bembidion deletum* и *Hypocacculus rufipes*) – для территории Беларуси.

3 Увеличение рекреационной нагрузки не приводит к резкому сокращению видового богатства и численности, но, в то же время, в этих условиях наблюдается перестройка видового состава и структуры сообществ жесткокрылых. Это отражается в изменении как состава доминирующих видов, так и показателей биоразнообразия, свидетельствующих о том, что в центре города при повышении рекреационной нагрузки складываются устойчивые сообщества, сформированные преимущественно из экологически пластичных видов жесткокрылых.

Резюме. Представлены результаты предварительных исследований жесткокрылых, обитающих в прибрежной зоне р. Сож в пределах г. Гомеля. Было обнаружено 123 вида жесткокрылых, выявлена экологическая структура их сообществ. По результатам исследований было зафиксировано 20 видов жесткокрылых впервые встреченных в регионе и 3 вида – ранее для территории Беларуси в литературе не упоминались.

Abstract. There are results of preliminary researches of the beetles' coastal communities of the river Sozh proceeding within the limits of city of Gomel are considered in the article. The 123 species of coleoptera are revealed, the specific structure of communities is considered. There are 20 species for the first time is fixed in this region and 3 species for Belarus.

Литература

1. Галиновский, Н.Г. Особенности структуры сообществ жесткокрылых-гидробионтов (Insecta, Coleoptera) ряда водных объектов Минска / Н.Г. Галиновский // Известия Гом. гос. ун-та. – 2007. – № 1. – С. 105-109.
2. Галиновский, Н.Г. К изучению фауны жужелиц (Coleoptera, Carabidae) береговых сообществ р. Сож в пределах г. Гомеля / Н.Г. Галиновский // Известия Гом. гос. ун-та. – 2008. – № 5.
3. Renkonen, O. Statistish-Okologiske Untersuchungen uber die terrestrische Kaferwelt der finnischen Bruchmoore / O. Renkonen // Ann. Zool. – Bot. Soc. Fennicae – 1938. – №. 6. – P. 1-231.
4. Каталог жесткокрылых (Coleoptera, Insecta) Беларуси / О.Р. Александрович [и др.]; Фонд фундам. исслед. Респ. Беларусь. – Минск, 1996. – 103 с.
5. Кирейчук, А.Г. Дополнение и уточнения к каталогу жесткокрылых (Coleoptera) Беларуси / А.Г. Кирейчук, О.Р. Александрович, В.А. Цинкевич // Вестник БГУ. – Сер. 2. – № 1, 1998. – С. 39-41.

Гомельский государственный
медицинский университет

Поступило 03.02.09

УДК 575:582.475

К вопросу о видовом разнообразии булавоусых чешуекрылых Гомельского Полесья

Г. Г. ГОНЧАРЕНКО

В настоящее время имеется только два сообщения относительно исследования видового состава булавоусых чешуекрылых Гомельской области (Иванов, 1926, Мержеевская, Козловский, 1969). В первой работе отмечено 64, а во второй – 9 видов булавоусых.

В ходе наших исследований, проведённых в Гомельском, Ветковском и Речицком районах в течение сезонов 1982-1987 и 1999-2005 гг., обнаружено 79 видов булавоусых чешуекрылых, список которых приведён ниже.

Сем. PAPILIONIDAE:

1. *Papilio machaon* L., 1758
2. *Parnassius mnemosyne** L. 1758
3. *Iphiclides podalirius* L., 1758

Сем. PIERIDAE:

4. *Aporia crataegi* L., 1758
5. *Pieris brassicae* L., 1758
6. *P. rapae* L., 1758
7. *P. napi* L., 1758
8. *Pontia daplidice* L., 1758
9. *Anthocharis cardamines* L., 1758
10. *Gonopteryx rhamni* L., 1758
11. *Leptidea sinaple* L., 1758
12. *Colias hyale* L., 1758
13. *C. myrmidone* Esp., 1781
14. *C. croceus* Fourc., 1785

Сем. NYMPHALIDAE:

15. *Apatura illia* Schiff., 1775
16. *Limenitis populi* L., 1758
17. *Nymphalis antiopa* L., 1758
18. *N. polychloros* L., 1758
19. *N. xanthomelas* Schiff., 1775
20. *Polygonia c-album* L., 1758
21. *P. egea* Cr., 1775
22. *Inachis io* L., 1758
23. *Aglais urticae* L., 1758
24. *Araschnia levana* L., 1758
25. *Vanessa cardui* L., 1758
26. *V. atalanta* L., 1758
27. *Argynnis paphia* L., 1758
28. *Mesoacidalia aglaja* L., 1758
29. *Fabricias niobe* L., 1758
30. *F. adippe* Schiff., 1775
31. *Clossiana selene* Schiff., 1775
32. *C. euphrosyne* L., 1758

33. *C. dia* L., 1758
34. *Issoria lathonis* L., 1758
35. *Melitae didyma* Esp., 1777
36. *M. aurellia* Nick., 1850
37. *M. cinxia* L., 1758
38. *M. phoebe* Schiff., 1775
39. *Euphydryas maturna** L., 1758

Сем. SATYRIDAE:

40. *Hipparchia alcyone* Schiff., 1775
41. *H. semele* L., 1758
42. *Maniola jurtina* L., 1758
43. *Dira maera* L., 1758
44. *Aphantopus hyperanthus* L., 1758
45. *Hypenophele lycaon* Kuhn., 1774
46. *Pararge aegeria* L., 1758
47. *Lasiommata megera* L., 1758
48. *Coenonympha pamphilus* L., 1758
49. *C. iphis* Schiff., 1775
50. *C. tullia* Mull. 1764
51. *C. arcania* L., 1758

Сем. LYCAENIDAE:

52. *Callophrus rubi* L., 1758
53. *Quercusia quercus* L., 1758
54. *Strymon w-album* Kn., 1782
55. *Heodes tityrus* Poda., 1761
56. *H. alciphron* Rott., 1775
57. *H. virgaureae* L., 1758
58. *Lycaena dispar* Haw., 1803
59. *L. phlaeas* L., 1758
60. *Maculiena arion* L., 1758
61. *Everes argiades* Pall., 1771
62. *Philosen vicrama* Moore., 1865
63. *Lysandra coridon* Poda., 1761
64. *Polyommatus icarus* Rott., 1775
65. *Plebecula amanda* Sohn., 1792
66. *Plebejus argus* L., 1758
67. *Cyaniris semiargus* Rott., 1775
68. *Celastrina argiolus* L., 1758
69. *Glaucopsyche alexis** Poda., 1761
70. *Aricia artaxerxes* F., 1793
71. *Meleageria daphnis* Schiff., 1775
72. *Lycaeides argirognomon* Bergstr., 1779

Сем. Hesperidae:

73. *Heteropterus morpheus* Pall., 1771
74. *Hesperia comma* L., 1758
75. *Ochlodes venatus* Brem et Gr., 1857
76. *Thymelicus sylvestris* Poda., 1761
77. *T. lineola* O., 1808
78. *Pyrgus malvae* L., 1758
79. *Carterocephalus silvicolus* Meig., 1829

Двадцать три вида булавоусых чешуекрылых, найденных нами, ранее для Гомельской области не отмечались. Таким образом, общий список булавоусых чешуекрылых Гомельской области, после наших исследований, расширяется до 96 видов.

Резюме. В статье описаны 79 видов чешуекрылых Гомельского Полесья. Двадцать три вида найденных булавоусых чешуекрылых ранее для Гомельской области не отмечались.

Abstract. Species variety of rhopalocera lepidopterous insects of Gomel Polessiye is considered in the paper. 79 species are described, and among them there are 23 species that have been registered in area for the first time.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины,

Поступило 20.01.09

Определение трофического статуса водоемов урбанизированной территории

О. В. КОВАЛЕВА

Введение

Возрастающее антропогенное воздействие на природные объекты, в том числе расположенные в городской черте, значительно ухудшает их экологическое состояние. В условиях техногенного пресса озера являются одним из самых уязвимых элементов ландшафта. Изменение качества воды водоемов происходит по трем основным направлениям: загрязнение ксенобиотиками, повышение минерализации вод и антропогенное евтрофирование [1]. Последнее представляет собой процесс повышения уровня биологической продуктивности водоемов, связанный с избыточным поступлением биогенных элементов, в первую очередь, азота и фосфора. Согласно заключению Международной программы по глобальной оценке водных ресурсов (UNEP-GIWA), евтрофирование является острой проблемой для половины водных ресурсов земного шара [2]. Последствиями антропогенного евтрофирования водоемов являются их обмеление, зарастание, рост биомассы, снижение содержания растворенного кислорода, появление токсических продуктов жизнедеятельности гидробионтов и др.

Целью работы явилось установление трофического статуса водоемов городской зоны на основе изучения гидрохимических и гидробиологических показателей.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были выбраны 9 озер (таблица 1), которые расположены в черте г. Гомель и испытывают разнофакторное антропогенное воздействие.

Таблица 1 – Характеристика исследуемых озер

Озеро	Площадь зеркала, км ²	Длина, км	Средняя ширина, км	Максимальная ширина, км	Площадь водосбора, км ²	Факторы антропогенного воздействия
Дедно	0,1	1,2	0,083	0,13	0,7	Сброс сточных вод
Шапор	0,08	0,8	0,10	0,24	0,08	
Любенское	0,36	1,50	0,24	0,38	0,8	Рекреационное использование
Сетен	0,22	0,8	0,25	0,3	0,3	
Сельмашевское	0,13	1,36	0,10	0,22	2,1	Рекреационное использование, располагается в крупном промышленном районе города
Волотовское	0,37	1,7	0,35	0,54	0,5	Рекреационное использование, располагаются в зоне интенсивного движения автотранспорта
У-образное	0,17	2,4	0,071	0,15	0,2	
Малое	0,25	1,1	0,23	0,37	0,3	Рекреационное использование, располагаются в зоне интенсивной застройки
Круглое	0,25	0,9	0,28	0,45	0,2	

В основу работы положены материалы, полученные на указанных озерах в период 2007-2009 гг. Сбор гидробиологических проб и определение видов зоопланктона проведены по общепринятым методикам. В ходе исследований осуществлялись замеры прозрачности воды с использованием диска Секки. Классы качества воды водоемов по эколого-санитарным (трофо-сапробиологическим) и эколого-токсикологическим показателям устанавливали в соответствии с классификацией водоемов, предложенной В.Н. Жукинским и Л.П. Брагинским [3].

Для определения степени евтрофирования озер использовали индекс трофического статуса Карлсона (TSI), вычисляемый по формуле [2, 4]:

$$TSI = 60 - 14,41 \cdot \ln SD,$$

где SD – прозрачность воды по диску Секки, м.

Показатель трофии Наккари (E/O) озер определяли как соотношение числа видов-индикаторов евтрофного и олиготрофного типов [5].

Для оценки изменения состава видов и трофического статуса водоемов по зоопланктону использовали степень трофии, или фаунистический индекс трофности (E), предложенный А.Х. Мяэметсом [6]:

$$E = \frac{K(x+1)}{(A+Y)(y+1)},$$

где K – число видов коловраток;

A – число видов веслоногих ракообразных;

Y – число видов ветвистоусых ракообразных;

x – число видов, свойственных мезо- и евтрофным озерам;

y – число видов, свойственных олиго- и мезотрофным озерам.

Показатели сапробности рассчитывали по методу Пантле и Букка в модификации Сладечека [7].

Результаты и их обсуждение

Результаты исследований показывают, что изучаемые эколого-санитарные и эколого-токсикологические показатели в водоемах варьируют (таблица 2). По их величинам класс качества воды озер изменяется от чистой до грязной, а разряд качества воды – от очень чистой до предельно грязной. Некоторые показатели в воде озер колеблются незначительно – содержание взвешенных веществ и величины цветности. По средним данным, вода озера Дедно, подверженного влиянию сточных вод, относится к 4 классу качества воды (загрязненная), вода остальных озер – к 3 классу (удовлетворительной чистоты).

Рассчитанный по прозрачности воды индекс трофического статуса Карлсона изменяется от 68,1 до 80,0. По индексу TSI трофность исследуемых озер уменьшается в ряду Дедно (гиперевтрофное – 80,0) → Шапор (евтрофное – 73,1) → Любенское (евтрофное – 69,9) → Волотовское (евтрофное – 69,4) → У-образное (евтрофное – 69,3) → Малое (евтрофное – 69,2) → Круглое (евтрофное – 68,9) → Сельмашевское (евтрофное – 68,6) → Сетен (евтрофное – 68,1), что отражено на рисунке 1.

Показатель трофии (E/O) также свидетельствует о разном трофическом статусе исследованных озер (рисунок 2). Согласно шкале Наккари [5], трофность исследованных озер расположилась по возрастанию следующим образом: Сетен (мезотрофное – 0,52) → Круглое (мезотрофное – 0,59) → Сельмашевское (мезотрофное – 0,63) → Малое (мезотрофное – 0,67) → Любенское (мезотрофное – 0,68) → У-образное (мезотрофное – 0,70) → Волотовское (мезотрофное – 0,72) → Шапор (евтрофное – 1,52) → Дедно (евтрофное – 1,64).

Таблица 2 – Классы качества воды озер по гидрохимическим и гидробиологическим показателям

Показатели	Дедно	Шапор	Любенское	Сетен	Сельмашевское	Волотовское	У-образное	Малое	Круглое
Прозрачность, м	4а	3б	3а	2б	2б	3а	3а	3а	3а
Взвешенные вещества, мг/дм ³	2а	2а	2а	2а	2а	2а	2а	2а	2а
Цветность, град.	5б	5б	5б	5б	5б	5б	5б	5б	5б
рН	2а	3а	2б	2а	2а	2б	2б	2а	2а
Азот аммонийный, мг/дм ³	4б	4б	3а	3б	2б	3а	3б	4а	3б
Азот нитритный, мг/дм ³	5а	4б	4а	3б	3б	2б	3б	2а	3б
Азот нитратный, мг/дм ³	2а	4а	4а	2а	2а	5а	2а	2а	2а
Фосфаты, мг/дм ³	5а	3б	3б	3б	3б	5а	5а	3а	4б
Насыщение кислородом, %	3б	2а	3а	3а	3а	2а	3б	3а	2а
Цинк, мг/дм ³	4а	3б	3б	4а	4а	4а	4а	4а	4а
Хром, мг/дм ³	3а	3а	3а	3а	3а	3а	3а	3а	3а
Кобальт мг/дм ³	3б	3а	3а	3а	3а	3а	3а	3а	3а
Кадмий, мг/дм ³	3а	3а	3б	3а	3а	3б	3а	3а	3а
Железо общее, мг/дм ³	4а	4а	3б	4а	4а	4а	3а	4б	3б
Фториды, мг/дм ³	4а	4а	4а	4а	4а	4а	4а	4а	4а
СПАВ, мг/дм ³	4а	3б	5а	3б	3б	4б	4б	4б	4а
Нефтепродукты, мг/дм ³	4а	4а	4а	4а	4а	4а	4а	4а	4а
Индекс сапробности	3а	3а	3а	2б	3а	3а	3а	3а	3а

Примечания:

- 1) Классы качества воды: 1- предельно чистая, 2 – чистая, 3 – удовлетворительной чистоты, 4 – загрязненная, 5 – грязная.
- 2) Разряды качества вод: 1 – предельно чистая, 2а – очень чистая, 2б – вполне чистая, 3а – достаточно чистая, 3б – слабо загрязненная, 4а – умеренно загрязненная, 4б – сильно загрязненная, 5а – весьма грязная, 5б – предельно грязная.

По шкале А.Х. Мяземса [6] значения коэффициента трофии $E > 4$ характерны для гиперевтрофных, $E = 1-4$ – для евтрофных, $E = 0,2-1$ – для мезотрофных, $E < 0,2$ – для олиготрофных озер. По результатам исследований, коэффициент трофии для всех исследованных водоемов составляет 1,9-5,3, характеризуя озера Шапор и Дедно как гиперевтрофные, остальные озера – как евтрофные. При этом наименьшие значения коэффициента отмечаются в озере Сетен, тогда как в других озерах увеличиваются в 1,13-2,56 раза, что отражает антропогенную нагрузку на них (рисунок 2).

При увеличении трофического статуса водоемов (при переходе от мезотрофного к евтрофному типу и от евтрофного к гиперевтрофному) выявлены изменения в структуре зоопланктона, а именно – смена доминирующих видов: *Bosmina longirostris* → *Ceriodaphnia reticulata* → *Chydorus sphaericus* → *Daphnia longispina* → *Daphnia magna*.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что согласно классификации качества поверхностных вод с экологических и эколого-санитарных позиций, озеро Дедно соответствует классу загрязненных, разряду умеренно загрязненных вод, остальные озера – классу удовлетворительной чистоты, разряду слабо загрязненных вод.

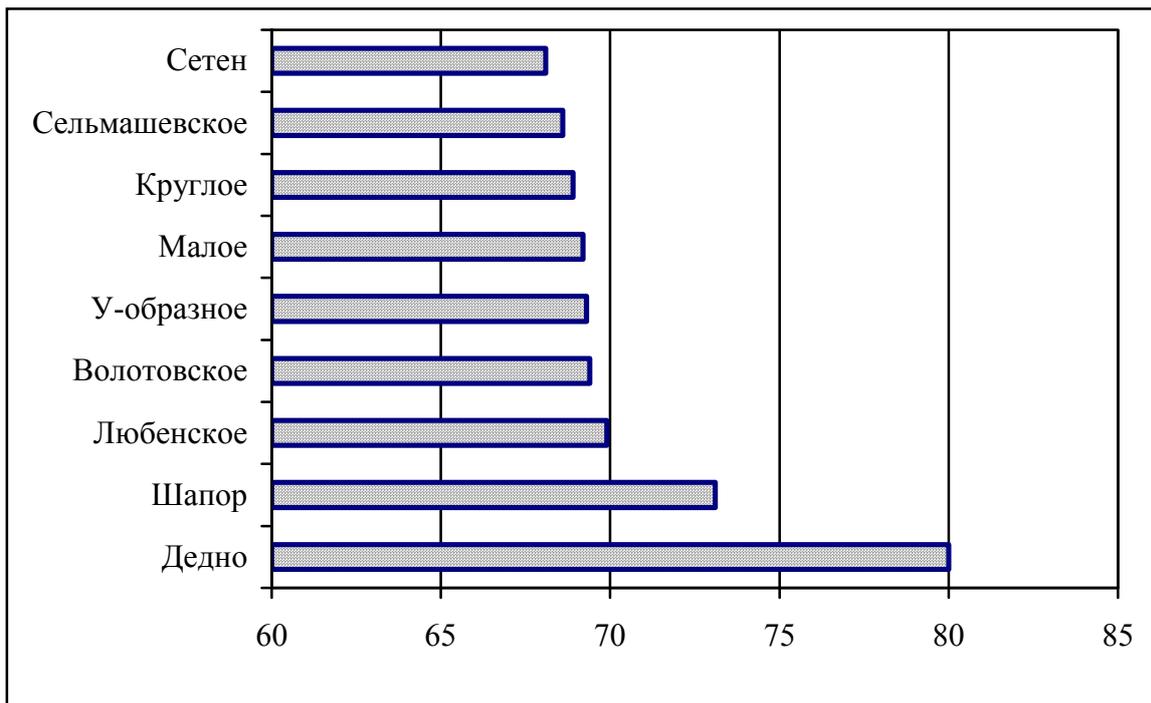


Рисунок 1 – Изменение трофического индекса Карлсона в озерах

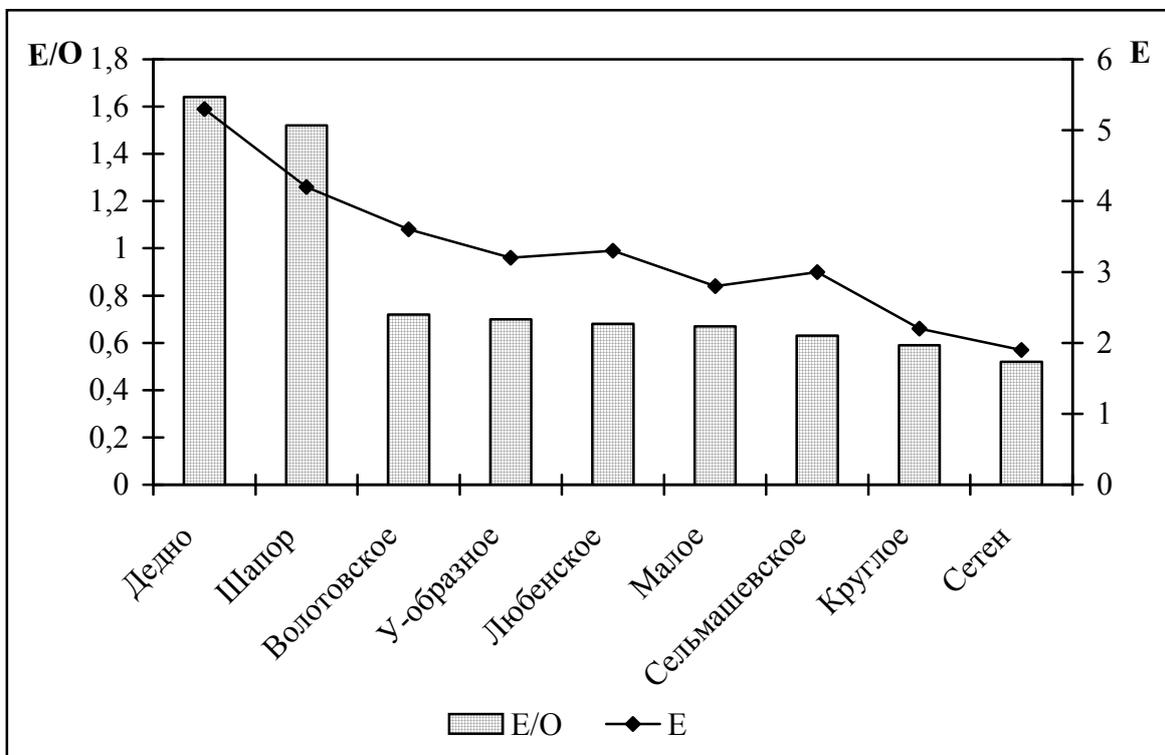


Рисунок 2 – Изменение коэффициента и показателя трофии в озерах

Заключение

Примененные в работе показатели структуры сообществ зоопланктона указывают на высокий трофический статус озер, расположенных в черте г. Гомель. Результаты проведенного анализа свидетельствуют о более высокой степени евтрофирования озера Дедно в сравнении с другими городскими водоемами. Рассчитанные трофический индекс Карлсона, показатель и коэффициент трофии для озера Дедно указывают на формирование статуса водоема, близкого к гиперевтрофному. Эти же показатели позволяют отнести озеро Шапор к евтрофным водоемам, остальные исследованные озера – к переходным от мезотрофного к евтрофному типу.

Возрастание трофического статуса озер от мезотрофного к евтрофному типу, и от евтрофного к гиперевтрофному сопровождается сменой доминантных видов зоопланктона. При этом, основную долю плотности в сообществе формируют индикаторы грязных, очень грязных и высокотрофных вод.

Резюме. Данные, представленные в статье, получены в результате исследований 2007-2009 гг. на 9 озерах, расположенных в городской зоне. Целью работы было установить трофический статус водоемов городской зоны на основании изучения гидрохимических и гидробиологических показателей.

Abstract. The determination of the trophic status of reservoirs of a city zone on the basis of hydrochemical and hydro-biological characteristics is considered in the paper.

Литература

1. Петрова, М.И. Динамика гидрохимического состояния озер-водоприемников сточных вод / М.И. Петрова // Международное сотрудничество в решении водно-экологических проблем. – Мн.: Минсктиппроект, 2008. – С. 229-230.
2. Шкундина, Ф.Б. Основные тенденции антропогенного евтрофирования озер республики баршкортостан / Ф.Б. Шкундина, Г.А. Гуламанова / Вісник одеського національного університету. – 2008. – т. 13, Вип. 4, Біологія. – С. 106-112.
3. Жукинский, В.Н. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши / В.Н. Жукинский, Л.П. Брагинский // Гидробиологический журнал. – 1993. – Т. 29. – № 4. – С. 62-76.
4. Carlson, R. E. A trophic state index for lakes/ R. E. Carlson // Limnology and Oceanography. – 1977. – Vol. 22. – №2. – P. 361-369.
5. Hakkari, L. On the productivity and ecology of zooplankton and its role as food for fish in some lakes in Central Finland/ L. Hakkari // Biological Results Reports for the University Juvaskyla. – 1978. – №4. – P. 3-84.
6. Мязметс, А.Х. изменения зоопланктона / А.Х. Мязметс // Антропогенное воздействие на малые озера. – Л.: Наука, 1980. – с. 54-64.
7. Pantle, R., Buck, H. Die biologische Urewachung der Gewässer und die Darstellung der Ergebnisse / R. Pantle, H. Buck // Gas und Wasserfach. – 1955. – Bd. 96, №18. – S. 604.

ЭКОНОМИКА

УДК 658.15(476)

Оценка качества основного капитала

Л. В. ДЕРГУН

Важнейшие показатели хозяйственной деятельности организации и, как результат, устойчивости финансового состояния в целом во многом определяются способом формирования основного капитала, источниками его финансирования, изменениями в структуре внеоборотных активов, полнотой и эффективностью использования в производственном процессе, степенью износа и тенденциями обновления основных производственных фондов. В этой связи представляется очевидным наличие такого свойства основного капитала, как «качество». Основным капиталом «высокого качества» – это вложение средств во взаимосвязанный комплекс материальных и нематериальных благ длительного пользования, имеющий оптимальную структуру, обеспечивающую высокую способность генерировать прибыль и отражающую инновационную направленность деятельности предприятия, обладающий высокой степенью годности амортизируемого имущества, что в совокупности оказывает положительное влияние на финансовую устойчивость предприятия.

Проанализировав существующие подходы к категории «качества», мы предположили, что «качество основного капитала» – это отражение его способности функционировать на уровне, достаточном для обеспечения устойчивости финансового состояния предприятия в постоянно меняющихся конкурентных условиях. Здесь мы сформулировали определение качества основного капитала в «широком» смысле слова.

Под «качеством основного капитала» в «узком» смысле мы понимаем совокупность его экономических и финансовых характеристик, обуславливающих возможность отнесения основного капитала конкретного предприятия в определенную качественную группу.

Таким образом, качество основного капитала – это комплексная характеристика, отражающая основные аспекты его состояния и функционирования. Качество основного капитала отражает не только потенциал, которым обладает субъект хозяйствования, но и полученные результаты и саму деятельность, приведшие к ним.

Изучение литературы по анализу и финансовому менеджменту позволяет нам выделить плоскости, в которых так или иначе рассматривается основной капитал предприятия [1–7]. Он является объектом внимания при анализе внеоборотных активов и основных средств, эффективности деятельности предприятия, а также при оценке состояния производственного потенциала в рамках анализа финансовой устойчивости. На этой основе можно сформулировать ряд особенностей основного капитала, определяющих его качество: структурные особенности внеоборотных активов предприятия: доля основных средств, наличие и доля нематериальных активов и незавершенного строительства; производственная структура основных средств предприятия, оптимизация которой ассоциирована прежде всего с максимизацией прибыли субъекта хозяйствования; финансовые особенности ассоциированы с источниками финансирования основного капитала, сводятся прежде всего к необходимости финансирования внеоборотных активов с избытком источниками собственных средств, вытекающей из требования превышения величины собственных средств над суммой долгосрочных нефинансовых активов, что является условием отнесения предприятия к финансово устойчивому и платежеспособному; основной капитал характеризуется также состоянием такого элемента внеоборотных активов, как основные средства: степенью годности, тенденциями обновления и выбытия; эффективность и интенсивность использования внеоборотных активов в целом и их структурных элементов, в частности.

Конкретизируем в виде следующей таблицы основные аспекты, задающие и определяющие уровень качества основного капитала организации.

Аспект	Показатели	Назначение
Структурный	Доля основного капитала в имуществе	Отражает обеспеченность предприятия основным капиталом (основными средствами, активной частью основных производственных фондов)
	Доля основных средств в основном капитале	
	Доля активной части основных производственных фондов	
	Доля незавершенного строительства в основном капитале	Характеризует динамику освоения капиталовложений и ввода в действие основных фондов
	Доля нематериальных активов в основном капитале	Отмечает инновационную направленность деятельности предприятия
	Доля доходных вложений в материальные ценности	Показывает долю активов, сдаваемых за плату во временное владение и пользование с целью получения прибыли
	Соотношение темпов роста активной и пассивной части основных производственных фондов	Отражает приоритеты предприятия в управлении производственной структурой основных средств
Источники финансирования основного капитала	Коэффициент покрытия основного капитала собственными средствами	Отмечает достаточность (недостаточность) собственных средств для финансирования внеоборотных активов
	Коэффициент покрытия основного капитала постоянными источниками средств	Отмечает достаточность (недостаточность) постоянных источников средств для финансирования внеоборотных активов
Состояние и тенденции обновления основных средств	Коэффициент годности основных средств	Характеризует техническое состояние основных средств
	Коэффициент обновления основных средств	Отражает интенсивность обновления основных средств
	Коэффициент выбытия основных средств	Характеризует степень интенсивности выбытия средств из сферы производства
	Коэффициент прироста основных средств	Отражает уровень прироста основных средств
	Коэффициент интенсивности обновления основных средств	Сопоставляет темпы выбытия и ввода основных средств
Интенсивность и эффективность использования	Фондоотдача основных средств	Отражает стоимость продукции, приходующаяся на 1 рубль стоимости основных средств (активной части ОПФ)
	Фондоотдача активной части основных производственных фондов	
	Рентабельность основного капитала	Характеризует величину прибыли, приходующуюся на 1 рубль стоимости основных средств (активной части ОПФ)
	Рентабельность активной части основных производственных фондов	
	Фондоемкость	Характеризует стоимость основных средств на каждый рубль реализованной продукции
	Коэффициент использования мощностей	Отражает полноту использования производственных мощностей

На основании расчета, анализа и интерпретации значений вышеприведенных показателей осуществляется всесторонний анализ качества основного капитала, делается соответствующее заключение.

Облегчить аналитическую работу по оценке качества основного капитала поможет применение комплексных оценок, при помощи которых можно дать числовое выражение движения системы, сделать выводы о его направленности (улучшение или ухудшение).

Можно использовать различные методы комплексной оценки исследуемого параметра. При этом основными элементами метода являются обоснование системы показателей для комплексной оценки, сбор и обработка исходных данных для исчисления указанных показателей, определение методики комплексной оценки, интерпретация результатов оценки.

При отборе показателей для оценки на основе расчета комплексного показателя качества, на наш взгляд, необходимо руководствоваться следующими ограничениями: с целью облегчения аналитической работы в модели должно быть использовано ограниченное число показателей-критериев; критерий должен быть существенным; показатель должен характеризовать один аспект качества объекта: взаимосвязь между рассматриваемыми коэффициентами должна быть минимальной; отобранные показатели должны быть приведены в сопоставимый вид с целью их дальнейшей оценки (должны иметь одинаковую единицу измерения); частные показатели должны иметь одинаковую направленность воздействия на контрольный параметр, в противном случае – стандартизированы соответствующим образом; показатели-критерии для определения комплексного показателя должны рассчитываться на основе доступной информации (в нашем случае – данных бухгалтерской отчетности).

На основе матрицы парных коэффициентов корреляции, включающей 20 показателей качества основного капитала, установлены частные показатели, рекомендуемые для определения интегрального. Алгоритм статистической обработки частных показателей качества основного капитала заключается в следующем [9]:

1. Определяется корреляционная взаимосвязь между коэффициентами качества основного капитала.

2. Осуществляется интерпретация полученных результатов установленной корреляционной взаимосвязи исходя из следующих подходов. Если значения коэффициентов корреляции превышают 0,7, то взаимосвязь между анализируемыми коэффициентами является высокой, т. е. коэффициенты в той или иной степени дублируют друг друга. Коэффициенты корреляции со значениями ниже 0,7 имеют меньшую взаимосвязь. Наиболее целесообразно использовать для анализа коэффициенты с корреляцией от 0,5 и ниже: именно они должны составлять систему коэффициентов качества основного капитала.

3. Выбираются показатели, обладающие слабой корреляционной зависимостью, и на их основе составляется система оценки качества основного капитала предприятия, поскольку отобранные таким образом показатели характеризуют только один аспект исследуемой проблемы и не дублируют друг друга.

Безусловно, наиболее тесной корреляционной зависимостью обладают коэффициенты, характеризующие один критерий качества основного капитала, или коэффициенты, при расчете которых могут использоваться одни и те же статьи баланса.

К коэффициентам первого типа относятся: показатели покрытия основного капитала источниками; эффективность использования внеоборотных активов и активной части основных производственных фондов; тесная взаимосвязь между показателями прироста и обновления основных средств, выбытия и обновления.

Очевидно, что в рамках данных критериев достаточно рассчитать один из предложенных коэффициентов.

Интересна взаимосвязь между коэффициентами, характеризующими различные аспекты качества основного капитала, объяснимая тем, что при их расчете используются одинаковые показатели отчетности.

Наиболее разнообразно по тесноте корреляции выглядит группа показателей структуры внеоборотных активов.

Из показателей, характеризующих источники финансирования внеоборотных активов, выберем коэффициент покрытия основного капитала собственными средствами, потому что к значению коэффициента можно выдвинуть четко сформулированные требования. Коэффициент покрытия отражает платежеспособность предприятия в долгосрочном периоде. Для обеспечения платежеспособности предприятия в долгосрочной перспективе необходимо, чтобы собственный капитал был больше суммы внеоборотных активов (их соотношение должно быть больше 1). Для первоклассных предприятий оно должно быть несколько выше (обеспечивая финансирование оборотных нефинансовых активов), чтобы даже случайные рыночные колебания не смогли повлиять на его финансовую устойчивость.

Из показателей структуры капитала выделим долю активной части основных производственных фондов в имуществе, поскольку данный показатель в большей степени отражает структурные аспекты, так как учитывает и долю внеоборотных активов в имуществе, и долю основных средств во внеоборотных активах, и долю активной части основных производственных фондов в основных средствах. Кроме того, повышение активной части основных средств способствует росту технической оснащенности, увеличению производственной мощности предприятия, возрастанию фондоотдачи. Соотношение темпов роста активной и пассивной части основных производственных фондов является фактором, определяющим долю активной части. Поэтому использование данного показателя при комплексной оценке нецелесообразно. Доля нематериальных активов в основном капитале представляет интерес, поскольку отражает инновационную направленность (или ненаправленность) деятельности предприятия. В настоящее время доля нематериальных активов в имуществе значительно ниже, чем на аналогичных предприятиях в странах с развитой рыночной экономикой [8]. На исследуемых предприятиях значение рассматриваемого показателя также незначительно (менее 0,5 %), и мы предлагаем не учитывать его при расчете комплексного показателя, поскольку влияние его величины на результирующий показатель будет больше, нежели реальное влияние на устойчивость деятельности предприятия.

Из группы показателей эффективности и интенсивности использования основного капитала выберем фондоотдачу основных средств (поскольку между интенсивностью использования основного капитала и финансовой устойчивостью существует тесная взаимосвязь).

Коэффициенты обновления, прироста, интенсивности обновления имеют тесную взаимосвязь исключительно между собой, однако при комплексном анализе, на наш взгляд, от них можно отказаться, поскольку изучение данных коэффициентов имеет второстепенное значение как факторов, обуславливающих степень годности основных средств.

Таким образом, в результате проведенного анализа корреляционной зависимости между коэффициентами и логических размышлений было выделено четыре показателя, в наименьшей степени взаимосвязанные между собой и характеризующие разные аспекты качества основного капитала. А именно: коэффициент покрытия основного капитала собственными средствами, коэффициент годности, доля активной части основных производственных фондов в имуществе, фондоотдача основных средств (обозначим соответственно $K_{\text{покрытия}}^{\text{OK}}$, $K_{\text{годности}}$, $D^*_{\text{активн}}$, $\Phi O_{\text{ос}}$).

Для комплексной оценки качества основного капитала на базе выделенных критериев наиболее целесообразно воспользоваться системой методов многокритериальной оптимизации (главной компоненты, уступок, условного центра масс, идеальной точки и др.). При этом наиболее удачно, с точки зрения контекста решаемой проблемы, применить метод расчета средней геометрической величины.

Преимущество средней геометрической заключается в возможности ее использования в тех случаях, когда трудно отдать предпочтение весам, с которыми в индекс должны входить частные показатели.

Однако не всегда большее значение интегрального коэффициента будет свидетельствовать о достаточном качестве основного капитала предприятия, поскольку оно может быть достигнуто при высоких значениях одного частного показателя при недопустимо низких значениях других. Поэтому необходимо предварительно четко обозначить значения частных коэффи-

циентов, достигнув которые основной капитал предприятия ни при каких прочих условиях не может быть отнесен к «высококачественному». Данное требование может быть реализовано посредством введения в алгоритм расчета индекса качества, этапа формулировки системы ограничений по частным показателям, используемым в модели.

Так, например, с целью недопущения отнесения основного капитала предприятия к «высококачественному» при высокой степени износа основных средств, рекомендуется ввести ограничение для показателя не менее 0,5. Ограничение для коэффициента покрытия основного капитала собственными средствами – не менее 1. Фондоотдача является одним из критериев интенсивности роста объема выпуска продукции, желаемым ограничением для данного показателя является превышение единицы, поскольку только в этом случае отдача основного капитала будет равновелика его затратам [10].

В общем виде алгоритм интегральной оценки качества основного капитала (с учетом предложенной нами коррективы) может быть представлен в виде последовательности следующих операций:

1. Исходные данные представляются в виде матрицы (A_{ij}), где по строкам записаны номера показателей ($i = 1, 2, 3, \dots, n$), а по столбцам значения исследуемых показателей за j периодов ($j = 1, 2, 3, \dots, m$).

2. Формируется система ограничений по уровням показателей ($m+1$).

3. Рассчитываются оптимальные (эталонные) значения показателей, обеспечивающие достижения достаточного уровня финансовой устойчивости и учитывающие систему ограничений ($m+2$).

4. Исходные показатели матрицы (A_{ij}) стандартизируются в отношении соответствующего показателя эталонного основного капитала по формуле

$X_{ij} = A_{ij} / A_{ij}^{\text{ЭТАЛОН}}$, где X_{ij} – стандартизированные показатели, A_{ij} – исходные показатели качества основного капитала.

5. Интегральный показатель качества основного капитала ($I_{КАЧ}$), рассчитывается следующим образом:

$$I_{КАЧ} = \sqrt[4]{X_1 * X_2 * X_3 * X_4},$$

где X_1 – стандартизированное значение доли активной части основных производственных фондов; X_2 – стандартизированное значение коэффициента покрытия основного капитала собственными средствами; X_3 – стандартизированные значения коэффициента годности; X_4 – стандартизированное значение фондоотдачи основных средств.

Оценка качества основного капитала производится по средствам его сравнения по каждому предложенному показателю с условным эталонным «высококачественным» основным капиталом, имеющим наилучшие результаты по всем сравниваемым параметрам. Критерием окончательного отбора является максимальное значение интегрального показателя, свидетельствующее о более высоком качестве основного капитала.

Пример определения интегрального показателя качества основного капитала РУП ГЗСМ «Гомсельмаш» приведен в следующей таблице.

Показатель	2004	2005	2006	2007	2008	Ограничения	Эталон
D^* АКТИВН	0,258	0,188	0,144	0,144	0,105	–	0,22
$K_{\text{ПОКРЫТИЯ}}^{\text{СК}}$	1,063	1,140	1,132	1,156	1,057	не менее 1	1,52
$K_{\text{ГОДНОСТИ}}$	0,271	0,270	0,299	0,315	0,337	0,5	1
$\Phi O_{\text{ОС}}$, руб.	0,538	0,537	0,738	0,854	1,143	не менее 1	1,47
$I_{\text{КАЧ}}$	0,493	0,501	0,520	0,549	0,543	–	1

По данным таблицы видно, что качество основного капитала РУП ГЗСМ «Гомсельмаш» в 2008 году по совокупности исследуемых критериев выше, поскольку основной капитал названного предприятия на указанную дату в наименьшей степени (на 45,7 %) отдален от

эталонного варианта. Причем ни на одну из указанных дат основной капитал предприятия не соответствовал предъявляемым требованиям в достаточной мере.

Таким образом, в целях обеспечения эффективного управления основным капиталом предприятия необходима ясная картина его функционирования в определенном временном интервале. С данной целью была разработана методика оценки качества основного капитала предприятия, позволяющая дать точную и однозначную оценку исследуемого параметра по конечному обобщающему показателю.

Предлагаемый подход к оценке качества основного капитала характеризуется доступностью и простотой использования, поскольку для его проведения применяется информация бухгалтерской отчетности. Кроме того, расчет проводится с использованием важнейших показателей финансово-хозяйственной деятельности, прошедших широкую апробацию в отечественной практике и имеющих общепринятую методику расчета. Изложенная методика комплексной оценки качества основного капитала может быть использована для сравнительной оценки основного капитала различных организаций и для оценки качества основного капитала одного предприятия на различные даты.

Abstract. The paper highlights the need to develop the concept of quality of the fixed capital, to give the interpretation of the criteria evaluation. Using the method of statistical analysis of examined measures of quality of the fixed capital, the author identifies the most important criteria for the integrated assessment. A universal method of complex assessment of quality of the fixed capital of enterprises is offered.

Литература

1. Анализ хозяйственной деятельности предприятия [Текст] : уч. пособие. /Л. Л. Ермолович [и др.]; под общ. ред. Л. Л. Ермолович. – Минск : Интерпрессервис : Экоперспектива, 2001. – 571 с.
2. Савицкая, Г. В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия [Текст] / Г. В. Савицкая. 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Экоперспектива, 1998. – 498 с.
3. Кондраков, Н. П. Основы финансового анализа [Текст] / Н. П. Кондраков. – М. : Главбух, 2000. – 112 с.
4. Снитко, Л. Т. Управление основным капиталом предприятий потребительской кооперации [Текст] / Л. Т. Снитко, Т. Ю. Бугаева. – Белгород : Кооперативное образование, 2003. – 217 с.
5. Лешко, В. Н. Финансовый анализ показателей годовой бухгалтерской отчетности как инструмент управления предприятием [Текст] / В. Н. Лешко // Планово-экономический отдел – 2009. – № 3. – С. 24 – 30.
6. Лапченко, Д. А. Эффективность использования активов [Текст] / Д. А. Лапченко // Экономика, финансы, управление – 2007 – №11 – С.19 – 23.
7. Ромашова, И. Б. Управление основным капиталом [Текст] / И. Б. Ромашова // Финансы и кредит – 2004. – № 5. – С. 9 – 16.
8. Акулич, Ю. И. Анализ нематериальных активов [Текст] / Ю. И. Акулич, В. В. Акулич // Планово-экономический отдел – 2003. – № 4. – С. 50 – 47.
9. Лисицина Е. В. Статистический подход к коэффициентному методу в финансовом экспресс-анализе предприятия [Текст] / Е. В. Лисицина // Финансовый менеджмент. – 2001. – № 1. – С. 54 – 67.
10. Фомин, П. А.. Особенности оценки потенциала промышленных предприятий [Электронный ресурс] / П. А. Фомин, М. К. Старовойтов. – Режим доступа : <http://www.cis2000.ru>. Дата доступа : 10.08.2009 г.

МАТЕМАТИКА

УДК 517.9

Нахождение отражающей функции сильно
вложимых дифференциальных систем

М. С. БЕЛОКУРСКИЙ

Рассмотрим дифференциальную систему

$$\dot{x} = S(t, x), \quad t \in R, \quad x^T = (x_1, \dots, x_n) \in R^n, \quad (1)$$

с непрерывно дифференцируемой правой частью. Отражающей функцией [1, с. 62] системы (1) называется функция, определяемая формулой

$$F(t, x) = \varphi(-t; t, x),$$

где $\varphi(t; \tau, x)$ есть общее решение системы (1) в форме Коши. Для любого решения $x(t)$ этой системы верно тождество

$$F(t, x(t)) \equiv x(-t). \quad (2)$$

Это свойство можно принять и за определение отражающей функции [2, с. 16]. Больше о методе отражающей функции и его применении можно найти в [1]-[5], а также на сайте www.reflecting-function.narod.ru.

Простейшим квазимногочленом называется комплекснозначная функция переменного t вида $t^k e^{\nu t}$, где $k \in N_0, \nu \in C$. Всякая линейная комбинация простейших квазимногочленов с комплексными коэффициентами называется квазимногочленом. Компонента x_i системы (1) называется вложимой [6, с. 47], если для любого решения $x(t) = (x_1(t), \dots, x_m(t))$ этой системы функция $x_i(t)$ является квазимногочленом (говоря о решениях системы, мы имеем в виду, что они действительны). Компонента x_i системы (1) вложима тогда и только тогда, когда для каждого решения $x(t)$ этой системы существует линейное стационарное уравнение вида $a_n z^{(n)} + a_{n-1} z^{(n-1)} + \dots + a_0 z = 0$, для которого $x_i(t)$ является решением. Когда компонента $x_i(t)$ любого решения $x(t)$ системы (1) является одновременно и решением некоторого общего для всех решений $x(t)$ линейного стационарного уравнения, то эта компонента называется сильно вложимой. Дифференциальная система называется вложимой (сильно вложимой) если любая ее компонента вложима (сильно вложима).

Как вложимые, так и сильно вложимые системы, как правило, являются существенно нелинейными системами. В частности, как показано в [6], они могут иметь несколько положений равновесия, предельные циклы и иметь другие качественные свойства, присущие только нелинейным системам.

С другой стороны, эти системы интегрируются в элементарных функциях. Правило нахождения решений задач Коши для этих систем см. в [6, с. 45]. Если нам удастся найти от-

ражающую функцию сильно вложимой системы, то мы можем построить целый класс дифференциальных систем с такой же отражающей функцией [1, с. 71]:

$$\dot{x} = -0.5F_x(-t, F)F_t + F_x(-t, F)R(t, x) - R(-t, F),$$

где $R(t, x)$ есть произвольная вектор-функция. Дифференциальные системы из этого класса не обязаны быть сильно вложимыми, однако они будут иметь те же качественные свойства, что и сильно вложимая система.

Пусть компонента x_i сильно вложима в уравнение

$$z^{(n)} + a_{n-1}z^{(n-1)} + \dots + a_0z = 0 \tag{3}$$

с действительными коэффициентами a_i , которое сводится к линейной однородной дифференциальной системе

$$\dot{z} = y_1, \dot{y}_1 = y_2, \dots, \dot{y}_{n-1} = -a_{n-1}y_{n-1} - \dots - a_0z. \tag{4}$$

И пусть

$$\Phi(t, z, y_1, \dots, y_{n-1}) = \begin{pmatrix} \Phi_0(t, z, y_1, \dots, y_{n-1}) \\ \Phi_1(t, z, y_1, \dots, y_{n-1}) \\ \dots \\ \Phi_{n-1}(t, z, y_1, \dots, y_{n-1}) \end{pmatrix}$$

– отражающая функция дифференциальной системы (4). Тогда справедлива

Теорема. Пусть компонента x_i сильно вложима в уравнение (3), и пусть функция, $S_i(t, x_1, \dots, x_m)$ непрерывно дифференцируема по всем переменным до $n - 2$ порядка включительно. Тогда i -ую компоненту отражающей функции

$$F(t, x_1, \dots, x_m) = \begin{pmatrix} F_1(t, x_1, \dots, x_m) \\ \dots \\ F_i(t, x_1, \dots, x_m) \\ \dots \\ F_m(t, x_1, \dots, x_m) \end{pmatrix}$$

дифференциальной системы (1) можно найти по формуле

$$F_i(t, x_1, \dots, x_m) = \Phi_0(t, x_i, S_i^{(1)}(t, x_1, \dots, x_m), S_i^{(2)}(t, x_1, \dots, x_m), \dots, S_i^{(n-1)}(t, x_1, \dots, x_m)), \tag{5}$$

где

$$S_i^{(1)} = S_i, S_i^{(2)} = \frac{\partial S_i}{\partial t} + \sum_{j=1}^m \frac{\partial S_i}{\partial x_j} S_j, \dots, S_i^{(n-1)} = \frac{\partial S_i^{(n-2)}}{\partial t} + \sum_{j=1}^m \frac{\partial S_i^{(n-2)}}{\partial x_j} S_j$$

(т. е. мы последовательно находим производные в силу системы (1)).

Доказательство. Возьмем произвольное решение $x(t) = (x_1(t), \dots, x_i(t), \dots, x_m(t))^T$ диф-

дифференциальной системы (1) и подставим его в формулу (5). Тогда получим

$$F_i(t, x_1(t), \dots, x_m(t)) = \Phi_0(t, x_i(t), S_i^{(1)}(t, x_1(t), \dots, x_m(t)), S_i^{(2)}(t, x_1(t), \dots, x_m(t)), \dots, S_i^{(n-1)}(t, x_1(t), \dots, x_m(t)))$$

Так как

$$S_i^{(k)}(t, x_1(t), \dots, x_m(t)) \equiv \frac{d^k x_i(t)}{dt^k},$$

где $k = \overline{0, n-1}$ [6, с.49], то

$$\Phi_0(t, x_i(t), S_i^{(1)}(t, x_1(t), \dots, x_m(t)), S_i^{(2)}(t, x_1(t), \dots, x_m(t)), \dots, S_i^{(n-1)}(t, x_1(t), \dots, x_m(t))) = \Phi_0(t, x_i(t), \dot{x}_i(t), \ddot{x}_i(t), \dots, x_i^{(n-1)}(t))$$

По условию компонента x_i сильно вложима и, следовательно, $x_i(t)$ является решением линейного однородного дифференциального уравнения (3). Тогда этому решению дифференциального уравнения (3) соответствует решение

$$(z(t), y_1(t), \dots, y_{n-1}(t)) = (x_i(t), \dot{x}_i(t), \dots, x_i^{(n-1)}(t))$$

дифференциальной системы (4). Поэтому

$$\Phi_0(t, x_i(t), \dot{x}_i(t), \dots, x_i^{(n-1)}(t)) = \Phi_0(t, z(t), y_1(t), \dots, y_{n-1}(t)) = z(-t) = x_i(-t).$$

С учетом того, что тождество (2) можно принять за определение отражающей функции, теорема доказана.

Замечание. Решение системы (4) представляет собой вектор-функцию, компонентами которой являются решения уравнения (3). Поэтому на практике нет необходимости сводить уравнение (3) к системе (4). Достаточно решить линейное однородное уравнение (3) и продифференцировать его необходимое количество раз. Для удобства можно писать \dot{z} вместо y_1 , \ddot{z} вместо y_2 и так далее.

Применение этой теоремы проиллюстрирует следующий

Пример. Рассмотрим дифференциальную систему

$$\dot{x} = xy, \dot{y} = -y^2. \tag{6}$$

Ее первая компонента x сильно вложима в уравнение

$$\ddot{x} = 0. \tag{7}$$

Действительно, если взять производную в силу системы (6) от первого уравнения этой же системы, то мы и получим линейное однородное уравнение (7). Система (4) для нашего уравнения (7) принимает вид:

$$\dot{z}_1 = z_2, \dot{z}_2 = 0. \tag{8}$$

Общее решение уравнения (7) имеет вид $x = c_2 + c_1 t$, его производная $\dot{x} = c_1$. Совокупность этих двух равенств есть общее решение линейной однородной дифференциальной

системы (8), к которой мы формально должны были свести уравнение (7). Первая компонента общего решения в форме Коши этой системы имеет вид

$$x = x_0 - \dot{x}_0 t_0 + \dot{x}_0 t.$$

Находим первую компоненту отражающей функции системы (8):

$$\Phi_0(t, x, \dot{x}) = x - \dot{x}t + \dot{x} \cdot (-t) = x - 2t\dot{x}.$$

И теперь по формуле (5) из теоремы найдем первую компоненту отражающей функции исходной системы (6):

$$F_1(t, x, y) = \Phi_0(t, x, xy) = x - 2txy.$$

Так как система (6) легко решается, то можно найти ее отражающую функцию непосредственно через общее решение и сравнить полученные результаты. Общее решение системы (6) в форме Коши:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_0 y_0 (t - t_0 + \frac{1}{y_0}) \\ \frac{1}{\frac{1}{y_0} + t - t_0} \end{pmatrix}.$$

Тогда ее отражающая функция имеет вид:

$$\begin{pmatrix} F_1(t, x, y) \\ F_2(t, x, y) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x - 2txy \\ \frac{y}{1 - 2ty} \end{pmatrix}.$$

Полученные результаты действительно совпадают.

Таким образом, если известно линейное стационарное уравнение, в которое сильно вложима одна из компонент данной нам системы, то найдя общее решение этого уравнения, мы всегда сможем построить одну или несколько компонент отражающей функции для сильно вложимой системы.

Резюме. Получен метод построения отражающей функции систем с сильно вложимой в смысле Мироненко В.И. компонентой. Другие системы могут иметь такую же отражающую функцию.

Abstract. The method of constructions of reflecting function for the systems with strong embeddable component in Mironenko sense is given. The other systems may have also the same reflecting function.

Литература

1. Мироненко, В.И. Отражающая функция и исследование многомерных дифференциальных систем [Текст] / В.И. Мироненко. – Гомель: Мин. Образов. РБ, УО «ГГУ им. Ф. Скорины», 2004. – 196 с.

2. Мироненко, В.И. Отражающая функция и периодические решения дифференциальных уравнений [Текст] / В.И. Мироненко. – Мн.: Университетское, 1986. – 76 с.
3. Мироненко, В.И. Возмущения систем, не изменяющие временных симметрий и отображения Пуанкаре / В.И. Мироненко, В.В. Мироненко // Дифференциальные уравнения. – 2008. – Т. 44, № 10. – С. 1347-1352.
4. Mironenko, V.I. How to construct equivalent differential systems / V.I. Mironenko, V.V. Mironenko // Applied Mathematic Letters. – 2009. – Vol. 22. – P. 1356-1359.
5. Musafirov, E.V. Reflecting function and periodic solutions of differential systems with small parameter / E.V. Musafirov // Indian Journal of Mathematics. – 2008. – Vol. 50, № 1. – P. 63-76.
6. Мироненко, В.И. Линейная зависимость функций вдоль решений дифференциальных уравнений [Текст] / В.И. Мироненко. – Мн.: Изд-во БГУ им. В.И. Ленина, 1981. – 104 с.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 10.04.10

УДК 512.542

О пересечении абнормальных подгрупп

Р. В. Бородич

Все рассматриваемые в статье группы предполагаются конечными. Важную роль в теории конечных групп занимает подгруппа Фраттини, введенная впервые в работе [1]. Теорема Фраттини получила развитие во многих направлениях (см. монографии [2] и [3]). Одно из направлений теории пересечений связано с исследованием пересечений максимальных подгрупп, не принадлежащих заданному классу групп. Эта задача рассматривалась в работах М.В.Селькина [3], Л.И.Шидова [4], В.В.Шлыка [5], А.Гилотти и У.Тиберио [6] и многих других авторов. К данному направлению относится и настоящая работа.

Через $\Phi_{\Delta}^p(G)$ обозначим подгруппу, равную пересечению не p -нильпотентных абнормальных максимальных подгрупп группы G , некоторые свойства которой рассматривались в работе [5].

Для пересечения всех абнормальных максимальных подгрупп группы G будем использовать ставшее традиционным обозначение $\Delta(G)$ (подгруппа Гашюца).

В случае отсутствия в группе G указанных подгрупп будем полагать, что соответствующие пересечения совпадают с самой группой G .

Лемма 1. Пусть $N \triangleleft G$, тогда $\Phi_{\Delta}^p(G)N/N \subseteq \Phi_{\Delta}^p(G/N)$.

Доказательство. Если M/N — абнормальная подгруппа из G/N , не принадлежащая формации p -нильпотентных групп, то M — абнормальная максимальная подгруппа группы G , не принадлежащая формации p -нильпотентных групп. Следовательно, $\Phi_{\Delta}^p(G)N/N \subseteq \Phi_{\Delta}^p(G/N)$. Лемма доказана.

Лемма 2. Если $\Delta(G) \subset \Phi_{\Delta}^p(G)$, то выполняются следующие утверждения:

- 1) $G = \Phi_{\Delta}^p(G)M$, где M — p -нильпотентная абнормальная максимальная подгруппа группы G ;
- 2) если G разрешима, то $G = QM$, где Q — нормальная q -подгруппа группы G , q — простое число и M — p -нильпотентная абнормальная максимальная подгруппа группы G .

Доказательство. Так как $\Delta(G) \subset \Phi_{\Delta}^p(G)$, то найдётся p -нильпотентная абнормальная максимальная подгруппа M такая, что $\Phi_{\Delta}^p(G) \not\subseteq M$. Следовательно, $G = M\Phi_{\Delta}^p(G)$.

Докажем второе утверждение. Пусть G — разрешимая группа. Рассмотрим $G/\Delta(G)$. Так как $\Phi_{\Delta}^p(G)/\Delta(G)$ разрешима, то в $\Phi_{\Delta}^p(G)/\Delta(G)$ найдётся неединичная характеристическая q -подгруппа $Q/\Delta(G)$ для некоторого простого $q \in \pi(\Phi_{\Delta}^p(G)/\Delta(G))$. Если предположить, что $Q/\Delta(G)$ содержится во всех p -нильпотентных абнормальных максимальных подгруппах, то $Q/\Delta(G) \subseteq \Phi_{\Delta}^p(G)/\Delta(G)$. Получили противоречие. Значит, найдётся p -нильпотентная абнормальная максимальная подгруппа $M/\Delta(G)$ такая, что $M/\Delta(G) \cdot Q/\Delta(G) = G/\Delta(G)$. Отсюда получаем, что $G = MQ$. Если предположить, что M не принадлежит формации p -нильпотентных групп, то $M \supseteq Q$ и $G = M$, значит, M p -нильпотентна. Далее $Q = Q_1\Delta(G)$, где Q_1 — силовская q -подгруппа в Q .

По лемме Фраттини $G = QN_G(Q_1) = Q_1\Delta(G)N_G(Q_1) = \Delta(G)N_G(Q_1)$. Предположим, что $N_G(Q_1) \neq G$, тогда $N_G(Q_1)$ содержится в некоторой абнормальной максимальной подгруппе K группы G . Тогда $G = \Delta(G)K = K$. Получили противоречие. Следовательно, Q_1 — нормальная q -подгруппа группы G . Лемма доказана.

Лемма 3. Пусть G — группа такая, что $G = O_p(\Phi_\Delta^p(G))M$, где M — p -нильпотентная максимальная подгруппа. Тогда

1) $T = O_p(\Phi_\Delta^p(G)) \cap M$ — нормальная подгруппа группы G ;

2) $\Phi_\Delta^p(G/T) = \Phi_\Delta^p(G)/T$;

3) если $B/O_{p'}(G) = \Phi_\Delta^p(G/O_{p'}(G))$, то $B \supseteq \Phi_\Delta^p(G)$.

Доказательство. 1) Очевидно, $T \triangleleft M$ и $N_G(T) \supseteq M$. Так как M — максимальная подгруппа группы G , то $N_G(T) = M$ или $N_G(T) = G$. Учитывая, что $N_{O_p(\Phi_\Delta^p(G))}(T) \supset T$, получаем $N_G(T) = G$.

2) Согласно лемме 1, $\Phi_\Delta^p(G)/T \subseteq \Phi_\Delta^p(G/T)$. Докажем обратное включение. Покажем, что если A — абнормальная не p -нильпотентная максимальная подгруппа группы G , то A/T также абнормальная не p -нильпотентная максимальная подгруппа.

Абнормальность очевидна. Предположим, что A/T является p -нильпотентной подгруппой. Тогда существует p' -холлова подгруппа R в A такая, что $RT/T \triangleleft A/T$. Если H — p' -холлова подгруппа из M , то можно считать, что $R \subseteq H$. Так как $H \triangleleft M$, то H централизует T и R централизует T . Учитывая, что R — характеристическая подгруппа в RT , $RT \triangleleft A$, следовательно, $R \triangleleft A$ и A p -нильпотентна. Противоречие.

3) Пусть $x \in \Phi_\Delta^p(G)$, то x содержится в каждой абнормальной не p -нильпотентной максимальной подгруппе. Допустим, что x содержится в каждой абнормальной максимальной подгруппе K такой, что $K \supseteq O_{p'}(G)$ и $K/O_{p'}(G)$ не p -нильпотентна. Отсюда следует, что $xO_{p'}(G) \in \Phi_\Delta^p(G/O_{p'}(G)) = B/O_{p'}(G)$ и $x \in B$.

Лемма 4. Пусть $O_{p'}(G) = 1$, $O_p(M) = 1$, $G = O_p(\Phi_\Delta^p(G))M$, где $O_p(\Phi_\Delta^p(G)) \cap M = 1$ и M — p -нильпотентная абнормальная максимальная подгруппа. Тогда либо $\Phi_\Delta^p(G)$ имеет нормальную силовскую p -подгруппу, либо G является бипримарной группой.

Доказательство. Пусть P — силовская p -подгруппа подгруппы $\Phi_\Delta^p(G)$. По лемме Х.1.5 из [7], $O_{p'}(N_G(P)) \subseteq O_{p'}(G) = 1$. По лемме Фраттини, $G = \Phi_\Delta^p(G)N_G(P)$. Учитывая, что $O_p(\Phi_\Delta^p(G)) \subseteq \Phi_\Delta^p(G)$ и $G/O_p(\Phi_\Delta^p(G))$ p -нильпотентна, имеем $N_G(P) = G$ или $N_G(P)$ — p -нильпотентная подгруппа. Пусть $N_G(P)$ — p -нильпотентная подгруппа. Так как $O_{p'}(N_G(P)) = 1$, то $N_G(P)$ — p -подгруппа группы G . Пусть S — силовская p -подгруппа группы G такая, что $P = \Phi_\Delta^p(G) \cap S \triangleleft S$. Тогда $N_G(P) = S$ и $G = \Phi_\Delta^p(G)S$. Отсюда следует, что p' -холлова подгруппа H из M также является p' -холловой подгруппой группы G , подгруппы $\Phi_\Delta^p(G)$, а значит, $\Phi_\Delta^p(G) = HP$. Докажем, что S — максимальная подгруппа группы G . Допустим, что $R \supset S$, где R — максимальная подгруппа группы G . Если предположить, что R не p -нильпотентна, то из $R \supseteq \Phi_\Delta^p(G)S = G$ получаем противоречие. Итак, R является p -нильпотентной подгруппой, $R = R_{p'}S$, где $R_{p'}$ — нормальная холловская p' -подгруппа из R . Получаем $R_{p'} \subseteq \Phi_\Delta^p(G)$ и $O_p(\Phi_\Delta^p(G))$ централизует $R_{p'}$. Так как G является p -скованной группой, то $C_G(O_p(\Phi_\Delta^p(G))) \subseteq O_p(\Phi_\Delta^p(G))$ и $R_{p'} = 1$. Отсюда $R = S$. По лемме 9.9 из [8] получаем, что G является бипримарной группой.

Теорема 1. Пусть $\Phi_\Delta^p(G)$ не является p -нильпотентной группой для некоторого нечётного $p \in \pi(G)$, то $G = O_p(\Phi_\Delta^p(G))M$, где M — абнормальная p -нильпотентная максимальная подгруппа.

Доказательство. Ввиду теоремы 3 из [9], G является p -разрешимой группой. Пусть $D = \Phi_\Delta^p(G)$. Так как D не p -нильпотентна, то на основании работы [10] существует характеристическая подгруппа P^* в силовской p -подгруппе P группы D такая, что $N_D(P)/C_D(P)$ не является p -группой. Можно считать, что P^* — максимальная подгруппа с указанными выше свойствами.

Учитывая, что $N_G(P^*)$ — абнормальная подгруппа в G , получаем $N_G(P^*) = G$. Отсюда следует, что $P^* \subseteq O_p(D)$. Предположим, что $P^* \subset O_p(D)$, тогда $N_D(O_p(D))/C_D(O_p(D))$ — p -группа, а значит, $D/C_D(O_p(D))$ — p -группа. Из $C_D(O_p(D)) \subseteq O_p(D)$ получаем, что $D/O_p(D)$ — p -группа, значит D — p -группа, противоречие. Следовательно, $P^* = O_p(D)$.

Если $D/O_p(D)$ p -нильпотентна, то в $D/O_p(D)$ имеется нормальная холловская p' -подгруппа $K/O_p(D)$. Тогда K нормальна в G , и $O_p(D)$ нормальна в K . По теореме Шура-Цассенхауза, существует холловская p' -подгруппа A из K такая, что $K = O_p(D)A$. По лемме Фраттини $G = KN_G(A)$.

Если $O_p(D) \subseteq \Phi(G)$, то $G = KN_G(A) = O_p(D)AN_G(A) = N_G(A)$. Следовательно, A нормальна в G . Но A — холловская p' -подгруппа из D , значит, D p -нильпотентна, противоречие. Следовательно, $O_p(D) \not\subseteq \Phi(G)$, и мы получаем $G = O_p(D)M$, где M — абнормальная p -нильпотентная максимальная подгруппа группы G . Теорема доказана.

Через $\bar{r}_p(G)$ будем обозначать арифметический p -ранг p -разрешимой группы G (см. [11]). Класс всех p -разрешимых групп со свойством $(|G|, \bar{r}_p(G)) = 1$ является насыщенной формацией.

Теорема 2. Пусть G — p -разрешимая группа такая, что $(|G|, \bar{r}_p(G)) = 1$. Тогда подгруппа $\Phi_\Delta^p(G)$ либо является p -нильпотентной, либо имеет нормальную силовскую p -подгруппу.

Доказательство. Предположим, что G — группа минимального порядка, для которой подгруппа $\Phi_\Delta^p(G)$ не является p -нильпотентной. По теореме 1, $G = O_p(\Phi_\Delta^p(G))M$, где M — абнормальная p -нильпотентная максимальная подгруппа.

По лемме 3, если $T = O_p(\Phi_\Delta^p(G)) \cap M$, то $\Phi_\Delta^p(G/T) = \Phi_\Delta^p(G)/T$. Если $\Phi_\Delta^p(G)/T$, то используя доказательство леммы 3, получаем, что $\Phi_\Delta^p(G)$ — p -нильпотентная подгруппа группы G . Противоречие. Следовательно, $\Phi_\Delta^p(G)/T$ не p -нильпотентна. Учитывая, что $\Phi_\Delta^p(G/T) = \Phi_\Delta^p(G)/T$ и $(|G|, \bar{r}_p(G))$, предположим, что $|G/T| < |G|$. Следовательно, $\Phi_\Delta^p(G/T)$ имеет силовскую p -подгруппу P/T , нормальную в G/T . Отсюда $P \triangleleft G$. Не ограничивая общности, можно считать, что $T = 1$. Так как $T = O_p(\Phi_\Delta^p(G)) \cap M = 1$ и M — максимальная подгруппа группы G , $O_p(\Phi_\Delta^p(G))$ — минимальная нормальная подгруппа группы G , являющаяся элементарной абелевой подгруппой.

Докажем, что $O_{p'}(G) = 1$. Предположим, что $O_{p'}(G) \neq 1$. Если $\Phi_\Delta^p(G/O_{p'}(G)) = B/O_{p'}(G)$ p -нильпотентна, то B — p -нильпотентна, и по лемме 3 $\Phi_\Delta^p(G)$ также p -нильпотентна, что противоречит предположению. Значит, $B/O_{p'}(G)$ не является p -нильпотентной, и из минимальности группы G силовская p -подгруппа из $B/O_{p'}(G)$ является нормальной. В частности, $\Phi_\Delta^p(G)O_{p'}(G)/O_{p'}(G)$ имеет силовскую p -подгруппу $PO_{p'}(G)/O_{p'}(G)$, нормальную в $G/O_{p'}(G)$. Отсюда $PO_{p'}(G) \triangleleft G$. По лемме Фраттини, $G = O_{p'}(G)N_G(P)$. Если $N_G(P) = G$, то получаем противоречие с выбором группы G . Значит, $N_G(P) \neq G$. Но так как $G = \Phi_\Delta^p(G)N_G(P)$, получаем, что $N_G(P)$ p -нильпотентна, а значит, $G/O_{p'}(G)$ также p -нильпотентна. Получаем, что G является p -нильпотентной. Противоречие. Остается заключить, что $O_{p'}(G) = 1$.

Так как $G = O_p(\Phi_\Delta^p(G))M$, $O_p(\Phi_\Delta^p(G)) \subseteq O_p(G)$ и $O_p(G) = O_p(\Phi_\Delta^p(G))(O_p(G) \cap M)$.

Пусть $D = O_p(G) \cap M$. Если $N_G(D) = M$, то M нормализует p -группу и по лемме Х.И.б. из [7] получаем, что $O_{p'}(M) \subseteq O_{p'}(G)$. Получили противоречие, так как M является p -нильпотентной подгруппой и $O_{p'}(G) = 1$. Следовательно, $N_G(D) = G$, а значит, $D \triangleleft G$.

Рассмотрим группу G/D . По аналогии с рассмотренным выше приемом несложно показать, что $\Phi_\Delta^p(G/D)$ не может быть p -нильпотентной, и в силу минимальности группы G при $D \neq 1$ получаем, что $\Phi_\Delta^p(G/D)$ имеет нормальную силовскую p -подгруппу.

Если $C/D = \Phi_{\Delta}^p(G/D)$, то $\Phi_{\Delta}^p(G)D/D \subseteq C/D$ и C/D имеет нормальную силовскую p -подгруппу. Отсюда следует, что $D = 1$. Так как $O_p(\Phi_{\Delta}^p(G)) = O_p(G)$ и по условию $(|G|, \bar{r}_p(G)) = 1$, то при $O_p(G) = p^s$ получаем $(|G|, s) = 1$. Кроме того, $(|M|, s) = 1$. На основании леммы I.IV 8.1 из [11] заключаем, что M является циклической подгруппой группы G . Противоречие.

Следствие 2.1. *Если G — p -сверхразрешимая группа, то $\Phi_{\Delta}^p(G)$ либо является p -нильпотентной, либо имеет нормальную силовскую p -подгруппу.*

Условие теоремы $(|G|, \bar{r}_p(G)) = 1$ является существенным. Существуют примеры, показывающие, что в p -разрешимой группе подгруппа $\Phi_{\Delta}^p(G)$ может быть не p -нильпотентной и не иметь нормальной силовской p -подгруппы (см. [12]).

Резюме. Исследуются пересечения абнормальных максимальных подгрупп в конечных группах.

Abstract. The intersections of the given systems of maximal subgroups of finite groups are investigated.

Литература

1. Frattini G. Intorno alla generazione dei gruppi di operazioni // Atti Acad. Dei Lincei 1885. Vol.1. P.281-285.
2. Шеметков, Л.А. Формации конечных групп / Л. А. Шеметков. — М.: Наука, 1978. — 267 с.
3. Селькин, М.В. Максимальные подгруппы в теории классов конечных групп / М.В. Селькин. — Мн.:Беларуская навука, 1997. — 144 с.
4. Шидов, Л.И. О максимальных подгруппах конечных групп / Л.И. Шидов // Сиб. матем. ж. — 1971. — Т. 12. — № 3. — С. 682–683.
5. Шлык, В.В. О пересечении максимальных подгрупп в конечных группах / В.В. Шлык // Матем. заметки. — 1973. — Т. 14. — № 3. — С. 429–439.
6. Gilotti A., Tiberio U. On the intersection of maximal non-supersoluble subgroups in a finite group // Bollettino U.M.I., 2000, 8, 3-B, p. 691-698.
7. Huppert B., Blackburn N. Finite Groups II. Berlin-Heidelberg-New York, 1982.
8. Huppert B., N.Blackburn N. Finite Groups III. Berlin-Heidelberg-New York, 1982.
9. Бородич, Р.В. О пересечениях заданных максимальных подгрупп конечных групп / Р.В.Бородич // Весці НАН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. — 2003. — № 4. — С. 98–102.
10. Thompson J.G. Normal p -complements for finite groups // J. Algebra 1, 1964, p. 43-46.
11. Huppert B. Endliche Gruppen I. Berlin-Heidelberg-New York, 1967.
12. Gilotti A, Tiberio U. On the intersection of a certain class of maximal subgroups of a finite group // Arch. Math., 1998, 71, p. 89-94.

УДК 512.542

О некоторых свойствах \mathfrak{F} -абнормальных подгрупп конечных групп

Р. В. БОРОДИЧ, М. В. СЕЛЬКИН

В данной работе изучается влияние свойств \mathfrak{F} -абнормальных максимальных подгрупп заданного индекса на формационное строение конечных групп. Необходимые определения и обозначения можно найти в работах [1-3]. В дальнейшем π — некоторое множество простых чисел, все рассматриваемые классы групп содержат единичные группы.

В настоящее время развитие теории пересечений максимальных подгрупп связано с введением функторного метода [3], позволяющего строить новые обобщения подгруппы Фраттини и исследовать влияние свойств этих подгрупп на строение группы.

Согласно [3] m -функтором называется функция Θ , которая сопоставляет каждой группе G некоторое множество $\Theta(G)$ её максимальных подгрупп и саму группу G ; при этом предполагается, что если $M \in \Theta(G)$, то $M^x \in \Theta(G)$ для всех $x \in G$.

Пусть P — множество всех простых чисел. Если $p \in P$ и $\pi \subseteq P$, то $\pi' = P \setminus \pi$; $p' = P \setminus \{p\}$. π -Подгруппа H группы G называется S_π -подгруппой, если $|G : H|$ не делится на числа из π .

Через $O_\pi(G)$ обозначают наибольшую нормальную π -подгруппу группы G .

Максимальная подгруппа, не являющаяся нормальной, называется абнормальной.

Напомним, что если \mathfrak{X} — непустая формация, то максимальная подгруппа M группы G называется \mathfrak{X} -нормальной (\mathfrak{X} -абнормальной), если $G^{\mathfrak{X}}$ содержится (соответственно не содержится) в M , где $G^{\mathfrak{X}}$ — \mathfrak{X} -корадикал группы G , т.е. пересечение всех тех нормальных подгрупп N группы G , для которых $G/N \in \mathfrak{X}$.

Класс групп \mathfrak{F}^* называется подпрямым замыканием формаций \mathfrak{H} и \mathfrak{F} , если из $G \in \mathfrak{F}^*$ следует, что $G^{\delta^*} \subseteq G^{\mathfrak{H}} \cap G^{\mathfrak{F}}$.

Согласно [3] на множестве m -функторов можно определить операции пересечения следующим образом: $(\Theta_1 \cap \Theta_2)(G) = \Theta_1(G) \cap \Theta_2(G)$.

Согласно работе [4] m -функтор Θ будем называть:

- 1) тривиальным, если $\Theta(G) \setminus \{G\}$ — множество всех максимальных подгрупп группы G для любой группы G ;
- 2) абнормально полным, если для любой группы G , множество $\Theta(G)$ содержит все абнормальные максимальные подгруппы группы G , вместе с самой группой G ;
- 3) \mathfrak{F} -абнормальным, если в каждой группе G m -функтор $\Theta(G)$ выделяет все \mathfrak{F} -абнормальные максимальные подгруппы вместе с самой группой G , где \mathfrak{F} — непустая формация.

Подгрупповой m -Функтор Θ называется регулярным [3], если выполняются следующие условия:

- 1) из $N \triangleleft G$ и $M \in \Theta(G)$ следует $MN/N \in \Theta(G/N)$;
- 2) из $M/N \in \Theta(G/N)$ следует $M \in \Theta(G)$.

Если Θ — m -функтор и $M \in \Theta(G)$, то M будем называть Θ -подгруппой группы G . Для пересечения всех Θ -подгрупп группы G будем использовать обозначение $\Phi_\Theta(G)$.

Обозначим через $\Phi_\Theta^{\mathfrak{F}}(G)$ пересечение всех \mathfrak{F} -абнормальных максимальных Θ -подгрупп группы G , а через $\Phi_{\Theta_\pi}^{\mathfrak{F}}(G)$ ($\Phi_{\Theta_\pi}^{\mathfrak{F}}(G)$) пересечение всех тех \mathfrak{F} -абнормальных

максимальных Θ -подгрупп группы G , индекс каждой из которых не является (является) π -числом, где \mathfrak{F} — формация. В случае отсутствия в группе G указанных подгрупп, полагаем указанные подгруппы равными группе G .

Если m -функтор Θ является тривиальным, то будем использовать ставшими традиционными обозначения $\Delta^{\mathfrak{F}}(G)$, $\Delta_{\pi}^{\mathfrak{F}}(G)$, $\Delta_{\pi}^{\mathfrak{F}}(G)$.

Теорема 1. Пусть Γ — формация, Θ — абнормально полный регулярный m -функтор. Если в группе G существуют Γ -абнормальные максимальные Θ -подгруппы, не принадлежащие Γ , то пересечение всех таких подгрупп совпадает с $\Phi_{\Theta}^{\Gamma}(G)$.

Доказательство. Предположим, что пересечение $\overline{\Phi}_{\Theta}^{\Gamma}(G)$ всех Γ -абнормальных максимальных Θ -подгрупп группы G , не принадлежащих формации Γ , совпадает с подгруппой $\Phi_{\Theta}(G)$. Так как

$$\Phi_{\Theta}(G) \leq \Phi_{\Theta}^{\Gamma}(G) \leq \overline{\Phi}_{\Theta}^{\Gamma}(G),$$

то $\Phi_{\Theta}^{\Gamma}(G) = \overline{\Phi}_{\Theta}^{\Gamma}(G)$.

Пусть $\overline{\Phi}_{\Theta}^{\Gamma}(G)$ не совпадает с подгруппой $\Phi_{\Theta}(G)$. Тогда $G = M\overline{\Phi}_{\Theta}^{\Gamma}(G)$, где M — некоторая максимальная Θ -подгруппа группы G . Если $M \in \Gamma$, то $G/\overline{\Phi}_{\Theta}^{\Gamma}(G) \in \Gamma$. Отсюда $\overline{\Phi}_{\Theta}^{\Gamma}(G)$ содержится в Γ -нормальных максимальных Θ -подгруппах, что невозможно. Поэтому M не входит в Γ и является Γ -нормальной максимальной Θ -подгруппой. Итак, всякая максимальная Θ -подгруппа, не содержащая $\overline{\Phi}_{\Theta}^{\Gamma}(G)$, является Γ -нормальной. Следовательно, $\overline{\Phi}_{\Theta}^{\Gamma}(G) \leq \Phi_{\Theta}^{\Gamma}(G)$. Теорема доказана.

Лемма 1. Пусть Θ — абнормально полный функтор, $K \subseteq N \triangleleft G$, $K \triangleleft G$, $K \subseteq \Phi_{\Theta}(G)$. Тогда справедливы следующие утверждения:

- 1) если N/K π -замкнута, то и N π -замкнута;
- 2) $F_p(N/K) = F_p(N)/K$.

Доказательство. Пусть N/K имеет нормальную S_{π} -подгруппу H/K . Так как $K \subseteq \Phi_{\Theta}(G)$ и $\Phi_{\Theta}(G) \subseteq \Lambda(G)$, то K нильпотентна. Нетрудно заметить, что S_{π} -подгруппа R из K является $S_{\pi'}$ -подгруппой в H . По теореме Шура-Цассехауза H содержит S_{π} -подгруппу S и любые две такие подгруппы сопряжены в H . По лемме 2.2.2, $G = N_G(S)H$, с учётом того, что $H = SR$, получаем $G = N_G(S)R$. Тогда по обобщенной лемме Фраттини подгруппа $N_G(S)$ является абнормальной подгруппой группы G . Следовательно, $N_G(S)$ содержится в некоторой максимальной Θ -подгруппе M из G . Поэтому $G = MR$. Так как $R \subseteq \Phi_{\Theta}(G) \subseteq M$, то $G = M$. Получили противоречие. Следовательно, S нормальна в G .

Второе утверждение леммы является следствием первого при $\pi = p'$. Лемма доказана.

Теорема 2. Пусть \mathfrak{F} — формация, Θ — абнормально полный регулярный m -функтор. Если всякая \mathfrak{F} -абнормальная максимальная Θ -подгруппа группы G , индекс которой в G есть π -число, принадлежит формации Γ , то выполняется одно из следующих условий:

- 1) $G^{\mathfrak{F}} \subseteq \Phi_{\Theta_{\pi}}^{\mathfrak{F}}(G)$;
- 2) $G^{\Gamma} \subseteq \Phi_{\Theta_{\pi}}^{\Gamma}(G)$;
- 3) $G^{\Gamma}/G^{\Gamma} \cap \Phi_{\Theta_{\pi}}^{\Gamma}(G)$ — главный фактор группы G , $\pi(G^{\Gamma}) = \pi(G^{\Gamma}/G^{\Gamma} \cap \Phi_{\Theta}^{\Gamma}(G))$, $\Phi_{\Theta_{\pi}}^{\mathfrak{F}}(G) = \Phi_{\Theta_{\pi}}^{\Gamma}(G)$, причем $\Phi_{\Theta}^{\Gamma}(G) = \Phi_{\Theta_{\pi}}^{\Gamma}(G)$, если $\Phi_{\Theta}^{\Gamma}(G) \neq \Phi_{\Theta_{\pi}}^{\Gamma}(G)$.

Доказательство. Пусть G — группа наименьшего порядка, для которой теорема не выполняется. Если в группе G отсутствуют \mathfrak{F} -абнормальные максимальные подгруп-

пы, индекс каждой из которых в G есть π -число, то $\Phi_{\Theta_\pi}^{\mathfrak{F}}(G) = G$ по определению. Следовательно, $G^{\mathfrak{F}} \subseteq \Phi_{\Theta_\pi}^{\mathfrak{F}}(G)$, что противоречит предположению. Поэтому в дальнейшем считаем, что в группе G существует по крайней мере одна \mathfrak{F} -абнормальная максимальная Θ -подгруппа M , индекс которой в G есть π -число. Значит, $G = MG^{\mathfrak{F}}$. По условию теоремы $M \in \Gamma$. Значит, $G/G^{\mathfrak{F}} \in \Gamma$. Следовательно, $G^\Gamma \subseteq G^{\mathfrak{F}}$.

Если в группе G отсутствуют Γ -абнормальные максимальные Θ -подгруппы, индекс каждой из которых в G есть π -число, то $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) = G$ и $G^\Gamma \subseteq \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$, что противоречит предположению. Поэтому в дальнейшем предполагаем, что в группе G существуют Γ -абнормальные максимальные Θ -подгруппы, индекс каждой из которых в G есть π -число, т. е. $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) \neq G$.

Если G^Γ — минимальная нормальная в G подгруппа, то либо $G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) = 1$, либо $G^\Gamma \subseteq \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. Если $G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) = 1$, то, проследив дальнейшее доказательство, можно сделать вывод, что теорема справедлива. Принадлежность же подгруппы G^Γ пересечению $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$ противоречит тому, что в группе G существует Γ -абнормальная максимальная Θ -подгруппа, индекс которой в G есть π -число.

Пусть G^Γ не является минимальной нормальной в G подгруппой. Рассмотрим участок главного ряда группы G :

$$1 = K_1 \subset K_2 \subset \dots \subset K_n = G^\Gamma.$$

Если K_t не содержится в $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$, где $1 \leq t \leq n$, то в группе G будет существовать такая Γ -абнормальная максимальная Θ -подгруппа M , индекс которой в G есть π -число, что $G = MK_t$. А так как $G^\Gamma \subseteq G^{\mathfrak{F}}$, то по условию все такие максимальные Θ -подгруппы принадлежат Γ . Значит, $G/K_t \in \Gamma$. Отсюда $G^\Gamma = K_t$. А это противоречит выбору подгруппы K_t . Следовательно, $K_t \subseteq \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$, и поэтому $G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$ — главный фактор группы G .

Пусть $\Phi_\Theta^\Gamma(G) = \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. Замечаем, что

$$\pi(G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)) \subseteq \pi(G^\Gamma).$$

Покажем теперь, что $\pi(G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_\Theta^\Gamma(G)) \subseteq \pi(G^\Gamma)$. Предположим, что существует такое простое число p , делящее порядок G^Γ , которое не делит $|G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)|$. Известно, что $G^\Gamma \cap \Phi_\Theta^\Gamma(G) \subseteq \Phi_\Theta(G)$. Значит, $G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) \subseteq \Phi_\Theta(G)$. В этом случае можно считать, что $G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$ — p -замкнутая и p' -замкнутая подгруппа. По лемме 1 получаем, что $G^\Gamma = G_p^\Gamma \times G_{p'}^\Gamma$. Подгруппа G_p^Γ будет нормальной в группе G . Ввиду выбора подгруппа G_p^Γ содержится в $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. Но тогда $G_{p'}^\Gamma$ не содержится в $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. Следовательно, в группе G найдется такая Γ -абнормальная максимальная Θ -подгруппа M , индекс которой в G есть π -число, что $G = MG_{p'}^\Gamma$. Но $G^\Gamma \subseteq G^{\mathfrak{F}}$, значит, $G = MG^{\mathfrak{F}}$. А по условию теоремы $M \in \Gamma$. Значит, $G^\Gamma = G_{p'}^\Gamma$, т.е. p не делит порядок G^Γ , что противоречит предположению.

Следовательно, не существует такого простого числа p , делящего $|G^\Gamma|$, которое не делило бы $G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. Потому

$$\pi(G^\Gamma) \subseteq \pi(G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)).$$

Учитывая, что $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) = \Phi_\Theta^\Gamma(G)$. Следовательно,

$$\pi(G^\Gamma) = \pi(G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_\Theta^\Gamma(G)).$$

В дальнейшем можно предположить, что $\Phi_\Theta^\Gamma(G) \subset \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. Поэтому в группе G найдется такая Γ -абнормальная максимальная Θ -подгруппа H , что $G = H\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$.

Если $H \in \Gamma$, то $G^\Gamma \subseteq \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. А это противоречит тому, что в группе G существуют Γ -абнормальные максимальные Θ -подгруппы. Значит, H не принадлежит Γ .

В группе G подгруппа $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) \neq G$, так как индекс Γ -абнормальной максимальной Θ -подгруппы H в G есть не π -число.

Так как $G^\Gamma \subseteq G^\mathfrak{F}$, то всякая Γ -абнормальная максимальная Θ -подгруппа является \mathfrak{F} -абнормальной. Поэтому в группе G все Γ -абнормальные максимальные Θ -подгруппы, индекс каждой из которых в G есть π -число, принадлежат Γ , и среди всех Γ -абнормальных максимальных Θ -подгрупп группы G , индекс каждой из которых в G есть не π -число, должны находиться все Γ -абнормальные максимальные Θ -подгруппы, не принадлежащие Γ , т. е. $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) \subseteq \overline{\Phi}_\Theta^\Gamma(G)$. Так как в группе существует Γ -абнормальная максимальная Θ -подгруппа, не принадлежащая Γ , то по теореме 1 имеем, что $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) = \overline{\Phi}_\Theta^\Gamma(G)$. Итак, получим, что $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) \subseteq \Phi_\Theta^\Gamma(G)$. Следовательно,

$$G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) \subseteq G^\Gamma \cap \Phi_\Theta^\Gamma(G) \subseteq \Phi_\Theta(G)$$

и $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) = \Phi_\Theta^\Gamma(G)$.

Покажем теперь, что $\pi(G^\Gamma) = \pi(G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G))$. Предположим, что существует такое простое число p , которое делит порядок G^Γ , но не делит $|G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)|$. Так как $G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) \subseteq \Phi_\Theta(G)$, то по лемме 1 получаем, что $G^\Gamma = G_p^\Gamma \times G_{p'}^\Gamma$. Ввиду выбора подгруппа G_p^Γ содержится в $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. Следовательно, $G_{p'}^\Gamma \subseteq \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$, ибо в противном случае $G^\Gamma \subseteq \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$, что противоречит существованию в группе G Γ -абнормальной максимальной Θ -подгруппы H , индекс которой в G не есть π -число. Замечаем, что $G_p^\Gamma \subseteq \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) = \Phi_\Theta^\Gamma(G) \subset \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. Если бы $G_{p'}^\Gamma \subseteq \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$, то $G^\Gamma \subseteq \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. А это противоречит существованию в группе G Γ -абнормальной максимальной Θ -подгруппы, индекс которой в G есть π -число. Значит, $G_{p'}^\Gamma$ не из $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)$. В группе G найдется такая Γ -абнормальная максимальная Θ -подгруппа F , индекс которой в G есть π -число, что $G = FG_{p'}^\Gamma$. А по условию теоремы все такие максимальные Θ -подгруппы принадлежат Γ . Значит, $G^\Gamma \subseteq G_{p'}^\Gamma$, т. е. p не делит $|G^\Gamma|$, что противоречит выбору p . Следовательно, $\pi(G^\Gamma) \subseteq \pi(G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G))$. Очевидно, $\pi(G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G)) \subseteq \pi(G^\Gamma)$. Поэтому $\pi(G^\Gamma) = \pi(G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G))$. Так как $\Phi_{\Theta_\pi}^\Gamma(G) = \Phi_\Theta^\Gamma(G)$, то $\pi(G^\Gamma) = \pi(G^\Gamma/G^\Gamma \cap \Phi_\Theta^\Gamma(G))$.

Покажем теперь, что $\Phi_{\Theta_\pi}^\mathfrak{F}(G) = \Phi_\Theta^\Gamma(G)$. Так как всякая Γ -абнормальная максимальная Θ -подгруппа является \mathfrak{F} -абнормальной, то $\Phi_{\Theta_\pi}^\mathfrak{F}(G) \subseteq \Phi_\Theta^\Gamma(G)$. Предположим, что $\Phi_{\Theta_\pi}^\mathfrak{F}(G) \subset \Phi_\Theta^\Gamma(G)$. Тогда в группе G найдется такая \mathfrak{F} -абнормальная максимальная Θ -подгруппа L , индекс которой в G есть π -число, что $G = L\Phi_\Theta^\Gamma(G)$. Но по условию L принадлежит Γ . Значит, $G/\Phi_\Theta^\Gamma(G) \in \Gamma$, что противоречит существованию в группе G Γ -абнормальных максимальных Θ -подгрупп, индекс каждой из которых в G есть π -число. Поэтому $\Phi_{\Theta_\pi}^\mathfrak{F}(G) = \Phi_\Theta^\Gamma(G)$. Теорема доказана.

Из данной теоремы в различных частных ситуациях следуют соответствующие результаты работ [5–8].

Теорема 3. Пусть \mathfrak{F}^* — подпрямое замыкание формаций \mathfrak{H} и \mathfrak{F} , являющееся локальной формацией, Θ — абнормально полный регулярный t -функтор. Если $G^{\mathfrak{F}^*}$ — π -разрешимая подгруппа и всякая \mathfrak{H} -абнормальная максимальная Θ -подгруппа, индекс которой в G есть π -число, \mathfrak{F} -нормальна, то $G^{\mathfrak{F}^*}$ — π' -подгруппа.

Доказательство. Пусть G — контрпример минимального порядка. Проверим выполнимость условия теоремы для факторгруппы G/K . Пусть M/K — \mathfrak{H} -абнормальная максимальная Θ -подгруппа G/K , индекс которой в G есть π -число. Тогда $|G : M|$ — π -число и M — \mathfrak{H} -абнормальная максимальная в G Θ -подгруппа. По условию теоремы

Θ -подгруппа M является \mathfrak{F} -нормальной. Учитывая регулярность m -функтора Θ получаем, что M/K есть \mathfrak{F} -нормальная максимальная Θ -подгруппа факторгруппы G/K . Кроме того, $G^{\mathfrak{F}^*}K/K \simeq G^{\mathfrak{F}^*}/G^{\mathfrak{F}^*} \cap K$ — π -разрешимая подгруппа.

Пусть в группе G существует нормальная π' -подгруппа $K \neq 1$. Тогда по предположению для G/K теорема выполняется. Следовательно, $G^{\mathfrak{F}^*}K/K$ — π' -подгруппа. Но тогда и $G^{\mathfrak{F}^*}$ есть π' -подгруппа, что противоречит предположению. Значит, в дальнейшем предполагаем, что в группе G не существует нормальных π' -подгрупп, отличных от единицы. Если $G^{\mathfrak{F}^*} = 1$, то эту подгруппу можно считать π' -подгруппой.

Пусть N — минимальная нормальная подгруппа из $G^{\mathfrak{F}^*}$, отличная от единицы. Так как $G^{\mathfrak{F}^*}$ — π -разрешимая подгруппа, то N есть p -подгруппа, где $p \in G$.

Если N не содержится в $\Phi_{\Theta}^{G^{\mathfrak{F}^*}}(G)$, то в группе G найдется такая \mathfrak{F}^* -абнормальная максимальная Θ -подгруппа H , что $G = HN$. Так как $G^{\mathfrak{F}^*} \subseteq G^{\mathfrak{F}} \cap G^{\mathfrak{H}}$, то H является и \mathfrak{H} -абнормальной и \mathfrak{F} -абнормальной. Но $|G : H|$ — π -число, и по условию теоремы Θ -подгруппа H должна быть \mathfrak{F} -нормальной. А это значит, что $G^{\mathfrak{F}} = 1$. Но тогда $G^{\mathfrak{F}^*} \subseteq G^{\mathfrak{F}} = 1$, что противоречит предположению. Значит, $N \subseteq \Phi_{\Theta}^{G^{\mathfrak{F}^*}}(G)$. По предположению $G^{\mathfrak{F}^*}/N$ есть π' -подгруппа. По лемме 1, $G^{\mathfrak{F}^*} = G_{\pi}^{\mathfrak{F}^*} \times G_{\pi'}^{\mathfrak{F}^*}$. Если $N \neq G^{\mathfrak{F}^*}$, то $G_{\pi'}^{\mathfrak{F}^*} \neq 1$, что противоречит предположению. Следовательно, $G^{\mathfrak{F}^*} = N$. Но тогда $G^{\mathfrak{F}^*} \subseteq \Phi_{\Theta}(G)$. Так как \mathfrak{F}^* — локальная формация, то $G \in \mathfrak{F}^*$ и $G^{\mathfrak{F}^*} = 1$, что противоречит предположению. Теорема доказана.

Теорема 4. Пусть \mathfrak{F}^* — подпрямое замыкание формаций \mathfrak{H} , \mathfrak{F} , являющиеся локальной формацией, Θ — абнормально полный регулярный m -функтор. Если $G^{\mathfrak{F}^*}$ — π -подгруппа и всякая \mathfrak{H} -абнормальная максимальная Θ -подгруппа группы G , индекс которой в G есть π -число, \mathfrak{F} -нормальна, то $G \in G^{\mathfrak{F}^*}$.

Доказательство. Пусть G — контрпример минимального порядка. Если $G^{\mathfrak{F}^*} \subseteq \Phi_{\Theta}(G)$, то $G \in \mathfrak{F}^*$, так как \mathfrak{F}^* — локальная формация. Значит, в дальнейшем предполагаем, что $G^{\mathfrak{F}^*}$ не содержится в $\Phi_{\Theta}(G)$. Тогда в группе G найдется такая максимальная Θ -подгруппа M , что $G = MG^{\mathfrak{F}^*}$. Но так как \mathfrak{F}^* — подпрямое замыкание формаций \mathfrak{H} и \mathfrak{F} , то $G^{\mathfrak{F}^*} \subseteq G^{\mathfrak{H}} \cap G^{\mathfrak{F}}$. Следовательно, M является и \mathfrak{H} -абнормальной, и \mathfrak{F} -абнормальной максимальной Θ -подгруппой. Но $|G : M|$ — π -число. По условию теоремы Θ -подгруппа M должна быть \mathfrak{F} -нормальной. А это возможно лишь в том случае, когда $G^{\mathfrak{F}} = 1$. Но тогда $G^{\mathfrak{F}^*} = 1$. Полученные противоречия доказывают теорему.

Если \mathfrak{H} — формация p' -групп, \mathfrak{F} — формация сверхразрешимых групп, тогда \mathfrak{F}^* принадлежит формации p -сверхразрешимых групп. Если же \mathfrak{H} — формация π' -групп, \mathfrak{F} — формация нильпотентных подгрупп, то \mathfrak{F}^* не входит в формацию π -разложимых групп. Поэтому из теоремы 4 следуют результаты работы [9].

Резюме. В работе исследуются свойства пересечений \mathfrak{F} -абнормальных Θ -подгрупп конечных групп.

Abstract. In the paper properties of \mathfrak{F} -abnormal maximal subgroups of finite groups are investigated.

Литература

1. Шеметков, Л.А. Формации конечных групп / Л. А. Шеметков. — М.: Наука, 1978. — 267 с.
2. Шеметков, Л.А. Конечные разрешимые группы / Л.А. Шеметков // Изв. АН СССР. Сер. Мат. — 1968. — Т. 32. — №3. — С. 577–589.

3. Селькин, М.В. Максимальные подгруппы в теории классов конечных групп / М.В. Селькин. — Мн.: Беларуская навука, 1997. — 144 с.
4. Бородич, Е.Н. О пересечении \mathfrak{F} -абнормальных максимальных Θ -подгрупп / Е.Н. Бородич, Р.В. Бородич // Весці АН Беларусі. Сер. фіз.-мат. навук. — 2007. — № 3. — С. 47–52.
5. Белоногов, В.А. Конечные группы с единственным классом максимальных инвариантных подгрупп / В.А. Белоногов // Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. — 1969. — № 3. — С. 114–117.
6. Русаков, С.А. О группах с максимальными подгруппами данного вида / С.А. Русаков // Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. — 1968. — №1. — С. 49–53.
7. Шлык, В.В. О влиянии формационных свойств максимальных подгрупп на строение конечной разрешимой группы / В.В. Шлык // ДАН БССР. — 1973. — Т. 17. — № 2. — С. 109–112.
8. Rose, J.S. The influence on a finite group of its proper abnormal structure / J.S. Rose // J. London Math. Soc. — 1965. — V. 40. — P. 348–361.
9. Сучков, В.К. О максимальных π -критических подгруппах конечной группы / В.К. Сучков // Изв. вузов. Математика. — 1968. — № 1. — С. 98–107.

УДК 512.542

О характеристике классов Фишера конечных групп

Е. Н. ЗАЛЕССКАЯ, С. Н. ВОРОБЬЁВ

В теории конечных разрешимых групп основополагающие результаты, связанные с описанием канонических подгрупп при помощи радикалов (в частности, нильпотентных инъекторов), были получены Фишером [1]. При этом ключевыми объектами в исследованиях стали классы групп, обладающие свойством частичной наследственности: классы групп G , замкнутые относительно произведений подгрупп вида PN , где P – подгруппа Силова и N – нормальная подгруппа в G . Такие классы в дальнейшем стали называть классами Фишера [2].

По мере развития теории классов важная роль классов Фишера в нахождении новых классов сопряженных подгрупп (подгрупп Фишера) и описании свойств инъекторов в конечных разрешимых группах была подтверждена работами Локетта [3], Андерсона [4], Хартли [2], Хоукса [5] и Хаука [6]. Для развития алгебры классов Фишера определяющими стали следующие два результата. Первый из них – теорема Локетта [3] о том, что произведение двух любых разрешимых классов Фишера является классом Фишера. Второй – изящная характеристика классов Фишера в терминах операции замыкания, определяемой свойством субнормальности нильпотентных корадикалов подгрупп, полученная Хоуксом [5].

Указанные результаты были доказаны лишь в классе \mathfrak{S} всех конечных разрешимых групп. В связи с этим возникает задача расширения этих результатов на универсум \mathfrak{E} всех конечных групп. Такая задача для произведений обобщенных классов Фишера (Λ -классов Фишера, где Λ – непустое множество) была реализована авторами [7].

В настоящей работе мы расширяем понятие класса Фишера в другом направлении. Мы определяем \mathfrak{X} -классы Фишера, операцию замыкания $S_{\mathfrak{F}_X}$ и посредством этой операции в классе \mathfrak{E} доказываем критерий \mathfrak{X} -класса Фишера. В работе рассматриваются только конечные группы. В определениях и обозначениях мы следуем монографии Л. А. Шеметкова [8] и книге [9].

1. Классы групп и операции замыкания. Напомним некоторые сведения об операциях на классах групп, которые мы будем использовать. Классом групп называется множество групп \mathfrak{K} со следующим свойством: если $G \in \mathfrak{K}$ и $H \cong G$, то $H \in \mathfrak{K}$. Заметим, что если S – множество групп, то через (S) мы будем обозначать наименьший класс групп, содержащий S . Если H – подгруппа группы G и $H \in \mathfrak{K}$, то H называют \mathfrak{K} -подгруппой.

Определение 1.1 (см. [9]). Отображение C называют операцией замыкания, если C сопоставляет каждому классу групп \mathfrak{K} класс $C\mathfrak{K}$ такой, что выполняются следующие условия:

- 1) $\mathfrak{K} \subseteq C\mathfrak{K}$;
- 2) $C(C\mathfrak{K}) = C\mathfrak{K}$;
- 3) если $\mathfrak{K}_1 \subseteq \mathfrak{K}_2$, то $C\mathfrak{K}_1 \subseteq C\mathfrak{K}_2$.

Класс групп \mathfrak{K} называется C -замкнутым, если $C\mathfrak{K} = \mathfrak{K}$. По определению будем считать, что если $\mathfrak{K} = \emptyset$, то $C\mathfrak{K} = \mathfrak{K}$ для любого оператора замыкания C .

Напомним определения следующих операций на классе групп \mathfrak{K} :

- $S\mathfrak{K} = (G : \exists H \in \mathfrak{K} \text{ и } G \leq H)$;
 $S_n\mathfrak{K} = (G : \exists H \in \mathfrak{K} \text{ и } G \leq\leq H)$;

$$Q\mathfrak{K} = (G/N : G \in \mathfrak{K}, N \trianglelefteq G);$$

$$N_0\mathfrak{K} = (G : \exists N_i \trianglelefteq G, N_i \in \mathfrak{K} (i = 1, \dots, r) \text{ и } G = \langle N_1, \dots, N_r \rangle);$$

$$R_0\mathfrak{K} = (G : \exists N_i \trianglelefteq G, G/N_i \in \mathfrak{K} (i = 1, \dots, r) \text{ и } N_1 \cap \dots \cap N_r = 1).$$

В терминах операций замыкания можно определить класс Фиттинга и формацию следующим образом.

Определение 1.2 (см. [9]). Класс групп \mathfrak{F} называют: 1) классом Фиттинга, если \mathfrak{F} является одновременно S_n -замкнутым и N_0 -замкнутым, то есть $\langle S_n, N_0 \rangle \mathfrak{F} = \mathfrak{F}$; 2) формацией, если \mathfrak{F} одновременно Q -замкнут и R_0 -замкнут, то есть $\mathfrak{F} = \langle Q, R_0 \rangle \mathfrak{F}$.

Используя операции замыкания, в каждой группе G можно выделить следующие два вида канонических подгрупп.

Пусть \mathfrak{K} – непустой класс групп. Тогда:

(а) если $\mathfrak{K} = N_0\mathfrak{K}$, то через $G_{\mathfrak{K}}$ обозначают наибольшую нормальную \mathfrak{K} -подгруппу из G (её называют \mathfrak{K} -радикалом группы G).

(б) если $\mathfrak{K}R_0 = \mathfrak{K}$, то через $G^{\mathfrak{K}}$ обозначают наименьшую нормальную подгруппу из G , факторгруппа по которой является \mathfrak{K} -группой (её называют \mathfrak{K} -корадикалом группы G).

2. \mathfrak{X} -класс Фишера и операция $S_{F_{\mathfrak{X}}}$. Класс групп называют наследственным (или S -замкнутым), если он замкнут относительно взятия подгрупп. Как уже отмечалось во введении, свойством частичной наследственности обладают классы Фишера. Напомним, что класс групп \mathfrak{F} называют классом Фишера [2], если \mathfrak{F} является N_0 -замкнутым, а из условия $K \subseteq H \subseteq G \in \mathfrak{F}, K \trianglelefteq G$ и $H/K \in \mathfrak{N}$, всегда следует, что $H \in \mathfrak{F}$.

Легко видеть, что любой класс Фишера является классом Фиттинга и что любой S -замкнутый класс Фиттинга является классом Фишера.

Расширим понятие класса Фишера следующим образом.

Определение 2.1. Пусть \mathfrak{X} – непустой класс групп. Тогда класс групп \mathfrak{F} назовём \mathfrak{X} -классом Фишера, если выполняются следующие условия:

1) $\mathfrak{F} = N_0\mathfrak{F} \neq \emptyset$;

2) если $K \subseteq H \subseteq G \in \mathfrak{F}, K \trianglelefteq G$ и $H/K \in \mathfrak{X}$, то $H \in \mathfrak{F}$.

Понятно, что в случае, когда $\mathfrak{X} = \mathfrak{N}$, класс \mathfrak{F} является классом Фишера. Если единичная группа содержится в \mathfrak{X} , то \mathfrak{X} -класс Фишера является классом Фиттинга. Тот факт, что не всякий \mathfrak{X} -класс Фишера является классом Фишера, подтверждает следующий

Пример 2.2. Пусть $\mathfrak{Z}^3 = (G \in \mathfrak{E} : Soc(G) \leq Z(G))$. Тогда, по теореме IX.2.8 [9], \mathfrak{Z}^3 – класс Фиттинга. Определим класс разрешимых групп $L_2(\mathfrak{Z}^3) = \mathfrak{F}$ следующим образом: $G \in \mathfrak{F}$ тогда и только тогда, когда индекс в G её \mathfrak{Z}^3 -инъектора является $3'$ -числом. Как было установлено Локеттом (см., например, IX.1.15 [9]), класс \mathfrak{F} является классом Фиттинга и $\mathfrak{F}S_{2'} = \mathfrak{F}$. Заметим также, что \mathfrak{F} , ввиду примера IX.3.15 [9], не является нормально вложенным классом Фиттинга. Следовательно, по теореме IX.3.4(a) [9], \mathfrak{F} не является классом Фишера. Пусть теперь $\mathfrak{X} = S_{2'}$ – класс всех разрешимых $2'$ -групп. Покажем, что \mathfrak{F} является \mathfrak{X} -классом Фишера. Пусть $G \in \mathfrak{F}$ и $K \subseteq H \subseteq G$, где K – такая нормальная подгруппа G , что $H/K \in \mathfrak{X}$. Так как $G \in \mathfrak{F}$, то $K \in \mathfrak{F}$ и поэтому $K \subseteq H_{\mathfrak{F}}$. Следовательно, ввиду изоморфизма $H/H_{\mathfrak{F}} \simeq H/K/H_{\mathfrak{F}}/K$ и Q -замкнутости класса \mathfrak{X} , заключаем, что $H/H_{\mathfrak{F}} \in \mathfrak{X}$. Отсюда следует, что $H \in \mathfrak{F}\mathfrak{X} = \mathfrak{F}$ и \mathfrak{F} является \mathfrak{X} -классом Фишера.

Следуя [5], для характеристизации \mathfrak{X} -классов Фишера определим теперь операцию частичной наследственности посредством свойства субнормальности корадикалов подгрупп.

Определение 2.3. Пусть \mathfrak{K} — класс групп и \mathfrak{X} — непустой R_0 -замкнутый класс, содержащий единичные группы. Тогда через $S_{F_{\mathfrak{X}}}$ обозначим операцию, которая сопоставляет каждой группе $G \in \mathfrak{K}$ класс групп $S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{K} = (H : H \subseteq G \in \mathfrak{K} \text{ и } H^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq G)$.

Если $\mathfrak{X} = \mathfrak{N}$, то операцию $S_{F_{\mathfrak{N}}}$ будем обозначать, как и в [5], через S_F . Свойства операции $S_{F_{\mathfrak{X}}}$ описывает следующий результат.

Теорема 2.4. Для любого непустого $\langle S, R_0 \rangle$ -замкнутого класса \mathfrak{X} операция $S_{F_{\mathfrak{X}}}$ является операцией замыкания.

Доказательство. Проверим для $S_{F_{\mathfrak{X}}}$ выполнение условий (1)–(3) определения 1.1. Пусть \mathfrak{F} и \mathfrak{H} — классы групп. В случае, если \mathfrak{F} или \mathfrak{H} пуст, теорема очевидна. Предположим, что \mathfrak{F} и \mathfrak{H} не пусты.

(1) Покажем, что $\mathfrak{F} \subseteq S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F}$. Действительно, если $G \in \mathfrak{F}$, то из $G^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq G$ вытекает $G \in S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F} = (X : X \subseteq Y \in \mathfrak{F} \text{ и } X^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq Y)$.

(2) Ввиду (1) заключаем, что $S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F} \subseteq S_{F_{\mathfrak{X}}}(S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F})$. Докажем обратное включение. Пусть $L \in S_{F_{\mathfrak{X}}}(S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F})$. Тогда найдётся такая группа $H \in S_{F_{\mathfrak{X}}}$, что $L \subseteq H$ и $L^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq H$. Теперь из того, что $H \in S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F}$, получаем, что существует такая группа $G \in \mathfrak{F}$, что $H \subseteq G$ и $H^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq G$. Так как $L \subseteq H$, то $LH^{\mathfrak{X}}/H^{\mathfrak{X}}$ — подгруппа \mathfrak{X} -группы $H/H^{\mathfrak{X}}$. Но класс \mathfrak{X} является S -замкнутым. Значит, $LH^{\mathfrak{X}}/H^{\mathfrak{X}} \in \mathfrak{X}$. Отсюда ввиду изоморфизма $LH^{\mathfrak{X}}/H^{\mathfrak{X}} \cong L/L \cap H^{\mathfrak{X}}$ следует, что $L/L \cap H^{\mathfrak{X}} \in \mathfrak{X}$. Но тогда, учитывая определение \mathfrak{X} -корадикала группы L , справедливы включения: $L^{\mathfrak{X}} \subseteq L \cap H^{\mathfrak{X}} \subseteq H^{\mathfrak{X}}$.

Значит, $L^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq H$ и $L^{\mathfrak{X}} \subseteq H^{\mathfrak{X}}$. Следовательно, мы имеем цепочку субнормальных подгрупп $L^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq H^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq G$.

Таким образом, $L^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq G$ и $L \subseteq G \in \mathfrak{F}$. Это означает, что $L \in S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F}$ и включение $S_{F_{\mathfrak{X}}}(S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F}) \subseteq S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F}$ доказано.

(3) Пусть $\mathfrak{F} \subseteq \mathfrak{H}$ и $G \in S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F}$. Тогда $G \subseteq H \in \mathfrak{F}$ и $G^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq H$. Так как по условию $H \in \mathfrak{H}$, то очевидно, $G \in S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{H}$ и справедливо включение $S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F} \subseteq S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{H}$.

Из (1)–(3) получаем, что $S_{F_{\mathfrak{X}}}$ — операция замыкания.

Теорема доказана.

Следствие 2.5. Для любой непустой наследственной формации \mathfrak{X} операция $S_{F_{\mathfrak{X}}}$ является операцией замыкания.

В случае, когда $\mathfrak{X} = \mathfrak{N}$, получаем

Следствие 2.6 (Хоукс [5]). Операция S_F является операцией замыкания.

3. Критерий \mathfrak{X} -класса Фишера. Пусть класс групп \mathfrak{X} и класс Фиттинга \mathfrak{F} не пусты. Тогда \mathfrak{F} является \mathfrak{X} -классом Фишера в случае, когда из условия $G \in \mathfrak{F}$, $K \subseteq \subseteq H \subseteq G$, $K \trianglelefteq G$ и $H/K \in \mathfrak{X}$ следует $H \in \mathfrak{F}$.

Заметим, что для $\mathfrak{X} = \mathfrak{N}$ класс Фиттинга \mathfrak{F} является классом Фишера.

Основной результат работы представляет следующая

Теорема 3.1. Для любой непустой наследственной формации \mathfrak{X} класс Фиттинга \mathfrak{F} является \mathfrak{X} -классом Фишера тогда и только тогда, когда \mathfrak{F} является $S_{F_{\mathfrak{X}}}$ -замкнутым классом.

Доказательство. Пусть $\mathfrak{F} = S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F}$. Покажем, что \mathfrak{F} является \mathfrak{X} -классом Фишера. Пусть $G \in \mathfrak{F}$ и K — такая нормальная подгруппа группы G , содержащаяся в подгруппе H из G , что $H/K \in \mathfrak{X}$. Тогда по определению \mathfrak{X} -корадикала группы H имеем включение $H^{\mathfrak{X}} \subseteq K$. Следовательно, $H^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq K \trianglelefteq H$.

Итак, $H^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq G$ и $H \subseteq G \in \mathfrak{F}$. Это означает, что $H \in S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F}$ и \mathfrak{F} является \mathfrak{X} -классом Фишера.

Пусть \mathfrak{F} — \mathfrak{X} -класс Фишера. Покажем справедливость равенства $S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F} = \mathfrak{F}$. Так как, по теореме 2.4, $S_{F_{\mathfrak{X}}}$ — операция замыкания, то $\mathfrak{F} \subseteq S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F}$.

Докажем обратное включение. Пусть $H \in S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F}$. Тогда существует такая группа $G \in \mathfrak{F}$, что $H \subseteq G$ и $H^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq G$. Следовательно, существует ряд подгрупп $H^{\mathfrak{X}} = H_t \trianglelefteq H_{t-1} \trianglelefteq \dots \trianglelefteq H_1 = G$. Без ограничения общности мы можем считать, что в данном ряду подгруппа H_i является H -инвариантной для каждого $i \in \{1, \dots, t\}$. Действительно, рассуждая по индукции, заключаем, что для $i = 1$ это очевидно. Пусть $H_i \neq H^{\mathfrak{X}}$. Тогда ввиду того, что $H^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq H_i$, получаем $H^{\mathfrak{X}} \trianglelefteq K \trianglelefteq L_i$. Следовательно, в качестве подгруппы H_{i+1} мы можем выбрать H -инвариантную подгруппу $\bigcap_{h \in H} K^h$.

Для доказательства $S_{F_{\mathfrak{X}}}$ -замкнутости класса \mathfrak{F} применим снова индукцию по i . Докажем, что $H_i H \in \mathfrak{F}$ для всех $i \in \{1, \dots, t\}$. Пусть $i = 1$. В этом случае, так как \mathfrak{F} является \mathfrak{X} -классом Фишера, получаем, что $H \in \mathfrak{F}$, и теорема верна. Предположим, что для некоторого s ($s > 1$) справедливо $H_s H \in \mathfrak{F}$. Тогда ввиду изоморфизма $H/H^{\mathfrak{X}}/H \cap H_{s+1}/H^{\mathfrak{X}} \cong H/H \cap H_{s+1}$ получаем, что $H/H \cap H_{s+1}$ является \mathfrak{X} -группой. Следовательно, $H/H \cap H_{s+1} \cong H H_{s+1}/H_{s+1} \in \mathfrak{X}$. Но по условию \mathfrak{F} является \mathfrak{X} -классом Фишера. Значит, $H_{s+1} H \in \mathfrak{F}$ и для $s = i + 1$ утверждение доказано. Таким образом, по индукции $H = H_t H \in \mathfrak{F}$ и включение $S_{F_{\mathfrak{X}}}\mathfrak{F} \subseteq \mathfrak{F}$ доказано. Теорема доказана.

В случае $\mathfrak{X} = \mathfrak{N}$ и $\mathfrak{F} \subseteq \mathfrak{S}$ из теоремы получаем известную характеристику классов Фишера.

Следствие 3.2 (Хоукс [7]). Класс Фиттинга \mathfrak{F} является классом Фишера тогда и только тогда, когда \mathfrak{F} является S_F -замкнутым.

Резюме. В статье получена характеристика класса Фишера с помощью операции замыкания.

Abstract. In the paper a characterization of generalized Fischer classes by a closure operation is obtained.

Литература

1. Fischer, B. Klassen konjugierter Untergruppen in endlichen auflösbaren Gruppen. Habilitationsschrift. Universität Frankfurt (M), 1966.
2. Hartley, B. On Fisher's dualization of formation theory / B. Hartley // Proc. London Math. Soc. – 1969. – Vol.3, №2. – P.193-207.
3. Lockett, F.P. On the theory of Fitting classes of finite solvable groups: Ph. D. thesis. University of Warwick / F.P. Lockett. – Warwick, 1971.
4. Anderson, W. Injectors in finite solvable groups/W. Andersen// J. Algebra. – 1975. – Vol. 36, №2. – p. 333–338.
5. Hawkes T.O. A Fitting Class Construction // Math. Proc. Cambridge Philos. Soc. 80, 1976. – P. 437-446.
6. Hauck P. Eine Bemerkung zur kleinsten normalen Fittingklassen/ P. Hauck // J. Algebra. – 1978. – Vol. 53, №4. – P. 395–401.
7. Залеская, Е.Н. О произведениях классов Фишера / Е.Н. Залеская, С.Н. Воробьев // Весник ВДУ. – 2008. – №3. – С. 101-105.
8. Шеметков, Л.А. Формации конечных групп / Л.А. Шеметков – М.: Наука, 1978. – 272 с.
9. Doerk, K. Finite Soluble Groups / K. Doerk, T. Hawkes. – Berlin – New York: Walter de Gruyter, 1992. – 891 p.

Влияние запаздывания на стационарные состояния неавтономного осциллятора Ван-дер-Поля

Р. И. КОРЖИК, С. П. ЖОГАЛЬ

В химии, биологии, электронике и в других областях естествознания широко распространены системы с предельным циклом, которые подвержены внешнему воздействию [1-3]. В данной работе рассматривается одна из таких систем – осциллятор Ван-дер-Поля с внешним периодическим воздействием. В [1] была рассмотрена подобная модель:

$$\ddot{x}[t] - (\lambda - x^2[t])\dot{x}[t] + x[t] = b \sin(\omega t). \quad (1)$$

Рассмотрим более общий случай этой системы, введя в него запаздывание δ . Математическая модель данной системы будет иметь вид:

$$\ddot{x}[t] - (\lambda - \beta x^2[t - \delta])\dot{x}[t - \delta] + x[t] = b \sin(\omega t). \quad (2)$$

Параметр b определяет безразмерную амплитуду, а ω задает частоту внешнего воздействия, отнесенную к частоте собственных малых колебаний осциллятора.

Решение уравнения (2) будем искать в виде квазигармонического колебания с медленно меняющейся амплитудой $A(t)$:

$$x(t) = \operatorname{Re}(A(t)e^{i\omega t}) = \frac{1}{2}A(t)e^{i\omega t} + \frac{1}{2}A^*(t)e^{-i\omega t}, \quad (3)$$

где $A^*(t)$ – комплексно сопряженное к $A(t)$.

На искомое решение наложим дополнительное условие:

$$\dot{A}e^{i\omega t} + \dot{A}^*e^{-i\omega t} = 0. \quad (4)$$

После подстановки (3) в уравнение (2) с учетом (4), введя замену

$$\tau = \frac{\lambda t}{2}, z = \frac{A}{2\sqrt{\lambda/\beta}}, \Delta = \frac{\omega^2 - 1}{\lambda\omega}, \varepsilon = \frac{b}{2\omega\lambda\sqrt{\lambda/\beta}}, \theta = \delta\omega, \quad (5)$$

получим уравнение с тремя параметрами:

$$\dot{z} + i\Delta e^{-i\theta} - z e^{-i\theta} + |z|^2 z e^{-i\theta} + \varepsilon = 0, \quad (6)$$

Функцию $z(\tau)$ можно записать в виде $\operatorname{Re}e^{i\varphi}$, где R и φ -- некоторые функции переменной τ . Тогда из уравнения (6), разделяя действительную и мнимую части, получаем:

$$\begin{aligned} \dot{R} &= (R - R^3) \cos \theta - \varepsilon \cos \varphi, \\ \dot{\varphi} &= -(1 - R^2) \sin \theta + (\varepsilon/R) \sin \varphi - \Delta. \end{aligned} \quad (7)$$

Пусть (R_0, φ_0) – особая точка системы (7). Тогда уравнения (7) в стационарном виде примут вид ($\dot{R} = \dot{\varphi} = 0$):

$$\begin{aligned} R_0(1 - R_0^2) \cos \theta &= \varepsilon \cos \varphi_0, \\ R_0(1 - R_0^2) \sin \theta + \Delta R_0 &= \varepsilon \sin \varphi_0. \end{aligned} \quad (8)$$

Возводя обе части в квадрат, складывая и делая замену $\xi_0 = R_0^2$, получим:

$$\xi_0^3 - 2(\Delta \sin \theta + 1)\xi_0^2 + (\Delta^2 + 2\Delta \sin \theta + 1)\xi_0 = \varepsilon^2. \quad (9)$$

Неотрицательные решения уравнения (9) относительно ξ_0 будут давать стационарные состояния.

Для исследования поведения системы вблизи стационарных точек была выписана система для отклонения от стационарного состояния и составлено соответствующее характери-

стическое уравнение. После применения критерия Рауса-Гурвица было получено следующее условие устойчивости:

$$\begin{aligned} 0 < J, \\ 0 > S, \end{aligned} \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} S &= (2 - 4\xi_0) \cos \theta, \\ J &= 3\xi_0^2 - 4(1 + \delta \sin \theta)\xi_0 + \delta^2 + 2\delta \sin \theta + 1. \end{aligned} \quad (11)$$

Для построения линий бифуркации приравняем S и J к нулю и решим полученные уравнения относительно ξ_0 . Решение уравнения $J = 0$ будет следующим:

$$\xi_{1,2} = \frac{2 + 2\Delta \sin \theta \pm \sqrt{(4 \sin^2 \theta - 3)\Delta^2 + 2\Delta \sin \theta + 1}}{3} \quad (12)$$

Подставив (12) в уравнение (9), мы получим линии в плоскости параметров (при фиксированном параметре θ), при пересечении которых J будет менять знак на противоположный (см. рисунок 1).

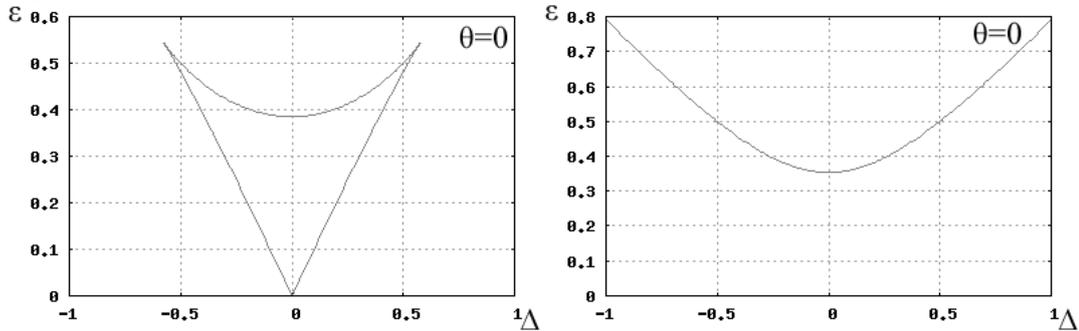


Рисунок 1 – Линии бифуркации при $\theta = 0$.

На основе уравнения (9) введем следующую функцию:

$$f(\xi_0) = \xi_0^3 - 2(\Delta \sin \theta + 1)\xi_0^2 + (\Delta^2 + 2\Delta \sin \theta + 1)\xi_0 - \varepsilon^2. \quad (13)$$

График этой функции будет представлять собой кубическую параболу. Пересечение этого графика с осью абсцисс дает стационарные точки. Можно показать, что производная функции (13) совпадает со вторым соотношением (11). Следовательно, при пересечении линий, показанных слева на рисунке 1, будет меняться и количество действительных решений уравнения (9). Внутри фигуры, изображенной на рисунке 1, стационарных состояний будет три, а вне фигуры - одно. Также в силу первого из условий (11), устойчивым может оказаться только то состояние равновесия, которое соответствует интервалам возрастания функции (13).

Вычислим ещё одну линию бифуркации из первого соотношения системы (11) при $S = 0$. Решением этого уравнения является $\xi_0 = 1/2$. Подставив это решение в уравнение (9), получим линию, при пересечении которой S будет менять знак. Полученная линия изображена на рисунке 1 справа. Когда параметр $\varepsilon \cong 0.4$, эта линия не изменяет устойчивость стационарных состояний, так как знак S изменяется у состояния равновесия, которое соответствует интервалу убывания функции (13). Однако когда $\varepsilon \cong 0.5$, наблюдается немного иная картина. Определим условие, при котором пересечению полученной линии не соответствует смена устойчивости. Для этого приравняем J к нулю и подставим $\xi_0 = 1/2$. В результате получаем $\Delta = \pm 1/2$. Таким образом, искомое условие будет выглядеть так:

$$-\frac{1}{2} < \Delta < \frac{1}{2}. \quad (14)$$

При значении $\Delta = \pm 1/2$ линия будет касаться одной из линий, показанных слева на рисунке 1. В результате в полуплоскости параметров, соответствующей положительному значению параметра Δ , образуется область, в которой будет три состояния равновесия, два из которых будут устойчивыми (см. рисунок 2).

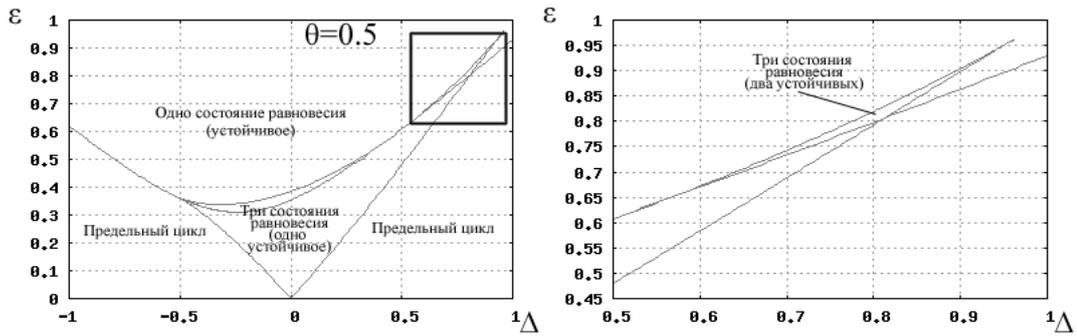


Рисунок 2 – Линии бифуркации при $\theta = 0.5$.

В полуплоскости параметров, соответствующей отрицательному значению Δ , также образуется область с тремя состояниями равновесия, но устойчивых состояний среди них не будет (см. рисунок 3). Кроме того, на построенном фазовом портрете для соответствующей области наблюдается предельный цикл.

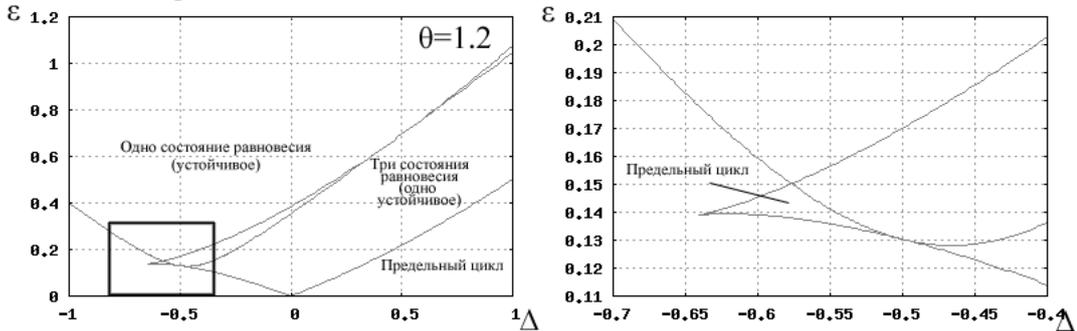


Рисунок 3 – Линии бифуркации при $\theta = 1.2$.

Изменение линий бифуркации при изменении параметра θ показано на рисунке 4.

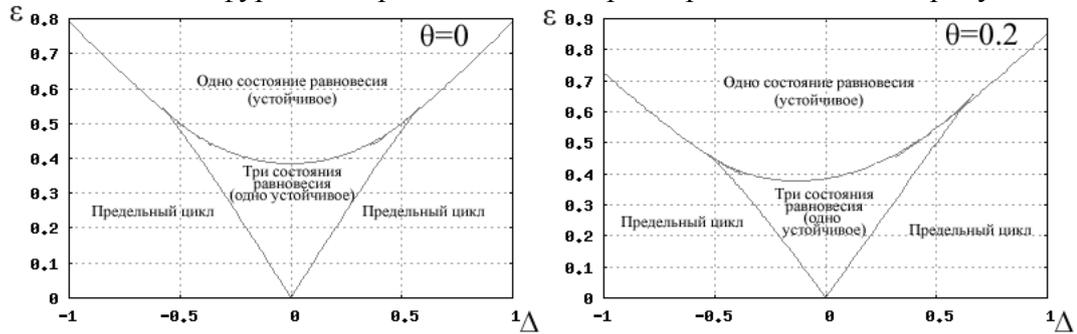


Рисунок 4 – Линии бифуркации при $\theta = 0, \theta = 0.2$.

Используя численные методы, исследуем область, отмеченную на рисунке 2, более детально. Фрагмент фазового портрета для параметров $\Delta = 0.8, \epsilon = 0.8, \theta = 0.5$ приведен на рисунке 5. На фазовом портрете видны две устойчивые стационарные точки.

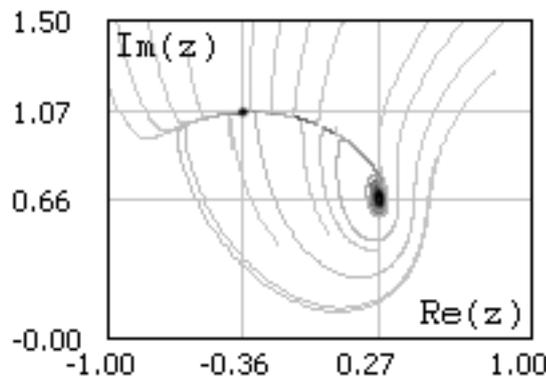


Рисунок 5 – Фазовый портрет уравнения (6) при $\Delta = 0.8, \epsilon = 0.8, \theta = 0.5$.

Определим бассейны притяжения этих точек. Для этого воспользуемся характеристическими показателями Ляпунова. Показатели Ляпунова характеризуют поведение изначально-

но близких точек в фазовом пространстве. Из рисунка 5 видно, что фазовые кривые качественно ведут себя по-разному, в зависимости от того, к какой стационарной точке они притягиваются.

Для каждого исследуемого начального состояния системы проведем численное решение уравнений на таком интервале времени, чтобы быть уверенными в том, что получившаяся точка находится в непосредственной близости к одной из стационарных точек. Затем произведем вычисление показателей Ляпунова при помощи обобщенного алгоритма Бенеттина с использованием ортогонализации Грама-Шмидта [4]. На рисунке 6 показаны два бассейна притяжения к стационарным точкам: к устойчивому узлу $z \approx (-0.36; 1.07)$ – более светлым тоном, к устойчивому фокусу $z \approx (0.27; 0.66)$ – более темным тоном.

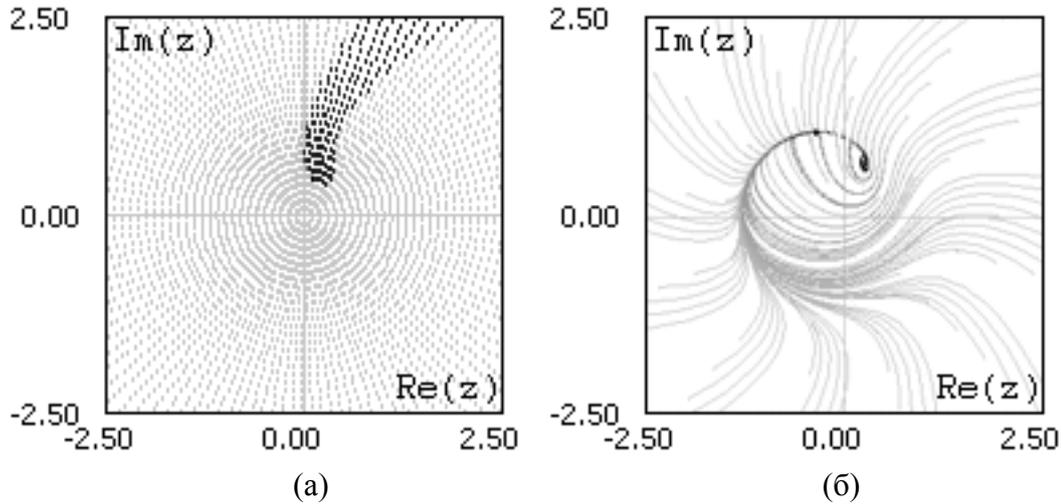


Рисунок 6 – Бассейны притяжения двух устойчивых стационарных точек (а) и фазовый портрет (б) уравнения (6) при $\Delta = 0.8, \varepsilon = 0.8, \theta = 0.5$.

Также следует отметить, что все расчеты производились при условии, что $0 \leq \theta < \pi/2$. При $\theta = \pi/2$ появится стационарное состояние типа центр. Это связано с тем, что S будет принимать значение 0 при любых значениях параметров ε, Δ . Фазовый портрет для параметров $\Delta = 0.8, \varepsilon = 0.8, \theta = \pi/2$ приведен на рисунке 7. На приведенном фазовом портрете видны два стационарных состояния типа центр.

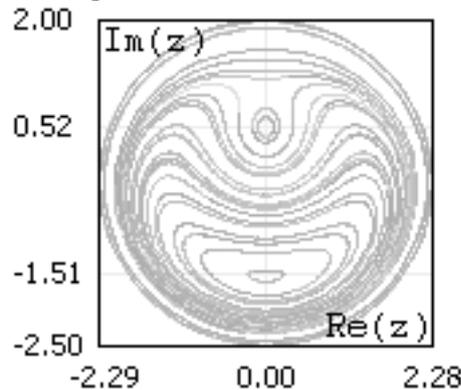


Рисунок 7 – Фазовый портрет уравнения (6) при $\Delta = 0.8, \varepsilon = 0.8, \theta = \pi/2$.

Таким образом, видно, что учет запаздывания в системе (1) при различных значениях параметра θ приводит к качественной смене динамики ее поведения.

Резюме. Исследовано влияние запаздывания на динамические режимы неавтономного осциллятора Ван-дер-Поля с внешним гармоническим воздействием. Выведено укороченное уравнение и построены карты динамических режимов для различных значений параметра, характеризующего запаздывание. С использованием показателей Ляпунова построены бассейны притяжений двух устойчивых стационарных состояний.

Abstract. The effect of delay on the dynamical regimes of non-autonomous Van der Pol's oscillator with an external harmonic influence was investigated. Truncated equation was derived and the maps of dynamical regimes for different values of the parameter characterizing the delay were presented. Basins of attraction of two stable stationary states are constructed using Lyapunov's exponents.

Литература

1. Кузнецов, А.П. Нелинейные колебания / А.П. Кузнецов, С.П. Кузнецов, Н.М. Рыскин. – Москва: Физматлит, 2002. – 292 с.
2. Ланда, П. С. Автоколебания в системах с конечным числом степеней свободы / П. С. Ланда. – Москва: Наука, 1980. – 360 с.
3. Пиковский, А. Синхронизация. Фундаментальное нелинейное явление / А. Пиковский, М. Розенблюм, Ю. Куртс. – Москва: Техносфера, 2003. – 496 с.
4. Кузнецов, С.П. Динамический хаос. Сер. Современная теория колебаний и волн. / С.П. Кузнецов. – 2 изд. – Москва: Физматлит, 2006. – 356 с.

Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступило 15.01.10

УДК 512.567.5

Самосовмещения элементов n -арных групп

Ю. И. КУЛАЖЕНКО

Многообразные примеры групп можно получить, рассматривая самосовмещения геометрических фигур (см. [1]). Естественно возникает задача о построении таких геометрических объектов, которые позволили бы рассматривать самосовмещения произвольной точки и множеств точек относительно фиксированных элементов этих объектов.

На основании результатов С.А.Русакова из [2, 3], в [4] было введено понятие самосовмещения точек (элементов) n -арной группы $G = \langle X, (\cdot)^{[-2]} \rangle$.

Будем говорить, что точка $p \in X$ самосовмещается, если существует последовательность симметрий этой точки относительно других точек из X , в результате которых точка p отображается в себя.

Напомним, что точку

$$S_a(b) = (ab^{[-2]} b a)^{2n-4}$$

называют точкой, симметричной точке b относительно точки a . Последовательность k элементов из X называют k -угольником G . n -Арную группу G называют полуабелевой, если для любой последовательности $x_1^n \in X^n$ выполняется равенство

$$(x_1 x_2^{n-1} x_n) = (x_n x_2^{n-1} x_1).$$

В данной работе приведены две теоремы, в которых установлено самосовмещение произвольной точки $p \in X$ относительно элементов последовательностей вершин шестиугольников G . Шестиугольники построены при помощи гомотетии с коэффициентом равным 2 и с центрами: в первом случае — одна из вершин шестиугольника

$$\langle S_b(a), S_c(a), S_c(b), S_a(b), S_a(c), S_b(c) \rangle, \quad (1)$$

а во втором — произвольная точка $v \in X$. Центры гомотетий, вершины шестиугольника (1) и соответствующие вершины полученных шестиугольников коллинеарны.

Обозначения, определения и результаты, используемые в работе, можно найти в [2–5].

Теорема 1. *Если G — полуабелева n -арная группа, a, b, c — произвольные точки из X , то произвольная точка $p \in X$ самосовмещается относительно элементов последовательности вершин шестиугольника*

$$\langle S_a(c), S_{S_b(c)}(S_a(c)), S_{S_b(a)}(S_a(c)), S_{S_c(a)}(S_a(c)), S_{S_c(b)}(S_a(c)), S_{S_a(b)}(S_a(c)) \rangle,$$

т.е. справедливо равенство

$$S_{S_a(b)}(S_a(c)) (S_{S_c(b)}(S_a(c)) (S_{S_c(a)}(S_a(c)) (S_{S_b(c)}(S_a(c)) (S_{S_a(c)}(p)))) = p. \quad (2)$$

Доказательство. Установим справедливость равенства (2). На основании определения 4 из [3], имеем

$$S_{S_a(c)}(p) = (S_a(c) p^{[-2]} p^{2n-4} S_a(c)) = (ac^{[-2]} c^{2n-4} ap^{[-2]} p^{2n-4} ac^{[-2]} c^{2n-4} a).$$

Тогда с учетом равенства 3.28 из [2], предложения 1 из [5] и того, что для любого $x \in X$ последовательности $x^{[-2]^{2n-4}} x$ и $xx^{[-2]^{2n-4}}$ являются нейтральными $2(n-1)$ -последовательностями,

$$\begin{aligned}
S_{S_{S_b(c)}(S_a(c))}(S_{S_a(c)}(p)) &= (S_{S_b(c)}(S_a(c)))(ac^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} ap^{[-2]^{2n-4}} p^{[-2]^{2n-4}} ac^{[-2]^{2n-4}} a)^{[-2]} \\
&\quad \underbrace{(ac^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} ap^{[-2]^{2n-4}} p^{[-2]^{2n-4}} ac^{[-2]^{2n-4}} a) \dots S_{S_b(c)}(S_a(c)))}_{2n-4} = \\
&= ((S_b(c)(S_a(c)))^{[-2]} \underbrace{S_a(c) \dots S_b(c)}_{2n-4} a^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ca^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} pa^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ca^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} (S_b(c)(S_a(c)))^{[-2]} \\
&\quad \underbrace{S_a(c) \dots S_b(c)}_{2n-4})) = \\
&= (bc^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} (ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} c) a^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} bc^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} (ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} c) \\
&\quad a^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} pa^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} (ca^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b) c^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} b \\
&\quad a^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} (ca^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b) c^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} b) = \\
&= (bc^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} ca^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} bc^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} ca^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} pa^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} cc^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} b \\
&\quad a^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} cc^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} b) = \\
&= (ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} pa^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b). \quad (3)
\end{aligned}$$

С учетом равенства (3), равенства 3.28 из [2], предложения 1 из [5], нейтральности последовательностей $x^{[-2]^{2n-4}} x$ и $xx^{[-2]^{2n-4}}$ для любого $x \in X$ имеем

$$\begin{aligned}
S_{S_{S_b(a)}(S_a(c))}(S_{S_{S_b(c)}(S_a(c))}(S_{S_a(c)}(p))) &= \\
&= (S_{S_b(a)}(S_a(c)))(ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b \\
&\quad a^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} pa^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b)^{[-2]} \\
&\quad \underbrace{(ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} pa^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b) \dots}_{2n-4} \\
&= (S_{S_b(a)}(S_a(c))) = ((ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b)(ac^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} a)^{[-2]} \underbrace{(ac^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} a) \dots (ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b)}_{2n-4}) \\
&\quad b^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ap^{[-2]^{2n-4}} p^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} \\
&\quad (ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b)(ac^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} a)^{[-2]} \underbrace{(ac^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} a) \dots (ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b)}_{2n-4}) = \\
&= (ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ca^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} bb^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} a \\
&\quad p^{[-2]^{2n-4}} p^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ca^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b) = \\
&= (ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} (cb^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} ab^{[-2]^{2n-4}} b^{[-2]^{2n-4}} a)p^{[-2]^{2n-4}} p^{[-2]^{2n-4}}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & (ab^{[-2]^{2n-4}} b ab^{[-2]^{2n-4}} c)a^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b) = \\
 & = (ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} (ab^{[-2]^{2n-4}} b ab^{[-2]^{2n-4}} b c)p^{[-2]^{2n-4}} \\
 & (cb^{[-2]^{2n-4}} b ab^{[-2]^{2n-4}} b a)a^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} ba^{[-2]^{2n-4}} a^{[-2]^{2n-4}} b) = (cp^{[-2]^{2n-4}} p c). \tag{4}
 \end{aligned}$$

С учетом равенства (4) и предыдущих рассуждений имеем, что

$$\begin{aligned}
 & S_{S_{S_c(a)}(S_a(c))}(S_{S_{S_b(a)}(S_a(c))}(S_{S_{S_b(c)}(S_a(c))}(S_{S_a(c)}(p)))) = \\
 & = (S_{S_c(a)}(S_a(c)))(cp^{[-2]^{2n-4}} p c)^{[-2]} \underbrace{(cp^{[-2]^{2n-4}} p c) \dots S_{S_c(a)}(S_a(c))}_{2n-4} = \\
 & = ((ca^{[-2]^{2n-4}} a c)(ac^{[-2]^{2n-4}} c a)^{[-2]} \underbrace{(ac^{[-2]^{2n-4}} c a) \dots (ca^{[-2]^{2n-4}} a c)c^{[-2]^{2n-4}} pc^{[-2]^{2n-4}} c^{[-2]^{2n-4}} (ca^{[-2]^{2n-4}} a c)}_{2n-4} \\
 & (ac^{[-2]^{2n-4}} c a)^{[-2]} \underbrace{(ac^{[-2]^{2n-4}} c a) \dots (ca^{[-2]^{2n-4}} a c)}_{2n-4}) = \\
 & = (ca^{[-2]^{2n-4}} a ca^{[-2]^{2n-4}} a ca^{[-2]^{2n-4}} a ca^{[-2]^{2n-4}} a cc^{[-2]^{2n-4}} c pc^{[-2]^{2n-4}} c ca^{[-2]^{2n-4}} a ca^{[-2]^{2n-4}} a ca^{[-2]^{2n-4}} a c \\
 & a^{[-2]^{2n-4}} c) = \underbrace{(ca^{[-2]^{2n-4}} a \dots pa^{[-2]^{2n-4}} a c \dots)}_4. \tag{5}
 \end{aligned}$$

Тогда с учетом равенства (5), равенства 3.28 из [2], предложения 1 из [5], имеем

$$\begin{aligned}
 & S_{S_{S_c(b)}(S_a(c))}(S_{S_{S_c(a)}(S_a(c))}(S_{S_{S_b(a)}(S_a(c))}(S_{S_{S_b(c)}(S_a(c))}(S_{S_a(c)}(p)))))) = \\
 & = (S_{S_c(b)}(S_a(c)))(\underbrace{ca^{[-2]^{2n-4}} a \dots pa^{[-2]^{2n-4}} a c \dots}_4)^{[-2]} \\
 & \underbrace{(\underbrace{ca^{[-2]^{2n-4}} a \dots pa^{[-2]^{2n-4}} a c \dots}_4 \dots S_{S_c(b)}(S_a(c)))}_{2n-4} = \\
 & = ((cb^{[-2]^{2n-4}} b c)(ac^{[-2]^{2n-4}} c a)^{[-2]} \underbrace{(ac^{[-2]^{2n-4}} c a) \dots (cb^{[-2]^{2n-4}} b c)}_{2n-4} \\
 & \underbrace{c^{[-2]^{2n-4}} c a \dots p^{[-2]^{2n-4}} p}_{4} \underbrace{ac^{[-2]^{2n-4}} c \dots}_{4} (cb^{[-2]^{2n-4}} b c)(ac^{[-2]^{2n-4}} c a)^{[-2]} \\
 & \underbrace{(ac^{[-2]^{2n-4}} c a) \dots (cb^{[-2]^{2n-4}} b c)}_{2n-4}) = \\
 & (cb^{[-2]^{2n-4}} b (ca^{[-2]^{2n-4}} a (ca^{[-2]^{2n-4}} a (cb^{[-2]^{2n-4}} b cc^{[-2]^{2n-4}} c a)c^{[-2]^{2n-4}} a)c^{[-2]^{2n-4}} a)c^{[-2]^{2n-4}} ap^{[-2]^{2n-4}} p \\
 & ac^{[-2]^{2n-4}} c (ac^{[-2]^{2n-4}} c (ac^{[-2]^{2n-4}} c (ac^{[-2]^{2n-4}} c cb^{[-2]^{2n-4}} b c)a^{[-2]^{2n-4}} a)c^{[-2]^{2n-4}} a)c^{[-2]^{2n-4}} a)b^{[-2]^{2n-4}} b c) = \\
 & = (cb^{[-2]^{2n-4}} b (aa^{[-2]^{2n-4}} a (aa^{[-2]^{2n-4}} a (ab^{[-2]^{2n-4}} b c)c^{[-2]^{2n-4}} c)c^{[-2]^{2n-4}} c)c^{[-2]^{2n-4}} ap^{[-2]^{2n-4}} p \\
 & ac^{[-2]^{2n-4}} c (cc^{[-2]^{2n-4}} c (cc^{[-2]^{2n-4}} c (cb^{[-2]^{2n-4}} b a)a^{[-2]^{2n-4}} a)a^{[-2]^{2n-4}} a)b^{[-2]^{2n-4}} b c) =
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= (cb^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} cc^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} ap^{[-2]2n-4} p^{[-2]2n-4} ac^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} cb^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} c) = \\
&= (cb^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ap^{[-2]2n-4} p^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} c). \tag{6}
\end{aligned}$$

Рассмотрим левую часть равенства (2) с учетом равенства (6) и предыдущих рассуждений. Имеем

$$\begin{aligned}
&S_{S_{S_a(b)}(S_a(c))}(S_{S_{S_c(b)}(S_a(c))}(S_{S_{S_c(a)}(S_a(c))}(S_{S_{S_b(a)}(S_a(c))}(S_{S_{S_b(c)}(S_a(c))}(S_{S_a(c)}(p)))))) = \\
&= (S_{S_a(b)}(S_a(c)))(cb^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ap^{[-2]2n-4} p^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} c)^{[-2]} \\
&\underbrace{(cb^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ap^{[-2]2n-4} p^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} c) \dots S_{S_a(b)}(S_a(c)))}_{2n-4} = \\
&= ((ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} a)(ac^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} a)^{[-2]}) \underbrace{(ac^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} a) \dots (ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} a)}_{2n-4} \\
&c^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ba^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} ba^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} pa^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} ba^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} bc^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} (ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} a) \\
&(ac^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} a)^{[-2]} \underbrace{(ac^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} a) \dots (ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} a)}_{2n-4} = \\
&= (ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} aa^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} (ca^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} a)c^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} ba^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} ba^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} p \\
&a^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} ba^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} bc^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} (ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} aa^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} c)a^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} a) = \\
&= (ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} cc^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} ba^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} ba^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} p \\
&a^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} ba^{[-2]2n-4} a^{[-2]2n-4} bc^{[-2]2n-4} c^{[-2]2n-4} cb^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} ab^{[-2]2n-4} b^{[-2]2n-4} a) = p
\end{aligned}$$

Следовательно, мы доказали справедливость равенства (2), а тем самым теорема доказана.

Следствие 1.1. Пусть a, b, c — произвольные точки из X . Произвольная точка $p \in X$ самосовмещается относительно элементов последовательности вершин каждого из следующих шестигульников: $\langle S_b(c), S_{S_b(a)}(S_b(c)), S_{S_c(a)}(S_b(c)), S_{S_c(b)}(S_b(c)), S_{S_a(b)}(S_b(c)), S_{S_a(c)}(S_b(c)) \rangle$, $\langle S_b(a), S_{S_c(a)}(S_b(a)), S_{S_c(b)}(S_b(a)), S_{S_a(b)}(S_b(a)), S_{S_a(c)}(S_b(a)), S_{S_b(c)}(S_b(a)) \rangle$, $\langle S_c(a), S_{S_c(b)}(S_c(a)), S_{S_a(b)}(S_c(a)), S_{S_a(c)}(S_c(a)), S_{S_b(c)}(S_c(a)), S_{S_b(a)}(S_c(a)) \rangle$, $\langle S_c(b), S_{S_a(b)}(S_c(b)), S_{S_a(c)}(S_c(b)), S_{S_b(c)}(S_c(b)), S_{S_b(a)}(S_c(b)), S_{S_c(a)}(S_c(b)) \rangle$, $\langle S_a(b), S_{S_a(c)}(S_a(b)), S_{S_b(c)}(S_a(b)), S_{S_b(a)}(S_a(b)), S_{S_c(a)}(S_a(b)), S_{S_c(b)}(S_a(b)) \rangle$, т.е. справедливости равенства

$$S_{S_{S_a(c)}(S_b(c))}(S_{S_{S_a(b)}(S_b(c))}(S_{S_{S_c(b)}(S_b(c))}(S_{S_{S_c(a)}(S_b(c))}(S_{S_{S_b(a)}(S_b(c))}(S_{S_b(c)}(p)))))) = p, \tag{7}$$

$$S_{S_{S_b(c)}(S_b(a))}(S_{S_{S_a(c)}(S_b(a))}(S_{S_{S_a(b)}(S_b(a))}(S_{S_{S_c(b)}(S_b(a))}(S_{S_{S_c(a)}(S_b(a))}(S_{S_b(a)}(p)))))) = p, \tag{8}$$

$$S_{S_{S_b(a)}(S_c(a))}(S_{S_{S_b(c)}(S_c(a))}(S_{S_{S_a(c)}(S_c(a))}(S_{S_{S_a(b)}(S_c(a))}(S_{S_{S_c(b)}(S_c(a))}(S_{S_c(a)}(p)))))) = p, \tag{9}$$

$$S_{S_{S_c(a)}(S_c(b))}(S_{S_{S_b(a)}(S_c(b))}(S_{S_{S_b(c)}(S_c(b))}(S_{S_{S_a(c)}(S_c(b))}(S_{S_{S_a(b)}(S_c(b))}(S_{S_c(b)}(p)))))) = p, \tag{10}$$

$$S_{S_{S_c(b)}(S_a(b))}(S_{S_{S_c(a)}(S_a(b))}(S_{S_{S_b(a)}(S_a(b))}(S_{S_{S_b(c)}(S_a(b))}(S_{S_{S_a(c)}(S_a(b))}(S_{S_a(b)}(p)))))) = p. \tag{11}$$

Теорема 2. Если G — полуабелева n -арная группа, a, b, c, v — произвольные точки из X , то произвольная точка $p \in X$ самосовмещается относительно элементов последовательности вершин шестиугольника

$$\langle S_{S_b(a)}(v), S_{S_c(a)}(v), S_{S_c(b)}(v), S_{S_a(b)}(v), S_{S_a(c)}(v), S_{S_b(c)}(v) \rangle,$$

т.е. справедливо равенство

$$S_{S_{S_b(a)}(v)}(S_{S_{S_c(a)}(v)}(S_{S_{S_c(b)}(v)}(S_{S_{S_a(b)}(v)}(S_{S_{S_a(c)}(v)}(S_{S_{S_b(c)}(v)}(p)))))) = p. \quad (12)$$

Доказательство. 1. Установим справедливость равенства (12). Для этого будем выполнять действия в скобках с учетом определения 4 из [3], равенства 3.28 из [2], предложения 1 из [5] и того, что для любого $x \in X$, последовательности $xx^{[-2]^{2n-4}}$ и $x^{[-2]^{2n-4}}x$ являются нейтральными $2(n-1)$ -последовательностями.

Имеем

$$\begin{aligned} S_{S_{S_b(c)}(v)}(p) &= (S_{S_b(c)}(v)p^{[-2]^{2n-4}}p S_{S_b(c)}(v)) = \\ &= ((S_b(c)v^{[-2]^{2n-4}}v S_b(c))p^{[-2]^{2n-4}}p (S_b(c)v^{[-2]^{2n-4}}v S_b(c))) = \\ &= ((bc^{[-2]^{2n-4}}c b)v^{[-2]^{2n-4}}v (bc^{[-2]^{2n-4}}c b)p^{[-2]^{2n-4}}p (bc^{[-2]^{2n-4}}c b)v^{[-2]^{2n-4}}v (bc^{[-2]^{2n-4}}c b)). \end{aligned} \quad (13)$$

Поскольку

$$S_{S_a(c)}(v) = (S_a(c)v^{[-2]^{2n-4}}v S_a(c)) = ((ac^{[-2]^{2n-4}}c a)v^{[-2]^{2n-4}}v (ac^{[-2]^{2n-4}}c a)), \quad (14)$$

то, с учетом (13) и (14), имеем

$$\begin{aligned} S_{S_{S_a(c)}(v)}(S_{S_{S_b(c)}(v)}(p)) &= ((ac^{[-2]^{2n-4}}c av^{[-2]^{2n-4}}v ac^{[-2]^{2n-4}}c a) \\ & \underbrace{(bc^{[-2]^{2n-4}}c bv^{[-2]^{2n-4}}v bc^{[-2]^{2n-4}}c bp^{[-2]^{2n-4}}p bc^{[-2]^{2n-4}}c bv^{[-2]^{2n-4}}v bc^{[-2]^{2n-4}}c b)^{[-2]^{2n-4}}}_{2n-4} \\ & \underbrace{(bc^{[-2]^{2n-4}}c bv^{[-2]^{2n-4}}v bc^{[-2]^{2n-4}}c bp^{[-2]^{2n-4}}p bc^{[-2]^{2n-4}}c bv^{[-2]^{2n-4}}v bc^{[-2]^{2n-4}}c b) \dots}_{2n-4} \\ & (ac^{[-2]^{2n-4}}c av^{[-2]^{2n-4}}v ac^{[-2]^{2n-4}}c a)) = \\ &= (ac^{[-2]^{2n-4}}c (av^{[-2]^{2n-4}}v (ac^{[-2]^{2n-4}}c (ab^{[-2]^{2n-4}}b c)b^{[-2]^{2n-4}}b v)b^{[-2]^{2n-4}}b c)b^{[-2]^{2n-4}}b p \\ & b^{[-2]^{2n-4}}b (cb^{[-2]^{2n-4}}b (vb^{[-2]^{2n-4}}b (cb^{[-2]^{2n-4}}b a)c^{[-2]^{2n-4}}a)v^{[-2]^{2n-4}}v a)c^{[-2]^{2n-4}}c a) = \\ &= (ac^{[-2]^{2n-4}}c cv^{[-2]^{2n-4}}v (vc^{[-2]^{2n-4}}c (cb^{[-2]^{2n-4}}b a)b^{[-2]^{2n-4}}b ab^{[-2]^{2n-4}}b ab^{[-2]^{2n-4}}b p \\ & b^{[-2]^{2n-4}}b (ab^{[-2]^{2n-4}}b (ab^{[-2]^{2n-4}}b (ab^{[-2]^{2n-4}}b c)c^{[-2]^{2n-4}}v)v^{[-2]^{2n-4}}v c)c^{[-2]^{2n-4}}c a) = \\ &= (\underbrace{(ab^{[-2]^{2n-4}}b \dots p}_{4} \underbrace{b^{[-2]^{2n-4}}b a \dots)}_{4}). \end{aligned} \quad (15)$$

Поскольку

$$S_{S_a(b)}(v) = (S_a(b)v^{[-2]^{2n-4}}v S_a(b)) = ((ab^{[-2]^{2n-4}}b a)v^{[-2]^{2n-4}}v (ab^{[-2]^{2n-4}}b a)) \quad (16)$$

то, с учетом (15) и (16), имеем

$$\begin{aligned}
& S_{S_{S_a(b)}(v)}(S_{S_{S_a(c)}(v)}(S_{S_{S_b(c)}(v)}(p))) = \\
& = ((ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ av^{[-2]}{}^{2n-4} v \ ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ a) \underbrace{(ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ \dots \ p \ b^{[-2]}{}^{2n-4} b \ a \ \dots)}_4 \underbrace{\quad}_4 \quad)^{[-2]} \\
& \underbrace{(ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ \dots \ p \ b^{[-2]}{}^{2n-4} b \ a \ \dots)}_4 \underbrace{\quad}_4 \dots (ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ av^{[-2]}{}^{2n-4} v \ ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ a) = \\
& = (ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ av^{[-2]}{}^{2n-4} v \ ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ a \underbrace{a^{[-2]}{}^{2n-4} b \ \dots \ p^{[-2]}{}^{2n-4}}_4 \quad)^{[-2]} \\
& \underbrace{ba^{[-2]}{}^{2n-4} a \ \dots \ ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ av^{[-2]}{}^{2n-4} v \ ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ a)}_4 = \\
& = (ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ (av^{[-2]}{}^{2n-4} v \ aa^{[-2]}{}^{2n-4} a \ b) a^{[-2]}{}^{2n-4} a \ ba^{[-2]}{}^{2n-4} a \ bp^{[-2]}{}^{2n-4} p^{[-2]} \\
& \quad ba^{[-2]}{}^{2n-4} a \ ba^{[-2]}{}^{2n-4} a \ (ba^{[-2]}{}^{2n-4} a \ av^{[-2]}{}^{2n-4} v \ a) b^{[-2]}{}^{2n-4} b \ a) = \\
& = (ab^{[-2]}{}^{2n-4} b \ (bv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ b) a^{[-2]}{}^{2n-4} a \ ba^{[-2]}{}^{2n-4} a \ bp^{[-2]}{}^{2n-4} p^{[-2]} \\
& \quad ba^{[-2]}{}^{2n-4} a \ ba^{[-2]}{}^{2n-4} a \ (av^{[-2]}{}^{2n-4} v \ b) b^{[-2]}{}^{2n-4} b \ a) = \\
& = ((av^{[-2]}{}^{2n-4} v \ b) a^{[-2]}{}^{2n-4} a \ bp^{[-2]}{}^{2n-4} p^{[-2]} \ ba^{[-2]}{}^{2n-4} a \ (bv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ a)) = \\
& = ((bv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ a) a^{[-2]}{}^{2n-4} a \ bp^{[-2]}{}^{2n-4} p^{[-2]} \ ba^{[-2]}{}^{2n-4} a \ (av^{[-2]}{}^{2n-4} v \ b)) = \\
& = (bv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ bp^{[-2]}{}^{2n-4} p^{[-2]} \ bv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ b). \tag{17}
\end{aligned}$$

Поскольку

$$S_{S_c(b)}(v) = (S_c(b)v^{[-2]}{}^{2n-4} S_c(b)) = ((cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ c)v^{[-2]}{}^{2n-4} v \ (cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ c)), \tag{18}$$

то, с учетом (17) и (18), имеем

$$\begin{aligned}
& S_{S_{S_c(b)}(v)}(S_{S_{S_a(b)}(v)}(S_{S_{S_a(c)}(v)}(S_{S_{S_b(c)}(v)}(p)))) = \\
& = ((cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ cv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ c) \underbrace{(bv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ bp^{[-2]}{}^{2n-4} p^{[-2]} \ bv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ b)}_{2n-4} \quad)^{[-2]} \\
& \underbrace{(bv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ bp^{[-2]}{}^{2n-4} p^{[-2]} \ bv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ b)}_{2n-4} \dots (cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ cv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ c) = \\
& = (cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ cv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ (cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ v) b^{[-2]}{}^{2n-4} b \ p \\
& \quad b^{[-2]}{}^{2n-4} b \ (vb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ c) v^{[-2]}{}^{2n-4} v \ cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ c) = \\
& = (cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ cv^{[-2]}{}^{2n-4} v \ (vb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ c) b^{[-2]}{}^{2n-4} b \ p \\
& \quad b^{[-2]}{}^{2n-4} b \ (cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ v) v^{[-2]}{}^{2n-4} v \ cb^{[-2]}{}^{2n-4} b \ c) =
\end{aligned}$$

$$= (\underbrace{cb^{[-2]2n-4} b \dots p}_{4} \underbrace{b^{[-2]2n-4} c \dots}_{4}). \quad (19)$$

Поскольку

$$S_{S_c(a)}(v) = (S_c(a)v^{[-2]2n-4}S_c(a)) = ((ca^{[-2]2n-4}c)v^{[-2]2n-4}(ca^{[-2]2n-4}c)), \quad (20)$$

то, с учетом (19) и (20), имеем

$$\begin{aligned} & S_{S_{S_c(a)}(v)}(S_{S_{S_c(b)}(v)}(S_{S_{S_a(b)}(v)}(S_{S_{S_a(c)}(v)}(S_{S_{S_b(c)}(v)}(p)))) = \\ & = ((ca^{[-2]2n-4}cv^{[-2]2n-4}ca^{[-2]2n-4}c)(\underbrace{cb^{[-2]2n-4} b \dots p}_{4} \underbrace{b^{[-2]2n-4} c \dots}_{4})^{[-2]}) \\ & \quad (\underbrace{cb^{[-2]2n-4} b \dots p}_{4} \underbrace{b^{[-2]2n-4} c \dots}_{4}) \dots (ca^{[-2]2n-4}cv^{[-2]2n-4}ca^{[-2]2n-4}c) = \\ & \quad \underbrace{(\dots)}_{2n-4} \\ & = (ca^{[-2]2n-4}cv^{[-2]2n-4}ca^{[-2]2n-4}c \underbrace{c^{[-2]2n-4} b \dots p}_{4} \underbrace{b^{[-2]2n-4} c \dots}_{4} ca^{[-2]2n-4}c \\ & \quad v^{[-2]2n-4}ca^{[-2]2n-4}c) = \\ & = ((ca^{[-2]2n-4}(cv^{[-2]2n-4}(ca^{[-2]2n-4}b)c^{[-2]2n-4}b)c^{[-2]2n-4}b)c^{[-2]2n-4}bp^{[-2]2n-4} \\ & \quad bc^{[-2]2n-4}(bc^{[-2]2n-4}(bc^{[-2]2n-4}(ba^{[-2]2n-4}c)v^{[-2]2n-4}c)a^{[-2]2n-4}c)) = \\ & = ((ba^{[-2]2n-4}(bv^{[-2]2n-4}(ba^{[-2]2n-4}c)c^{[-2]2n-4}c)c^{[-2]2n-4}c)c^{[-2]2n-4}bp^{[-2]2n-4} \\ & \quad bc^{[-2]2n-4}(cc^{[-2]2n-4}(cc^{[-2]2n-4}(ca^{[-2]2n-4}b)v^{[-2]2n-4}b)a^{[-2]2n-4}b) = \\ & = (ba^{[-2]2n-4}bv^{[-2]2n-4}ba^{[-2]2n-4}bp^{[-2]2n-4}ba^{[-2]2n-4}bv^{[-2]2n-4}ba^{[-2]2n-4}b). \quad (21) \end{aligned}$$

Поскольку

$$S_{S_b(a)}(v) = (S_b(a)v^{[-2]2n-4}S_b(a)) = (ba^{[-2]2n-4}bv^{[-2]2n-4}ba^{[-2]2n-4}b), \quad (22)$$

то, с учетом (21) и (22), имеем

$$S_{S_{S_b(a)}(v)}(S_{S_{S_c(a)}(v)}(S_{S_{S_c(b)}(v)}(S_{S_{S_a(b)}(v)}(S_{S_{S_b(c)}(v)}(p)))) = p,$$

т.е. мы установили справедливость равенства (12), а тем самым и справедливость теоремы 2.

Теорема доказана.

Резюме. Автор рассматривает самосовмещения элементов n -арной группы относительно некоторой последовательности элементов.

Abstract. The author considers a self-combination of elements in a n -ary group concerning some sequence of elements.

Литература

1. Александров, П.С. Введение в теорию групп / П.С. Александров; М.: Наука, 1980. — 144 с.
2. Русаков, С.А. Алгебраические n -арные системы: Силовская теория n -арных групп / С.А. Русаков; Минск: Беларуская навука, 1992. — 264 с.
3. Русаков, С.А. Некоторые приложения теории n -арных групп / С.А. Русаков; Минск: Беларуская навука, 1998. — 182 с.
4. Кулаженко, Ю.И. Самосовмещение элементов n -арных групп / Ю.И. Кулаженко // Некоторые вопросы алгебры и прикладной математики: Сб. научн. тр. / Под ред. Т.И. Васильевой, Гомель, 2002. — С. 66–71.
5. Кулаженко, Ю.И. Геометрия параллелограммов / Ю.И. Кулаженко // Вопросы алгебры алгебры и прикладной математики: Сб. научн. тр. / Под ред. С.А. Русакова, Гомель, 1995. — С. 47–64.

Гомельский государственный
университет имени Ф. Скорины

Поступило 18.01.10

Содержание

Биология

Лазарева М.С., Климович Л.К., Щеголихина О.В. <i>Типологическая структура и ведение хозяйства в дубравах подзоны дубово-темнохвойных лесов Беларуси</i>	3
Багинский В.Ф., Усс Е.А. <i>Анализ особенностей ведения хозяйства в смешанных древостоях</i>	9
Жученко Ю.М., Кривошлыков В.А. <i>Обоснование оптимизации системы радиационного контроля</i>	23
Сапегин Л.М., Дайнеко Н.М. <i>Синтаксономия и геоботаническая характеристика луговых экосистем поймы р. Сож пригорода г. Гомеля</i>	29
Гончаренко Г.Г. <i>Определительная таблица для семейств чешуекрылых (Lepidoptera) Беларуси и сопредельных государств</i>	40
Хаданович А.В., Свириденко В.Г., Дроздова Н.И. <i>Распределение ионов тяжелых металлов в системе почва – растение в условиях естественного фитоценоза</i>	56
Ефименко В.М. <i>Особенности изменчивости прироста ствольной древесины в сосново-березовых насаждениях</i>	64
Рассашко И.Ф., Разлуцкий В.И. <i>Временные и пространственные изменения планктона трансграничной реки Инуть</i>	70
Зятков С.А., Лысенко А.Н., Гончаренко Г.Г. <i>Связь мутантных генов окраса и заболеваемости в популяциях домашних кошек (Felis catus) г. Гомеля</i>	77
Дроздова Н.И., Свириденко В.Г., Хаданович А.В., Панфиленко О.А. <i>Исследование ферментативной активности дерново-подзолистых почв</i>	83
Игнатенко В.А., Лысенкова А.В., Филиппова В.А. <i>Восстановление карбоксигемоглобина до оксигемоглобина</i>	89
Евтухова Л.А., Потылкина Т.В., Резникова Н.И., Потапченко А.А. <i>Исследование гормонального статуса жителей г.Гомеля при аутоиммунном поражении</i>	97
Макаренко Т.В. <i>Содержание тяжелых металлов в растениях различных экологических групп водоемов г. Гомеля и прилегающих территорий</i>	101
Гулаков А.В. <i>Патоморфологические изменения органов мочеполовой системы диких промысловых копытных, добытых на территории зоны отчуждения</i>	107
Пантелеева С.М., Мечковский С.А., Радкевич Т.И. <i>Сорбция ионов щелочных и щелочноземельных металлов алкилрезорциновым пенопластом</i>	113
Дроздов Д.Н. <i>Обоснование выбора реперных населенных пунктов для целей оптимизации проведения мониторинга доз внутреннего облучения на радиоактивнозагрязненных территориях Республики Беларусь</i>	121
Пролесковский Ю.А., Свириденко В.Г., Зыкова Е.Л. <i>Активные формы магния и использование их в методе соосаждения</i>	126
Багинский В.Ф., Колодий П.В. <i>Концептуальный подход к выращиванию смешанных хвойных и дубовых древостоев с примесью мягколиственных пород</i>	132
Тагай С.А. <i>Распределение ²⁴¹Am в профиле почвы зоны отчуждения ЧАЭС в условиях затопления территории</i>	139
Беляева Л.А., Медведева Г.А. <i>Оценка биохимических показателей крови КРС в зависимости от витаминного состава растительных кормов</i>	146
Дегтярева Е.И. <i>Степень экстрагируемости ¹³⁷CS из сена (опыты in vitro)</i>	151
Игнатенко В.А., Подоляко В.А., Евтухова Л.А. <i>Взаимодействие энергии электромагнитных волн КВЧ-и СВЧ диапазона с биологическими объектами</i>	156
Филиппова В.А., Лысенкова А.В., Одинцова М.В. <i>Кинетический подход к описанию стабильности дисперсий холестерина</i>	162
Галиновский Н.Г. <i>Жесткокрылые (Ectognatha, Coleoptera) прибрежных урбоценозов р. Сож</i>	166
Гончаренко Г.Г. <i>К вопросу о видовом разнообразии булавоусых чешуекрылых Гомельского Полесья</i>	173

Ковалева О.В. <i>Определение трофического статуса водоемов урбанизированной территории</i>	176
ЭКОНОМИКА	
Дергун Л. В. <i>Оценка качества основного капитала</i>	181
МАТЕМАТИКА	
Белокурский М. С. <i>Нахождение отражающей функции сильно вложимых дифференциальных систем</i>	187
Бородич Р. В. <i>О пересечении абнормальных подгрупп</i>	192
Бородич Р. В., Селькин М. В. <i>О некоторых свойствах \mathcal{F}-абнормальных подгрупп конечных групп</i>	196
Залеская Е. Н., Воробьев С. Н. <i>О характеристике классов Фишера конечных групп</i>	202
Коржик Р. И., Жогаль С. П. <i>Влияние запаздывания на стационарные состояния неавтономного осциллятора Ван-дер-Поля</i>	206
Кулаженко Ю. И. <i>Самосовмещения элементов n-арных групп</i>	211

Contents

BIOLOGY

M.S.Lazareva, L.K.Klimovich, O.V.Shchegolihina. <i>Typological structure of spruce-oak stands in Belarus and their keeping</i>	3
V.F.Baginskiy, Y.A.Uss. <i>Peculiarities of keeping mixed species stands</i>	9
Y.M.Zhuchenko, V.A.Krivoshlikov. <i>Optimization of contamination monitoring system</i>	23
L.M.Sapegin, N.M.Daineko. <i>Geo-botanical characteristics and syntaxonomy of Gomel sub-urb meadow ecosystems</i>	29
G.G.Goncharenko. <i>Identification table for the families of Lepidoptera of Belarus and adjacent territories</i>	40
A.V.Hadanovich, V.G.Sviridenko, N.I.Drozdova. <i>Heavy metal ions distribution in the solid soil - plant systems in the condition of natural phytocenosis</i>	56
V.M.Yefimenko. <i>Peculiarities of the changes in the accretion of trunk wood in coniferous – birch stands</i>	64
I.F.Rassashko, V.I.Razlutskiy. <i>Temporal and areal changes of plankton of the transboundary river Iput</i>	70
S.A.Zyatkov, A.N.Lisenko, G.G.Goncharenko. <i>Connection between the mutant genes of colour and morbidity in the populations of domestic cats (Felis catus)</i>	77
N.I.Drozdova, V.G.Sviridenko, A.V.Hadanovich, O.A.Panfilenko. <i>Study of the enzymatic activity of sod-podzol loam soils</i>	83
V.A.Ignatenko, A.V.Lisenkova, V.A.Fillipova. <i>Reduction of carboxyhemoglobin into oxihemoglobin</i>	89
L.A.Yevtuhova, T.V.Potilkina, N.I.Reznikova, A.A.Potapchenko. <i>Study of hormone status of Gomel citizens in autoimmune affection</i>	97
T.V.Makarenko. <i>Concentration of heavy metals in plants of various ecological groups in reservoirs of Gomel and adjacent territories</i>	101
A.V.Gulakov. <i>Pathological and morphological changes of the organs of the urino-genital system of wild game hoofed animals living in the exclusion zone</i>	107
S.M.Panteleyeva, S.A.Mechkovskiy, T.I.Radkevich. <i>Sorption of alkaline and alkaline-earth metals by alkyl-resorcin foam plastic</i>	113
D.N.Drozdov. <i>Grounds for choosing standard settlements for monitoring the doses of internal irradiation in the contaminated areas in the Republic of Belarus</i>	121
Y.A.Proleskovskiy, V.G.Sviridenko, Y.L.Zikova. <i>Active forms of magnesium and their application in the co-deposition method</i>	126
V.F.Baginskiy, P.V.Kolodiy. <i>Conceptual approach to the cultivation of mixed coniferous and oak stands with the admixture of soft deciduous species</i>	132
S.A.Tagay. ²⁴¹ Am distribution in the soil of the Chernobyl exclusion zone in the conditions of flooding.....	139
L.A.Belyaeva, G.A.Medvedeva. <i>Estimation of bio-chemical characteristics of blood depending on the vitamin composition of vegetable forage</i>	146
Y.E.Degtyaryova. <i>Degree of ¹³⁷Cs extraction from hay (tests in vitro)</i>	151
V.A.Ignatenko, V.A.Podolyako, L.A.Yevtuhova. <i>Interaction of electromagnetic waves of the EHF–SHF range with biological objects</i>	156
V.A.Filippova, A.V.Lisenkova, M.V.Odintsova. <i>Kinetic approach to the description of the cholesterol dispersions stability</i>	162
N.G.Galinovskiy. <i>Coleoptera of the riverside communities of the river Sozh</i>	166
G.G.Goncharenko. <i>Species variety of rhopalocera lepidopterous insects of Gomel Polessiye</i>	173
O.V.Kovalyova. <i>Determination of the trophic status of reservoirs of a city zone</i>	176

ECONOMYCS

L.V.Dergun. <i>Assessment of quality of capital</i>	181
---	-----

MATHEMATICS

M. S. Belokursky. <i>A construction of reflecting function for the differential systems</i>	187
---	-----

R.V. Borodich. <i>On the intersection of abnormal subgroups</i>	192
R.V. Borodich, M.V. Selkin. <i>On some properties of \mathcal{F}-abnormal subgroups of finite groups</i>	196
E.N. Zalesskaya, S.N. Vorob'ev. <i>On characterization of Fischer classes of finite groups</i>	202
R.I. Korzhyk, S.P. Zhogal. <i>Influence of delay on the stationary states of non-autonomous Van der Pol's oscillator</i>	206
Yu. I. Kulazhenko. <i>Self-combinations of elements in a n-ary group</i>	211

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Статья представляется в редакцию в двух экземплярах на белорусском, русском или английском языках и является оригиналом для печати. Объем статьи, как правило, не должен превышать 10 страниц, и ее разметка не требуется. Статья должна иметь разрешение соответствующего научного учреждения на опубликование. Статья должна иметь индекс по Универсальной десятичной классификации (УДК), к ней следует приложить краткое резюме (на русском и английском языках), название статьи, фамилии и инициалы авторов на английском языке. Ее необходимо подписать всем авторам, указать полное название учреждения, где выполнена работа, а также почтовый адрес, номер телефона (служебный и домашний). Плата за опубликование статей не взимается.

Авторы представляют на дискете (либо по электронной почте e-mail: vesti@gsu.by) tex-файл со статьей, подготовленной в LaTeX'e с опцией 12pt в стандартном стиле article (`\textwidth 165 mm, \textheight 245 mm`). Аналогичны требования для статей, набранных в редакторе MS Word. При наборе формул в редакторе MS Word необходимо использовать Microsoft Equation. Для набора формул не должны использоваться пакеты сторонних разработчиков (MathType и др.). Занумерованные формулы выключаются в отдельную строку, номер формулы ставится у правого края страницы. Нумеровать следует лишь те формулы, на которые имеются ссылки.

Статьи, претендующие на научный приоритет, оформляются в виде кратких сообщений объемом до 2 страниц текста и, как правило, публикуются в ближайших номерах журнала.

Ссылки в тексте обозначаются порядковым номером в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

Поступившие в редакцию статьи направляются на рецензию специалистам. Основным критерием целесообразности публикации является новизна и информативность статьи. Авторы не должны направлять статьи, которые уже опубликованы, либо приняты к печати в других изданиях. Если по рекомендации рецензента статья возвращается автору на доработку, то переработанная рукопись вновь рассматривается редколлегией, и датой поступления считается день получения редакцией окончательного ее варианта. Лицам, осуществляющим послевузовское обучение, предоставляется право первоочередного опубликования статей.

Технический редактор *И. В. Близнец*. Корректор *Е. Л. Хазанова*

Подписано в печать 08.06.10 г. Формат 60 × 84 1/8. Бумага офсетная.
Печать офсетная. Усл.п.л. 26,04 Уч.-изд.л. 22,7 Тираж 100 экз. Заказ № 409

Издатель – Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины
246019, Гомель, ул. Советская, 104
Лицензия № 02330/0549481 от 18 мая 2009.

Отпечатано на полиграфической технике ГГУ им. Ф.Скорины
Лицензия № 02330/0150450 от 3 февраля 2009