

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ АНАЛИЗ
РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
В АВТОМОРФНЫХ УСЛОВИЯХ БЕЛАРУСИ**

**Болботунов А.Л., канд. с.-х. наук, доц.; Рымашевская М.В.
(Полоцкий государственный университет)**

Представлен анализ радиального прироста сосны в автоморфных условиях по 19 пробным площадям. Выполнен пространственный и временной анализ климатических показателей и их корреляция с годичным радиальным приростом. Построенные шкалы радиального прироста, прогнозные модели позволяют оценивать состояние фитоценозов, влияние климатических факторов, изменения локальных условий на их состояние. Разработана мастерхронология сосны.

Годичный радиальный прирост древостоев выступает как интегрированный показатель продуктивности фитоценозов, характеризует их жизнеспособность, отражает цикличность природных явлений, позволяет выявить влияние техногенных факторов на окружающую среду. Дендрохронология - это датирование и изучение годичных колец деревьев, их структуры и динамики. Исследователями проявляется значительный интерес к методам дендрохронологии. В Беларуси дендрохронологические исследования начаты проф. В.Е. Вихровым (Белорусский технологический университет) еще в 70-е годы прошлого века и применяются рядом ученых в настоящее время. Дендроклиматохронология, опираясь на данные ближайших гидрометеостанций, дает возможность проследить временную изменчивость радиального прироста хвойных пород. Анализ пространственной изменчивости показателей позволяет построить базовые линии роста деревьев по породам, типам леса и условиям произрастания.

Лесной фонд Республики Беларусь составляет более 9 млн. га, что соответствует 38 % территории страны. Анализ распределения покрытых лесом насаждений показывает, что в их составе преобладают площади под хвойными породами (60,0 % земель покрытых лесом). Сосна и ель занимает соответственно 50,2 и 9,8 % покрытой лесом территории. Хвойные леса достаточно равномерно распространены на территории Беларуси.

В таблице 1 представлено распределение покрытых лесом земель по хвойным породам по производственным лесохозяйственным объединениям (ПЛХО) Беларуси.

Таблица 1

Распределение покрытых лесом земель по хвойным породам на 1.01.2008 [1]

Преобладающая порода	Министерство лесного хозяйства		Брестское ПЛХО		Витебское ПЛХО		Гомельское ПЛХО		Гродненское ПЛХО		Минское ПЛХО		Могилевское ПЛХО	
	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%	тыс. га	%
Сосна	3494.0	50.2	518.7	54.0	398.7	29.0	904.8	60.0	487.0	61.9	695.5	53.3	489.3	47.9
Ель	682.8	9.8	30.3	3.2	230.1	16.7	21.2	1.4	84.5	10.7	173.3	13.3	143.7	14.1
Итого (хвойные)	4176.8	60.0	549.0	57.2	628.8	45.7	926.0	61.4	571.5	72.6	868.5	66.6	633.0	62.0

Из таблицы видно: наибольшая площадь сосны – в Гомельском ПЛХО, ели – Витебском; наименьшая площадь сосны – в Витебском ПЛХО, ели – Гомельском и Брестском.

Относительно равномерное распространение хвойных пород, широко используемых в дендрохронологических исследованиях, густая сеть гидрометеостанций, наличие и увеличение площадей особо охраняемых природных территорий позволяет развернуть сеть дендрохронологических исследований на территории Беларуси.

Около 60 % сосновых насаждений произрастают на автоморфных почвах. *Автоморфные почвы* – почвы, режим которых формируется только за счет атмосферного увлажнения и капиллярно подвешенной влаги верхних горизонтов почвы. Они занимают повышенные водораздельные пространства. В Беларуси на них повсеместно произрастают сосняки. Тип леса – сосняк лишайниковый, вересковый, брусничный, мшистый. Условия местопроизрастания характеризуются как А₂, В₂, С₂.

Основными объектами исследований при разработке дендрощкал в данной работе послужили насаждения сосны обыкновенной на водораздельных местоположениях, на песчаных автоморфных почвах нормального увлажнения (уровень грунтовых вод составляет 4 – 5 м) на территории Беларуси; для отбора кернов и последующей разработки дендрощкал – рас-

тущие деревья на постоянных пробных площадях, возраст которых для большинства проб превышает столетний. Лесонасаждения особо охраняемых природных территорий играют роль природных эталонов. Они в значительной мере представлены высоковозрастными насаждениями и являются наиболее ценными для дендрохронологических исследований.

Пробные площади для изучения годичного радиального прироста сосны в автоморфных условиях и характеристика дендрошквал представлены на рисунке 1 и в таблице 2. Постоянные пробные площади (ППП) заложены в период с 1980 - по 2008 год. Подбору и рекогносцировке проб содействовало наличие картографических материалов, тематических материалов лесоустройства, аэрофото- и космической съемки.



- ◆ ППП
- границы геоботанических областей
- границы Национального парка «Нарочаяский» и Березинского государственного биосферного заповедника

Рис. 1. Постоянные пробные площади сосны в атмосферных условиях

Для анализа динамики радиального прироста необходимо учесть факторы, оказывающие значительное влияние на формирование годичного кольца. К таким факторам относятся климатические (осадки, температура) и местные условия (почва, рельеф, гидрология, вредители и болезни растений, антропогенные факторы, пожары, обильное плодоношение в семенные годы и др.).

Таблица 2

**Характеристика насаждений на пробных площадях для разработки дендрошкал сосны
в автоморфных условиях на территории Беларуси**

№ проб	Квартал, лесничество	Воз-раст, лет	Кол-во деревьев	Протяженность шкалы, годы/лет	Эдафотоп, тип леса	римечание
1	2	4	5	6	7	8
<i>Санитарно-защитная зона промышленных предприятий г. Новополоцка</i>						
6	4, Фариновское л-во	133	37	<u>1881-2008</u> 128	A ₂ , С. вер-бр	Промзона
8	57, Фариновское л-во	101	33	<u>1913-2008</u> 96	A ₂ , С. мш-чер	Скважина УГВ
32	39,45, Фариновское л-во	94-134	93 (72)	<u>1879-2008</u> 130	A ₁ -A ₂ , С. ел-мш.	Водораз- дельная, дюнные всхолмления
<i>Объекты городского озеленения г. Новополоцка</i>						
П №4	Поликлиника № 4, Лесопарк	131	23	<u>1884-2008</u> 128	A ₂ , С. вер.	Насаждения огранич. пользования
ЛИ	Развилка, лесопарк	116	25	<u>1895-2007</u> 113	B ₂ , Е. черн.	подстиление суглинком 1,10м
БН	Больница	133	31	<u>1874-2005</u> 129	A ₂ , С. газон.	Насаждения огранич. пользования
306	Пос, Боровуха-1	170	25 (50)	<u>1845-2007</u> 163	A ₂ , С. разнотр.	Рекреацион- ная нагрузка
<i>Полоцкий и Верхнедвинский лесхозы</i>						
40	1, Вороничское л-во	124	36	<u>1888-2008</u> 121	A ₂ , С. вер-бр	Буферная зона бывших военных объектов
47	87, Борковичское л-во	113	38	<u>1901-2008</u> 108	B ₂ , С. кисл	Волоки через 40 м
<i>Двинская ДОС База Института Леса НАН, г.п. Подсвилье</i>						
54	31	158	24 (25)	<u>1854-2006</u> 153	A ₂ , С. вер.-бр.	Выборочная санрубка 2006 г.

1	2	3	4	5	6	7
<i>Национальный парк «Нарочанский»</i>						
270	69,71 Нарочь, отель	90	25	<u>1924-2008</u> 85	A ₂ , С мш.	Водоохранная зона оз. Нарочь, рекреационная нагрузка
271	3, Констант, л-во, оз. Болдук	106	28	<u>1998-2007</u> 101	B ₂ - C ₂ , С мш-черн.	Северная экспозиция, следы эрозионных процессов
<i>Уч. лесхоз Е1 1У, Держинский р-н</i>						
74	101, Негорельское	106	16	<u>1905-2007</u> 103	A ₂ , С. вер.мш.	
<i>Березинский государственный биосферный заповедник</i>						
115	109, Березинское л-во	148	32	<u>1862-2006</u> 145	A ₂ -A ₃ , С мш-черн.	Ур. Бедино
116	105, Березинское л-во	125	31	<u>1884-2006</u> 122	A ₂ , С мш.	Ур. Бедино
<i>Гродненский лесхоз</i>						
263	6, Гожевское л-во	173	31	<u>1838 - 2007</u> 170	A ₂ , С. мш.-бр	
264	6, Гожевское л-во	134	26	<u>1877-2007</u> 131	A ₂ , С.бр	
<i>Городокский лесхоз</i>						
370	3, Езериш. л-во	124	27	<u>1890-2008</u> 119	A ₂ , С. мш-бр.	Элитные
375	18, Смоловское л-во,	102	24	<u>1912-2008</u> 97	A ₂ , С мш-бр.	Элитные

Климатические показатели для исследований радиального прироста сформированы по данным ближайших гидрометеостанций (ГМС) Лынтупы, Нарочь, Верхнедвинск, Шарковщина, Докшицы, Березинский государственный заповедник, Полоцк, Витебск, Гродно, Минск, Столбцы, Могилев, Костюковичи, учитывая местоположение большинства объектов исследования в северной и центральной части Беларуси. База данных климатических показателей для оценки лимитирующих радиальный прирост факторов включает до 30 показателей тепловлагообеспеченности за различные периоды текущего и предыдущих лет и другие комплексные показатели (гидротермический коэффициент ГТК, индекс континентальности Конрада, солнечная активность в числах Вольфа). Рассчитаны коэффици-

енты корреляции между величиной радиального прироста на ППП и климатическими показателями по данным ближайшей ГМС (послевоенный период – настоящее время) по периодам с учетом и без учета потепления климата, а также по фазам подъема и спада солнечной активности.

В таблице 3 представлены коэффициенты корреляции отдельных показателей теплового обеспечения и солнечной активности с величиной радиального прироста на ППП 270.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции показателей теплового обеспечения и солнечной активности с величиной радиального прироста сосны на ППП 270

	с 1948г. по 2004г.			с 1948г. по 1979г.			с 1980г. по 2004г.		
	ПП 270	на фазе		ПП 270	на фазе		ПП 270	на фазе	
		подъема	спада		подъема	спада		подъема	спада
Amo	0.284*	0.107	0.248	0.103	-0.066	0.074	0.528*	0.470	0.528
Am1	0.384*	0.221	0.393*	0.351*	0.066	0.311	0.441*	0.523	0.553
Am2	0.395*	0.307	0.536*	0.526*	0.184	0.615*	0.241	0.532	0.413
ГТКС9мо	0.227	0.568*	-0.008	0.299	0.700*	0.232	0.150	0.646	-0.556
Гккмo	-0.429*	-0.588*	-0.359	-0.313	-0.569	-0.321	-0.539*	-0.479	-0.430
О5-7 мо	0.294*	0.427	0.172	0.362*	0.461	0.317	0.216	0.461	-0.116
О5-9 м1	0.246	0.153	0.380*	0.245	-0.139	0.388	0.273	0.367	0.401
О5-9 мо	0.242	0.572*	0.034	0.287	0.603*	0.259	0.209	0.699*	-0.536
О6-7 мо	0.400*	0.545*	0.444*	0.386*	0.501	0.394	0.432*	0.542	0.539
О8-9 мо	-0.001	0.280	-0.142	-0.006	0.088	-0.099	0.114	0.737*	-0.672*
Om1	-0.005	-0.074	0.246	-0.077	-0.356	0.209	0.069	0.183	0.299
Om2	-0.021	-0.279	-0.001	-0.020	-0.534	0.014	-0.069	-0.076	-0.040
Omo	0.215	0.313	0.058	0.128	0.129	0.199	0.333	0.633	-0.180
Omoм1	0.148	0.150	0.241	0.027	-0.239	0.324	0.303	0.604	0.109
T12-1	-0.387*	-0.512*	-0.336	-0.356*	-0.679*	-0.297	-0.429	-0.378	-0.427
T12-2	-0.478*	-0.599*	-0.390*	-0.394*	-0.593*	-0.364	-0.547*	-0.436	-0.441
T4	0.144	0.019	0.155	0.334	-0.119	0.251	-0.126	-0.255	0.007
T5-7мо	-0.113	-0.314	-0.019	-0.179	-0.542	-0.163	-0.030	-0.369	0.292
T5-9 м1	-0.191	-0.154	-0.287	-0.198	-0.359	-0.175	-0.202	-0.118	-0.456
T5-9 мо	-0.044	-0.322	0.159	-0.140	-0.643*	-0.004	0.079	-0.280	0.448
T5	-0.026	-0.062	0.013	-0.103	-0.346	-0.013	0.038	0.055	0.037
T6-9	-0.042	-0.317	0.172	-0.154	-0.600*	-0.028	0.093	-0.257	0.455
T7-8 мо	-0.036	-0.055	-0.098	-0.031	0.039	-0.128	0.011	-0.126	0.301
T8-9 мо	0.060	-0.211	0.320	-0.052	-0.468	0.215	0.224	-0.011	0.457
T9	0.105	-0.287	0.411*	-0.104	-0.585	0.195	0.387	-0.145	0.739*
Tmo	0.443*	0.390	0.445*	0.330	-0.013	0.354	0.519*	0.323	0.569

Примечание. А – солнечная активность; ГТК – гидротермический коэффициент; Гкк – индекс континентальности Конрада; О – осадки за указанный период (месяцы года); Т – температура за указанный период (месяцы года); м0, м1, м2 – соответственно показатели за текущий год, предыдущий и за год, предшествующий предыдущему.

Анализ таблицы показывает отрицательную корреляцию радиального прироста с температурой в зимние периоды, положительную – с осад-

ками за вегетационный период на фазе подъема солнечной активности; положительную корреляцию радиального прироста с осадками за июнь – июль, что не противоречит условиям автоморфных почв Солнечная активность оказывает значительное влияние на радиальный прирост. Показатели, отмеченные (*), являются предположительно лимитирующими радиальный прирост факторами, и их следует учесть при моделировании радиального прироста.

График солнечной активности в относительных числах Вольфа, W , %, за период 1970 – 2006 годов представлен на рисунке 2.

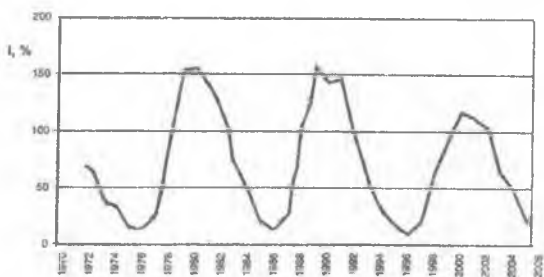


Рис. 2. График солнечной активности в относительных числах Вольфа, % за период 1970 – 2006 годов [2]

На рисунке 3 показано распределение среднегодовых температур и осадков в северной части Беларуси по данным 1989 – 2007 годов.

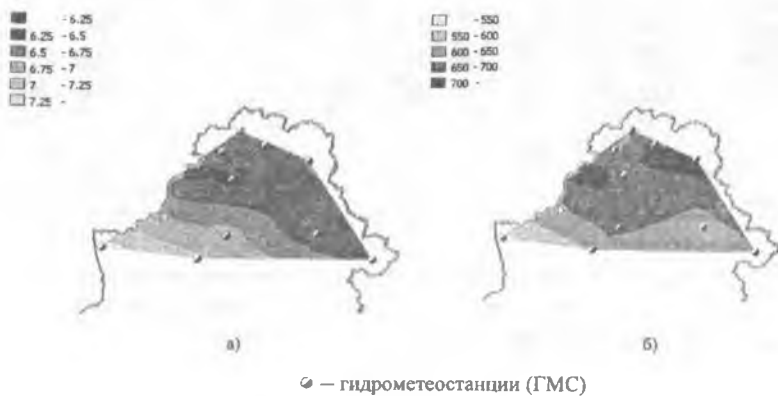


Рис. 3. Среднегодовые температура °C (а); среднегодовые осадки (б), мм

Пространственная интерполяция температуры и осадков выполнена в среде ГИС. Значительный диапазон среднегодовой температуры и осадков поднимает вопрос о достоверности различий между показателя тепло- влагообеспеченности в северной части Беларуси. Выполнена пространственная оценка достоверности различия показателей тепло- влагообеспеченности за различные временные периоды (послевоенный период – настоящее время), а также период потепления (с 1989 – 2007 гг.).

В таблице 4 приводятся сведения о достоверности различия между ГМС по среднегодовой температуре и осадкам за период 1989 – 2007 годов (период потепления).

Таблица 4

Достоверность пространственного различия по среднегодовой температуре и осадкам между ГМС за период 1989 – 2007 гг. (северная часть Беларуси) [3, с доп.]

T, °C	6,15	6,29	6,50	6,37	6,15	6,92	7,05	7,33	6,53	6,29	6,38
m, °C	0,162	0,147	0,146	0,146	0,148	0,159	0,179	0,170	0,167	0,152	0,155
Температура	Лынтупы	Верхнедвинск	Шарковщина	Полоцк	Докшицы	Минск	Столбцы	Гродно	Витебск	Могилев	Костюковичи
Осадки											
Лынтупы		0.64	1.60	1.01	0.00	3.39	3.72	5.02	1.62	0.621	1.02
Верхнедвинск	2.80		1.01	0.39	0.67	2.91	3.28	4.63	1.07	0.00	0.42
Шарковщина	2.93	0.19		0.63	1.68	1.94	2.38	3.71	0.13	1.00	0.56
Полоцк	0.40	2.54	2.67		1.06	2.55	2.94	4.29	0.71	0.38	0.05
Докшицы	1.35	1.32	1.47	1.02		3.54	3.87	5.24	1.69	0.66	1.07
Минск	1.66	1.12	1.28	1.33	0.24		0.54	1.76	1.70	2.86	2.43
Столбцы	3.88	1.30	1.09	3.68	2.44	2.31		1.13	2.13	3.23	2.82
Гродно	6.59	3.77	3.43	6.66	4.78	4.85	1.94		3.37	4.56	4.13
Витебск	0.26	2.71	2.84	0.16	1.17	1.49	3.85	6.91		1.05	0.65
Могилев	3.53	0.79	3.24	0.44	1.47	1.82	4.27	7.69	3.49		0.41
Костюковичи	2.80	0.12	0.06	2.54	1.38	1.19	1.13	3.37	2.71	0.63	
M, мм	737.6	642.5	636.6	723.5	687.6	678.9	600.7	549.2	728.6	618.4	638.7
m, мм	26.05	21.76	22.60	23.40	26.44	24.04	23.81	11.74	23.17	21.51	23.80

Эти сведения важны для зонирования территории, уточнения границ агроклиматических областей и обобщения дендрохал в мастерхронологии. Достоверность различия определяется по формуле:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}$$

где M_t , M_{-t} - средние арифметические значения изучаемых показателей в течение рассматриваемого периода; m_t , m_{-t} - средние квадратические погрешности.

При $t > 2,9$ достоверность различия $p \geq 0,99$, а при $t > 2,1$ достоверность различия $p \geq 0,95$. Достоверность различия, полученная для всех пар ГМС по среднегодовой температуре и осадкам, представлена в таблице 4, где подчеркнутые значения - для $p > 0,99$, $t > 2,9$.

Прогнозирование радиального прироста выполнено с использованием ретроспективного метода анализа данных ширины годичных колец.

На временном ряду до 2008 года происходило обучение разрабатываемой модели. Учитывая высокую корреляцию величины радиального прироста с климатическими показателями, при разработке дендрошкाल важно учесть период потепления для обучения модели. Минимальные и максимальные значения радиального прироста повторяются периодически в среднем через 10-11 лет и выражаются реперными годами.

Разработаны циклические прогнозные модели радиального прироста для периодов, представленных в таблице 2.

Для построения прогнозной модели применена модифицированная формула Б.Л. Берри, А.А. Либермана, С.Г. Шиятова [4]:

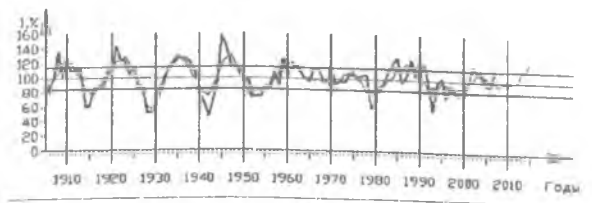
$$Y_t \approx A_0 + \sum_{j=1}^n A_j \cos^{\wedge} - \varphi_j J,$$

где Y_t - индекс годичного радиального прироста в t -м году фактического или прогнозируемого возраста; A_0 - среднее значение годичных индексов; A_j , T_j , φ_j - амплитуда, период и фаза j -й косинусоиды.

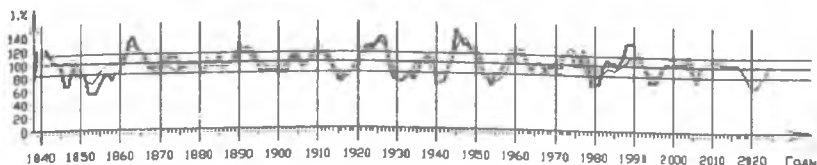
На рисунке 4 представлены хронологии сосны на ППП 74 и 263. Коэффициенты корреляции фактических данных с прогнозными моделями составили 0,80 и 0,78 соответственно.

Схожая возрастная и типологическая структуры насаждений, результаты визуального графического сравнения, высокое сходство по годичной информации, высокие корреляционные связи и т.д. между ППП дают возможность объединения отдельных дендрошкал в мастерхронологии. ППП370 и 375 объединены в мастерхронологию, представленную на рисунке 5. Коэффициент корреляции фактических данных и прогнозной модели составляет 0,74.

Наличие высоковозрастных (вековых) насаждений, произрастающих в различных условиях местообитания, позволяет создать разветвленную сеть пунктов для организации экологического мониторинга.



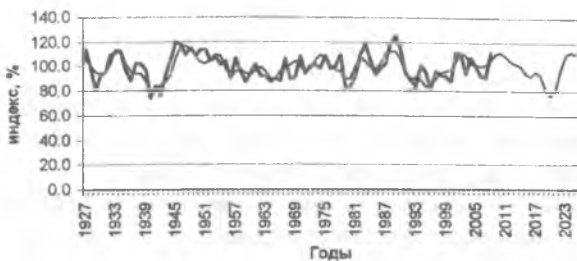
а)



б)

- фактические данные по 2007 г. (индексы, %);
- кривая аппроксимирующей функции до 2008 г. и ретроспективный прогноз колебания прироста 2009 – 2025 гг.

Рис. 4. Динамика радиального прироста сосны ПП 74 (а) и ПП 263 (б)



- фактические данные по 2008 г. (индексы, %), МПП 370+375;
- кривая аппроксимирующей функции до 2008 г. ($r = 0,74$) и ретроспективный прогноз колебания прироста 2009 – 2025 гг.

Рис. 5. Динамика радиального прироста сосны – мастер-хронология (ППП370+375)

Построенные при высокой корреляции шкалы радиального прироста сосны в автоморфных условиях, а также прогнозные модели способствуют выявлению периодов устойчивого функционирования древесной растительности и окружающей среды, экстремальных климатических явлений, оценки воздействия климатических показателей на годичный радиальный

прирост. Результаты дендроклиматохронологических исследований в свою очередь способствуют уточнению границ агроклиматических областей, претерпевающих в последние годы изменения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сведения о лесном фонде Министерства лесного хозяйства Респ. Беларусь по состоянию на 1.01.2008 г. / Лесостроительное РУП «БЕЛГОСЛЕС». - Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2008. - 27 с.
2. Разработать зональные древесно-кольцевые хронологии для оценки воздействия природных, техногенных и социальных факторов на динамику лесных экосистем Беларуси: отчет о НИР / Полоц. гос ун-т; науч. рук. А. А. Болботунов. - Новополоцк, 2005. -117 с. - №ГР 19991931.
3. Болботунов, А.А. Дендрохронология сосны и ели объектов национального парка «Нарочанский» / А.А. Болботунов, М.В. Рымащевская // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: **материалы** международного науч. конф., Минск, 22 - 26 сент. 2008 г. - Минск, 2008. — С. 140-143.
4. Берри, Б.Л. Периодические колебания индексов прироста лиственницы сибирской в Тазовской лесотундре и их прогноз / Б.Л. Берри, А.А. Либерман, С.Г. Шиятов // Экология. - 1979. - № 6. - С. 22 - 26.