

Міністерство освіти і науки України

Заснований  
у 1997 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію  
друкованого засобу масової інформації №  
222,  
серія 33,  
20 червня 1997 р.

Адреса редакції :  
Україна, 69600,  
м. Запоріжжя, МСП-41,  
вул. Жуковського, 66

**Телефони**

для довідок:  
(0612) 64-47-23,  
(061) 289-12-26

**Факс:** 641724

# **В і с н и к**

**Запорізького державного  
університету**

- **Фізико-математичні науки**
- **Біологічні науки**

**№ 2, 2004**

**Запорізький державний університет  
Запоріжжя 2004**

Вісник Запорізького державного університету: Збірник наукових статей. Фізико-математичні науки. Біологічні науки / Головний редактор Савін В.В.-Запоріжжя: Запорізький державний університет, 2004.- 224 с.

Затверджено як наукове фахове видання (Бюлетень ВАК України, 1999, №6)

Затверджено Вченою Радою ЗДУ (протокол засідання № 4 від 28.12.2004 р.)

## **Редакційна рада**

Головний редактор – Савін В.В., доктор фізико-математичних наук, професор  
Відповідальний редактор – Борковських В.А., кандидат технічних наук

## **РЕДАКЦІЙНІ КОЛЕГІЇ:**

### **ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ**

Гришак В.З., д.т.н., проф. – заступник головного редактора,  
Киричевський В.В., д.т.н., проф., Перепелиця В.О., д.ф-м.н., проф.,  
Приварников А.К., д.ф-м.н., проф., Ройтман А.Б., д.т.н., проф.,  
Тамуров Ю.М., д.ф-м.н, с.н.с., Шишканова С.Ф., д.т.н., проф.,  
Гудрамович В.С., д.т.н., проф., Павленко А.В., д.ф-м.н., проф.,  
Пожуєв В.І., д.ф-м.н., проф., Цурпал І.А., д.т.н., проф.

Брехаря Г.П., д.ф-м.н., проф. – заступник головного редактора,  
Башев В.Ф., д.ф-м.н., проф., Гіржон В.В., д.ф-м.н., проф.,  
Маслов В.В., д.ф-м.н., проф., Ольшанецький В.Ю., д.т.н., проф.,  
Псарьов В.І., д.ф-м.н., проф., Скалозуб В.В., д.ф-м.н., проф.,  
Терновий Ю.Ф., д.т.н., проф., Яновський О.С., к.ф.-м. н., доц.

### **БІОЛОГІЧНІ НАУКИ**

Омельянчик Л.О., д.фарм.н., проф.– заступник головного редактора,  
Бессонова В.П., д.б.н., проф., Бовт В.Д., д.б.н., проф.,  
Долгова Л.Г., д.б.н., проф., Єщенко В.А., д.мед.н., проф.,  
Коцюбинська Н.П., д.б.н., проф., Лях В.О., д.б.н., проф.,  
Матвеев М.М., д.б.н., проф., Мицик Л.П., д.б.н., проф.,  
Сергейчик С.О., д.б.н., с.н.с., Фролов О.К., д.мед.н., проф.

## ЗМІСТ

## ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

<b>БОБЫЛЕВА Е.В.</b> АЛГОРИТМЫ С ОЦЕНКАМИ ДЛЯ ЗАДАЧИ О ДИАДИЧЕСКОМ ДЕРЕВЕ .....	5
<b>БОНДАРЕНКО Л.Н., ЖУК П.Ф.</b> АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАСКАДА СОРБЦИОННЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ СМЕСИ ВЕЩЕСТВ .....	10
<b>ВЕЛИЧКО И.Г., ТКАЧЕНКО И.Г.</b> СТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В МНОГОФАЗНОЙ ПЛАСТИНКЕ .....	16
<b>ГОМЕНЮК С.И., ПОЛИЩУК И.Б.</b> ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В САПР FORTU-FEM .....	21
<b>ГРИБАНОВА Ю.В., НАУМЕНКО С.М., БАЛИЦКАЯ Т.Ю.</b> ГИПЕРБОЛОИДНЫЕ АКСОИДЫ И КВАЗИГИПЕРБОЛОИДНЫЕ НАЧАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ .....	30
<b>ГРИЩАК В.З., КНЯЗЄВА О.В.</b> ГІБРИДНЕ ЛАНГЕР-ГАЛЬОРКІН АСИМПТОТИЧНЕ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ЗІ ЗМІННИМИ КОЕФІЦІЄНТАМИ, ЯКІ МІСТЯТЬ ТОЧКУ ПОВОРОТУ .....	37
<b>ЗВЬОЗДОЧКИНА О.А., ЛИСЕНКО В.В.</b> ЗАСТОСУВАННЯ МКЕ У РОЗВ'ЯЗАННІ ЗАДАЧІ ПРО ВДАВЛЮВАННЯ ШТАМПА В ПІВПЛОЩИНУ ІЗ ЗАДАНИМ НЕСТАЦІОНАРНИМ ТЕПЛОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ НА ВКЛЮЧЕННІ .....	46
<b>КОРОГОД В.Л., МЫЛЬЦЕВ А.М., ТОЛОК А.В.</b> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУИРОВАНИЯ НОВЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ R-ФУНКЦИЙ .....	50
<b>ЛЕВЧУК С.А.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРУЖЕНОГО СТАНУ СКЛАДЕНИХ КОНІЧНИХ ОБОЛОНОК ВІД КУТІВ КОНУСНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ ПОТЕНЦІАЛУ .....	56
<b>ЛЕОНТЬЕВА В.В.</b> ОБ УСТОЙЧИВОСТИ НЕКОТОРОГО КЛАССА ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	60
<b>МАКСИМЕНКО-ШЕЙКО К.В., МАЦЕВИТЫЙ А.М., ТОЛОК А.В., ШЕЙКО Т.И.</b> КОНСТРУКТИВНЫЕ СРЕДСТВА МЕТОДА R-ФУНКЦИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОСТРОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ СЛОЖНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ .....	66
<b>ПЕРЕПЕЛИЦА В.А., ТЕРЕЩЕНКО Э.В.</b> СТАТИСТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ СЕКМЕНТАЦИИ .....	76
<b>РОЙТМАН А. Б.</b> К ТОЧНОМУ РЕШЕНИЮ УРАВНЕНИЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОПТИКИ БЛОХА .....	85
<b>ТОДОРИКО О.А., ГОМЕНЮК С.И.</b> СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА БАЗЫ ДАННЫХ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ .....	92
<b>БІОЛОГІЧНІ НАУКИ</b>	
<b>БАТУРА Н.Р., ПАНОВ С.Ж.</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ФЛАВОНОЇДІВ ЛЬОНКУ КРЕЙДЯНОГО .....	98
<b>БОГОМАЗ Р.В.</b> АЛГОРИТМ ОБЛІКУ ЧИСЕЛЬНОСТІ ЗАЙЦЯ-РУСАКА, ОСНОВАНИЙ НА ВИМІРЮВАННІ ДИСТАНЦІЇ СПОЛОХУВАННЯ .....	102
<b>БРАЖКО О.А., ОМЕЛЬЯНЧИК Л.О., КОВАЛЕНКО Д.С., ЗАВГОРОДНІЙ М.П.</b> БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ПОХІДНИХ 2- 1 4-ГІДРАЗІНОХІНОЛІНІВ .....	108
<b>ВЕДМЕДЄВА К.В., ПЕРЕСІПКИНА Т.М., КІБАЛЬНІК С.П.</b> РІЗНОМАНІТТЯ КОЛЕКЦІЙНИХ ЗРАЗКІВ СОНЯШНИКА У ЗВ'ЯЗКУ ІЗ СЕЛЕКЦІЄЮ НА ПІДВИЩЕННЯ РОЗМІРІВ НАСІННЯ .....	112
<b>ВЕДМЕДЄВА К.В., ПЕРЕСІПКИНА Т.М., ЦАПУК Н.О.</b> РОЗМІРИ НАСІННЯ СОНЯШНИКА ЯК СЕЛЕКЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ .....	117

<b>ВОЙТОВИЧ Е.Н., ЛЕВЧУК А.Н.</b> ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТВОРИМЫХ ЛЕКТИНОВ ПРОРОСТКОВ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В ОТВЕТ НА АБИОГЕННОЕ СТРЕССОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ.....	119
<b>ГРИГОРОВА Н.В., СКОРНЯКОВ В.І.</b> ЗМІНИ ВМІСТУ ЦИНКУ В ГРАНУЛОЦИТАХ КРОВІ ПРИ ІМУНОДЕФІЦИТІ З ВІЛ-ІНФЕКЦІЄЮ.....	124
<b>ДЕМИДЕНКО Л. А.</b> ВЛИЯНИЕ ЗАРАЖЕННОСТИ ГЕЛЬМИНТАМИ НА ВЕС НЕПОЛОВОЗРЕЛЫХ И ПОЛОВОЗРЕЛЫХ ОСОБЕЙ КАСПИЙСКОГО ТЮЛЕНЯ (PHOSA CASPICA).....	128
<b>ДОМБРОВСЬКИЙ К.О., МУЛЕНКО М.А., МІХІНА І.І.</b> МАКРОЗООБЕНТОС УРБАНИЗОВАНОЇ МАЛОЇ РІЧКИ МОКРА МОСКОВКА.....	134
<b>ДОМНИЧ В.И., ЕРХОВ Я.В.</b> ЛИСИЦА ОБЫКНОВЕННАЯ (VULPES VULPES L.) КАК БИОИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ЮГО- ВОСТОКЕ УКРАИНЫ.....	138
<b>ДРАНИЦИН О.В.</b> ЗМІНА МОРФОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕРИТРОЦИТІВ У СПОРТСМЕНІВ ВИСОКОЇ КВАЛІФІКАЦІЇ ПІД ДІЄЮ ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ.....	142
<b>ЖУКОВ О.В.</b> ЕКОЛОГО-ФАУНІСТИЧНИЙ ОГЛЯД ДОЩОВИХ ЧЕРВ'ЯКІВ СХІДНОЇ УКРАЇНИ.....	145
<b>КАЛІНІНА О.Ю., ЛЯХ В.О.</b> ДИКОРОСЛІ ВИДИ ПІВДЕННО-СХІДНОЇ УКРАЇНИ ЯК ДЖЕРЕЛА ЖИРНИХ ОЛІЙ.....	155
<b>КОМАРОВ А.В.</b> ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОГО СОСТАВА ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	159
<b>КОПІЙКА В. В.</b> ФУНКЦІОНАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛІМФОЦИТІВ КРОВІ ТА ПЛЕВРАЛЬНОГО ЕКСУДАТУ ХВОРИХ НА ЕКСУДАТИВНИЙ ПЛЕВРИТ.....	163
<b>КОСТЮЧЕНКО Н.И., ЛЯХ В.А.</b> СТРУКТУРА ГРИБНОГО ЦЕНОЗА ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЫ НЕКОТОРЫХ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР.....	169
<b>КУЧКОВСЬКИЙ О. М., ЄЩЕНКО Ю. В., ГРИГОРОВА Н. В., БОВТ В. Д., ЄЩЕНКО В. А., ОМЕЛЬЯНЧИК В. М.</b> ЕПІЛЕПТИФОРМНІ СУДОМИ І ЗМІНИ ВМІСТУ ЦИНКУ В ГІПОКАМПІ ТА ПАНКРЕАТИЧНИХ ОСТРІВЦЯХ ПРИ ВВЕДЕННІ КОНВУЛЬСАНТУ СТРЕСОВАНИМ МИШАМ.....	174
<b>ЛАШКО Н.П., ЧАУСОВСКИЙ Г.А., МЕЛЬНИКОВА О.З., СОЛДАТЕНКО Д.А.</b> ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СТРЕССОРНЫХ ФАКТОРОВ.....	176
<b>ЛЯХ В.А., ПОЛЯКОВА И.А.</b> СКРЕЩИВАЕМОСТЬ МЕЖДУ НЕКОТОРЫМИ ГЕТЕРОСТИЛЬНЫМИ ВИДАМИ ЛЬНА.....	180
<b>МАЛЬЦЕВА І.А.</b> ГРУНТОВІ ВОДОРОСТІ АЗОВСЬКОГО ЛІСОВОГО МАСИВУ (ДОНЕЦЬКА ОБЛАСТЬ, УКРАЇНА).....	183
<b>МЕЛЬНИКОВА О. З., ЛЯШЕНКО В. П.</b> МОДУЛЯЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМІОГРАМИ ЩУРІВ ЗА УМОВ ЗООКОНФЛІКТНОЇ СИТУАЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ НІФЕДИПІНУ.....	188
<b>ПАХОМОВ О.Є., КУНАХ О.М.</b> ДОЩОВІ ЧЕРВ'ЯКИ В УМОВАХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТУ НІКЕЛЕМ ТА СВИНЦЕМ В ПРИСУТНОСТІ ПШЕНИЦІ.....	192
<b>ПЕРЕСІПКІНА Т.М., ЛІЧМАН О.С.</b> ВПЛИВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ І КИСЛИХ ГАЗІВ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК ROBINIA PSEUDOACACIA L.....	197
<b>СЫЧ Е.И.</b> ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАРТИРОВАННЫХ ГЕНОВ AP1 И VP1 ПО ПРИЗНАКУ «ЧИСЛО ЛИСТЬЕВ НА СТЕБЛЕ» У РЕЗУШКИ ТАЛЯ.....	202
<b>ТИЩЕНКО М.В., МХИТАРЯН Л.С.</b> МЕТАБОЛИЗМ ОКСИДА АЗОТА И СОСТОЯНИЕ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ У ЛИЦ С ПОВЫШЕННЫМ АРТЕРИАЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ.....	205
<b>ФЕНДЮР Л.М., ОХРІМЕНКО С.Г., ДУБОВА О.В.</b> АНАЛІЗ АРЕННИХ ФІТОЦЕНОЗІВ ОСТРОВА ХОРТИЦЯ.....	210
<b>ЮРЧЕНКО В.О.</b> МЕТАБОЛИЗМ АЕРОБНИХ ТІОНОВИХ БАКТЕРІЙ ЯК ЧИННИК ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ.....	217
<b>ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ У “ВІСНИК ЗАПОРІЗЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ” ЗА ФАХОМ “ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ. БІОЛОГІЧНІ НАУКИ”.....</b>	221

# ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ

УДК 519.17

## АЛГОРИТМЫ С ОЦЕНКАМИ ДЛЯ ЗАДАЧИ О ДИАДИЧЕСКОМ ДЕРЕВЕ

Бобылева Е.В., м. н. с.

*Днепропетровский национальный университет*

В работе рассмотрена NP-трудная задача о диадическом дереве и предложен асимптотически точный алгоритм выделения оптимального диадического дерева в заданном графе.

*Ключевые слова:* диадическое дерево, затравка, предфрактальный граф, множество допустимых решений, целевая функция.

Бобильова О.В. АЛГОРИТМИ З ОЦІНКАМИ ДЛЯ ЗАДАЧІ ПРО ДІАДИЧНЕ ДЕРЕВО / Дніпропетровський національний університет, Україна

У роботі розглянута NP-складна задача про діадичне дерево та запропоновано асимптотично точний алгоритм виділення оптимального діадичного дерева в заданому графі.

*Ключові слова:* діадичне дерево, затравка, передфрактальний граф, множина допустимих рішень, цільова функція.

Bobylova E.V. THE ALGORITHM WITH BOUNDS FOR PROBLEM ABOUT THE DIADIC THREE / Dnipropetrovsk National University, Ukraine

The NP-difficult problem about the dyadic three is considered in the work and asymptotic exact algorithm of isolation the optimal dyadic three in given graph is proposed.

*Key words:* dyadic three, prifractal graph, the set of the tolerable solutions, goal function.

В дискретных задачах, математические модели которых базируются на предфрактальных графах [1], достаточно часто искомые решения представляют собой диадические деревья (ДД). Диадическим называется дерево, в котором степень каждой некорневой невисячей вершины равна 3. Заметим, что в терминах теории фрактальных графов ДД представляет собой такое предфрактальное дерево, которое порождается затравкой [1], которая является 3-вершинной, или что тоже самое 3-вершинной цепью.

На рис. 1 а)

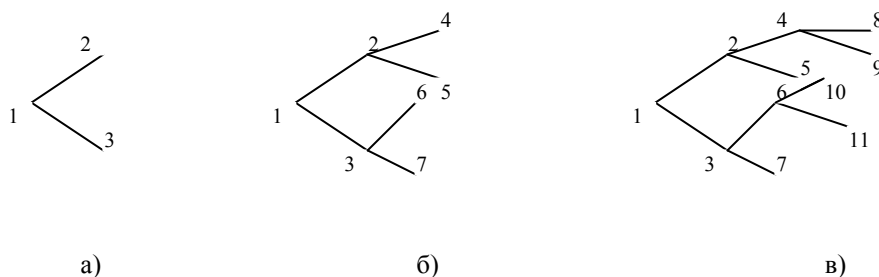


Рис.1 3-вершинная затравка и порожденные ею диадические деревья ранга 2 и 3

представлена 3-вершинная затравка, из которой после замещения висячих вершин 2 и 3 этой же затравкой получается диадическое дерево ранга 2 на рис. 1 б). На рис. 1 в) представлено ДД ранга 3, которое получено в результате блокировки висячих вершин 5 и 7 и замещения затравкой висячих вершин 4 и 6.

**Примечание 1.** Если в процессе порождения ДД какая-либо висячая вершина блокируется, то в дальнейшем она уже ни на каком шаге не замещается затравкой.

Все невисячие вершины считаются заблокированными. Среди всех невисячих вершин единственная невисячая вершина 1 степени 2 объявляется корнем ДД, остальные невисячие вершины ДД имеют степень 3.

**Примечание 1.** Любое наперед заданное корневое дерево ДД может быть порождено путем последовательного замещения затравкой некоторых «новых» висячих вершин и блокирования остальных вершин. При этом во всяком ДД число его вершин представляет собой нечетное число  $n \in \{5, 7, \dots\}$ .

Задача о ДД является частным случаем задачи о Р-адическом дереве [1]. Последняя возникает в процессе изучения и развития систем с иерархической структурой. Такие системы характерны для ряда задач экономики [2], и для их исследования характерно применение математического аппарата. Поэтому получение обоснованных теоретических результатов для решения задач данного класса актуально.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть заданным  $n$ -вершинный граф  $G = (V, E)$  с нечетным числом вершин  $n = |V|$ , в котором каждому ребру  $e \in E$  приписан вес  $w(e) > 0$ . Допустимым решением задачи о ДД на графе  $G$  является всякий остовый подграф  $x = (V, E_x)$ ,  $E_x \subseteq E$  представляющий собой корневое диадическое дерево;  $X = X(G) = \{x\}$  – множество всех допустимых решений (МДР) на графе  $G$ . На МДР  $X$  определена целевая функция (ЦФ)

$$F(x) = \sum_{e \in E_x} w(e) \rightarrow \min. \quad (1)$$

Требуется найти оптимальное решение  $x^* \in X$ , определяемое равенством  $F(x^*) = \min_{x \in X} F(x)$ .

Задача о ДД является представителем подкласса NP-трудных задач об остовых деревьях ограниченной степени. К настоящему времени отсутствуют полиномиальные алгоритмы для сформулированной выше задачи о ДД. С учетом этого обстоятельства в настоящей работе исследуется вопрос построения для этой задачи малотрудоёмкого (приближенного) алгоритма  $\alpha$  и обоснования достаточных условий его статистической эффективности [3]. Условимся, что при выделении ДД в данном графе алгоритм  $\alpha$  всякий раз в качестве корня выбирает вершину нечетной степени.

### ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА $\alpha$

В дальнейшем используем следующие обозначения:  $i = 1, 2, \dots, n$  – индекс, которым занумерованы вершины  $v \in V$  в данном графе  $G = (V, E)$ ;  $V^+$  и  $V^-$  – соответственно подмножества вершин графа  $G$  четной и нечетной степени, мощность этих подмножеств  $n^+ = |V^+|, n^- = |V^-|, n^+ + n^- = n$ , причем число нечетных вершин  $n^- = n^+ + 1$ .

Алгоритм  $\alpha$  состоит из этапов  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$ . Этап  $\alpha_1$  реализуется по шагам  $s = 1, 2, \dots, m$ . Результатом шага  $s$  является  $(2s + 1)$  вершинное ДД  $D_s = (V_1^s, V_2^s, E_s)$ , в котором  $V_1^s$  – множество всех его вершин степени 1 (т. е. множество всех его висячих вершин),  $V_2^s$  – множество всех его невисячих вершин  $V^s = V_1^s \cup V_2^s$ . Суть  $s$ -го шага состоит в том, что для некоторой висячей вершины  $v_0 \in V^{s-1}$  в ДД  $D_{s-1}$ , построенном на предыдущем шаге  $s - 1$ , находим во множестве  $E$  пару ребер  $e' = (v_0, v')$ ,  $e'' = (v_0, v'')$  таких, что вершина  $v' \in (V^+ \setminus V^{s-1})$  и вершина  $v'' \in (V^- \setminus V^{s-1})$ . После выбора указанной пары  $e', e''$  она присоединяется к ДД  $D_{s-1} = (V_1^{s-1}, V_2^{s-1}, E_{s-1})$ , в результате чего получаем ДД  $D_s = (V_1^s, V_2^s, E_s)$ , где  $V_1^s = (V_1^{s-1} \setminus \{v_0\}) \cup \{v', v''\}$ ,  $V_2^s = (V_2^{s-1} \setminus \{v_0\})$ ,  $E_s = (E_{s-1} \cup \{e', e''\})$ .

На первом шаге  $s = 1$  в данном графе  $G$  фиксируется и объявляется корневой вершина  $v \in V^-$ . После чего реализуется процедура градиентного типа путем нахождения пары ребер  $e_1 = (v_0, v_1)$ ,  $e_2 = (v_0, v_2)$ , где  $w(v_0, v_1) = \min_{v' \in (V^+ \setminus V_{s-1})} w(v_0, v')$ ,  $w(e_2) = w(v_0, v_2) = \min_{v'' \in (V^- \setminus \{v_0\})} w(v_0, v'')$ . Получаем корневое ДД  $D_1 = (V_1^1, V_2^1, E_1)$ ,  $V_1^1 = \{v_1, v_2\}$ ,  $V_2^1 = \{v_0\}$ ,  $E_1 = \{e_1, e_2\}$ .

Пусть в результате реализации шага  $s \in \{1, 2, \dots, m - 1\}$  в данном графе выделено ДД  $D_s = (V_1^s, V_2^s, E_s)$ , у которого множество вершин  $V^s = V_1^s \cup V_2^s$ . Введем обозначения  $V_s^+ = V^+ \setminus V_s$ ,  $V_s^- = V^- \setminus V_s$ . На

шаге  $s+1$  для каждой висячей вершины  $v^* \in V_1^s$  находится пара ребер  $e_1^* = (v^*, v_1^*)$ ,  $v_1^* \in V_s^+$ ,  $e_2^* = (v^*, v_2^*)$ ,  $v_2^* \in V_s^-$  минимального веса:  $w(e_1^+) = w(v^*, v_1^*) = \min_{v \in V_s^+} w(v^*, v)$ ,  $w(e_1^-) = w(v^*, v_2^*) = \min_{v \in V_s^-} w(v^*, v)$ .

Далее среди множества всех выделенных таким образом пар

$$E_s^* = \{e_1^* = (v^*, v_1^*), e_2^* = (v^*, v_2^*) : v^* \in V_1^s\} \quad (2)$$

находим такую пару ребер  $e_1^0, e_2^0$ , сумма весов которых  $w(e_1^0), w(e_2^0)$  минимальна:

$$w(e_1^0) + w(e_2^0) = \min_{v^* \in V_1^s} (w(v^*, v_1^*) + w(v^*, v_2^*)). \quad (3)$$

Шаг  $s+1$  завершается присоединением найденной согласно градиентной процедуре (2), (3) пары ребер  $e_1^0, e_2^0$ , в результате чего получим ДД  $D_{s+1} = (V_1^{s+1}, V_2^{s+1}, E_{s+1})$ ,  $E_{s+1} = E_s \cup \{e_1^0, e_2^0\}$ .

**Примечание 3.** Не теряя общности, в дальнейшем, если не будет оговорено особо, рассматриваем графы  $G = (V, E)$  с таким нечетным числом вершин  $n = |V|$ , для которого разность  $n - 3$  кратна 4.

В силу примечания 3 этап  $\alpha_1$  завершает свою работу на шаге  $s = m$  таким, что оказываются равномоными множество  $V_1^m$  всех висячих вершин ДД  $D_m$  и каждое из множеств  $V_m^+ = V_m^+ \setminus V_m, V_m^- = V_m^- \setminus V_m$ :

$$|V_1^m| = |V_m^+| = |V_m^-| = m + 1.$$

**Примечание 4.** Может случиться, что на некотором шаге  $s$  может оказаться пустым множество пар ребер  $E_s^*$ , которое определяется согласно (2). Тогда этап  $\alpha_1$ , а вместе с ним и алгоритм  $\alpha$  завершает свою работу безрезультатно.

Работа этапа  $\alpha_2$  состоит из двух подэтапов  $\alpha_2^1$  и  $\alpha_2^2$ .

На подэтапе  $\alpha_2^1$  строятся два двудольных подграфа  $G_m^+ = (V_1^m, V_2^+, E_m^+)$ ,  $G_m^- = (V_1^m, V_2^-, E_m^-)$ , множество ребер которых определяется следующим образом:  $E_m^+$  состоит из всех таких ребер  $e^* = (v^*, v) \in E$ , у которых один конец  $v^* \in V_1^m$ , а второй конец  $v \in V_1^+$ ;  $E_m^-$  состоит из всех таких ребер  $e^* = (v^*, v) \in E$ , у каждого из которых один конец  $v^* \in V_1^m$ , а второй конец  $v \in V_1^-$ .

На подэтапе  $\alpha_2^2$  в двудольных графах  $G_m^+$  и  $G_m^-$  с помощью какого-либо известного полиномиального алгоритма (например, с помощью известного венгерского алгоритма [4]) находим оптимальные совершенные парасочетания  $E_{m,x}^+ \subset E_m^+$  и  $E_{m,x}^- \subset E_m^-$ . На завершающей стадии подэтапа  $\alpha_2^2$  все ребра, составляющие парасочетания  $E_{m,x}^+$  и  $E_{m,x}^-$  присоединяются к найденному на этапе  $\alpha_1$  ДД  $G_m = (V_1^m, V_2^m, E_m)$ . В результате получаем допустимое решение в виде ДД  $G_x = (V, E_x)$ , где  $E_x = E_m \cup E_{m,x}^+ \cup E_{m,x}^-$ .

Вычислительную сложность подэтапов алгоритма  $\alpha$  обозначим  $\tau(\alpha_1)$  и  $\tau(\alpha_2)$  [2].

Этап  $\alpha_1$  представляет собой алгоритм градиентного типа, в силу чего его работу можно организовать так, что в данном графе  $G = (V, E)$  каждая вершина  $v \in V$  и каждое ребро  $e \in E$  будут просматриваться ограниченное, т. е. конечное число раз при  $n \rightarrow \infty$ . Отсюда получаем верхнюю оценку вычислительной сложности

$$\tau(\alpha_1) \leq O(|V|) + O(|E|) \leq O(n^2) \quad (4)$$

В качестве верхней оценки вычислительной сложности этапа  $\alpha_1$  можно использовать вычислительную сложность венгерского алгоритма

$$\tau(\alpha_1) \leq O(n^3). \quad (5)$$

Таким образом, с учетом (4) и (5) получаем верхнюю оценку вычислительной сложности алгоритма  $\alpha$

$$\tau(\alpha) \leq \tau(\alpha_1) + \tau(\alpha_2) \leq O(n^3), \quad (6)$$

т. е. алгоритм  $\alpha$  является полиномиальным.

Напомним, что термин «статистически эффективный алгоритм» означает полиномиальный алгоритм, который при определенных условиях почти всегда находит оптимальное решение. С целью выявления и обоснования этих условий осуществим вероятностный анализ алгоритма  $\alpha$ .

Задачу о нахождении ДД с помощью алгоритма  $\alpha$  рассмотрим в следующей вероятностной постановке [4]. Через  $G_{n,q}$  обозначим  $n$ -вершинный граф, в котором для каждой пары вершин  $i, j$  ( $i, j = 1, \dots, n$ ) ребро  $u_{ij}$  появляется с вероятностью  $1 - q$  ( $0 \leq q < 1$ ) независимо от других ребер. При этом если ребро  $u_{ij}$  появилось, то ему с условной вероятностью  $p_v$  приписывается вес  $p_{ij} = v$  ( $v = 1, 2, \dots, r; \sum_{v=1}^r p_v = 1$ ). Вообще говоря, величины  $r, q, p_v$  ( $1 \leq v \leq r$ ) являются функциями от  $n$ :  $r = r(n)$ ,  $q = q(n)$ ,  $p_v = p_v(n)$ .

Пусть  $P\{D_n\}$  означает вероятность того, что в графе  $G_{n,q}$  алгоритм  $\alpha$  выделит ДД. Ставится задача определить, каким условиям должна удовлетворять величина  $q$ , чтобы выполнялось равенство  $\lim_{n \rightarrow \infty} P\{D_n\} = 1$ .

**Теорема 1.** Если  $q \leq 1 - \frac{\Phi}{n}$ , где  $\Phi = \Phi(n)$  – сколь угодно медленно растущая функция от  $n$  и  $\Phi(n) \rightarrow \infty$  при  $n \rightarrow \infty$ , то  $\lim_{n \rightarrow \infty} P\{D_n\} = 1$ .

*Доказательство.* Пусть  $P\{D_m\} (P\{D_n \setminus D_m\})$  – обозначает вероятность того, что алгоритм  $\alpha$  выделит в  $G_n$  ДД  $D_m$  (остовное ДД  $D_n$  при условии, что в результате работы первого этапа ДД  $D_m$  уже выделено).

На шаге  $s$  первого этапа число четных (нечетных) вершин  $v \in V^+ (v \in V^-)$ , не принадлежит ДД  $D_{s-1}$ , равно  $l = \left\lfloor \frac{n}{2} \right\rfloor - s + 1$ ,  $1 \leq s \leq m$ ,  $m = \frac{n-3}{4}$ .

Учитывая известное соотношение  $1 - z \leq e^{-z}$ , из определения операции градиентного алгоритма  $\alpha_1$  получаем вероятность успешного выполнения шага  $s$ , которая равна  $P\{D_s \setminus D_{s-1}\} = (1 - q^{l-s+1})^2$ . Отсюда с учетом условий теоремы 1 вероятность успешной работы этапа  $\alpha_1$  равна

$$\begin{aligned} P\{D_m\} &= \prod_{s=1}^m P\{D_s \setminus D_{s-1}\} = \prod_{s=1}^m (1 - q^{l-s+1})^2 \geq 1 - 2 \sum_{s=1}^m q^{l-s+1} \geq 1 - \\ &= \frac{2}{1-q} q^{l-m+1} \geq 1 - \frac{2\Phi}{n} \left(1 - \frac{\Phi}{n}\right)^{\frac{n}{4}} \geq 1 - \exp(\ln 2\Phi - \ln n - \frac{\Phi}{n} - \frac{n}{4}) = \\ &= 1 - \exp(\ln 2\Phi - \ln n - \frac{\Phi}{4}) \rightarrow 1, n \rightarrow \infty. \end{aligned} \quad (7)$$

при  $n \rightarrow \infty$  и выборе  $\Phi = \Phi(n) \leq \ln n$ .

Приступая к вероятностному анализу этапа  $\alpha_2$ , напомним, что его суть состоит в решении задачи о совершенных парасочетаниях на двудольном подграфе.

Вероятностная постановка этой задачи исследуется в работе [5]. В терминах и обозначениях настоящей работы полученный в [5] результат может быть сформулирован следующим образом.

**Лемма 1.** При выполнении условий теоремы 1 алгоритм этапа  $\alpha_2$  почти всегда находит совершенное парасочетание в двудольных графах  $G_m^+$  и  $G_m^-$ , т. е. вероятность успешной работы этапа  $\alpha_2$   $P\{D_m \setminus D_n\} \rightarrow 1$  при  $n \rightarrow \infty$ , если

$$q \leq \frac{n}{\ln n + \varphi}. \quad (8)$$

На основании (7) и (8) получаем требуемое доказательство теоремы 1.

Рассмотренный выше вероятностный граф  $G_n$  является невзвешенным. Обозначим через  $G_n^r$  взвешенный вероятностный граф, в котором каждой паре вершин  $(i, j)$  с вероятностью  $p'_v$  приписывается натуральное число  $v \in \{1, 2, \dots, r\}$ ,  $\sum_{v=1}^r p'_v = 1 - p'_0$ , где  $p'_0$  – вероятность того, что ребро  $e = (i, j)$  отсутствует в  $G_n^r$ . Положим  $q = p'_0 + p'_2 + \dots + p'_r$ , тогда  $p'_1 = 1 - q$ . Обозначим через  $\sigma_\alpha$  – значение целевой функции  $f(x) = \sum_{e \in X} w(e)$  на допустимом решении  $x = (V, E_x)$ , найденном с помощью алгоритма  $\alpha$  в графе  $G_n^r$ .

Воспользуемся доказательством теоремы 1. При  $p'_1 \geq \frac{\Phi}{n}$  из (7) и (8) получим равенство  $\lim_{n \rightarrow \infty} P\{\sigma_\alpha = n\} = \lim_{n \rightarrow \infty} P\{D_n\} = 1$ . Следовательно, верна следующая теорема.

**Теорема 2.** Если вероятность появления в графе  $G_n^r$  единичного веса  $p'_1 \geq \frac{\Phi}{n}$ , то с вероятностью  $p \geq 1 - \delta_n \lim_{n \rightarrow \infty} \delta_n = 0$  алгоритм  $\alpha$  выделит в  $G_n^r$  оптимальное ДД  $x^*$ .

В работе рассмотрена NP-трудная задача об остовых деревьях ограниченной степени на ДД. Для этой задачи построен полиномиальный алгоритм  $\alpha$ , который выделяет оптимальное диадическое дерево в заданном графе и приведены обоснования достаточных условий его статистической эффективности.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Перепелица В.А., Сергиенко И.В., Кочкаров А.М. К проблеме распознавания фрактальных графов // Кибернетика и системный анализ. – 1999. – № 4. – С. 72–89.
2. Сергеева Л.Н. Моделирование структуры экономических систем и процессов. – Запорожье: ЗГУ, 2002. – 88 с.
3. Гэри М., Джонсон Д. Вычислительные машины и труднорешаемые задачи. – М.: Мир, 1982. – 416 с.
4. Гольштейн Е. Г., Юдин Д.Б. Задачи линейного программирования транспортного типа. – М.: Наука, 1969. – 382 с.
5. Перепелица В.А. Асимптотический подход к решению некоторых экстремальных задач на графах // Проблемы кибернетики. – Вып. 26. – М.: Наука, 1973. — С. 291-314.

## АСИМПТОТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ КАСКАДА СОРБЦИОННЫХ АППАРАТОВ ПРИ ПОГЛОЩЕНИИ СМЕСИ ВЕЩЕСТВ

Бондаренко Л.Н., к.ф.-м.н., доцент, \*Жук П.Ф., д.ф.-м.н., доцент

*Национальная академия государственной налоговой службы Украины,  
\*Херсонский юридический институт*

Проведен асимптотический анализ математической модели каскада последовательно соединенных сорбционных аппаратов периодического действия при поглощении смеси веществ в области изменения параметров, при которых его работа подобна работе противотокового сорбционного аппарата непрерывного действия. Показано, что последовательность вектор-функций, описывающих установившийся режим работы каскада, равномерно сходится к стационарному решению математической модели противотокового аппарата. Результаты работы могут быть использованы при расчете и оптимизации каскадов.

*Ключевые слова: математическая модель, сорбция, каскад аппаратов, установившийся режим.*

Бондаренко Л.М., \*Жук П.Ф. АСИМПТОТИЧНИЙ АНАЛІЗ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ КАСКАДУ СОРБЦІЙНИХ АПАРАТІВ ПРИ ПОГЛИНАННІ СУМІШІ РЕЧОВИН / Національна академія державної податкової служби України, \*Херсонський юридичний інститут, Україна

Виконано асимптотичний аналіз математичної моделі каскаду послідовно сполучених сорбційних апаратів періодичної дії при поглинанні суміші речовин для параметрів, при яких його робота подібна до роботи протитокового сорбційного апарату неперервної дії. Показано, що послідовність вектор-функцій, які описують сталий режим роботи каскаду, рівномірно збігається до стаціонарного розв'язку математичної моделі протитокового апарату. Результати роботи можуть бути використані для розрахунку й оптимізації каскадів.

*Ключові слова: математична модель, сорбція, каскад апаратів, сталий режим.*

Bondarenko L.N., \*Zhuk P.F. THE ASYMPTOTIC ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODEL OF CASCADES OF SORPTION APPARATUS UNDER MIXTURE ABSORPTION / National Academy State Taxation Service Ukraine, \*Kherson law Institute, Ukraine

The asymptotic analysis of mathematical model of cascades of consecutive-joint sorption apparatus under periodic switching during extraction mixture of substances in the district variable parameters, when his work be similar to work counter-current sorption apparatus (column), has been conducting. It is show, that the sequence of vector functions described the settle operating conditions of the cascades is uniformly convergent to stationary solution of mathematical model of counter-current column. The results of this work are applicable for computation and optimization.

*Key words: mathematical model, sorption, apparatus cascades, limit-operating conditions.*

### ВВЕДЕНИЕ

Сорбционный процесс является универсальным методом промышленного извлечения и разделения смесей органических веществ, весьма эффективно протекающий в многоступенчатых сорбционных установках, работающих по проточно-циклической схеме: поток веществ проходит через каскад аппаратов непрерывно, на регенерацию в определенной последовательности (циклично) выводятся колонны с отработанным сорбентом, а взамен их подключаются аппараты со свежим или отрегенированным сорбентом [1 – 3].

Необходимость анализа большого числа варьируемых параметров (количество ступеней, высота отдельной ступени, скорость пропускания потока, дисперсность сорбента и т.д.) приводит к тому, что практически единственным возможным подходом к расчету и оптимизации работы каскада аппаратов является математическое моделирование процесса сорбции в каскаде с последующей оптимизацией параметров модели.

Опыт применения каскадов показывает, что с увеличением числа циклов работа каскада стабилизируется и он выходит на установившийся режим, являющийся важнейшей его оптимизационной характеристикой [4 – 6]. Вопросы существования установившегося режима работы каскада аппаратов в рамках используемых математических моделей были рассмотрены в статьях [7 – 9]: доказано, что при некоторых условиях на изотерму сорбции последовательности функций, составляющих решение математической модели каскада, равномерно сходятся к некоторым предельным функциям, описывающим установившийся режим.

Поскольку численный расчет предельных функций, описывающих установившийся режим работы каскада, может быть весьма трудоемким, то практический интерес представляют различного рода приближенные формулы, справедливые в отдельных областях изменения параметров каскада.

С этой целью в [10] была рассмотрена последовательность каскадов аппаратов, аппроксимирующих противотоковый сорбционный аппарат непрерывного действия. Показано, что при извлечении одного вещества последовательность решений математических моделей, описывающих установившиеся режимы работы каскадов, равномерно сходится к стационарному решению математической модели противотокового аппарата. Полученный результат был использован для приближенного описания работы каскадов.

В данной статье результаты, полученные [10], распространяются на случай сорбции смеси веществ в каскаде аппаратов. Показано, что, как и в случае сорбции одного вещества, работа каскада аппаратов в некоторой области изменения параметров подобна работе противотокового сорбционного аппарата непрерывного действия.

В §1 построена последовательность  $K_n$ ,  $n=1,2,\dots$ , каскадов аппаратов периодического действия, аппроксимирующих противотоковый сорбционный аппарат непрерывного действия  $K_\infty$  и сформулирована математическая постановка задачи.

В §2 доказана равномерная сходимость последовательностей вектор-функций  $\bar{a}_n$ ,  $\bar{c}_n$ , описывающих установившиеся режимы работы каскадов  $K_n$ , к решению  $\bar{a}_\infty$ ,  $\bar{c}_\infty$  математической модели стационарного режима работы противотокового сорбционного аппарата непрерывного действия  $K_\infty$ .

Таким образом, нами доказано, что при извлечении смеси веществ последовательность решений математических моделей, описывающих установившиеся режимы работы каскадов последовательно соединенных сорбционных аппаратов периодического действия, аппроксимирующих противотоковый сорбционный аппарат непрерывного действия, при естественных предположениях об изотерме адсорбции равномерно сходится к стационарному решению математической модели противотокового аппарата. Следовательно, решение математической модели противотокового аппарата может быть использовано для приближенного описания работы каскада периодического действия при поглощении смеси веществ в области изменения параметров, при которых работа каскада подобна работе противотокового сорбционного аппарата непрерывного действия.

Перспективным в данном направлении является исследование скорости сходимости последовательности решений математических моделей каскадов к решению математической модели противотокового аппарата, а также применение аппроксимационных свойств этой последовательности к задаче приближенного описания работы каскада при извлечении и разделении смеси веществ.

## 1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Обозначим через  $K_n$  ( $n=1,2,\dots$ ) каскад  $n$  последовательно соединенных сорбционных аппаратов длины  $l_n = L/n$  с неподвижным слоем сорбента  $S$ , на вход которого поступает с постоянной линейной скоростью  $v$  поток  $P$  смеси  $m$  сорбируемых веществ с постоянными (равными  $c_{0j}$ ,  $j=1, \dots, m$ ) концентрациями. Продолжительность каждого цикла работы каскада  $K_n$  предполагается постоянной и равной  $T_n = T/n$ .

Для описания установившегося режима работы каскада  $K_n$  используем  $m$ -мерное обобщение математической модели [10], представляющее собой  $n$  задач Гурса в прямоугольнике  $\Pi_n = [0, l_n] \times [0, T_n]$ :

$$\frac{\partial \bar{a}_i^{(n)}}{\partial t} + v \frac{\partial \bar{c}_i^{(n)}}{\partial y} = 0, \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial \bar{a}_i^{(n)}}{\partial t} = \bar{F}(\bar{c}_i^{(n)}, \bar{a}_i^{(n)}), \quad (1.2)$$

$$\bar{c}_i^{(n)}(0, t) = \bar{\psi}_i^{(n)}(t), \quad (1.3)$$

$$\bar{a}_i^{(n)}(y, 0) = \bar{\varphi}_i^{(n)}(y), \quad (1.4)$$

с условиями согласования

$$\bar{\psi}_i^{(n)}(t) = \begin{cases} \bar{c}_0, & i = 1, \\ \bar{c}_{i-1}^{(n)}(l_n, t), & i = 2, 3, \dots, n, \end{cases} \quad (1.5)$$

$$\bar{\varphi}_i^{(n)}(y) = \begin{cases} \bar{a}_{i+1}^{(n)}(y, T_n), & i = 1, 2, \dots, n-1, \\ 0, & i = n, \end{cases} \quad (1.6)$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$  - номер аппарата, отсчитываемый от входа в каскад,  $t$  ( $0 \leq t \leq T_n$ ) - локальное время цикла работы каскада  $K_n$ ,  $y$  ( $0 \leq y \leq l_n$ ) - локальное расстояние  $i$ -го аппарата (т.е. расстояние от начала  $i$ -го аппарата по ходу потока),  $\bar{c}_i^{(n)}(y, t) = (c_{i1}^{(n)}(y, t), \dots, c_{im}^{(n)}(y, t))$ ,  $\bar{a}_i^{(n)}(y, t) = (a_{i1}^{(n)}(y, t), \dots, a_{im}^{(n)}(y, t))$  - векторы, составленные из концентраций веществ смеси соответственно в потоке и сорбенте в точке  $y$   $i$ -го аппарата в момент времени  $t$ ,  $\bar{c}_0 = (c_{01}, \dots, c_{0m})$  - вектор концентраций веществ в потоке на входе каскада.

Относительно вектор-функции  $\bar{F}$  предполагаем, что она определена на множестве  $R_+^m \times R_+^m$ , удовлетворяет на нем условию Липшица (с константой  $M$ ), а также  $\forall i = 1, \dots, m$  неравенствам

$$F_i(\bar{c}, \bar{a})|_{c_i=0} \leq 0, \quad F_i(\bar{c}, \bar{a})|_{a_i=0} \geq 0, \quad F_i(\bar{c}, \bar{a})|_{a_i \geq \alpha} \leq 0, \quad (1.7)$$

где  $R_+^m$  - конус вещественного банахового пространства  $R^m$   $m$ -мерных векторов со стандартной  $\max$ -нормой, состоящий из векторов с неотрицательными компонентами,  $\alpha$  - некоторое, зависящее от  $\bar{F}$ , неотрицательное число (здесь использованы стандартные обозначения, например,  $F_i(\bar{c}, \bar{a})|_{c_i=0} = F_i(c_1, \dots, c_{i-1}, 0, c_{i+1}, \dots, c_n, \bar{a})$ ).

Если  $\bar{F}$  удовлетворяет указанным выше условиям (множество таких вектор-функций обозначим через  $\mathfrak{R}$ ) и  $\bar{c}_0 \in R_+^m$ , то математическая модель (1.1) - (1.6) имеет решение, непрерывное вместе со своими частными производными  $(\bar{a}_i^{(n)})'_t$ ,  $(\bar{c}_i^{(n)})'_y$  на прямоугольнике  $\Pi_n$ , причем  $\forall i = 1, \dots, n$  и  $\forall (y, t) \in \Pi_n$  имеют место соотношения

$$\bar{a}_i^{(n)}(y, t) \in E_\alpha, \quad \bar{c}_i^{(n)}(y, t) \in E_\beta, \quad (1.8)$$

где  $E_\alpha = [0, \alpha]^m$ ,  $E_\beta = [0, \beta]^m$  - кубы в пространстве  $R^m$  со сторонами соответственно  $\alpha$  и  $\beta = \|\bar{c}_0\| + ML\alpha$ .

Исходя из решения  $\bar{a}_i^{(n)}$ ,  $\bar{c}_i^{(n)}$  математической модели (1.1) - (1.6), образуем вектор-функции  $\bar{a}_n$ ,  $\bar{c}_n$ , определенные на отрезке  $[0, L]$  по формулам

$$\bar{a}_n(x) = \begin{cases} \bar{a}_1^{(n)}(0, 0) & \text{при } x = 0, \\ \bar{a}_i^{(n)}(x - x_{i-1}^{(n)}, 0) & \text{при } x_{i-1}^{(n)} < x \leq x_i^{(n)}, \end{cases} \quad (1.9)$$

$$\bar{c}_n(x) = \bar{c}_i^{(n)}(x - x_{i-1}^{(n)}, 0) \quad \text{при } x_{i-1}^{(n)} \leq x \leq x_i^{(n)}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где  $x$  ( $0 \leq x \leq L$ ) - расстояние, отсчитываемое от точки входа в каскад  $K_n$  потока  $P$ ,  $x_i^{(n)} = il_n$ ,  $i = 0, 1, \dots, n$ . Вектор-функция  $\bar{c}_n$  непрерывна на всем отрезке  $[0, L]$ , а вектор-функция  $\bar{a}_n$  непрерывна на нем, за исключением точек  $x_i^{(n)}$ ,  $i = 1, 2, \dots, n-1$ , в которых она непрерывна слева и может иметь лишь разрывы первого рода (скачки).

Вектор-функции  $\bar{a}_n$ ,  $\bar{c}_n$  описывают состояние каскада  $K_n$  в начале цикла работы в установившемся режиме. Из физических соображений следует, что при достаточно больших  $n$  работа каскада  $K_n$  практически идентична работе противотокового сорбционного аппарата непрерывного действия  $K_\infty$  длины  $L$ , на вход которого поступает поток  $P$  с линейной скоростью  $v$ , а слой сорбента  $S$  движется навстречу потоку с линейной скоростью  $w = -L/T$ . Поэтому математическая модель (1.1) - (1.6) каскада  $K_n$  должна асимптотически (при  $n \rightarrow \infty$ ) преобразовываться в математическую модель, описывающую стационарный режим работы аппарата  $K_\infty$ , а последовательность вектор-функций  $\bar{a}_n$ ,  $\bar{c}_n$ , - сходиться к решению математической модели  $K_\infty$ .

Математической моделью, описывающей стационарный режим работы аппарата  $K_\infty$ , является следующая краевая задача на отрезке  $[0, L]$  [11]:

$$w \frac{d\bar{a}_\infty}{dx} + v \frac{d\bar{c}_\infty}{dx} = 0, \quad (1.10)$$

$$w \frac{d\bar{a}_\infty}{dx} = \bar{F}(\bar{c}_\infty, \bar{a}_\infty) \quad (1.11)$$

$$\bar{c}_\infty(0) = \bar{c}_0, \quad \bar{a}_\infty(L) = 0 \quad (1.12)$$

где  $\bar{a}_\infty(x)$ ,  $\bar{c}_\infty(x)$  - векторы, составленные из концентраций сорбируемых веществ в точке  $x$  ( $0 \leq x \leq L$ ) соответственно в сорбенте и потоке.

Основной задачей данной статьи является доказательство равномерной сходимости на отрезке  $[0, L]$  последовательностей вектор-функций  $\bar{a}_n$ ,  $\bar{c}_n$  к решению  $\bar{a}_\infty$ ,  $\bar{c}_\infty$  математической модели (1.10) – (1.12) стационарного режима работы противотокового сорбционного аппарата непрерывного действия  $K_\infty$ .

## 2. СХОДИМОСТЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ $\bar{a}_n$ , $\bar{c}_n$

Здесь и далее будем предполагать, что  $\bar{F} \in \mathfrak{R}$ . Тогда  $\forall (\bar{c}^{(i)}, \bar{a}^{(i)}) \in R_+^m \times R_+^m$ ,  $i=1, 2$ , имеет место неравенство  $\|\bar{F}(\bar{c}^{(1)}, \bar{a}^{(1)}) - \bar{F}(\bar{c}^{(2)}, \bar{a}^{(2)})\| \leq M(\|\bar{c}^{(1)} - \bar{c}^{(2)}\| + \|\bar{a}^{(1)} - \bar{a}^{(2)}\|)$ , где  $\|\bar{u}\| = \max_{i=1,2,\dots,m} |u_i|$  - норма в пространстве  $R^m$ , а  $M$  - константа Липшица вектор-функции  $\bar{F}$ . Поскольку (см. (1.7))  $\bar{F}(0,0) = 0$ , то из указанного выше неравенства вытекает, что вектор-функция  $\bar{F}$  ограничена на множестве  $E_\beta \times E_\alpha$  числом  $Q = M(\alpha + \beta)$ .

**Лемма 1.** Если  $\bar{F} \in \mathfrak{R}$ ,  $\bar{c}_0 \in R_+^m$ , то для всех  $n > \frac{2ML}{v}$  и  $i=1, \dots, n$  имеют место оценки  $\max_{(y,t) \in \Pi_n} \|\bar{a}_i^{(n)}(y,0) - \bar{a}_i^{(n)}(y,t)\| \leq QT_n$ ,  $\max_{(y,t) \in \Pi_n} \|\bar{c}_i^{(n)}(y,0) - \bar{c}_i^{(n)}(y,t)\| \leq \gamma_1 T_n$ , где число  $\gamma_1$  зависит лишь от  $v, L, T, M, Q$ .

**Доказательство.** Интегрируя уравнения (1.1), (1.2), находим, что

$$\bar{a}_i^{(n)}(y,t) - \bar{a}_i^{(n)}(y,0) = \int_0^t \bar{F}(\bar{a}_i^{(n)}(y,\tau), \bar{c}_i^{(n)}(y,\tau)) d\tau, \quad (2.1)$$

$$v\bar{c}_i^{(n)}(y,t) = v\bar{c}_0 - \sum_{j=1}^{i-1} \int_0^L \bar{F}(\bar{c}_j^{(n)}(\xi,t), \bar{a}_j^{(n)}(\xi,t)) d\xi - \int_0^y \bar{F}(\bar{c}_i^{(n)}(\xi,t), \bar{a}_i^{(n)}(\xi,t)) d\xi. \quad (2.2)$$

Первая оценка вытекает из соотношений (1.8), (2.1) и ограниченности вектор-функции  $\bar{F}$  на множестве  $E_\beta \times E_\alpha$ . Вторая оценка получается из соотношения (2.2) индукцией по  $i=1, \dots, n$ . **Лемма доказана.**

**Лемма 2.** Если  $\bar{F} \in \mathfrak{R}$ ,  $\bar{c}_0 \in R_+^m$ , то для всех чисел  $n > 2MT$ ,  $i=1, \dots, n$  и точек  $x_1, x_2 \in [x_{i-1}^{(n)}, x_i^{(n)}]$  имеем  $\|\bar{a}_n(x_1) - \bar{a}_n(x_2)\| \leq \gamma_2 |x_1 - x_2|$ ,  $\|\bar{a}_n(x_{i-1}^{(n)}) - \bar{a}_n(x_{i-1}^{(n)} + 0)\| \leq \gamma_2 l_n$ ,  $\|\bar{c}_n(x_1) - \bar{c}_n(x_2)\| \leq \frac{Q}{v} |x_1 - x_2|$ , где число  $\gamma_2$  зависит лишь от  $v, L, T, M, Q$ .

**Докажем** первую оценку. Зафиксируем точки  $x_1, x_2 \in [x_{i-1}^{(n)}, x_i^{(n)}]$  и рассмотрим вектор-функцию  $\bar{\lambda}_i^{(n)}(t) = \bar{a}_i^{(n)}(\xi_1, t) - \bar{a}_i^{(n)}(\xi_2, t)$ , где  $\xi_j = x_j - x_{i-1}^{(n)}$ ,  $j=1, 2$ . Из (1.2) следует

$$\bar{\lambda}_i^{(n)}(t) = \bar{\lambda}_i^{(n)}(0) + \int_0^t [\bar{F}(\bar{c}_i^{(n)}(\xi_1, \tau), \bar{a}_i^{(n)}(\xi_1, \tau)) - \bar{F}(\bar{c}_i^{(n)}(\xi_2, \tau), \bar{a}_i^{(n)}(\xi_2, \tau))] d\tau, \text{ ПОЭТОМУ}$$

$$\|\bar{\lambda}_i^{(n)}\| \leq \|\bar{\lambda}_i^{(n)}(0)\| + M(\|\bar{c}_i^{(n)}|_{y=\xi_1} - \bar{c}_i^{(n)}|_{y=\xi_2}\| + \|\bar{\lambda}_i^{(n)}\|) T_n, \quad (2.3)$$

где  $\|\bar{w}\| = \max_{t \in [0, T_n]} \|\bar{w}(t)\|$  - норма вектор-функции  $\bar{w}$ . Оценим  $\left\| \bar{c}_i^{(n)} \Big|_{y=\xi_1} - \bar{c}_i^{(n)} \Big|_{y=\xi_2} \right\|$ .

Из (1.1), (1.2) следует, что  $\bar{c}_i^{(n)}(\xi_1, t) - \bar{c}_i^{(n)}(\xi_2, t) = \frac{1}{v} \int_{\xi_1}^{\xi_2} \bar{F}(\bar{c}_i^{(n)}(y, t), \bar{a}_i^{(n)}(y, t)) dy$ , поэтому, учитывая соотношения (1.8), имеем

$$\left\| \bar{c}_i^{(n)} \Big|_{y=\xi_1} - \bar{c}_i^{(n)} \Big|_{y=\xi_2} \right\| \leq \frac{Q}{v} |x_1 - x_2|. \quad (2.4)$$

Из оценок (2.3), (2.4) вытекает, что  $\|\bar{\lambda}_i^{(n)}\| \leq q_n (\|\bar{\lambda}_i^{(n)}(0)\| + \delta_n)$  при  $n > MT$ , где  $q_n = \frac{1}{1 - MT_n}$ ,

$\delta_n = \frac{MQT_n}{v} |x_1 - x_2|$ . Поэтому, замечая, что в силу условий (1.4), (1.6),

$\bar{\lambda}_i^{(n)}(T_n) = \bar{\lambda}_{i-1}^{(n)}(0) = \bar{a}_{i-1}^{(n)}(\xi_1, 0) - \bar{a}_{i-1}^{(n)}(\xi_2, 0)$ , получаем неравенство

$$\|\bar{\lambda}_i^{(n)}(0)\| \leq q_n^{n-i} \|\bar{\lambda}_n^{(n)}(0)\| + (q_n + q_n^2 + \dots + q_n^{n-i}) \delta_n,$$

$$i = 1, \dots, n. \quad (2.5)$$

Так как  $\bar{\lambda}_i^{(n)}(0) = \bar{a}_n(x_1) - \bar{a}_n(x_2)$ ,  $\bar{\lambda}_n^{(n)}(0) = 0$ , то требуемая оценка вытекает из (2.5) и неравенства  $q_n^j \leq e^{2MT}$  при  $j \leq n$  и  $n > 2MT$ .

Доказательство второй оценки аналогично и опирается на рекуррентное соотношение  $\|\bar{a}_n(x_{i-1}^{(n)}) - \bar{a}_n(x_{i-1}^{(n)} + 0)\| \leq q_n \|\bar{a}_n(x_i^{(n)}) - \bar{a}_n(x_i^{(n)} + 0)\|$ ,  $i = 1, 2, \dots, n-1$ , и неравенство  $\|\bar{a}_n(x_{n-1}^{(n)}) - \bar{a}_n(x_{n-1}^{(n)} + 0)\| \leq \frac{QT}{L} l_n$ .

Доказательство третьей оценки вытекает непосредственно из неравенства (2.4). **Лемма доказана.**

**Лемма 3.** Любая подпоследовательность последовательности  $\bar{a}_n, n = 1, 2, \dots$ , (аналогично,  $\bar{c}_n$ ) содержит равномерно сходящуюся на отрезке  $[0, L]$  к непрерывной вектор-функции подпоследовательность.

**Доказательство.** Рассмотрим кусочно-линейную аппроксимацию  $\bar{b}_n$  вектор-функции  $\bar{a}_n$ , заданную на каждом из отрезков  $[x_{i-1}^{(n)}, x_i^{(n)}]$  формулой  $\bar{b}_n(x) = [\bar{a}_n(x_{i-1}^{(n)})(x_i^{(n)} - x) + \bar{a}_n(x_i^{(n)})(x - x_{i-1}^{(n)})]/l_n$ . В силу соотношения (1.8), вектор-функции  $\bar{b}_n, n = 1, 2, \dots$ , (аналогично,  $\bar{c}_n$ ) равномерно ограничены, а в силу леммы 2 – равномерно непрерывны. Поэтому, по теореме Арцела, любая их подпоследовательность содержит подпоследовательность, равномерно сходящуюся на отрезке  $[0, L]$  к некоторой непрерывной вектор-функции. Остается заметить, что, в силу леммы 2,  $\sup_{x \in [0, L]} \|\bar{a}_n(x) - \bar{b}_n(x)\| \leq 2\gamma_2 l_n \rightarrow 0$  при  $n \rightarrow \infty$ .

**Лемма доказана.**

Основным результатом данной работы является

**Теорема.** Пусть  $\bar{F} \in \mathfrak{R}$ ,  $\bar{c}_0 \in R_+^m$ ,  $a_n, c_n, n = 1, 2, \dots$ , – последовательности вектор-функций, образованные по формуле (1.9), а  $\bar{a}_\infty, \bar{c}_\infty$  – решение краевой задачи (1.10) - (1.12). Тогда  $\bar{a}_n(x) \rightarrow \bar{a}_\infty(x)$ ,  $\bar{c}_n(x) \rightarrow \bar{c}_\infty(x)$  при  $n \rightarrow \infty$  равномерно по  $x \in [0, L]$ .

**Доказательство.** В силу леммы 3 достаточно показать, что если  $\bar{a}_{n_j}, \bar{c}_{n_j}, j = 1, 2, \dots$ , – произвольные подпоследовательности последовательностей  $a_n, c_n, n = 1, 2, \dots$ , равномерно сходящиеся на отрезке  $[0, L]$  к непрерывным вектор-функциям  $\bar{a}^*, \bar{c}^*$  соответственно, то  $\bar{a}^* = \bar{a}_\infty, \bar{c}^* = \bar{c}_\infty$ .

Из уравнений (1.1) - (1.2) следует, что  $v(\bar{c}_{n_j}(x) - \bar{c}_0) = - \int_0^x \bar{F}(\bar{c}_{n_j}(\xi), \bar{a}_{n_j}(\xi)) d\xi$ , поэтому, переходя в этом

равенстве к пределу по  $j \rightarrow \infty$ , находим, что вектор-функция  $\bar{c}^*$  непрерывно дифференцируема на отрезке  $[0, L]$  и удовлетворяет на этом отрезке обыкновенному дифференциальному уравнению

$$v \frac{d\bar{c}^*}{dx} = -\bar{F}(\bar{c}^*, \bar{a}^*). \quad (2.6)$$

Покажем, что вектор-функция  $\bar{a}^*$  также непрерывно дифференцируема на отрезке  $[0, L]$  и вычислим ее производную. Для этого зафиксируем две произвольные точки  $x, x + \Delta x$  из отрезка  $[0, L]$  (полагая, для определенности, что  $x \in [x_{i-1}^{(n_j)}, x_i^{(n_j)}[$ , а  $\Delta x > 0$ ), и выделим главную часть приращения  $\Delta \bar{a}_{n_j}(x) = \bar{a}_{n_j}(x + \Delta x) - \bar{a}_{n_j}(x)$  вектор-функции  $\bar{a}_{n_j}$  при достаточно больших  $j$ .

Покроем отрезок  $[x, x + \Delta x]$  равномерной сеткой с шагом  $l_{n_j}$  и узлами  $z_0 = x, z_k = z_{k-1} + l_{n_j}, k = 1, \dots, m$ , ( $m$  - целая часть числа  $\Delta x / l_{n_j}$ ). Так как  $\bar{a}_{n_j}(z_k) = \bar{a}_{i+k}^{(n_j)}(y, 0) = \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, T_{n_j})$ , где  $y = x - x_{i-1}^{(n_j)}$ , то имеет место разложение

$$\Delta \bar{a}_{n_j}(x) = \sum_{k=0}^{m-1} (\bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0) - \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, T_{n_j})) + (\bar{a}_{n_j}(x + \Delta x) - a_{n_j}(z_m)). \quad (2.7)$$

Оценим величину  $\bar{\delta}_{i+k+1}^{(n_j)}(y) = \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0) - \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, T_{n_j}) + \bar{F}(\bar{c}_{n_j}(x), \bar{a}_{n_j}(x))T_{n_j}$ . Так как

$$\bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0) - \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, T_{n_j}) = - \int_0^{T_{n_j}} \bar{F}(\bar{c}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau), \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau)) d\tau, \quad \bar{c}_{n_j}(x) = \bar{a}_i^{(n_j)}(y, 0), \quad \bar{a}_{n_j}(x) = \bar{a}_i^{(n_j)}(y, 0),$$

полагая  $\bar{\delta}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau) = \bar{F}(\bar{c}_i^{(n_j)}(y, 0), \bar{a}_i^{(n_j)}(y, 0)) - \bar{F}(\bar{c}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau), \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau))$ , имеем

$$\bar{\delta}_{i+k+1}^{(n_j)}(y) = \int_0^{T_{n_j}} \bar{\delta}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau) d\tau. \text{ Далее, очевидно, что}$$

$$\begin{aligned} \|\bar{\delta}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau)\| &\leq M (\|\bar{c}_i^{(n_j)}(y, 0) - \bar{c}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau)\| + \|\bar{a}_i^{(n_j)}(y, 0) - \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau)\|), \\ \|\bar{c}_i^{(n_j)}(y, 0) - \bar{c}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau)\| &\leq \|\bar{c}_i^{(n_j)}(y, 0) - \bar{c}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0)\| + \|\bar{c}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0) - \bar{c}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau)\|, \\ \|\bar{a}_i^{(n_j)}(y, 0) - \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau)\| &\leq \|\bar{a}_i^{(n_j)}(y, 0) - \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0)\| + \|\bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0) - \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau)\|. \end{aligned}$$

Используя леммы 1,2, получаем оценки

$$\begin{aligned} \|\bar{c}_i^{(n_j)}(y, 0) - \bar{c}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0)\| &\leq \frac{Q}{v} \Delta x, \quad \|\bar{c}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0) - \bar{c}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau)\| \leq \gamma_1 T_{n_j}, \\ \|\bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0) - \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, \tau)\| &\leq Q T_{n_j}, \\ \|\bar{a}_i^{(n_j)}(y, 0) - \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0)\| &\leq \|\bar{a}_{n_j}(x) - \bar{a}_{n_j}(x + l_{n_j})\| + \dots + \|\bar{a}_{n_j}(x + kl_{n_j}) - \bar{a}_{n_j}(x + (k+1)l_{n_j})\| \leq 2\gamma_2 \Delta x, \end{aligned}$$

следовательно, для любого  $k = 0, 1, \dots, m-1$  справедливо неравенство

$$\|\bar{\delta}_{i+k+1}^{(n_j)}(y)\| \leq \gamma_3 T_{n_j} (T_{n_j} + \Delta x), \quad (2.8)$$

где число  $\gamma_3$  зависит лишь от  $v, L, T, M, Q$ . Из леммы 2 также следует оценка

$$\|\bar{a}_{n_j}(x + \Delta x) - a_{n_j}(z_m)\| \leq 2\gamma_2 l_{n_j}. \quad (2.9)$$

Для отыскания главной части приращения  $\Delta \bar{a}_{n_j}(x) = \bar{a}_{n_j}(x + \Delta x) - \bar{a}_{n_j}(x)$ , заменим  $\bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, 0) - \bar{a}_{i+k+1}^{(n_j)}(y, T_{n_j})$  в соотношении (2.7) на  $-\bar{F}(\bar{c}_{n_j}(x), \bar{a}_{n_j}(x))T_{n_j} + \bar{\delta}_{i+k+1}^{(n_j)}(y)$ . При этом получаем

разложение  $\Delta \bar{a}_{n_j}(x) = \bar{F}(\bar{c}_{n_j}(x), \bar{a}_{n_j}(x)) \frac{\Delta x}{w} + \bar{\delta}_{n_j}(x, \Delta x)$ , где, в силу оценок (2.8), (2.9),

$$\|\bar{\delta}_{n_j}(x, \Delta x)\| \leq \gamma [T_{n_j} + T_{n_j} \Delta x + (\Delta x)^2], \text{ а число } \gamma \text{ зависит лишь от } v, L, T, M, Q.$$

Переходя в полученном разложении к пределу по  $j \rightarrow \infty$ , выделяем линейную часть приращения

$$\Delta \bar{a}^*(x) = \bar{a}^*(x + \Delta x) - \bar{a}^*(x) : \quad \Delta \bar{a}^*(x) = \bar{F}(\bar{c}^*(x), \bar{a}^*(x)) \frac{\Delta x}{w} + \bar{\delta}(x, \Delta x), \quad \text{где} \quad \|\bar{\delta}(x, \Delta x)\| \leq \gamma(\Delta x)^2.$$

Следовательно, вектор-функция  $\bar{a}^*$  непрерывно дифференцируема на отрезке  $[0, L]$  и удовлетворяет на этом отрезке обыкновенному дифференциальному уравнению

$$w \frac{d\bar{a}^*}{dx} = \bar{F}(\bar{c}^*, \bar{a}^*). \quad (2.10)$$

Так как  $\bar{c}^*(0) = \bar{c}_0$ ,  $\bar{a}^*(L) = 0$ , то из соотношений (2.6), (2.10) вытекают равенства  $\bar{a}^* = \bar{a}_\infty$ ,  $\bar{c}^* = \bar{c}_\infty$ , что и требовалось доказать. **Теорема доказана.**

## ЛИТЕРАТУРА

1. Адсорбционная технология очистки сточных вод / А.М. Когановский, Т.М. Левченко, И.Г. Рода, Р.М. Марутовский. – К.: Техніка, 1981.
2. Сорбционные методы разделения многокомпонентных смесей органических веществ / И.Г. Рода, Р.М. Марутовский, В.Я. Каганов, Н.Г. Антонок // Химия и технология воды. - 1989. - Т.11. - №12. С. 1059 – 1067.
3. Рода И.Г., Жук П.Ф., Марутовский Р.М. Теоретические аспекты сорбционного разделения смеси органических веществ из водных растворов в каскаде аппаратов с плотным слоем // Химия и технология воды. - 1990. - Т.12. - №7. - С. 579 – 582.
4. Chen J.W., Cunningham R.L., Buege J.A. Computer simulation of plantscale multicolumn adsorption processes under periodic counter-current operation // Ind. Eng. Chem. Proc. Design Develop. - 1972. - Vol.11. - № 3. - P.430-436.
5. Svedberg G. Numerical solution of multicomponent adsorption process under periodic counter-current operation // Chem. Eng. Sci. - 1976. - Vol.31. - № 5. - P.345-354.
6. Sung E., Han C.D., Rhee H. Optimal design of multistage adsorption-bed systems // AIChE Journal. - 1979. -Vol.25. -№ 1. -P.87-100.
7. Бондаренко Л.Н. Математическая модель каскада сорбционных аппаратов // Матем. моделирование. -1997. -Т.9, №11. -С.23–32.
8. Бондаренко Л.Н. Каскад последовательно соединенных сорбционных аппаратов (нелинейный случай) // Математическое моделирование.- 1998. -Т.10, -№ 4. -С.41–50.
9. Бондаренко Л.Н., Жук П.Ф. Математическая модель каскада сорбционных аппаратов при поглощении смеси веществ // Вісник Запорізького державного університету, серія “Фізико-математичні та біологічні науки”.- №2.- 2002.- С.5-10.
10. Бондаренко Л.Н. О почти непрерывном режиме работы каскада последовательно соединенных сорбционных аппаратов // Математическое моделирование. -1999. -Т.11, № 8. -С. 105 – 115.
11. Тодес О.М. Проблемы теории динамики адсорбции смесей // Кинетика и динамика физической адсорбции. -М.: Наука, 1973. -С.205-213.

УДК [539.37+539.377] : 51 : 53

## СТАЦИОНАРНАЯ ЗАДАЧА О РАСПРЕДЕЛЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ В МНОГОФАЗНОЙ ПЛАСТИНКЕ

Величко И.Г., к. ф.-м. н., доцент, Ткаченко И.Г., аспирант

*Запорожский государственный университет*

Решается задача о стационарном распределении тепла в пластине, состоящей из произвольного конечного числа спаянных, неограниченных в плане, параллельных полос, на одной границе которой задана температура или поток, а на другой поддерживается нулевая температура. Получено точное

решение в виде интегралов Фурье. Формулы приведены к виду, удобному для вычисления на ЭВМ. Приведен пример расчета.

*Ключевые слова:* пластина, полоса, температура, преобразование Фурье, функция податливости.

Величко І.Г., Ткаченко І.Г. СТАЦІОНАРНА ЗАДАЧА ПРО РОЗПОДІЛ ТЕМПЕРАТУРИ В БАГАТОФАЗНІЙ ПЛАСТИНЦІ / Запорізький державний університет, Україна

Розв'язується задача про стаціонарний розподіл тепла в пластині, яка складається з довільного скінченного числа спаяних, необмежених у плані, паралельних смуг, на одній межі якої задана температура або потік, а на іншій підтримується нульова температура. Отримано точний розв'язок у вигляді інтегралів Фур'є. Формули зведені до вигляду, зручного для обчислення на ЕОМ. Наведені приклади розрахунку.

*Ключові слова:* пластина, смуга, температура, перетворення Фур'є, функція податливості.

Velichko I.G., Tkachenko I.G. STATIONARY TASK ABOUT DISTRIBUTION OF TEMPERATURE IN A MULTIPHASE PLATE / Zaporizhzhya State University, Ukraine

The task about stationary distribution of heat in a plate consisting of any final number coupled, unlimited in the plan parallel strips. On which one border temperature or flow is given, and on another zero temperature is supported. The exact decision as integrals Fourier is received. The formulas are given in a kind convenient for calculation on the computer. The example of account is given.

*Key words:* a plate, strip, temperature, transformation Fourier, function of a pliability.

В последнее время возрос интерес к решению задач теории упругости, учитывающих влияние температурных, электрических и других физических полей [1, 2]. Первым шагом на пути решения задачи несвязной термоупругости является расчет температур в исследуемом теле. В данной статье точно (в квадратурах) решается задача о стационарном распределении тепла в пластине, состоящей из произвольного конечного числа спаянных, неограниченных в плане, параллельных полос.

Рассмотрим пластину, состоящую из  $n$  бесконечных полос с параллельными границами. Каждая полоса характеризуется высотой  $h_i$  и коэффициентом теплопроводности  $K_i$ . На верхней границе полосы известна температура. На нижней границе полосы поддерживается нулевая температура. Требуется определить температуру в произвольной точке пластины.

Полосы будем нумеровать сверху вниз, начиная с единицы. В каждом слое введем локальную прямоугольную декартову систему координат как показано на рисунке (рис. 1). Распределение температур в  $i$ -й полосе описывается функцией  $T_i(x_i, z_i)$ .

Математически задача сводится к решению гармонического уравнения

$$\frac{\partial^2 T_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_i}{\partial z_i^2} = 0$$

для каждой из полос. На общей границе полос выполняются условия

$$T_i(x, h_i) = T_{i+1}(x, 0),$$

$$K_i \frac{\partial T_i}{\partial z}(x, h_i) = K_{i+1} \frac{\partial T_{i+1}}{\partial z}(x, 0),$$

$$i = 1, \dots, n-1.$$

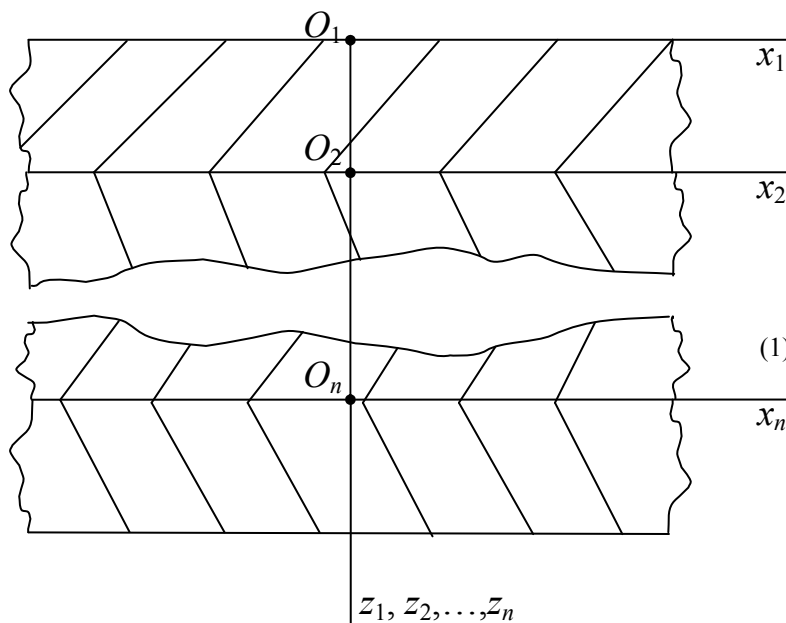


Рис. 1. Многофазная пластинка

(2)

Физически это означает, что на общей границе совпадают температура и поток. Граничные условия:

$$T_1(x, 0) = f(x), \quad T_n(x, h_n) = 0,$$

(3)

где  $f(x)$  – заданная функция.

Задачу решаем методом интегрального преобразования Фурье по переменной  $x$ . В пространстве трансформант уравнение (1) приобретает вид

$$\bar{T}_i''(\xi, z_i) - p^2 \bar{T}_i(\xi, z_i) = 0,$$

(4)

где штрих означает дифференцирование по переменной  $z_i$ , а  $p = \left| \frac{\xi}{\xi} \right|$ ,  $\xi$  – параметр интегрального преобразования.

Общее решение уравнения (4):

$$\bar{T}_i = C_1(\xi) \operatorname{ch} p z_i + C_2(\xi) \operatorname{sh} p z_i. \quad (5)$$

Введем вспомогательные функции для каждой полосы, связанные с трансформантами функций, описывающих температуру и поток на верхней границе полосы:

$$\eta_i(\xi) = \bar{T}_i(\xi, 0), \quad p \varepsilon_i(\xi) = \bar{T}'_i(\xi, 0). \quad (6)$$

Подставляя (5) в (6), находим, что  $C_1 = \eta_i$ ,  $C_2 = \varepsilon_i$ . Таким образом,

$$\bar{T}_i(\xi, z_i) = \eta_i(\xi) \operatorname{ch} p z_i + \varepsilon_i(\xi) \operatorname{sh} p z_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (7)$$

Это означает, что для нахождения температуры в точках  $i$ -й полосы достаточно определить вспомогательные функции этой полосы.

Условия (2) в пространстве трансформант обращаются в следующие:

$$\bar{T}_i(\xi, h_i) = \bar{T}_{i+1}(\xi, 0), \quad K_i \bar{T}'_i(\xi, h_i) = K_{i+1} \bar{T}'_{i+1}(\xi, 0).$$

Отсюда получаем зависимости между вспомогательными функциями соседних полос:

$$\begin{aligned} \varepsilon_{i+1} &= \frac{1}{p} \bar{T}'_{i+1}(\xi, 0) = \frac{K_i}{K_{i+1}} \frac{1}{p} \bar{T}'_i(\xi, h_i) = \frac{K_i}{K_{i+1}} (\eta_i \operatorname{sh} p_i + \varepsilon_i \operatorname{ch} p_i), \\ \eta_{i+1} &= \bar{T}_{i+1}(\xi, 0) = \bar{T}_i(\xi, h_i) = \eta_i \operatorname{ch} p_i + \varepsilon_i \operatorname{sh} p_i, \quad i = 1, \dots, n-1, \end{aligned} \quad (8)$$

Здесь и далее  $p_i = p h_i$ .

Таким образом, нам для решения задачи достаточно знать вспомогательные функции только первой полосы. Остальные вспомогательные функции определяются по рекуррентным соотношениям. Одну из вспомогательных функций можно определить непосредственно из граничных условий. Опишем способ получения второй из этих функций.

На нижней границе пластинки поддерживается нулевая температура. Это означает, что

$$\bar{T}_n(\xi, h_n) = \eta_n \operatorname{ch} p_n + \varepsilon_n \operatorname{sh} p_n = 0.$$

Отсюда

$$\varepsilon_n = -\eta_n \operatorname{cth} p_n. \quad (9)$$

Выразим функции  $\varepsilon_n, \eta_n$  через  $\varepsilon_{n-1}, \eta_{n-1}$  по формулам (8) и подставим в (9). Найдем из полученного соотношения  $\varepsilon_{n-1}$ .

$$\varepsilon_{n-1} = -\frac{K_n \operatorname{ch} p_{n-1} \operatorname{ch} p_n + K_{n-1} \operatorname{sh} p_{n-1} \operatorname{sh} p_n}{K_n \operatorname{sh} p_{n-1} \operatorname{ch} p_n + K_{n-1} \operatorname{ch} p_{n-1} \operatorname{sh} p_n} \eta_{n-1}.$$

На основании метода математической индукции можно сделать вывод, что величины  $\eta_i$  и  $\varepsilon_i$  линейно зависимы для любого  $i$ . Запишем эту зависимость в виде

$$\eta_i = -d_i \varepsilon_i. \quad (10)$$

Функция  $d_i(\xi)$  называется функцией податливости пластинки, относящейся к  $i$ -й полосе. Получим выражение для вычисления функции  $d_i(\xi)$ . Введем обозначения:  $\operatorname{sh} p_i = S_i$ ,  $\operatorname{ch} p_i = C_i$ . Тогда

$$\eta_{i+1} = \eta_i C_i + \varepsilon_i S_i = -d_i \varepsilon_i C_i + \varepsilon_i S_i = \varepsilon_i (-d_i C_i + S_i).$$

С другой стороны

$$\begin{aligned} \eta_{i+1} &= -d_{i+1} \varepsilon_{i+1} = -d_{i+1} (\eta_i \Delta_i S_i + \varepsilon_i \Delta_i C_i) = -d_{i+1} \Delta_i (d_i \varepsilon_i S_i + \varepsilon_i C_i) = \\ &= -d_{i+1} \Delta_i \varepsilon_i (-d_i S_i + C_i) \end{aligned}$$

здесь  $\Delta_i = K_i / K_{i+1}$ .

В силу произвольности функции  $\varepsilon_n(\xi)$  получаем:

$$-d_i C_i + S_i = -d_{i+1} \Delta_i (-d_i S_i + C_i)$$

или

$$d_i = \frac{S_i + d_{i+1} \Delta_i C_i}{C_i + d_{i+1} \Delta_i S_i}. \quad (11)$$

Сравнивая (10) и (9), найдем, что для нижнего слоя

$$d_n = \text{th} p_n. \quad (12)$$

Заметим, что все функции  $d_i(\xi)$  являются четными по  $\xi$ , то есть  $d_i = d_i(p)$ .

Функции податливости зависят только от толщин полос и коэффициентов теплопроводности полос. Все они могут быть вычислены, начиная с той, которая относится к нижней полосе, и заканчивая функцией  $d_1$ . Зная одну из вспомогательных функций первой полосы и функцию податливости первой полосы, можно найти вторую вспомогательную функцию первой полосы. А уже зная пару вспомогательных функций первой полосы, мы можем, как отмечалось выше, найти решение исходной задачи.

Так как решение задачи получается в виде интегралов Фурье, то для вычисления на ЭВМ удобно ввести модифицированные функции податливости. Найдем  $\lim_{p \rightarrow \infty} d_n(p) = 1$ . Далее, методом математической индукции можно доказать, используя соотношение (11), что  $\lim_{p \rightarrow \infty} d_i(p) = 1$  для всех  $i$ . С учетом вышесказанного удобно функции податливости брать в виде  $d_i = 1 - \tilde{d}_i$ , причем  $\lim_{p \rightarrow \infty} \tilde{d}_i = 0$ .

Функции  $\tilde{d}_i$  называются модифицированными функциями податливости. Из формул (10) и (11) получаем, что

$$\tilde{d}_n = 1 - \text{th} p_n = \frac{C_n - S_n}{C_n} = \frac{e^{-p_n}}{C_n}, \quad (13)$$

$$\tilde{d}_i = 1 - d_i = \frac{C_i + d_{i+1} \Delta_i S_i - S_i - d_{i+1} \Delta_i C_i}{C_i + d_{i+1} \Delta_i S_i} = \frac{(1 - \Delta_i + \Delta_i \tilde{d}_{i+1}) e^{-p_i}}{C_i + \Delta_i S_i - \tilde{d}_{i+1} \Delta_i S_i}. \quad (14)$$

Функциями  $d_i$  удобно пользоваться, если на верхней границе задан поток. Если же на верхней границе задана температура, то удобнее ввести функции  $r_i = \frac{1}{d_i}$ . Перечислим свойства функции  $r_i$  (они легко получаются из аналогичных свойств функций  $d_i$ ):

$$\varepsilon_i = -r_i \eta_i, \quad (15)$$

$$r_i = \frac{r_{i+1} C_i + \Delta_i S_i}{r_{i+1} S_i + \Delta_i C_i}, \quad (16)$$

$r_n = \text{cth} p_n$ ,  $\lim_{p \rightarrow \infty} r_i(p) = 1$ ,  $r_i = 1 - \tilde{r}_i$ , причем  $\lim_{p \rightarrow \infty} \tilde{r}_i = 0$ ,  $\tilde{r}_n = 1 - \text{cth} p_n = -\frac{e^{-p_n}}{S_n}$

$$\tilde{r}_i = \frac{(\Delta_i - \tilde{d}_{i+1} \Delta_i - 1) e^{-p_i}}{S_i + \Delta_i C_i - \tilde{d}_{i+1} \Delta_i C_i} = \frac{(\Delta_i + \tilde{r}_{i+1} - 1) e^{-p_i}}{S_i + \Delta_i C_i - \tilde{r}_{i+1} S_i}.$$

В качестве примера рассмотрим пластину, состоящую из двух полос одинаковой толщины  $h = 1$ , имеющих коэффициенты теплопроводности  $K_1 = 2K_2$ . На верхней границе задана температура

$T(x, 0) = \begin{cases} 1, & |x| < 1, \\ 0, & |x| \geq 1. \end{cases}$  В этом случае  $\Delta_1 = K_1/K_2 = 2$ ,  $\tilde{r}_2 = -\frac{e^{-p}}{\text{sh} p}$ ,  $\tilde{r}_1 = \frac{2e^{-2p}(1 - 3e^{-2p})}{3(1 - 4e^{-4p})}$ . Для нахождения

температуры в точках первой полосы нужно выполнить обратное преобразование Фурье:

$$\bar{T}_1(\xi, z_1) = \eta_1(\xi) \text{ch} p z_1 + \varepsilon_1(\xi) \text{sh} p z_1 = \eta_1(\text{ch} p z_1 - (1 - \tilde{r}_1) \text{sh} p z_1) = \eta_1 e^{-p z_1} + \eta_1 \tilde{r}_1 \text{sh} p z_1.$$

$$\eta_1 = \overline{T_1(x,0)} = \int_{-\infty}^{\infty} T_1(x,0) e^{i\xi x} dx = \int_{-1}^1 e^{i\xi x} dx = 2 \frac{\sin \xi}{\xi}.$$

$$2\pi T_1(x,z) = 2 \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \xi}{\xi} e^{-pz} e^{-i\xi x} d\xi + 2 \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\sin \xi}{\xi} \tilde{\gamma}_1 \text{sh}pz e^{-i\xi x} d\xi = 4 \int_0^{\infty} \frac{\sin p \cos px}{p} e^{-pz} dp + 4 \int_0^{\infty} \frac{\sin p \cos px}{p} \tilde{\gamma}_1 \text{sh}pz dp$$

Первый из этих интегралов вычисляется точно [3]:  $2 \int_0^{\infty} \frac{\sin p \cos px}{p} e^{-pz} dp = \arctg \frac{x+1}{z} + \arctg \frac{1-x}{z}$ ,

а второй можно вычислить на ЭВМ, так как подынтегральная функция очень быстро стремится к нулю.

Приведем (рис. 3) график распределения температур на глубине  $z=1$  для исследуемой пластины (назовем ее п2) и еще для двух пластин (рис. 2).

Вторая пластинка (п1) является однородной и имеет высоту 2. Третья пластинка (пп) является однородной и занимает полуплоскость. На верхней границе всех пластин температура распределена одинаково по указанному выше закону. На нижней границе пластин поддерживается нулевая температура.

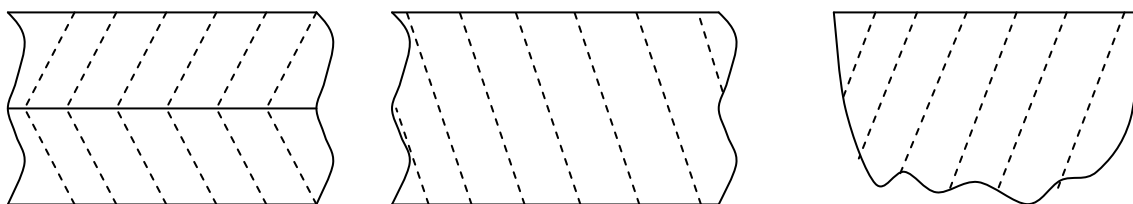


Рис. 2 Пластины п2, п1 и пп соответственно

Так как функции, описывающие температуру, являются в рассматриваемом случае четными, то мы приводим график для  $x \geq 0$ . Как видно из графика, учет неоднородности строения пластины существенно влияет на результат.

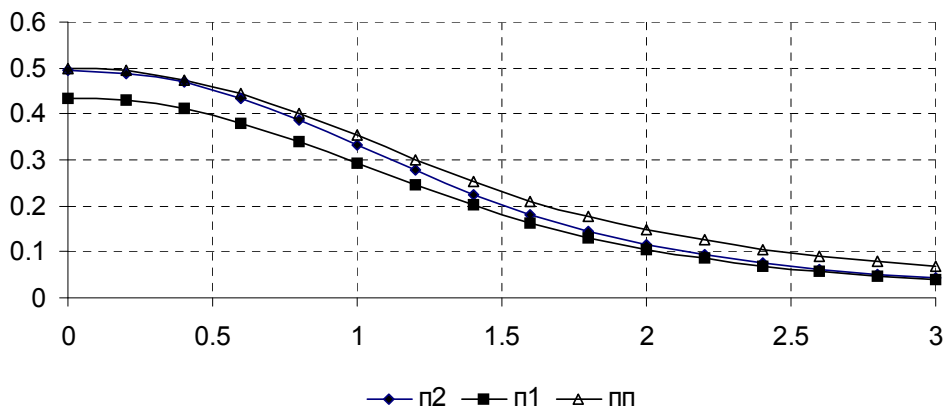


Рис. 3 Распределение температур на глубине  $z=1$  для трех пластин

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вигак В.М., Рычагивский А.В. Метод прямого интегрирования уравнений трехмерных задач упругости и термоупругости для пространства и полупространства // Прикл. механика. – 2000. – №11. – С.74.
2. Проценко Т.М. Задача электроупругости для пьезокерамической среды с туннельными эллиптическими включениями // Теоретическая и прикладная механика.– Вып. 34.–2001.– С.57
3. Двайт Г.Б. Таблицы интегралов и другие математические формулы. – М.: Наука, 1978. – 224 с.

## ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В САПР FORTU-FEM

Гоменюк С.И., к.ф.-м.н., доцент, Полищук И.Б., аспирант

*Запорожский государственный университет*

В статье описана объектно-ориентированная модель инструментальной системы анализа задач механики FORTU-FEM. Данная модель позволяет реализовать численный расчет и анализ сложных механических процессов.

*Ключевые слова: метод конечных элементов, конечный элемент, система FORTU, объектно-ориентированная модель.*

Гоменюк С.І., Поліщук І.Б. ОБ'ЄКТНО-ОРИЄНТОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ МЕХАНІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У САПР FORTU-FEM / Запорізький національний університет, Україна

У статті описана об'єктно-орієнтована модель інструментальної системи аналізу задач механіки FORTU. Ця модель дозволяє реалізувати чисельний розрахунок та аналіз складних механічних процесів.

*Ключові слова: метод скінчених елементів, скінчений елемент, система FORTU, об'єктно-орієнтована модель.*

Gomenyuk S.I., Polischuk I.B. OBJECT-ORIENTED MODEL OF MECHANICAL PROCESS IN THE CAD FORTU-FEM / Zaporizhzhya State University, Ukraine

In the article the object-oriented model of instrumental system of the analysis of problems of mechanics FORTU is circumscribed.

*Key words: a finite element method, a finite element, system FORTU, object-oriented model.*

### ВВЕДЕНИЕ

Создание современной техники невозможно без наличия эффективных систем автоматизации проектирования, позволяющих не только упростить и формализовать процесс описания и конструирования инженерных конструкций и сооружений, но и выполнять анализ их напряженно-деформированного состояния. Уровень развития вычислительной техники в настоящее время позволяет эффективно применять ее для решения таких задач. Все современные достижения в области проектирования и оценки прочностных характеристик сложных инженерных конструкций и сооружений в последние годы, были связаны с широким внедрением и применением компьютерных САПР, а также автоматизацией вычислительных процессов и разработкой новых численных методов.

Автоматизация проектирования проявляется в следующих трех основных аспектах: автоматизация рутинных инженерных работ, автоматизация моделирования и анализа свойств проектируемого объекта и автоматизация задач проектирования, не подлежащих полной формализации. Одним из наиболее важных является второй аспект автоматизации, заключающийся в замене дорогостоящего и длительного экспериментального исследования опытного образца численным экспериментом, суть которого состоит в построении и исследовании с помощью компьютера математической модели проектируемого объекта. Кроме того, на практике не всегда имеется возможность испытаний опытных образцов (например, в авиастроении), так как это может привести к весьма серьезным экономическим затратам, а иногда и к катастрофическим последствиям.

К настоящему времени разработано большое количество различных САПР, позволяющих автоматизировать различные аспекты проектирования сложных инженерных конструкций и сооружений. Среди наиболее известных отечественных разработок можно выделить, например, системы ЛИРА, МОНОМАХ, МИРЕЛА. Среди зарубежных – ANSYS, CATIA SOLUTION, COSAR, COSMOS, LS-DYNA, NASTRAN, PRO-ENGINEER и ряд других. Детальное описание известных отечественных и зарубежных вычислительных комплексов, автоматизирующих процесс анализа напряженно-деформированного состояния твердого тела, а также исследование тенденций их развития, приведено в работах [1-3]. Большинство существующих в настоящее время САПР имеют программную архитектуру, включающую в себя три базовые подсистемы: препроцессор, процессор и постпроцессор.

Препроцессор предназначен для автоматизации подготовки исходных для последующего расчета данных. В его состав обычно входит модуль твердотельного геометрического моделирования, позволяющий инженеру проектировщику строить двух- или трехмерную топологическую модель проектируемой конструкции, а также модуль дискретизации объекта на конечные или граничные элементы.

Процессор – ядро любой САПР, предназначенное для проведения расчетов. Для анализа прочностных характеристик конструкций современные САПР, как правило, используют различные сеточные численные методы, самыми популярными среди которых являются методы конечных или граничных

элементов. В этом случае в состав процессора обычно входят модули, реализующие формирование систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ), и их решение. Причем способ формирования и решения СЛАУ зависит от типа задачи и метода ее линеаризации.

Постпроцессор – предназначен для автоматизации анализа полученных численных результатов, а также синтеза исходящей проектной документации.

Анализ тенденций организации вышеописанных систем позволяет разделить все вычислительные комплексы на две большие группы:

- универсальные программные комплексы, предназначенные для решения широких классов задач общего вида (например, ANSYS);
- специализированные САПР, ориентированные на расчет конструкций специального типа (например, МРЕЛА).

С одной стороны универсальные программные комплексы являются более предпочтительными, так как они позволяют автоматизировать процесс проектирования большого количества типов объектов. Однако такая универсальность, как правило, приводит к громоздкости программного комплекса, что делает его использование слишком сложным и неудобным. Кроме того, в процессе разработки таких систем в угоду универсальности часто жертвуют точностью расчетов. Поэтому специализированные программно-вычислительные комплексы, ориентированные на решение конкретных классов задач, в настоящее время остаются весьма популярными и постоянно развиваются. Они, как правило, обладают такими преимуществами как гибкость, эффективность, а также удобство и простота в эксплуатации. Кроме того, при разработке таких систем, обычно удается добиться высокой точности результатов расчетов за счет применения эффективных вычислительных схем, ориентированных на узкие классы задач или методов. Однако главным недостатком таких вычислительных комплексов является то, что их невозможно применять для решения тех типов задач, которые не были предусмотрены их разработчиками.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что проблема создания САПР в машиностроении и строительстве, которые бы позволяли решать широкие классы задач механики, и при этом обладали всеми достоинствами универсальных и специализированных систем, но не имели бы их недостатков, является весьма актуальной.

В данной статье описывается программная реализация универсальной САПР FORTU-FEM [1,3], которая имеет архитектуру, построенную по принципиально другому принципу, чем у вышеописанных систем.

## **ОБЪЕКТНАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Программная архитектура большинства современных универсальных САПР имеет блочно-модульную структуру. Например, структура системы COSMOS/M имеет вид, изображенный на рис. 1 [5]. С точки зрения функциональности COSMOS/M представляет собой замкнутую программную систему. При помощи программных компонент, изображенных на рис. 1, инженер имеет возможность реализовать всю технологическую цепочку по проектированию конструкции: создать геометрическую модель; выполнить ее дискретизацию на конечные элементы; задать вид и параметры расчета; выполнить необходимый вид анализа и получить результаты.

В основе алгоритмов, используемых всеми компонентами системы COSMOS, лежит метод конечных элементов. За счет единой методологии получения решения данная программная система позволяет выполнять анализ широких классов задач математической физики. Подобную архитектуру имеют и большинство других распространенных «тяжелых» САПР [4]. Каждый модуль, в такой архитектуре, направлен на решение определенных классов задач численным методом, жестко заложенным на этапе его разработки. Это приводит к тому, что для анализа задачи, метод решения которой не предусмотрен в конкретной программной системе, пользователю необходимо либо самостоятельно программировать процесс ее решения, либо использовать другой вычислительный комплекс. Развитие же программной системы с такой архитектурой, например, улучшение ее функциональных характеристик или изменение вычислительного метода, требует трудоемкой и дорогостоящей программной модификации модулей, образующих конкретную САПР.

Кроме того, при анализе сложных механических процессов часто заранее невозможно выбрать оптимальную вычислительную схему, включающую в себя целый комплекс таких математических объектов, как дискретная модель проектируемого образца, уравнение его состояния, начальные и граничные условия и другие параметры. Это приводит к необходимости выполнения расчетов с использованием различных вычислительных схем с последующим выбором оптимальной среди них (что зачастую является субъективным процессом).

Таким образом, возникает проблема разработки таких вычислительных комплексов, которые бы позволяли пользователю не только решать широкие классы задач механики, но и выбирать оптимальный вычислительный метод расчета конкретной задачи. Одним из возможных вариантов решения данной проблемы является разработка инструментальных САПР, базирующихся на идее использования

формальных языков, позволяющих пользователю самостоятельно формулировать математическую постановку широкого класса задач механики, а также описывать вычислительные методы их решения.



Рис. 1 Архитектура системы COSMOS/M

Исследования показывают, что наиболее распространенными направлениями развития таких программных систем являются:

- разработка проблемно-ориентированных языков сверхвысокого уровня, позволяющих описывать постановку задачи и схему ее решения в заданной предметной области;
- разработка программных систем, позволяющих непосредственно использовать языки предметных областей для описания задачи и метода ее решения [3].

Оба эти направления обладают рядом достоинств и недостатков, так как их реализация является весьма трудоемким процессом, однако их развитие позволяет говорить о создании универсальных проблемно-ориентированных систем автоматизации проектирования и анализа сложных инженерных конструкций.

Описываемая в данной статье инструментальная система автоматизации проектирования FORTU-FEM по заданному минимуму входной информации и крупноблочной схеме решения в интерактивном режиме реализует процесс решения и анализа поставленной задачи, начиная с вывода исходных соотношений и заканчивая выдачей численных результатов о напряженно-деформированном состоянии проектируемого объекта. Диалоговая гибкость FORTU-FEM позволяет пользователю в процессе решения, активно воздействовать на исходные условия задачи и вычислительную схему. FORTU-FEM сочетает в себе оба направления в развитии проблемно-ориентированных систем.

Процессор FORTU-FEM, в отличие от большинства других САПР, не имеет модульной структуры. Его ядром является интерпретатор проблемно-ориентированного языка FORTU-3 [3,6], позволяющего пользователю в терминах близких к его предметной области описать математическую постановку произвольного механического процесса, а также вычислительную схему его расчета. В основу предлагаемого универсального метода описания постановок задач механики и их решения положено вариационное исчисление, позволяющее в самом общем формальном виде описать вариационный принцип, характеризующий полную энергию механической системы, и способ его минимизации. Использование данного подхода для описания задачи на начальном этапе позволяет полностью абстрагироваться от ее типа и метода решения. Для построения вычислительной схемы необходимо лишь описать правила вывода основных соотношений из функционала и задать способ отыскания его минимума. Поскольку одним из наиболее эффективных способов поиска стационарных значений функционалов является вариационный метод конечных элементов, сочетающий в себе такие качества, как простота в реализации и высокая точность полученных результатов, система FORTU-FEM

базируется на его использовании. Однако все ее вычислительные средства легко могут быть перестроены на любой другой вариационный метод.

Для реализации такого подхода в первую очередь необходимо выполнить некоторое формальное описание абстрактной механической системы, удобное для последующей программной реализации. С этой целью был рассмотрен ряд четко определенных предметных областей – доменов (рис. 2).

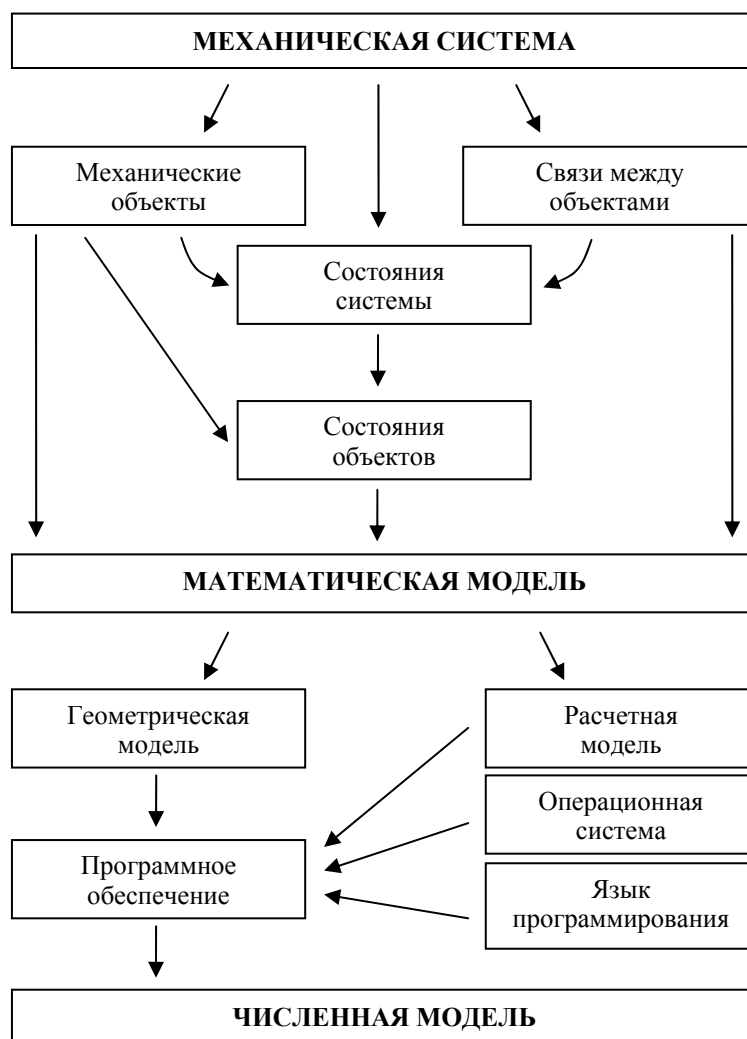


Рис. 2. Схема доменов модели механической системы

Базовым доменом (совокупностью объектов с одинаковыми свойствами и поведением) здесь является «Механическая система». Он описывает в целом всю моделируемую предметную область. После соответствующей декомпозиции данный домен разбивается на три взаимосвязанных домена более низкого уровня: «Механические объекты», «Связи между объектами» и «Состояния механической системы».

Общая объектная модель механической системы, реализованная в FORTU-FEM и включающая описание составляющих ее механических объектов, связей между ними, а также их состояний, представлена на рис. 3.

В общих чертах моделируемую сплошную среду – механический объект можно представить в виде совокупности описания геометрической и математической моделей, а также его состояния (рис. 4).

Математическую модель в самом общем виде можно представить как некоторое описание уравнения состояния процесса (дифференциальное, интегральное или вариационное), краевые условия и нагрузки. Более детальное объектное описание математической модели напрямую зависит от выбора численного метода. В процессоре FORTU-FEM она имеет вид, приведенный на рис. 5.

Геометрическая модель представляет собой формальное описание топологии области, а также ее некоторое дискретное представление (например, гранично- или конечно-элементное), учитывающее также описание поверхности или границы (рис. 6 а).



Рис. 3 Общія объектная модель механической системы

В процессе моделирования механическая система, как совокупность механических объектов, может переходить из одного состояния в другое. Причем, при решении многих типов задач, важно моделировать не только состояние всей системы в целом, но и отдельных ее компонентов. Модель состояния отдельного механического объекта должна учитывать все возможные его состояния, возникающие в процессе расчета. На рис. 6(б) приведена общая модель состояний механического объекта в процессе его деформирования, реализованная в FORTU-FEM.



Рис. 4 Общая информационная модель механического объекта

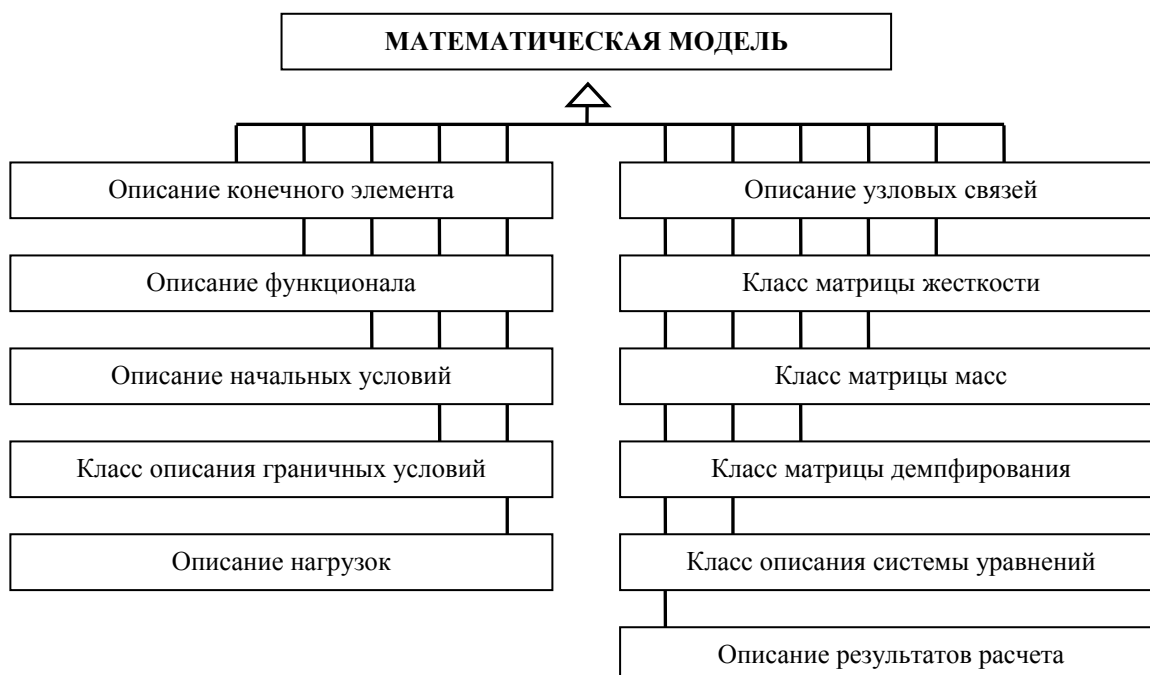


Рис. 5 Объектное представление математической модели

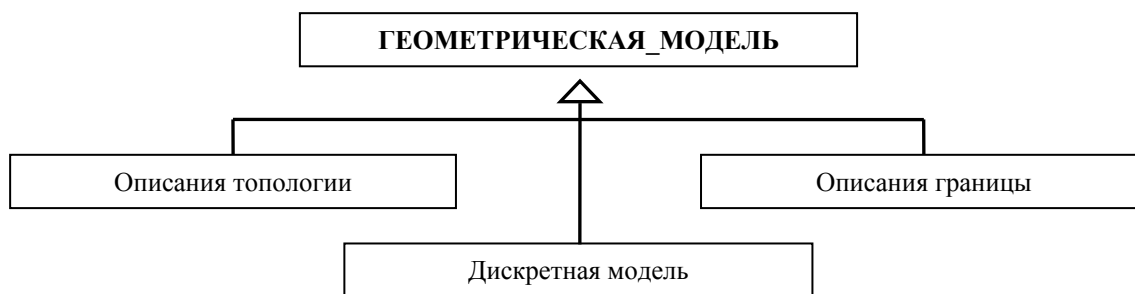


Рис. 6 а Объектная модель описания геометрической области

## РЕАЛИЗАЦИЯ УНИВЕРСАЛЬНОЙ САПР FORTU-FEM

Для реализации формального описания всех этих элементов информационной модели механической системы необходим соответствующий входной язык. В системе FORTU-FEM используется входной проблемно-ориентированный язык FORTU-3, специально разработанный для описания сложных механических процессов, возникающих при проектировании и анализе инженерных конструкций и сооружений. В общем виде программа на языке FORTU-3 состоит из произвольного количества блоков, описывающих в совокупности всю проектируемую механическую систему в целом. Каждый программный блок описывает или геометрическую модель отдельного объекта, или его математическую (расчетную) модель, или секцию операторов управления расчетом.



Рис. 6 б Модель состояний механического объекта

FORTU-3 поддерживает объектно-ориентированную парадигму и позволяет в рамках единого вариационного формализма исследовать и решать задачи механики в различной вариационной постановке с разным функциональным базисом. В него встроены такие операторные средства, которые позволяют:

- описывать топологию двух- или трехмерной области произвольной формы и управлять процессом ее дискретизации;
- описывать формульные соотношения произвольной сложности (как арифметические, так и вариационные);
- описывать необходимые соотношения для анализа полученных численных результатов.

Процессор FORTU-FEM содержит встроенный интерпретатор компилирующего типа, выполняющий все расчеты по входной FORTU-3 программе. Кроме того, в состав FORTU-FEM входят также пре- и постпроцессор.

## ПРИМЕР ПРИМЕНЕНИЯ FORTU-FEM

В качестве примера применения FORTU-FEM была рассмотрена задача о нахождении параметров напряженно-деформированного состояния трапециевидного амортизатора, выполненного из эластомерных материалов и содержащего продольную трещину (рис. 7). Такой вид амортизаторов

применяется при производстве грузовых автомобилей [2]. Препроцессором FORTU-FEM была построена дискретная модель амортизатора, состоящая из 611 узлов и 2006 конечных элементов в форме линейного тетраэдра (рис. 8).

Задача решалась при следующих безразмерных параметрах:  $L_1=4$ ,  $L_2=2$ ,  $L_3=1$ ,  $L_4=0.5$ ,  $L_5=1$ ,  $L_6=1$ ,  $H_1=2$ ,  $H_2=2$ . Нижняя грань амортизатора жестко закреплена (вулканизирована с пластиной из абсолютно жесткого по сравнению с эластомером материала). По верхней грани равномерно распределена переменная по времени нагрузка  $P=N \cdot \cos(t)$ . Упругие постоянные эластомера –  $G=1.76$ ,  $\nu=0.495$ . Расчет выполнялся на временном интервале  $[0, 6.28]$ .

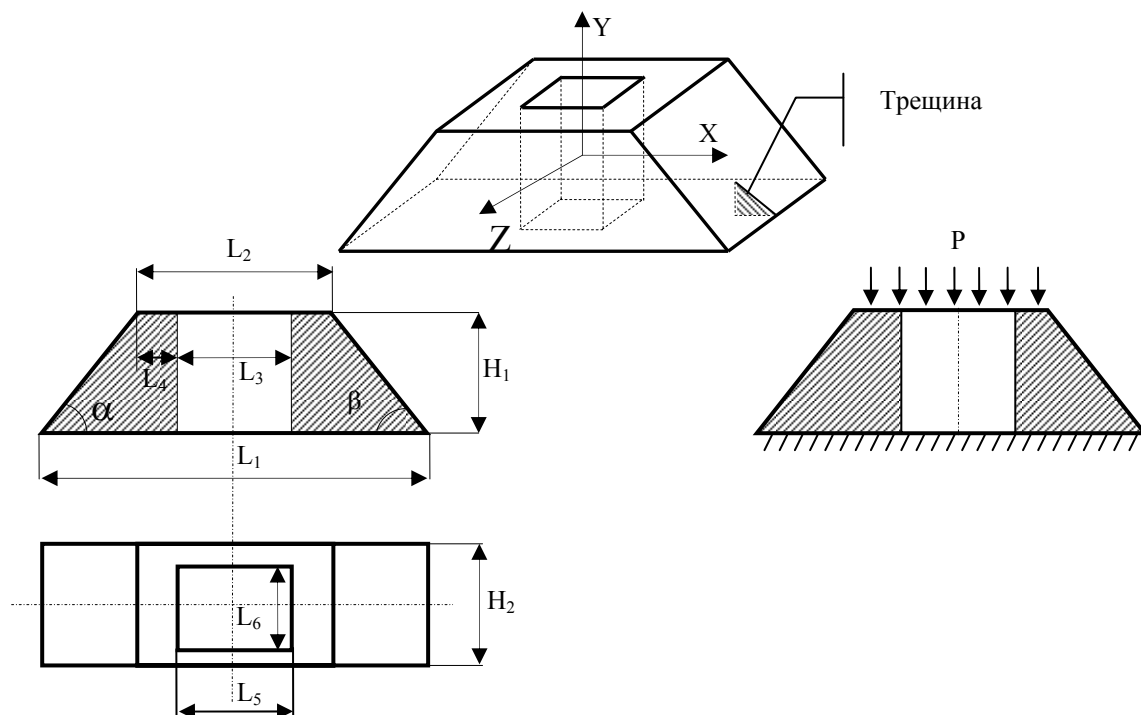


Рис. 7 Постановка задачи о вынужденных колебаниях трапецевидного амортизатора

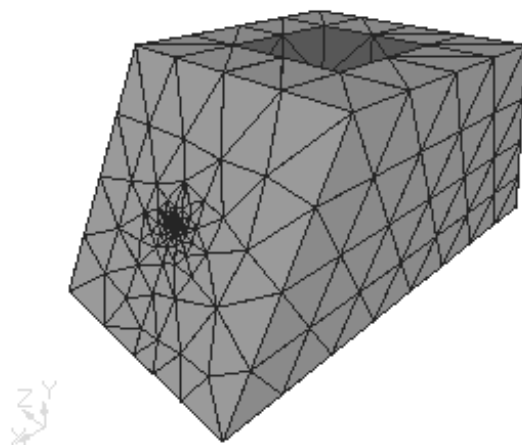


Рис. 8 Дискретная модель амортизатора

Программа на языке FORTU-3 для решения данной нестационарной задачи имеет следующий вид:

```

ОБЪЕКТ amor
amor.BEGIN
  ! Декларация искомых перемещений
  RESULT u,v,w
  ! Описание аргументов искомых функций
  ARGUMENT x,y,z
  ! Задание временной переменной, интервала и шага
  TIME t(0,6.280,0.314)
  CONSTANT E,G,m,L,R
  ! Декларация вспомогательных функций
  FUNCTION Exx,Eyy,Ezz,Gxy,Gxz,Gyz,Txy,Txz,Tyz,Sxx,Syy,Szz
  FUNCTION Utt,Vtt,Wtt
  RIGHT X,Y,Z
  ! Описание функционалов
  FUNCTIONAL W,A,K
  TRANSFORM u,v,w
  OUTPUT Txy,Txz,Tyz,Sxx,Syy,Szz,Utt,Vtt,Wtt

  E = 10^5
  m = 0.3
  G = E / (2.0 + 2.0 * m)
  L = 2 * m * G / (1 - 2 * m)
  R = 10^3

  Exx = diff(u,x)
  Eyy = diff(v,y)
  Ezz = diff(w,z)
  Gxy = diff(u,y) + diff(v,x)
  Gxz = diff(u,z) + diff(w,x)
  Gyz = diff(w,y) + diff(v,z)

  Sxx = 2 * G * Exx + L * (Exx + Eyy + Ezz)
  Syy = 2 * G * Eyy + L * (Exx + Eyy + Ezz)
  Szz = 2 * G * Ezz + L * (Exx + Eyy + Ezz)
  Txy = G * Gxy
  Txz = G * Gxz
  Tyz = G * Gyz

  Utt = diff(diff(u,t),t)
  Vtt = diff(diff(v,t),t)
  Wtt = diff(diff(w,t),t)

  A = Integral (Sxx&Exx+Syy&Eyy+Szz&Ezz+Txy&Gxy+
                Txz&Gxz+Tyz&Gyz)
  K = R*Integral (Utt&Utt+Vtt&Vtt+Wtt&Wtt)
  W = 0.5*(A + W)

  ! Описание начальных и граничных условий
  u(t=0) = 0
  v(t=0) = 0
  w(t=0) = 0
  u(y=0) = 0
  v(y=0) = 0
  w(y=0) = 0

  ! Описание динамической нагрузки
  Y(y=2) = -5000*cos(t)
END

```

На рис. 9 приведено распределение по амортизатору перемещений  $v$  при  $t=0.314$ с. Полученное под действием нагрузки раскрытие трещины при  $t=6.28$ с изображено на рис. 10.

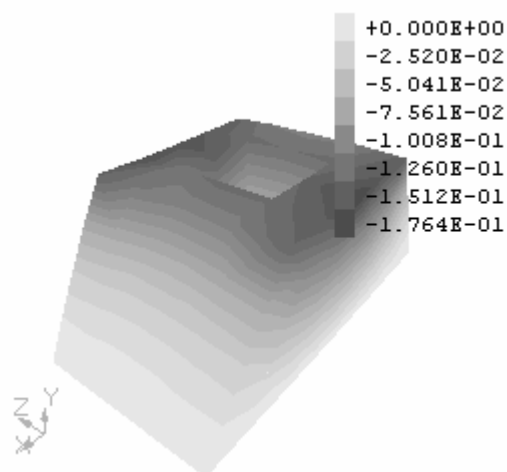


Рис. 9. Распределение перемещений  $v$  при  $t=0.314$

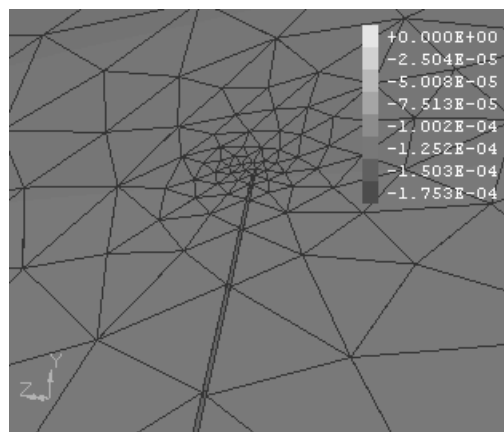


Рис. 10 Раскрытие трещины

На рис. 11 приведен график изменения максимального прогиба (компонента перемещения  $v$ ) по времени с шагом  $t_h=0.314$ .

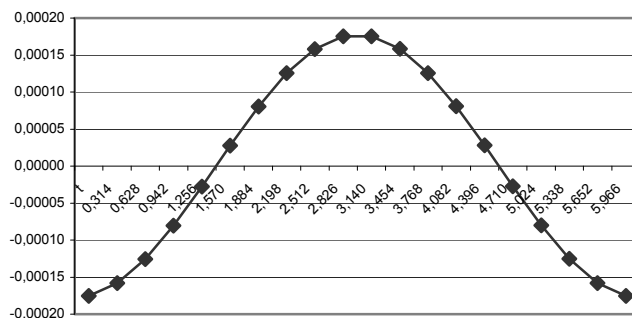


Рис. 11 График изменения максимальных прогибов по времени

## ВЫВОДЫ

Описанная система автоматизации проектирования FORTU-FEM позволяет проектировать и выполнять анализ напряженно-деформированного состояния инженерных конструкций и сооружений сложной конфигурации при дискретизации на большое количество конечных элементов. В отличие от многих существующих систем подобного рода она имеет более простую программную архитектуру и позволяет инженеру проектировщику не только описывать постановку соответствующей задачи механики, но и метод ее численного расчета. FORTU-FEM прошла успешную апробацию во Всеукраинском институте трансформаторостроения (ОАО «ВИТ»). Реализованные в ней эффективные алгоритмы решения СЛАУ сверхбольших порядков позволяют решать системы уравнений с более чем миллионом неизвестных.

Данную систему можно применять как в научной и инженерной практике при проектировании новых технических объектов, так и для обучения студентов инженерных и математических специальностей.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Киричевский В.В., Толоч В.А. Метод конечных элементов и суперэлементов в приложении к трехмерным задачам механики. – К.: Наук. думка, 2001. – 364 с.
2. Киричевский В.В. Метод конечных элементов в механике эластомеров. – К.: Наук. думка, 2002. – 655 с.
3. Толоч В.А., Киричевский В.В., Гоменюк С.И., Гребенюк С.Н., Бувайло Д.П. Метод конечных элементов: теория, алгоритмы, реализация. – К.: Наук. думка, 2003. – 316 с.
4. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. -М.: Из-во МГТУ им. Баумана, 2002. – 336 с.
5. Девятков С. Программы семейства COSMOS – универсальный инструмент конечно-элементного анализа. // CAD-master. – №1. – 2002 – [www.cadmater.ru/articles/11\\_cosmos.cfm](http://www.cadmater.ru/articles/11_cosmos.cfm) (19.05.2004).
6. Бувайло Д.П., Гоменюк С.И., Толоч В.О. FORTU – мова опису схем розв'язання задач математичної фізики // Вісник Запорізького державного університету. – Запоріжжя: ЗДУ. – 2000. – № 1. – С. 19-25.

УДК 621.833

## ГИПЕРБОЛОИДНЫЕ АКСОИДЫ И КВАЗИГИПЕРБОЛОИДНЫЕ НАЧАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ С УЛУЧШЕННЫМИ КАЧЕСТВЕННЫМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ

Грибанова Ю.В., к.т.н., доцент, Науменко С.М., аспирант, Балицкая Т.Ю., аспирант

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, г. Луганск*

В статье рассматриваются вопросы, которые касаются понятий: аксоид и начальная поверхность пространственных зубчатых передач.

*Ключевые слова: аксоид, начальная поверхность.*

Грибанова Ю.В., Науменко С.М., Балицкая Т.Ю. ГИПЕРБОЛОЇДНІ АКСОЇДИ ТА КВАЗИГІПЕРБОЛОЇДНІ ПОЧАТКОВІ ПОВЕРХНІ ПРОСТОРОВИХ ЗУБЧАТИХ ПЕРЕДАЧ ІЗ ПОЛІПШЕНИМИ ЯКІСНИМИ ПОКАЗНИКАМИ / Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Україна

У статті розглядаються питання, які стосуються понять: аксоїд та початкова поверхня просторових зубчатих передач.

*Ключові слова: аксоїд, початкова поверхня.*

Gribanova Y.V., Naumenko S.M., Balitskaya T.Y. HYPERBOLIC AXOIDS AND QUASIHYPHERBOLIC INITIAL SURFACES SPATIAL GEARINGS WHICH HAVE IMPROVED QUALITATIVE PARAMETERS / East - Ukrainian National University name of V. Dal, Ukraine

The article touches upon two definitions: axoid and initial surface spatial gearings.

*Key words: axoid, initial surface.*

При передаче вращения между перекрещивающимися осями вращения звеньев зубчатого пространственного зацепления аксоидами являются однополостные гиперболоиды вращения [1 - 4]. В теории пространственных зацеплений используется понятие о так называемых начальных поверхностях, не получивших еще законченного обоснования и определения, что иногда является причиной различного истолкования этого понятия [1, 2]. При этом в общем случае не следует отождествлять начальные поверхности с аксоидами; такое отождествление возможно для передач с параллельными и пересекающимися осями, но не допустимо для передач с перекрещивающимися осями вращения, в том числе для винтовых и гипоидных зубчатых передач.

Определению начальных поверхностей в пространственных зацеплениях посвящены работы [2 - 7].

Передача вращения между перекрещивающимися под произвольным углом  $\gamma$  осями осуществляется посредством гиперболоидных колес с винтовыми зубьями (рис. 1). Касание теоретических начальных поверхностей (однополостных гиперболоидов вращения) происходит (рис. 1, 2) по пространственной прямой линии  $z-z$ , расположенной (рис. 3, координатная ось  $z$ ) в плоскости  $\pi$ , параллельной плоскостям  $x_1z_1$  и  $x_2z_2$  (пл.  $x_1z_1 \parallel$  пл.  $x_2z_2$ ) и делящей расстояние между плоскостями  $x_1z_1$  и  $x_2z_2$  на отрезки длиной  $r_1$  и  $r_2$  ( $r_1 + r_2$  - кратчайшее межосевое расстояние  $a_w$  в винтовой передаче или гипоидное смещение  $E$  в гипоидной передаче;  $r_1$  и  $r_2$  - радиусы горловин однополостных гиперболоидов, получаемых вследствие вращения образующей прямой  $z-z$  вокруг осей  $z_1$  и  $z_2$  соответственно;  $\gamma$  - угол между осями  $z_1$  и  $z_2$  вращения заготовок в станочном зацеплении и зубчатых колес в рабочем зацеплении). Легко видеть, что

$$\gamma = \beta_1 + \beta_2. \quad (1)$$

В точке  $P \in z-z \in \pi$  (рис. 3, 4) построим план линейных скоростей  $\vec{V}_1$ ,  $\vec{V}_2$ ,  $\vec{V}_{12} = \vec{V}_1 - \vec{V}_2$  теоретических начальных поверхностей. Общая касательная  $z-z$  и вектор  $\vec{V}_{12}$  скорости относительного движения должны иметь общую линию действия. Из построений рис. 4, применяя известную в тригонометрии теорему синусов, в точке  $P$  получаем:

$$\frac{V_1(P)}{\sin(90^\circ - \beta_2)} = \frac{V_2(P)}{\sin(90^\circ - \beta_1)} \Rightarrow \frac{V_1(P)}{V_2(P)} = \frac{\cos \beta_2}{\cos \beta_1}. \quad (2)$$

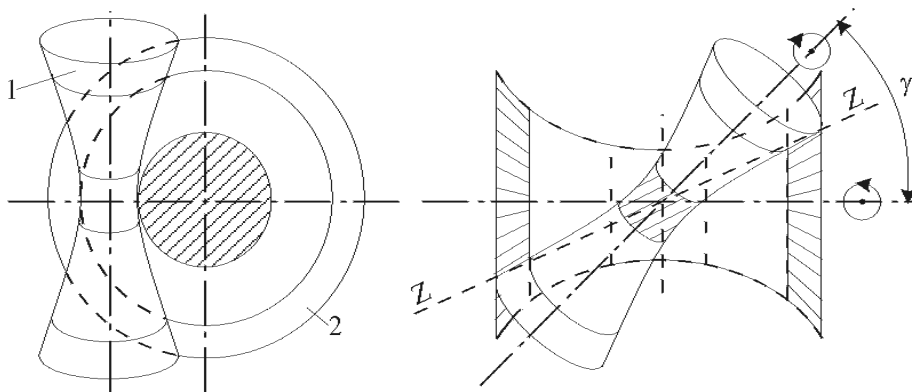


Рис. 1. К образованию винтовых и гипоидных передач

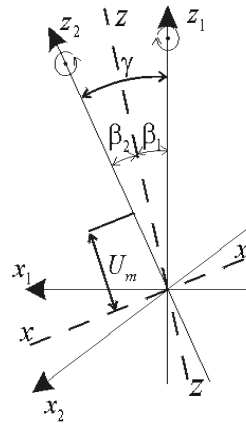


Рис. 2. Относительное положение осей  $z_1, z_2$  вращения колес и линии  $z-z$  контакта гиперboloидных аксоидов в станочном и рабочем зацеплении (координатные оси  $y_1, y_2$  совпадают и направлены перпендикулярно плоскости рисунка на читателя)

А так как равенства

$$\frac{V_1(P)}{r_1(P)} = \omega_1 = const, \quad \frac{V_2(P)}{r_2(P)} = \omega_2 = const \quad (3)$$

должны выполняться в любой точке линии  $z-z$ , то рассматривая (2) и (3) в точке  $Q$  (рис. 4), получаем номинальное передаточное число синтезируемой передачи (ведущее – второе колесо):

$$u_0 = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{r_1 \cos \beta_1}{r_2 \cos \beta_2}. \quad (4)$$

В формулах (3)  $r_1(P)$ ,  $r_2(P)$  - радиусы окружностей, получающихся в сечении гиперboloидов плоскостями, проходящими через точку  $P$  перпендикулярно осям  $z_1, z_2$ .

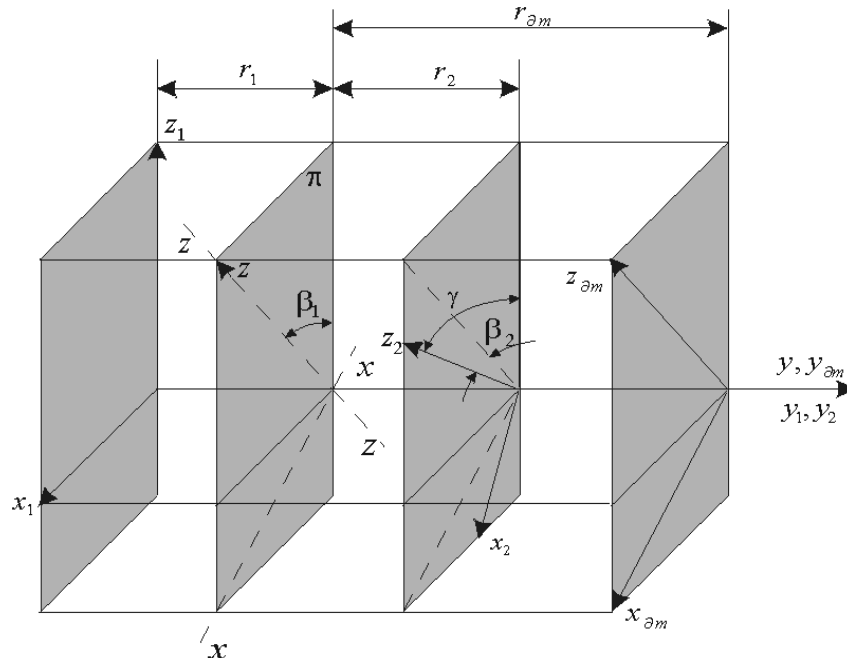


Рис. 3. Системы координат станочного и рабочего зацеплений

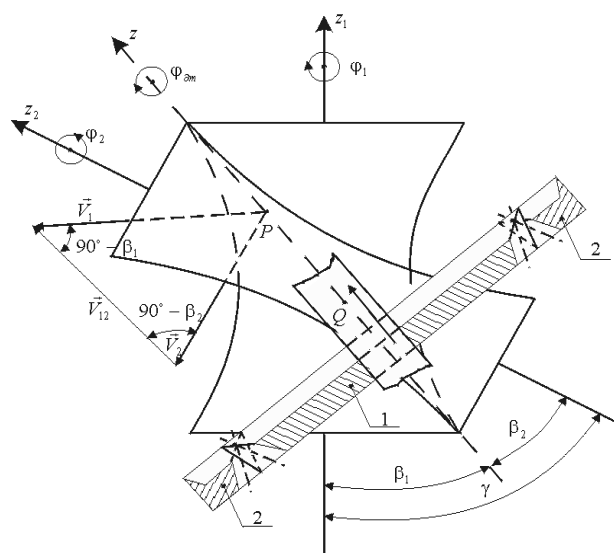


Рис. 4. Кинематика станочного зацепления

(1 – долбяк внешнего зацепления; 2 – долбяк внутреннего зацепления)

Координаты прямой  $z-z$  в системе координат  $xuz$  (рис. 2, 3) имеют вид:

$$x = 0, y = 0, z = U_m; \quad (m = \overline{1, 2}). \quad (5)$$

Независимая переменная (параметр)  $U_m \in (-\infty; +\infty)$ . В системе координат  $x_1y_1z_1$  индекс  $m = 1$ , в системе  $x_2y_2z_2$  индекс  $m = 2$ .

Переход из системы  $xuz$  в систему  $x_my_mz_m$  определяют матрицы

$$\Pi(\beta_m) = \begin{pmatrix} \cos \beta_m & 0 & -(-1)^m \sin \beta_m \\ 0 & 1 & 0 \\ (-1)^m \sin \beta_m & 0 & \cos \beta_m \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 0 \\ -(-1)^m r_m \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (6)$$

а вращение (поворот на угол  $\varphi_m$ ) вокруг оси  $z_m$  - матрица

$$\Omega(\varphi_m) = \begin{pmatrix} \cos \varphi_m & -(-1)^m \sin \varphi_m & 0 \\ (-1)^m \sin \varphi_m & \cos \varphi_m & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (7)$$

В (7) множителем  $(-1)^m$  моделируется вариант внешнего зацепления заготовок и колес.

Следовательно, координаты прямой (5) в системе  $x_my_mz_m$  имеют вид:

$$\begin{pmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{pmatrix} = \Pi(\beta_m) \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ U_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ -(-1)^m r_m \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(-1)^m U_m \sin \beta_m \\ -(-1)^m r_m \\ U_m \cos \beta_m \end{pmatrix}. \quad (8)$$

В этом случае в системе  $x_my_mz_m$  (рис. 3)

$$\begin{pmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{pmatrix} = \Omega(\varphi_m) \begin{pmatrix} -(-1)^m U_m \sin \beta_m \\ -(-1)^m r_m \\ U_m \cos \beta_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(-1)^m U_m \sin \beta_m \cos \varphi_m + r_m \sin \varphi_m \\ -U_m \sin \beta_m \sin \varphi_m - (-1)^m r_m \cos \varphi_m \\ U_m \cos \beta_m \end{pmatrix} \Rightarrow$$

$$\left. \begin{aligned} x_m^2 + y_m^2 &= U_m^2 \sin^2 \beta_m + r_m^2 \\ z_m^2 &= U_m^2 \cos^2 \beta_m \end{aligned} \right\} \Rightarrow x_m^2 + y_m^2 - \operatorname{tg}^2 \beta_m z_m^2 = r_m^2 \quad (9)$$

однополостные гиперболоиды вращения – теоретические начальные поверхности: ведомого колеса ( $m = 1$ ) в системе  $x_1 y_1 z_1$ , ведущего колеса ( $m = 2$ ) в системе  $x_2 y_2 z_2$ .

Если следовать аналогии с плоскими зацеплениями, то в пространственных – на перекрещивающихся осях – зацеплениях начальные поверхности зубчатых колес должны совпадать, по логике вещей, с гиперболоидными аксоидами – однополосными гиперболоидами вращения (9)

$$x_m^2 + y_m^2 - \operatorname{tg}^2 \beta_m z_m^2 = r_m^2, \quad (m = \overline{1, 2}), \quad (10)$$

или в параметрической форме –

$$\vec{r}_m = \begin{pmatrix} x_m \\ y_m \\ z_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -(-1)^m U_m \sin \beta_m \cos \varphi_m + r_m \sin \varphi_m \\ -U_m \sin \beta_m \sin \varphi_m - (-1)^m r_m \cos \varphi_m \\ U_m \cos \beta_m \end{pmatrix} \quad (11)$$

Орты  $\vec{e}_m$  нормалей к поверхностям (11) имеют вид:

$$\vec{e}_m = \frac{\vec{N}_m}{|\vec{N}_m|} = \frac{\vec{r}_m^v \times \vec{r}_m^\varphi}{|\vec{r}_m^v \times \vec{r}_m^\varphi|}, \quad (m = \overline{1, 2}); \quad (12)$$

$$\vec{r}_m^v \begin{pmatrix} -(-1)^m \sin \beta_m \cos \varphi_m \\ -\sin \beta_m \sin \varphi_m \\ \cos \beta_m \end{pmatrix} \Rightarrow \vec{r}_m^\varphi = \begin{pmatrix} (-1)^m U_m \sin \beta_m \sin \varphi_m + r_m \cos \varphi_m \\ -U_m \sin \beta_m \cos \varphi_m + (-1)^m r_m \sin \varphi_m \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \Rightarrow$$

$$\vec{N}_m = \begin{pmatrix} N_{xm} \\ N_{ym} \\ N_{zm} \end{pmatrix} = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ -(-1)^m \sin \beta_m \cos \varphi_m & -\sin \beta_m \sin \varphi_m & \cos \beta_m \\ (-1)^m U_m \sin \beta_m \sin \varphi_m + r_m \cos \varphi_m & -U_m \sin \beta_m \cos \varphi_m + (-1)^m r_m \sin \varphi_m & 0 \end{vmatrix}$$

$$\vec{N}_m = \begin{pmatrix} U_m \sin \beta_m \cos \beta_m \cos \varphi_m - (-1)^m r_m \cos \beta_m \sin \varphi_m \\ (-1)^m U_m \sin \beta_m \cos \beta_m \sin \varphi_m + r_m \cos \beta_m \cos \varphi_m \\ (-1)^m U_m \sin^2 \beta_m \end{pmatrix} \quad (13)$$

$$|\vec{N}_m| = \sqrt{N_{xm}^2 + N_{ym}^2 + N_{zm}^2} = \sqrt{U_m^2 \sin^2 \beta_m + r_m^2 \cos^2 \beta_m}. \quad (14)$$

Для того, чтобы гиперболоиды (10) не интерферировали между собой (не внедрялись друг в друга) и не отходили друг от друга, а были сопряженными, то есть в эксплуатационном зацеплении соответствующих зубчатых колес обкатывались друг по другу без проскальзывания, или, как следствие, были взаимоогibaемыми поверхностями в относительном движении вокруг оси мгновенного вращения, необходимо и достаточно, чтобы выполнялись равенства

$$\left. \begin{aligned} \Omega_1(\alpha_1) \vec{r}_1(U_1; \varphi_1) &= \Pi(\gamma) \Omega_2(\alpha_2) \vec{r}_2(U_2; \varphi_2) + a_w \vec{j} \\ \Omega_2(\alpha_1) \vec{e}_1(U_1; \varphi_1) &= \Pi(\gamma) \Omega_2(\alpha_2) \vec{e}_2(U_2; \varphi_2) \end{aligned} \right\}, \quad (15)$$

в которых

$$r_1 + r_2 = a_w, \quad \beta_1 + \beta_2 = \gamma, \quad u_0 = \frac{r_1 \cos \beta_1}{r_2 \cos \beta_2}. \quad (16)$$

В связи со сказанным, то есть, учитывая что  $V_1 = V_2$ ,  $\varphi_1 = \alpha_1$ ,  $\varphi_2 = \alpha_2$ , после подстановки (11) – (14) в (15) в результате тождественных преобразований получаем

$$r_1 \operatorname{ctg} \beta_1 = r_2 \operatorname{ctg} \beta_2, (r_1, r_2, \beta_1, \beta_2 > 0) \quad (17)$$

или

$$\frac{r_1 \cos \beta_1}{r_2 \cos \beta_2} = \frac{\sin \beta_2}{\sin \beta_1}, (r_1, r_2, \beta_1, \beta_2 > 0) \quad (18)$$

Последнее равенство (16), используя (18), перепишем в виде

$$u_0 = \frac{\sin \beta_1}{\sin \beta_2}, (r_1, r_2, \beta_1, \beta_2 > 0). \quad (19)$$

Таким образом, полной группой геометро-кинематических соотношений для основных параметров гиперболоидной зубчатой пары являются равенства (16), (17).

Полная группа геометро-кинематических соотношений, легко проверить, может быть представлена в виде:

$$\left. \begin{aligned} r_1 &= \frac{a_w}{u_0^2 + 2u_0 \cos \gamma + 1} u_0 (u_0 + \cos \gamma), & \operatorname{tg} \beta_1 &= \frac{u_0 \sin \gamma}{1 + u_0 \cos \gamma} \\ r_2 &= \frac{a_w}{u_0^2 + 2u_0 \cos \gamma + 1} u_0 (u_0 + \cos \gamma), & \operatorname{tg} \beta_2 &= \frac{u_0 \sin \gamma}{1 + u_0 \cos \gamma} \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

Как известно, в плоском зацеплении центроидами называют геометрическое место мгновенных центров вращения в подвижных системах координат, связанных с вращающимися звеньями. Это – сопряженные (взаимооггибаемые) непересекающиеся кривые. В случае же пространственного зацепления обобщением понятия центроид являются аксоиды – геометрическое место осей мгновенного вращения в подвижных системах координат, связанных со звеньями. Это – сопряженные (взаимооггибаемые) линейчатые непересекающиеся (неинтерферируемые) поверхности. Начальные же поверхности – это соосные аксоидам поверхности зубчатой пары колес, совпадающие в случае плоского зацепления с соответствующими аксоидами.

Выясним геометрию действительных начальных поверхностей рассматриваемых зубчатых гиперболоидных колес. В нашем случае зубогенерирующий инструмент является цилиндрическим, то есть его делительная, начальная и аксоидная поверхности являются цилиндрическими. Уравнение цилиндра в системе координат  $x_\delta y_\delta z_\delta$  (рис. 3,  $m = 1$ ) имеет вид:

$$r_\delta = \begin{pmatrix} x_\delta \\ y_\delta \\ z_\delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \varphi_\delta & -\sin \varphi_\delta & 0 \\ \sin \varphi_\delta & \cos \varphi_\delta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ -r_\delta \\ U \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} r_\delta \sin \varphi_\delta \\ -r_\delta \cos \varphi_\delta \\ U \end{pmatrix}. \quad (21)$$

Тогда в системе координат  $x_1 y_1 z_1$  (рис. 3) семейство цилиндрических поверхностей (21) запишется так ( $\varphi$  – параметр семейства):

$$\begin{aligned} \vec{r} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} &= \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \left[ \begin{pmatrix} \cos \beta & 0 & -\sin \beta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin \beta & 0 & \cos \beta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_\delta \\ y_\delta \\ z_\delta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ r + r_\delta \\ 0 \end{pmatrix} \right] \Rightarrow \\ \vec{r} &= \begin{pmatrix} (r_\delta \sin \varphi_\delta \cos \beta - U \sin \beta) \cos \varphi + (r + r_\delta - r_\delta \cos \varphi_\delta) \sin \varphi \\ -(r_\delta \sin \varphi_\delta \cos \beta - U \sin \beta) \sin \varphi + (r + r_\delta - r_\delta \cos \varphi_\delta) \cos \varphi \\ r_\delta \sin \varphi_\delta \sin \beta + U \cos \beta \end{pmatrix}. \quad (22) \end{aligned}$$

Для нахождения огибающей поверхности семейства цилиндров (22) – действительной начальной поверхности гиперболоидного зубчатого колеса – воспользуемся уравнением

$$\vec{r}^v \vec{r}^{\varphi_\delta} \vec{r}^\varphi = 0. \quad (23)$$

С этой целью, подставляя частные производные функции (22)

$$\vec{r}^v = \begin{pmatrix} -\sin \beta \cos \varphi \\ \sin \beta \sin \varphi \\ \cos \beta \end{pmatrix}, \quad \vec{r}^{\varphi_0} = \begin{pmatrix} r_0 \cos \varphi_0 \cos \beta \cos \varphi + r_0 \sin \varphi_0 \sin \varphi \\ -r_0 \cos \varphi_0 \cos \beta \sin \varphi + r_0 \sin \varphi_0 \cos \varphi \\ r_0 \cos \varphi_0 \sin \beta \end{pmatrix},$$

$$\vec{r}^\varphi = \begin{pmatrix} -(r_0 \sin \varphi_0 \cos \beta - U \sin \beta) \sin \varphi + (r + r_0 - r_0 \cos \varphi_0) \cos \varphi \\ -(r_0 \sin \varphi_0 \cos \beta - U \sin \beta) \cos \varphi - (r + r_0 - r_0 \cos \varphi_0) \sin \varphi \\ 0 \end{pmatrix}$$

в уравнение (23), после раскрытия определителя в его левой части и тождественных преобразований, получаем

$$(U \sin \beta - r_0 \cos \beta \sin \varphi_0) \cos \varphi_0 - (r + r_0 - r_0 \cos \varphi_0) \cos \beta \sin \varphi_0 = 0.$$

Отсюда

$$U = (r + r_0) \operatorname{ctg} \beta \operatorname{tg} \varphi_0. \quad (24)$$

Подставляя, наконец, (24) в (22), получаем искомое уравнение действительной начальной поверхности с параметрами  $\{r, \beta, r_0\}$  гиперboloидного зубчатого колеса (рис. 5):

$$\vec{r} = \begin{pmatrix} (r + r_0 - r_0 \cos \varphi_0) (\sin \varphi - \cos \beta \cos \varphi \operatorname{tg} \varphi_0) \\ (r + r_0 - r_0 \cos \varphi_0) (\cos \varphi - \cos \beta \sin \varphi \operatorname{tg} \varphi_0) \\ r_0 \sin \varphi_0 \sin \beta + (r + r_0) \cos \beta \operatorname{ctg} \beta \operatorname{tg} \varphi_0 \end{pmatrix}. \quad (25)$$

Подстановкой координат  $x, y, z$  вектора (25) в уравнение (10) легко убедиться, что упомянутые координаты – функции  $\varphi_0$  и  $\varphi$  – удовлетворяют уравнению (10) лишь при  $r_0 = 0$ , то есть в случае вырождения (стягивания) образующего цилиндра в прямую линию.

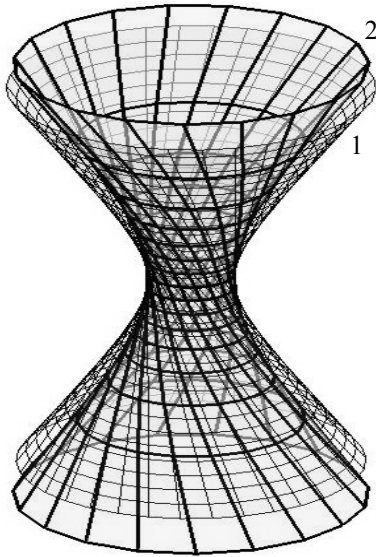


Рис. 5. Компьютерное моделирование: 1 – гиперboloидного аксоида – теоретической начальной поверхности – с параметрами  $\{r, \beta\}$ ; 2 – огибающей семейства цилиндров – действительной начальной поверхности – с параметрами  $\{r, \beta, r_0\}$

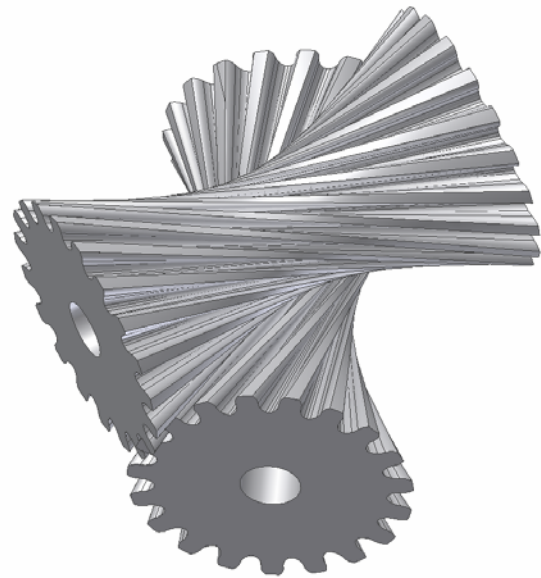


Рис.6. Компьютерное твердотельное моделирование сопряженной пары гиперboloидных зубчатых колес

Следовательно, поверхность (25), не являясь гиперboloидом вращения, может быть названа, в известном смысле, либо глобоидной, либо типа гиперboloидной. В дальнейшем такие поверхности будем называть начальными поверхностями, наименее отклоняющимися от гиперboloидных аксоидов, на том основании, что вариацией (оптимизацией) параметров  $\{r, \beta, r_0\}$  можно достичь заданной "плотности прилегания" поверхности (25) к поверхности (10). Также поверхность (25) может быть достаточно удачно названа квазигиперboloидной: "квази ..." (от латинского слова qua-si – якобы, как будто).

## ВЫВОДЫ

При зубогенерировании гиперболоидных передач на основе цилиндрических производящих колес теоретическими начальными поверхностями, как известно, являются гиперболоидные аксоиды. Действительные же начальные поверхности отличаются от однополостных гиперболоидных поверхностей вращения. Для гиперболоидных зубчатых передач, начальные поверхности которых наименее отклоняются от гиперболоидных аксоидов, получены основные геометро-кинематические соотношения. На основе полученных соотношений возможна реализация пространственных зацеплений с улучшенными по сравнению с традиционными передачами качественными показателями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 16530 - 70. Передачи зубчатые. Термины, определения и обозначения. - М.: Изд-во стандартов, 1971. - 70 с.
2. Литвин Ф.Л. Теория зубчатых зацеплений. - М.: Наука, 1968. - 584 с.
3. Грибанов В.М. Теория гиперболоидных зубчатых передач. - Луганск: Изд-во Восточноукр. нац. ун-та им. В. Даля, 2003. - 272 с.
4. Писманик К.М. Гипоидные передачи. - М.: Машиностроение, 1964. - 227 с.
5. Шурыгин Ю.И. Геометрические соотношения начальных поверхностей гипоидной передачи // Изв. вузов. Машиностроение. - №4. - 1965. - С. 36-40.
6. Saari O. The Mathematical Background of Spiroid Gears // Industrial Math. - №7. - 1956. - S. 131 - 144.
7. Baxter M.L. Hing - reduction hypoids. Types application simplified design. - Machine Design. - 1961. - Vol. 33. - №9.

УДК 517.955.8; 517.926.4

## ГІБРИДНЕ ЛАНГЕР-ГАЛЬОРКІН АСИМПТОТИЧНЕ РОЗВ'ЯЗАННЯ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ ЗІ ЗМІННИМИ КОЕФІЦІЕНТАМИ, ЯКІ МІСТЯТЬ ТОЧКУ ПОВОРОТУ

Гришак В.З., д.т.н., професор, Князева О.В., викладач

*Запорізький державний університет*

Запропоновано розв'язання диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами, які містять точку повороту, на основі гібридних асимптотичних підходів. Отримані наближені аналітичні залежності, придатні для розв'язання прикладних задач математичної фізики.

*Ключові слова: гібридний Лангер-Гальоркін розв'язок, диференціальні рівняння зі змінними коефіцієнтами, диференціальні рівняння, які містять точку повороту.*

Гришак В.З., Князева Е.В. ГИБРИДНОЕ ЛАНГЕР-ГАЛЕРКИН АСИМПТОТИЧЕСКОЕ РЕШЕНИЕ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ С ПЕРЕМЕННЫМИ КОЭФФИЦИЕНТАМИ, СОДЕРЖАЩИМИ ТОЧКУ ПОВОРОТА/ Запорожский государственный университет, Украина

Предложены решения дифференциальных уравнений с переменными коэффициентами и содержащими точку поворота на основе гибридных асимптотических подходов. Получены приближенные асимптотические зависимости, пригодные для решения прикладных задач математической физики.

*Ключевые слова: гибридное Лангер-Галеркин решение, дифференциальные уравнения с переменными коэффициентами, дифференциальные уравнения, содержащие точку поворота*

Grishchak V.Z., Knjazeva E.V. A HYBRID LANGER-GALERKIN ASYMPTOTHICAL SOLUTION OF THE DIFFERENTIAL EQUATIONS WITH VARIABLE COEFFICIENTS WICH CONTAIN THE POINT OF TURN / Zaporizhzhya State University, Ukraine

The solution of the differential Eguations with variable coefficients wich contain the point of turn have been proposed on the ground of the hybrid asymptothical methods. The approximate analitical dependences wich are used for the solution of the applied, problems of mathematical physics have been obtained

*Key words: hybrid Langer-Galerkin solution, differential equations with variable coefficients, wich contain the point of turn*

Проблема знаходження наближених розв'язків диференціальних рівнянь, які містять точку повороту, є актуальною як із точки зору якісної теорії диференціальних рівнянь, так і з точки зору застосування. На сьогодні розроблені досить ефективні методи наближеного аналізу звичайних диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами. До них можна віднести, в окремому випадку метод фазових інтегралів [1,2] і гібридні підходи [3,4,5]. Питання про побудову надійних аналітичних розв'язань такого роду рівнянь, але які містять точку повороту, є деякою мірою відкритим, оскільки при наявності малого параметра при старшій похідній вихідного рівняння залишається питання про величину параметра і залежності отриманих наближених розв'язань від його величини. У даній роботі вперше пропонується гібридний асимптотичний підхід, який дозволяє побудувати досить надійне наближене розв'язання диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами, які містять точку повороту.

## 1. Опис вихідного рівняння

Розглянемо рівняння:

$$\varepsilon^2 \ddot{y} - f(x)y = 0 \quad \begin{array}{l} -a \leq x \leq b \quad (a > 0, b > 0) \\ f(x) < 0 \quad -a \leq x < 0 \\ f(x) > 0 \quad 0 < x \leq b, \\ f(x) = 0 \quad x = 0 \end{array} \quad (1)$$

у якому  $f(x)$  двічі неперервна диференційна функція на даному інтервалі.

Як граничні умови візьмемо:

$$\begin{array}{l} y(-a) = \alpha \\ y(0) = \theta \\ y(b) = \beta \end{array} \quad (1')$$

## 2. ВКБ – наближення вихідного рівняння

За методом ВКБ функція  $y(x)$  представляється у вигляді  $y(x) = \exp\left(\int \varphi(\xi) d\xi\right)$

Знайдемо нульове наближення розв'язання цього рівняння за методом ВКБ. Для цього представимо  $\varphi(x)$  як ряд:

$$\varphi(x) = \varepsilon^{-1} y_0 + \varepsilon^0 y_1 + \varepsilon^1 y_2 + \dots \quad (2)$$

і візьмемо його перший член. Тоді:

$$y(x) = \exp\left(\int_0^x \varepsilon^{-1} y_0 d\xi\right) \quad (3)$$

$$\dot{y}(x) = \exp\left(\int_0^x \varepsilon^{-1} y_0 d\xi\right) \cdot \left(\varepsilon^{-1} y_0(x)\right)$$

$$\ddot{y}(x) = \exp\left(\int_0^x \varepsilon^{-1} y_0 d\xi\right) \cdot \left(\varepsilon^{-2} y_0^2 + \varepsilon^{-1} \dot{y}_0\right) \quad (4)$$

підставляючи (3) і (4) в (1) та скорочуючи на експоненту, отримаємо:

$$\varepsilon^2 \left[ \varepsilon^{-2} y_0^2 + \varepsilon^{-1} \dot{y}_0 \right] - f(x) = 0$$

або

$$y_0^2 + \varepsilon \dot{y}_0 - f(x) = 0 \quad (5)$$

$$\varepsilon^0 : \quad y_0^2 - f(x) = 0 \quad (6)$$

Із (6) випливає, що

$$a) \quad y_{0,1,2} = \pm f^{1/2}(x), \text{ для } f(x) > 0;$$

$$y_0 = A_1 sh\left(f^{1/2}(x)\right) + A_2 ch\left(f^{1/2}(x)\right) \quad (7)$$

Коефіцієнти  $A_1$  і  $A_2$  знаходяться з граничних умов з урахуванням того, що функція  $f(0)=0$ :

$$A_1 = \frac{\beta - \theta \operatorname{ch} \left( f^{1/2}(b) \right)}{\operatorname{sh} \left( f^{1/2}(b) \right)} \quad (8)$$

$$A_2 = \theta \quad (9)$$

b)  $y^*_{0,2} = \pm i \cdot f^{1/2}(x)$ , для  $f(x) < 0$

$$y^*_0 = B_1 \sin \left( f^{1/2}(x) \right) + B_2 \cos \left( f^{1/2}(x) \right) \quad (10)$$

Коефіцієнти  $B_1$  і  $B_2$  знаходяться з граничних умов з урахуванням того, що функція  $f(0)=0$ :

$$B_1 = \frac{\alpha - \theta \cos \left( f^{1/2}(x) \right)}{\sin \left( f^{1/2}(x) \right)} \quad (11)$$

$$B_2 = \theta \quad (12)$$

### 3. Побудова гібридного ВКБ - Гальоркін розв'язку

Використовуючи знайдене нами нульове наближення, згідно з [3] знайдемо гібридний ВКБ - Гальоркін розв'язок заданого рівняння:

Представимо розв'язання у вигляді:

$$y_h(x) = \exp \left( \int_0^x \delta_0 y_0 d\xi \right) \quad (13)$$

Знайшовши другу похідну гібридного розв'язання і підставивши її в рівняння (1), отримаємо невідповідність:

$$\begin{aligned} \dot{y}_h(x) &= \exp \left( \int_0^x \delta_0 y_0(\xi) d\xi \right) \cdot (\delta_0 y_0(x)) \\ \ddot{y}_h(x) &= \exp \left( \int_0^x \delta_0 y_0(\xi) d\xi \right) \cdot (\delta_0^2 y_0^2(x) + \delta_0 \dot{y}_0(x)) \\ \varepsilon^2 (\delta_0^2 y_0^2 + \delta_0 \dot{y}_0) - f(x) &= 0 \end{aligned}$$

Невідповідність  $R$  дорівнює:

$$R = \varepsilon^2 (\delta_0^2 y_0^2 + \delta_0 \dot{y}_0) - f(x) \quad (14)$$

Щоб мінімізувати невідповідність, застосуємо критерій ортогональності Гальоркіна, який у даному випадку буде мати вигляд:

$$\int_{-a}^0 R \cdot y^*_0 dx = 0, \text{ для } f(x) < 0 \quad (15)$$

$$\int_0^b R \cdot y_0 dx = 0, \text{ для } f(x) > 0 \quad (16)$$

### 4. Характерні інтервали зміни змінної

#### 4.1. Інтервал $x \in (0, b)$ , $f(x) > 0$

Знайдемо вираз  $\delta_0$  на інтервалі  $x \in (0, b)$ , де функція  $f(x) > 0$ . Для цього підставимо (10) в (16):

$$\left( \varepsilon^2 \int_0^b y_0^3 dx \right) \delta_0^2 + \left( \varepsilon^2 \int_0^b \dot{y}_0 y_0 dx \right) \delta_0 - \int_0^b f(x) y_0 dx = 0$$

Ми отримали квадратне рівняння відносно  $\delta_0$ :

$$a \delta_0^2 + \frac{1}{2} b \delta_0 - c = 0, \quad (17)$$

де

$$\begin{aligned} a &= \varepsilon^2 \int_0^b y_0^3 dx \\ b &= \varepsilon^2 \int_0^b \dot{y}_0 y_0 dx = \varepsilon^2 \int_0^b \left( y_0^2 \right)' dx = \varepsilon^2 y_0^2 \Big|_0^b \\ c &= \int_0^b y_0 f(x) dx \end{aligned} \quad (18)$$

Знайдемо розв'язок квадратного рівняння (17):

$$\delta_{0,1,2} = -\frac{1}{4} \frac{b}{a} \pm \sqrt{\frac{1}{16} \frac{b^2}{a^2} + \frac{c}{a}} \quad (19)$$

#### 4.2. Інтервал $x \in (-a, 0)$ , $f(x) < 0$

Знайдемо тепер вираз  $\delta_0^*$  на інтервалі  $x \in (-a, 0)$ , де функція  $f(x) < 0$ , і, підставимо (10) в (16), отримаємо:

$$\left( \varepsilon^2 \int_{-a}^0 y^{*3} dx \right) \delta_0^{*2} + \left( \varepsilon^2 \int_{-a}^0 \dot{y}^* y^* dx \right) \delta_0^* - \int_{-a}^0 f(x) y^* dx = 0$$

Ми отримали квадратне рівняння відносно  $\delta_0^*$ :

$$d \delta_0^{*2} + \frac{1}{2} g \delta_0^* - k = 0, \quad (20)$$

де

$$\begin{aligned} d &= \varepsilon^2 \int_{-a}^0 y^{*3} dx \\ g &= \varepsilon^2 \int_{-a}^0 \dot{y}^* y^* dx = \varepsilon^2 \int_{-a}^0 \left( y^{*2} \right)' dx = \varepsilon^2 y^{*2} \Big|_{-a}^0 \\ k &= \int_{-a}^0 y^* f(x) dx \end{aligned} \quad (21)$$

Знайдемо розв'язок квадратного рівняння (20):

$$\delta_{0,1,2}^* = -\frac{1}{4} \frac{g}{d} \pm \sqrt{\frac{1}{16} \frac{g^2}{d^2} + \frac{k}{d}} \quad (22)$$

#### 4.3. Наближений гібридний розв'язок

Знайшовши для  $\delta_0$  і  $\delta_0^*$ , ми можемо записати тепер гібридний розв'язок рівняння (1) для інтервалів  $(-a, 0)$  і  $(0, b)$ .

$$\text{Для } x \in (0, b): \quad y_h = c_1 \exp \left( \int_0^x \delta_{0,1} \cdot y_0 \cdot ds \right) + c_2 \exp \left( \int_0^x \delta_{0,2} \cdot y_0 \cdot ds \right) \quad (23)$$

$$\text{Для } x \in (-a, 0): \quad y_h^* = d_1 \exp \left( \int_0^x \delta_{0,1}^* \cdot y_0^* \cdot ds \right) + d_2 \exp \left( \int_0^x \delta_{0,2}^* \cdot y_0^* \cdot ds \right) \quad (24)$$

#### 4.4. Визначення довільних постійних

Використовуючи граничні умови (1'), знайдемо коефіцієнти  $c_1, c_2, d_1, d_2$ .

Для  $f(x) > 0$ :

$$\begin{cases} \theta = c_1 + c_2 \\ \beta = c_1 \exp\left(\int_0^b \delta_{0_1} \cdot y_0 \cdot ds\right) + c_2 \exp\left(\int_0^b \delta_{0_2} \cdot y_0 \cdot ds\right), \end{cases}$$

звідки

$$c_1 = \frac{\theta \exp\left(\int_0^b \delta_{0_2} \cdot y_0 \cdot ds\right) - \beta}{\exp\left(\int_0^b \delta_{0_2} \cdot y_0 \cdot ds\right) - \exp\left(\int_0^b \delta_{0_1} \cdot y_0 \cdot ds\right)} \quad (25)$$

$$c_2 = \frac{\beta - \theta \exp\left(\int_0^b \delta_{0_1} \cdot y_0 \cdot ds\right)}{\exp\left(\int_0^b \delta_{0_2} \cdot y_0 \cdot ds\right) - \exp\left(\int_0^b \delta_{0_1} \cdot y_0 \cdot ds\right)} \quad (26)$$

Аналогічно для  $f(x) < 0$ :

$$\begin{cases} \theta = d_1 + d_2 \\ \alpha = d_1 \exp\left(\int_{-a}^0 \delta_{0_1}^* \cdot y_0^* \cdot ds\right) + d_2 \exp\left(\int_{-a}^0 \delta_{0_2}^* \cdot y_0^* \cdot ds\right) \end{cases}$$

$$d_1 = \frac{\theta \exp\left(\int_{-a}^0 \delta_{0_2}^* \cdot y_0^* \cdot ds\right) - \alpha}{\exp\left(\int_{-a}^0 \delta_{0_2}^* \cdot y_0^* \cdot ds\right) - \exp\left(\int_{-a}^0 \delta_{0_1}^* \cdot y_0^* \cdot ds\right)} \quad (27)$$

$$d_2 = \frac{\alpha - \theta \exp\left(\int_{-a}^0 \delta_{0_1}^* \cdot y_0^* \cdot ds\right)}{\exp\left(\int_{-a}^0 \delta_{0_2}^* \cdot y_0^* \cdot ds\right) - \exp\left(\int_{-a}^0 \delta_{0_1}^* \cdot y_0^* \cdot ds\right)} \quad (28)$$

5. Знаходження розв'язку при заданих  $f(x)$ ,  $\varepsilon$  і граничних умовах

Задамо тепер кінці інтервалу:  $-a = -1$ ,  $b = 1$ ;

функцію  $f(x) = x^3$ ;

параметр  $\varepsilon = 0.1$ ;

граничні умови  $\alpha = \beta = 1$ ,  $\theta = 0$

і, підставивши в знайдений нами ВКБ - Гальоркін гібридний розв'язок, знайдемо  $y_h$ .

$$y_0 = 0,850918 \cdot sh\left(x^{3/2}\right) \quad (29)$$

$$y_0^* = 57,298688 \cdot \sin\left(x^{3/2}\right)$$

$$\begin{aligned} \delta_{0_1} &\approx 9,045 \\ \delta_{0_2} &\approx -12,274 \end{aligned} \quad (30)$$

Тоді для  $x \in (0, 1)$   $y_h$  за формулою (23) з урахуванням (29), (30) можна представити у вигляді:

$$y_h = 0,036 \cdot \exp\left(7,69655 \int_0^x sh\left(s^{3/2}\right) ds\right) +$$

$$- 0,036 \cdot \exp \left( - 10,44076 \int_0^x \operatorname{sh} \left( s^{3/2} \right) ds \right) \quad (31)$$

А для  $x \in (-1, 0)$ :

$$\begin{aligned} \delta_{0,1}^* &= 0,165 + 0,014 \cdot i \\ \delta_{0,2}^* &= -0,165 + 0,014 \cdot i \end{aligned} \quad (32)$$

За формулою (24) з урахуванням (29), (32) отримаємо  $y_h^*$ :

$$\begin{aligned} y_h^* &= -0,439 \cdot i \cdot \exp \left[ (9,45428 + 0,80218 \cdot i) \int_0^x \sin \left( s^{3/2} \right) ds \right] + \\ &+ 0,439 \cdot i \cdot \exp \left[ (-9,45428 + 0,80218 \cdot i) \int_0^x \sin \left( s^{3/2} \right) ds \right] \end{aligned} \quad (33)$$

Отже, ми отримали два розв'язки:  $y_h$  на інтервалі  $x \in (0, b)$  і  $y_h^*$  на інтервалі  $x \in (-a, 0)$ , сумісні в точці повороту 0, що і показано на графіках, наведених нижче (рис.1,2).

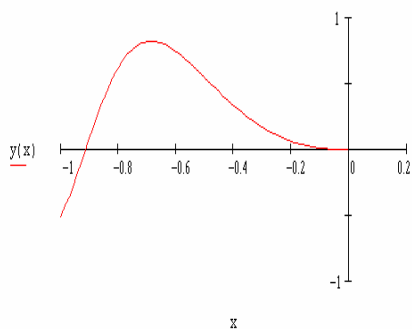


Рис. 1

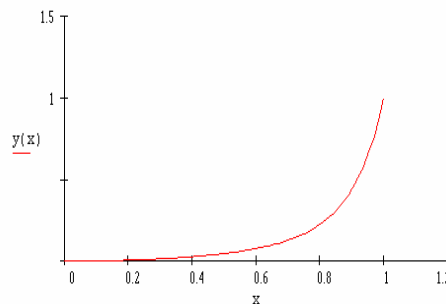


Рис. 2

#### 6. Нульове наближення вихідного рівняння за методом

Ідея розв'язання задач із точками повороту полягає в побудові скрізного розв'язку на всьому інтервалі зміни змінної  $x$ , включаючи точку повороту.

Розв'язання будуватиметься в припущенні, що еталонним рівнянням виступає рівняння Ейрі [6]:  $y'' - xy = 0$ .

Введемо заміну:

$$\xi = \frac{g(x)}{\delta(\varepsilon)}, \quad (34)$$

де  $\delta(\varepsilon)$  – порядкова функція.

Отже, функція  $y$  може бути представлена як  $y(x, \xi, \varepsilon)$ .

$$\begin{aligned} \frac{dy}{dx} &= y' + \frac{1}{\delta} \dot{y} g' \\ \frac{d^2 y}{dx^2} &= y'' + \frac{2}{\delta} \dot{y}' g' + \frac{1}{\delta} \dot{y} g'' + \frac{1}{\delta^2} \dot{y} g'^2 \end{aligned} \quad (35)$$

де  $(\ )_x = (\ )'$ ,  $(\ )_\xi = (\ )^\bullet$ .

Підставляючи (35) в (1), отримаємо:

$$\varepsilon^2 \left[ y'' + \frac{2}{\delta} \dot{y} g' + \frac{1}{\delta} \dot{y} g'' + \frac{1}{\delta^2} \dot{y} g'^2 \right] - f(x) y = 0 \quad (36)$$

Помноживши обидві частини (36) на  $g$  і поділивши на  $\delta$ , отримаємо

$$\frac{\varepsilon^2}{\delta^3} g g'^2 \dot{y} + \frac{2\varepsilon^2}{\delta^2} g g' \dot{y}' + \frac{\varepsilon^2}{\delta^2} g g'' \dot{y} + \frac{\varepsilon^2}{\delta} g y'' - f(x) \xi y = 0 \quad (37)$$

Щоб привести дане рівняння до рівняння Ейрі, необхідно вибрати два доданки, які будуть одного порядку за  $\varepsilon$ , інші доданки повинні мати більш високий порядок по  $\varepsilon$  - найбільш придатним для цього є перший і другий доданки.

$$O\left(\frac{\varepsilon^2}{\delta^3}\right) = O(1) \Rightarrow \delta = \varepsilon^{2/3} = \beta^{2/3} \quad (38)$$

Представимо розв'язок рівняння (37) у вигляді ряду за ступенями  $\beta$ .

$$y = y(x, \xi, \beta) = \sum_{n=0}^{\infty} \beta^n y_n(x, \xi) \quad (39)$$

Після підстановки (39) в (37) у нульовому наближенні отримаємо:

$$\beta^0 : \quad g g'^2 \dot{y}_0 - f(x) \xi y_0 = 0 \quad (40)$$

Зіставляючи рівняння (40) із рівнянням Ейрі, отримаємо

$$g g'^2 = f(x)$$

звідки

$$\frac{1}{9 g^3} \left( \frac{dg^3}{dx} \right)^2 = f(x) \quad (41)$$

Із (41) знайдемо умови для визначення функції  $g$ :

$$\begin{cases} g = \left( \frac{3}{2} \int \sqrt{|f(x)|} dx \right)^{3/2} \\ \text{sign}(g(x)) = \text{sign}(f(x)) \end{cases} \quad (42)$$

Таким чином, шляхом спрощення рівняння (1) було зведено до рівняння Ейрі  $y_{\xi\xi} - \xi y = 0$ , розв'язком якого є функція

$$y_0 = C \cdot A_i(\xi) + E \cdot B_i(\xi) \quad (43)$$

де  $C, E$  – константи,  $A_i(\xi), B_i(\xi)$  – функції Ейрі.

Таким чином, розв'язок (43) – розв'язок Лангера типу ВКБ.

### 6.1 Побудова гібридного Лангер – Гальоркін розв'язку.

Використовуючи знайдене нами нульове наближення відповідно до [3], знайдемо гібридний Лангер – Гальоркін розв'язок заданого рівняння. Представимо розв'язання у вигляді:

$$y_h(x) = \exp \left( \int_0^x \delta_0 y_0(\zeta) d\zeta \right) \quad (44)$$

Знайшовши другу похідну гібридного розв'язку і підставивши її в рівняння (1), отримаємо невідповідність:

$$\dot{y}_h = \exp \left( \int_0^x \delta_0 y_0(\zeta) d\zeta \right) \cdot \delta_0 y_0(x) \quad (45)$$

$$\begin{aligned} \dot{y}_h &= \exp \left( \int_0^x \delta_0 y_0(\zeta) d\zeta \right) \cdot (\delta_0^2 y_0^2(x) + \delta_0 \dot{y}_0(x)) \\ \varepsilon^2 (\delta_0^2 y_0^2 + \delta_0 \dot{y}_0) - f(x) &= 0 \end{aligned}$$

Невідповідність R дорівнює:

$$R = \varepsilon^2 (\delta_0^2 y_0^2 + \delta_0 \dot{y}_0) - f(x) \quad (46)$$

Щоб мінімізувати невідповідність, застосуємо критерії ортогональності Гальоркіна. Цей критерій у даному випадку буде мати вигляд:

$$\int_{-a}^b R \cdot y_0 dx = 0 \quad (47)$$

6.1 Наближений гібридний Лангер – Гальоркін розв’язок.

Підставивши (46) у (47), отримаємо:

$$\int_{-a}^b [\varepsilon^2 (\delta_0^2 y_0^2 + \delta_0 \dot{y}_0) - f(x)] \cdot y_0 dx = 0 \quad (48)$$

Розкривши дужки, отримаємо:

$$\left( \varepsilon^2 \int_{-a}^b y_0^3 dx \right) \delta_0^2 + \left( \varepsilon^2 \int_{-a}^b \dot{y}_0 y_0 dx \right) \delta_0 - \int_{-a}^b f(x) y_0 dx = 0 \quad (49)$$

Розв’язуючи квадратне рівняння (49) відносно  $\delta_0$ , знайдемо корені:

$$\delta_{0,2} = - \frac{\int_{-a}^b \dot{y}_0 y_0 dx}{2 \int_{-a}^b y_0^3 dx} \pm \sqrt{\left( \frac{\int_{-a}^b \dot{y}_0 y_0 dx}{2 \int_{-a}^b y_0^3 dx} \right)^2 + \frac{\int_{-a}^b f(x) y_0 dx}{\varepsilon^2 \int_{-a}^b y_0^3 dx}} \quad (50)$$

Враховуючи те, що  $\int_{-a}^b \dot{y}_0 y_0 dx = \frac{1}{2} y_0^2 \Big|_{-a}^b$ , отримаємо

$$\begin{aligned} \delta_{0,2} &= - \frac{y_0^2 \Big|_{-a}^b}{4 \int_{-a}^b y_0^3 dx} \pm \sqrt{\left( \frac{y_0^2 \Big|_{-a}^b}{4 \int_{-a}^b y_0^3 dx} \right)^2 + \frac{\int_{-a}^b f(x) y_0 dx}{\varepsilon^2 \int_{-a}^b y_0^3 dx}} = \\ &= \frac{y_0^2 \Big|_{-a}^b}{4 \int_{-a}^b y_0^3 dx} \left[ -1 \pm \sqrt{1 + \left( \frac{4}{\varepsilon y_0^2 \Big|_{-a}^b} \right)^2 \frac{\int_{-a}^b f(x) y_0 dx}{\int_{-a}^b y_0^3 dx}} \right] \end{aligned} \quad (51)$$

$$\text{або} \quad \delta_{0,2} = \Phi \left[ -1 \pm \sqrt{1 + A} \right] \quad (52)$$

де

$$\Phi = \frac{y_0^2 \Big|_{-a}^b}{4 \int_{-a}^b y_0^3 dx}, \quad A = \left( \frac{4}{\varepsilon y_0^2 \Big|_{-a}^b} \right)^2 \int_{-a}^b f(x) y_0 dx \int_{-a}^b y_0^3 dx \quad (53)$$

З урахуванням (52) і (53) наближене гібридне розв'язання рівняння (1) запишеться у вигляді:

$$y_h = c_1 \exp \left\{ \int_0^x \Phi(\zeta) [-1 + \sqrt{1 + A(\zeta)}] y_0 d\zeta \right\} + \quad (54)$$

$$+ c_2 \exp \left\{ \int_0^x \Phi(\zeta) [-1 - \sqrt{1 + A(\zeta)}] y_0 d\zeta \right\}$$

або виносячи загальний член за дужки,

$$y_h = \exp \left( \int_0^x -\Phi(\zeta) y_0 d\zeta \right) \left[ c_1 \exp \left\{ \int_0^x \Phi(\zeta) \sqrt{1 + A(\zeta)} y_0 d\zeta \right\} + \quad (55)$$

$$+ c_2 \exp \left\{ - \int_0^x \Phi(\zeta) \sqrt{1 + A(\zeta)} y_0 d\zeta \right\} \right]$$

## 7. Визначення довільних постійних

Використовуючи граничні умови (1'), знайдемо коефіцієнти  $c_1$  і  $c_2$ .

$$y_h(-a) = \exp \left( \int_{-a}^0 \Phi(\zeta) y_0 d\zeta \right) \cdot \left[ c_1 \exp \left( \int_{-a}^0 -\Phi(\zeta) \sqrt{1 + A(\zeta)} y_0 d\zeta \right) + \quad (56)$$

$$+ c_2 \exp \left( \int_{-a}^0 \Phi(\zeta) \sqrt{1 + A(\zeta)} y_0 d\zeta \right) \right] = \alpha$$

$$y_h(b) = \exp \left( \int_0^b -\Phi(\zeta) y_0 d\zeta \right) \cdot \left[ c_1 \exp \left( \int_0^b \Phi(\zeta) \sqrt{1 + A(\zeta)} y_0 d\zeta \right) + \quad (57)$$

$$+ c_2 \exp \left( \int_0^b -\Phi(\zeta) \sqrt{1 + A(\zeta)} y_0 d\zeta \right) \right] = \beta$$

Розв'язуючи систему рівнянь (56), (57), отримаємо невідомі  $c_1$  і  $c_2$ .

$$c_1 = \frac{\alpha \exp \left( - \int_{-a}^0 \Phi(\zeta) (1 + \sqrt{1 + A(\zeta)}) y_0 d\zeta \right) - \beta \exp \left( \int_0^b \Phi(\zeta) (1 + \sqrt{1 + A(\zeta)}) y_0 d\zeta \right)}{\exp \left( 2 \int_{-a}^0 -\Phi(\zeta) \sqrt{1 + A(\zeta)} y_0 d\zeta \right) - \exp \left( 2 \int_0^b \Phi(\zeta) \sqrt{1 + A(\zeta)} y_0 d\zeta \right)} \quad (58)$$

$$c_2 = \frac{\alpha \exp \left( - \int_{-a}^0 \Phi(\zeta) (1 - \sqrt{1 + A(\zeta)}) y_0 d\zeta \right) - \beta \exp \left( \int_0^b \Phi(\zeta) (1 - \sqrt{1 + A(\zeta)}) y_0 d\zeta \right)}{\exp \left( 2 \int_{-a}^0 \Phi(\zeta) \sqrt{1 + A(\zeta)} y_0 d\zeta \right) - \exp \left( 2 \int_0^b -\Phi(\zeta) \sqrt{1 + A(\zeta)} y_0 d\zeta \right)} \quad (59)$$

У роботі на основі гібридних асимптотичних підходів запропоновані розв'язки диференціальних рівнянь зі змінними коефіцієнтами, які містять точку повороту. Отримані наближені аналітичні залежності, придатні для розв'язування прикладних задач математичної фізики.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Gristchak V.Z., Dmitrieva H.M. A Hybrid WKB – Galerkin method and its Application // J.Techn. - Mechanik, Band 15, Heft 4. 1995.- P.281-294.

2. Грищак В.З., Дмитриева Е.М. Гибридный асимптотический метод на основе метода фазовых интегралов и его применение // Сборник научных трудов ЗГУ, посвященных 10-летию университета, Запорожье, 1995.- С.28-31.
3. Грищак В.З., Дмитриева О.М. Застосування гібридного ВКБ-Гальоркін методу до розв'язання деяких крайових задач механіки// Доповіді НАН України, 1998.
4. Gristchak V.Z. The WKB Method for the Turning-Point Problem of the Differential Equations of the Fourth Order with Variable Coefficients.- Texas. -1985.
5. Герасимов Т.С., Грищак В.З. Про підхід до розв'язання диференціального рівняння другого порядку із точкою повороту, засновані на використанні гібридних методів. Частина перша // Вісник запорізького університету (Серія: фізико-математичні науки). – 2002. – № 3. – С.25-33.
6. Хединг Дж. Введение в метод фазовых интегралов (метод ВКБ).-М.: Мир, 1963.- 237с.

УДК 539.3

## ЗАСТОСУВАННЯ МКЕ У РОЗВ'ЯЗАННІ ЗАДАЧІ ПРО ВДАВЛЮВАННЯ ШТАМПА В ПІВПЛОЩИНУ ІЗ ЗАДАНИМ НЕСТАЦІОНАРНИМ ТЕПЛОВИМ НАВАНТАЖЕННЯМ НА ВКЛЮЧЕННІ

Звездочкіна О.А., к.ф.-м.н., ст. викл., Лисенко В.В., асистент

*Запорізький державний університет*

У роботі за допомогою модифікованого методу крайових елементів представлений розв'язок задачі про дію штампа на межу півплощини з квадратним отвором, на межі якого задане нестационарне теплове навантаження. Межа заданого отвору вільна від зусиль. Запропонований модифікований метод побудований на синтезі класичного методу крайових елементів та аналітичних розв'язків задачі теплопровідності, одержаних методом функцій Гріна і задачі Фламана про розподілене навантаження на межі півплощини. Проведений аналіз отриманих розв'язків поставленої задачі в порівнянні з розв'язком пружної задачі, одержаний без температурного навантаження.

*Ключові слова:* поле температур, пружна півплощина, метод крайових елементів, метод функцій Гріна, напруження.

Звездочкіна Е.А., Лысенко В.В. ПРИМЕНЕНИЕ МГЭ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ О ВДАВЛИВАНИИ ШТАМПА В ПОЛУПЛОСКОСТЬ С ЗАДАНОЙ ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗКОЙ НА ВКЛЮЧЕНИИ / Запорожский государственный университет, Украина

В работе с помощью модифицированного метода граничных элементов представлено решение задачи о действии штампа на границу полуплоскости с квадратным отверстием, на границе которого задана нестационарная тепловая нагрузка. Граница заданного отверстия свободна от усилий. Предложенный модифицированный метод построен на синтезе классического метода граничных элементов и аналитических решений задачи теплопроводности, полученных методом функций Грина и задачи Фламана о распределенной нагрузке на границе полуплоскости. Проведен анализ полученных решений поставленной задачи в сравнении с решением упругой задачи, полученного без температурной нагрузки.

*Ключевые слова:* поле температур, упругая полуплоскость, метод граничных элементов, метод функций Грина, напряжение.

Zvyozdochkina Ye.A., Lysenko V.V. APPLICATION OF BEM IN DECISION OF TASK ABOUT PRESSING OF PUNCH IN HALF-PLANE WITH THE SET TEMPERATURE LOADING ON INCLUSION / Zaporizhzhya State University, Ukraine

In work by the modified method of boundary element the decision of task about action of punch on the border of half-plane with the square aperture on the border of which the unstationary temperature loading is set is represented. The border of the aperture is free of efforts. The offered modified method is built on the synthesis of classic method of boundary elements and analytical solution of task of heat conductivity, got the method of the Green's functions and the Flaman's task about the distributed loading on the border of half-plane. The analysis of the got solution of the put task by comparison to the solution of elastic task is conducted, got without the temperature loading.

*Key words:* field of temperatures, elastic half-plane, BEM, method of the Green's functions, stresses.

## 1. ВСТУП

Останнім часом твердо встановлено, що метод крайових елементів є важливим, альтернативним по відношенню до існуючих чисельних методів та підходів до розв'язання задач механіки деформованого твердого тіла [1, 2]. Найголовніші його переваги перед іншими чисельними методами є такими: по-перше, даний метод знижує на одиницю розмірність поставленої задачі, по-друге, побудова розв'язку залежить тільки від межі тіла та її геометрії. Проте, якщо задача поставлена в пружному півпросторі, то як і при використанні будь-якого чисельного методу, досліднику доводиться обмежувати область великим контуром і переносити умови, задані на нескінченності, на новий контур. Таким чином, модель задачі спрощується, і одержаний розв'язок приймається з деяким обмеженням та наближенням. Не кажучи вже про те, що великий контур вимагає збільшення кількості крайових елементів, що приводить до обчислювальної складності розв'язання поставленої задачі та накопичення похибок.

У роботі представлено розв'язання стаціонарної задачі про вдавлювання штампа в пружну півплощину, у якій присутнє нестационарне в деякий початковий момент часу теплове навантаження, задане на включенні, за допомогою модифікованого методу крайових елементів [3]. Під включенням тут розуміється багатозв'язність області.

## 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Розглянемо статичну незв'язну термопружну задачу про вдавлювання штампа в півплощину, із заданим нестационарним тепловим навантаженням на включенні, тобто визначити поле температур, а потім з урахуванням знайденого розподілу температур розв'язати рівняння Ламе, що містять фіктивні масові сили [4]. Штмп теплоізолюваний, тобто під штампом на межі півплощини заданий нульовий потік, на

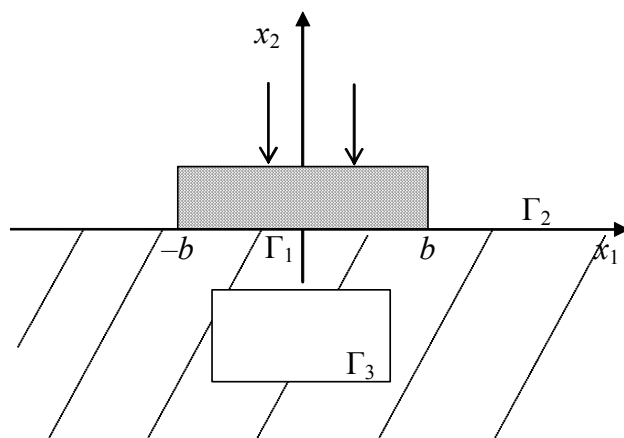


Рис. 1

решті частині – нульова температура, на включенні задана температура, що має нелінійну залежність від часу, тобто в деякий початковий проміжок часу вона досягає свого максимуму і знижується знову до нульової. Під штампом задані постійні зміщення, а включення є отвором, тобто на межі задані нульові напруження.

Цей процес описується за допомогою двох мішаних задач:

1. Знайти розподіл температури в багатозв'язній півплощині (рис. 1), якщо на межі задані нульова температура ( $\Gamma_2$ ) і під штампом потік ( $\Gamma_1$ ), що дорівнює нулю. На квадратному включенні задана температура, що має параболічну

залежність від часу, і при  $t=1$  вона дорівнює нулю. У початковий момент часу температура у всьому тілі теж дорівнює нулю. Тобто потрібно розв'язати відоме рівняння нестационарної теплопровідності [4]:

$$\Delta T(x,t) - \frac{1}{k} \frac{\partial T(x,t)}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

за таких крайових:  $\frac{\partial T}{\partial n} \Big|_{\Gamma_1} = 0$ ,  $T \Big|_{\Gamma_2} = 0$ ,  $T \Big|_{\Gamma_3} = 5(1 - (2t - 1)^2)$  та початкових умов:  $T(x,0) = 0$ .

2. Знайти розподіл напружень і зміщень у півплощині, ослабленій отвором, під дією жорсткого штампа на межі і одержаним із попередньої задачі тепловим навантаженням, що виступає як фіктивні масові сили в кожний момент часу. Цей процес описується рівнянням класичної теорії пружності [5]:

$$\nabla^2 u + \frac{1}{1-2\nu} \text{grad}\theta = - \frac{\text{grad}\alpha T}{G} \quad (2)$$

за таких крайових умов:

1) на межі півплощини  $\Gamma_1 \cup \Gamma_2$ :  $u_2 = -u_0$ ,  $|x_1| \leq b$ ;  $\sigma_{12} = 0$ ,  $|x_1| < \infty$ ;  $\sigma_{22} = 0$ ,  $|x_2| > b$ ,

2) на межі квадратного включення:  $\sigma_{ij} n_j \Big|_{\Gamma_3} = 0$ ,  $i, j = 1, 2$ ,

де  $u$  – вектор пружного зміщення,  $T$  – температура,  $\theta$  – об'ємне розширення,  $\nu$ ,  $G$  – пружні сталі, що не залежать від температури,  $\sigma_{ij}$  – нормальні і дотичні напруження, задані на межі півплощини і на включенні.

### 3. МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД КРАЙОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Як відомо, існують аналітичні розв'язки для однорідного півпростору, наприклад, у теорії теплопровідності – це розв'язки, одержані методом функцій Гріна, у пружності – розв'язки задачі Фламана про зосереджене навантаження на межі півплощини, і одержані більш пізніше подібні розв'язки в півпросторі [6] і т.п.

Розглянемо в загальному випадку постановку методу крайових елементів [6]. Нехай потрібно знайти розподіл будь-якої функції в багатозв'язній півплощині під дією початково-крайових умов і масового навантаження. За даними межами записується крайово-інтегральне рівняння для даної задачі.

$$\begin{aligned} c_{ij}(\xi)u_i(\xi) + \int_{\Gamma} p_{ij}^*(\xi, x)u_j(x)d\Gamma(x) \\ = \int_{\Gamma} u_{ij}^*(\xi, x)p_j(x)d\Gamma(x) + 2G \frac{1+\nu}{1-2\nu} \alpha \int_{\Omega} u_{ik,k}^*(\xi, x)Td\Omega, \end{aligned} \quad (3)$$

де  $T$  – це різниця температур  $T - T_0$ , задана в області  $\Omega$ ,  $\Gamma = \Gamma_1 \cup \Gamma_2 \cup \Gamma_3$ ,  $\alpha$  – коефіцієнт лінійного температурного розширення, коми в індексах означають похідні за змінними.

Далі застосовуючи метод крайових елементів, будується розв'язок незв'язаної термомпружної задачі (1)-(2). Проте, оскільки межа півплощини не обмежена, то одержуємо невласний інтеграл, який в загальному випадку явно не береться. Один із методів усунення такого недоліку є обмеження півплощини контуром. Провівши апроксимацію крайовими елементами побудованого контура одержимо нові невідомі, яких більше ніж число рівнянь. Для доведення системи до повної частину невідомих можна виразити за аналітичним розв'язком через інші невідомі, шукані на частини межі півплощини [3]. Таким чином, одержимо повну систему лінійних алгебраїчних рівнянь. Знайшовши всі невідомі, розв'язавши систему будь-яким способом, можна побудувати розв'язок для поставленої задачі: всередині за методом крайових елементів, зовні за аналітичним розв'язком для даної задачі.

При дослідженні розв'язків, одержаних описаним модифікованим методом крайових елементів, було встановлено, що для одержання розв'язку з мінімальною похибкою, що з'являється, оскільки цей метод є аналітико-чисельним та внаслідок накопичення похибок обчислень при збільшенні обмежуючого контура та числа крайових елементів, необхідно, щоб обмежуючий контур знаходився від контуру включення на відстані, що дорівнює подвоєному розміру його діаметра [7]. Використання аналітичних розв'язків дещо обмежує коло задач, що розв'язуються таким методом. Зокрема, у теплопровідності обов'язково на межі повинні бути задані мішані крайові умови: потік на скінченній ділянці і температура на решті частини межі. У пружності, особливо в тривимірному випадку, існують аналітичні розв'язки для чотирьох задач, але для побудови моделі, найближчої до реальної, цілком достатньо розв'язку іншої задачі, який існує і для плоскої постановки – розв'язок задачі Фламана про розподілене навантаження [8].

У загальному випадку, цим модифікованим методом можна будувати розв'язки для багатозв'язної півплощини з крайовими умовами будь-якого типу, заданих на контурі включень. При цьому геометрія як межі включень, так і обмежуючого контура може бути будь-якою, що цілком допускається при використанні методу крайових елементів.

Представимо розв'язок поставленої задачі (1)-(2), що розв'язувалася за допомогою описаної методики. У даному випадку, наведено розв'язок, спільний для пружної і температурної задач, при цьому процес розподілу тепла в багатозв'язній півплощині залежить від часу. Таким чином, для розв'язання температурної задачі були застосовані метод крайових елементів і аналітичний розв'язок, який мав часове формулювання. Одержаний в кожний момент часу розподіл температури в області використовувався для розв'язання статичної задачі термомпружності (3).

Нижче наведені графіки розподілу пружних і термомпружних напружень при таких значеннях пружних сталей [6]:  $\nu = 0,33$ ,  $G = 2,6 \cdot 10^5$ ,  $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-6}$ , результати представлені в безрозмірному вигляді. Зміщення під штампом дорівнюють  $u_0 / b = 0,0001$ . Центр квадратного включення зі стороною 0,5 знаходиться в т. (0, -1). Максимального значення температура досягає в момент часу  $t=0,5$  і дорівнює 10.

Апроксимація проводилася постійними елементами через нескладність задачі, при цьому використований метод дозволив добитися результатів достатнім для цього числом крайових елементів.

#### 4. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

На рис. 2 наведені графіки нормальних напружень по  $x_2$  в півплощині при  $x_1 = 0$ : суцільними лініями показані стискаючі напруження в проміжок часу від нуля до 0,5, пунктиром – напруження, одержані, коли температура, досягнувши свого максимуму, стала поступово прагнути нуля. Самий верхній графік представляє розподіл напружень у пружній задачі без урахування теплового навантаження. Обчислення приведені для температурного навантаження з кроком у часі 0,1.

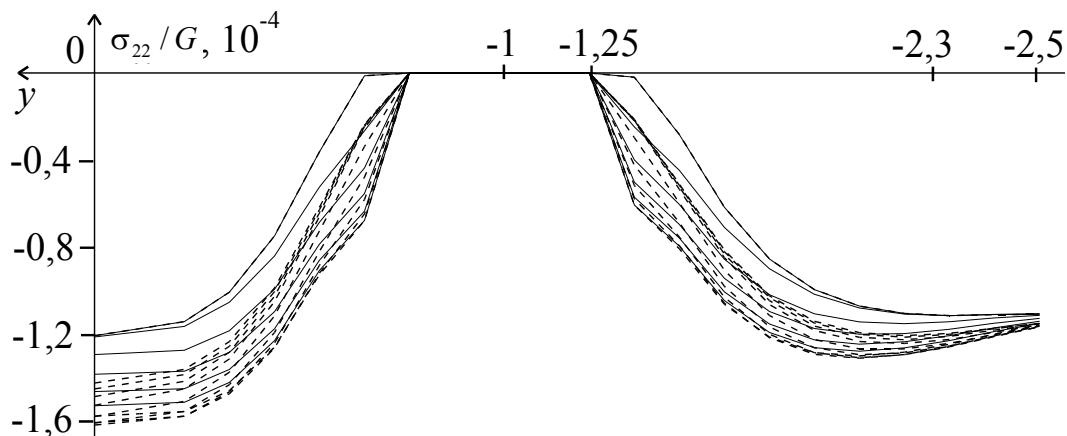


Рис. 2 Розподіл напружень у півплощині під дією штамп і нестационарним тепловим навантаженням, заданим на включенні: суцільна лінія – під дією температурного поля, одержаного в проміжок часу від 0 до 0,5, пунктир – у проміжок часу від 0,5 до 1,5.

Як показують результати, побудований розв'язок скрізь гладкий і поводить як монотонна функція, відповідно до поставленої початково-крайової температурної задачі, тобто напруження спочатку різко зростають від нуля до максимуму біля отвору, а потім за заданим параболічним законом різко прагнуть до нуля. При цьому по мірі відділення від отвору із заданим тепловим джерелом напруження зростають повільніше і повторюють параболічний розподіл тепла, але з деяким запізненням у часі.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Поляков Н.В., Евдокимов Д.В. Применение метода граничных элементов для расчета процесса напыления // Вестник Днепропетровского университета. – 2001. – Вып. 4., Т.1. – С. 146-151.
2. Александров В.М. Об одном методе решения интегрального уравнения плоских контактных задач для полуограниченных тел // Прикладная математика и механика. – 2002. – Т.66, №5. – С. 874-879.
3. Звездочкіна О.А., Лисенко В.В. Дослідження напруженого стану на межі півплощини з квадратним отвором, межа якого жорстко защемлена, під тиском штамп // Системні технології. – Дніпропетровськ, 2004. – №3 (32). – С. 56-60.
4. Владимиров В.С. Уравнения математической физики. – М.: Наука, 1967. – 256 с.
5. Ломакин В. А. Теория упругости неоднородных тел. – М., 1976. – 367 с.
6. Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. Методы граничных элементов – М.: Мир, 1987. – 524 с.
7. Звездочкіна О.А., Толок В.О. Про підвищення ефективності методу крайових елементів в розв'язанні задач теорії теплопровідності за допомогою методу функцій Гріна // Зб. праць науково-технічної конференції "Питання оптимізації обчислень", 21-28 вересня – Крим, Кацивели, 2001. – С. 164-170.
8. Божидарник В.В., Сулим Г.Т. Елементи теорії пружності. – Львів: Світ, 1994. – 560 с.

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНСТРУИРОВАНИЯ НОВЫХ ГРАФИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ R-ФУНКЦИЙ

Корогод В.Л., аспирант, Мильцев А.М., ассистент, \*Толок А.В., д.т.н., директор департамента ИТО

*Запорожский государственный университет,*

*\*Запорожский институт им. гетмана Петра Сагайдачного МАУП*

В данной работе предлагается математическая модель конструирования новых графических образов на базе уже имеющихся с использованием R-функций. Данный метод позволяет находить области пересечения нескольких массивов данных, которые описывают исходные графические образы. В статье сформулированы метод и принципы получения дифференциальных характеристик в области пересечения, приведены результаты работы алгоритма.

*Ключевые слова: вектор, базис, матрица поворота, M-образ, графический образ, двухмерный массив данных, R-функция, кластер.*

Корогод В.Л., Мильцев О.М., \*Толок О.В. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОНСТРУЮВАННЯ НОВИХ ГРАФІЧНИХ ОБРАЗІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ R-ФУНКЦІЙ / Запорізький державний університет, \*Запорізький університет ім. гетьмана Петра Сагайдачного МАУП, Україна.

У роботі запропонована математична модель конструювання нових графічних образів на базі вже існуючих з використанням R-функцій. Запропонований метод дозволяє знаходити області перетинання декількох масивів даних, які описують вихідні графічні образи. У статті наведені метод та принципи отримання диференціальних характеристик в області перетинання та результати роботи алгоритму.

*Ключові слова: вектор, базис, матриця повороту, M-образ, графічний образ, двовимірний масив даних, R-функція, кластер.*

Korogod V.L., Miltsev A.M., \*Tolok A.V. MATHEMATICAL MODEL OF DESIGNING OF NEW GRAPHIC IMAGES WITH USE OF THE THEORY OF R-FUNCTIONS / Zaporizhzhya State University, \*P.Sagaydachny Zaporizhzhya Institute of IRAPM, Ukraine.

In the given work the mathematical model of designing of new graphic images is offered on the basis of existing images with use of R-functions. The given method allows to find areas of crossing of several data files which describe initial graphic images. In the article the method and principles of reception of differential characteristics are formulated in the field of crossing, results of work of algorithm are given.

*Key words: vector, basis, matrix of turn, the M - image, graphic image, bidimensional data file, R-function, cluster.*

В геометрическом моделировании и машинной графике широкое применение получили системы анализа трехмерных сцен, описанных функционально. При реализации таких систем используются методы, позволяющие получать набор графических образов, которые характеризуют отдельные геометрические характеристики исследуемой функции. Каждый образ, моделирующий конкретное свойство функции, назван M-образом (образом-моделью) [1]. В основе метода формирования трехмерных графических M-образов лежит алгоритм частичной сортировки по глубине, основанный на принципе итерационного уточнения области определения функции [2,3]. Структура для образного представления информации организована в виде динамического массива (массива данных). Такой массив данных содержит дифференциальные характеристики исследуемой функции, такие как значения частных производных, градиент, нормаль. Массив имеет регулярную структуру, количество элементов массива определяется как  $2^{n \cdot m}$ , где  $m$  - количество итераций,  $n$  - размерность пространства.

Одним из интересных направлений в области работы с графическими образами является направление, связанное с конструированием графических образов – как, используя несколько графических образов, получить новый графический образ, а также геометрические характеристики объекта, представленного новым образом.

Под конструированием мы будем понимать булевы операции объединения ( $\cup$ ), пересечения ( $\cap$ ), вычитания ( $-$ ) и отрицания ( $\bar{\phantom{x}}$ ), которые будут применяться к исходным графическим образам.

Основной задачей при конструировании новых образов является задача выделения общих областей. Поскольку информация о графических образах представлена в виде динамических массивов, то задача отыскания общих областей сводится к задаче нахождения элементов, которые принадлежат всем исходным массивам.

Рассмотрим некоторый двухмерный массив данных  $M$ . Геометрически его можно представить как некоторую замкнутую прямоугольную область, содержащую конечный набор замкнутых прямоугольных

подобластей с центрами в точках  $p_{ij}(x'_i, y'_j)$ , заданную в системе координат  $X'Y'$  (рис. 1) с базисными векторами  $X'_{ort}(x'_{ort}, 0), Y'_j(0, y'_{ort})$ , которые определяют базис  $B = \begin{bmatrix} x'_{ort} & 0 \\ 0 & y'_{ort} \end{bmatrix}$ .

Пусть область  $m$ , определенная базисными векторами  $b_x(1,0), b_y(0,1)$ , также задана в системе координат  $X'Y'$ . Переход от единичной области  $m$  к области массива  $M$  (то есть области, определенной массивом  $M$ ) осуществляется при помощи операции масштабирования:

$$\begin{bmatrix} x'_{ort} & 0 \\ 0 & y'_{ort} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x'_b \\ y'_b \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где векторы  $b_1(x'_b, 0), b_2(0, y'_b)$  определяют сжатие-растяжение по осям области массива  $M$  относительно области  $m$ . Следовательно, всем точкам единичной области с координатами  $(x_i, y_j)$  будут соответствовать точки с координатами  $p_{ij}(x'_i, y'_j)$  области массива  $M$  такие, что:

$$\begin{bmatrix} x'_i \\ y'_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_{ort} & 0 \\ 0 & y'_{ort} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_i \\ y_j \end{bmatrix} \quad (2)$$

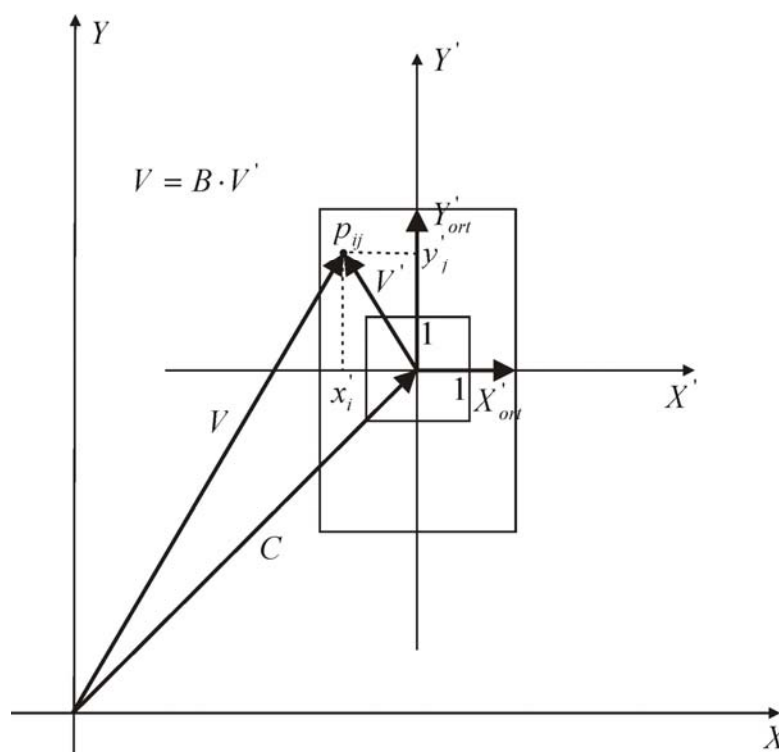


Рис. 1

При повороте массива  $M$  в системе  $X'Y'$  каждая точка  $p_{ij}(x'_i, y'_j)$  отображается в точку  $p''_{ij}(x''_i, y''_j)$ , координаты которой получаются путем умножения на матрицу поворота  $R = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}$ . То есть

$$\begin{bmatrix} x''_i \\ y''_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x'_i \\ y'_j \end{bmatrix} \quad (3)$$

Пусть  $X'Y'$  система координат наблюдателя (рис. 2). Вектор  $C(x_c, y_c)$  задает смещение системы  $X'Y'$  относительно начала координат системы  $XY$ . Следовательно, всем точкам  $p'_{ij}(x''_i, y''_j)$  в системе координат  $X'Y'$  соответствуют точки

$$P_{ij}(x_i, y_j) = p'_{ij}(x''_i, y''_j) + C(x_c, y_c) \quad (4)$$

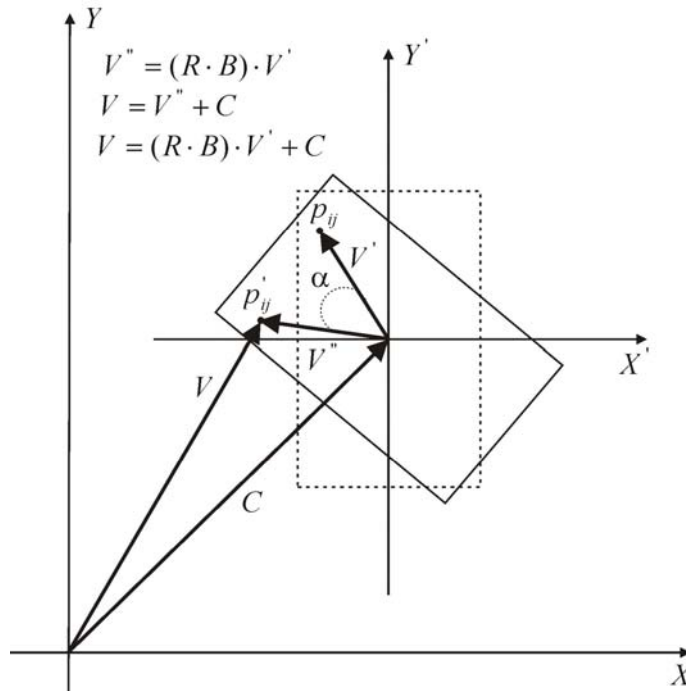


Рис. 2

То есть выражение (3) - не что иное, как смещение системы  $X'Y'$  относительно  $XY$ . С другой стороны, любой точке с координатами  $(x, y)$  соответствует вектор с началом в центре координат и окончанием в точке  $(x, y)$ . Тогда в векторном виде описанные выше процедуры могут быть записаны как:

$$V = (B \cdot R) \cdot V' + C, \quad (5)$$

где  $V$  - вектор в системе координат  $X'Y'$ ,  $R$  - матрица поворота,  $B$  - базис,  $V'$  - некоторый вектор в системе  $XY$ ,  $C$  - вектор смещения.

Рассмотрим два массива данных  $M_1, M_2$ , расположенных друг относительно друга, как показано на рисунке 4. Как уже говорилось, задача нахождения общих областей сводится к задаче нахождения тех элементов  $(i, j)$ , которые бы принадлежали и массиву  $M_1$ , и массиву  $M_2$ , то есть нахождения тех прямоугольных подобластей, которые бы пересекались. Одним из методов решения поставленной задачи является метод, основанный на использовании теории R-функций.

Функциональное описание замкнутой прямоугольной области будет иметь вид:

$$((N_1)^2 - |x - x_c|) \cap ((N_2)^2 - |y - y_c|), \quad (6)$$

где  $N_1(n_x, 0)$ ,  $N_2(0, n_y)$  - векторы, определяющие описываемую область,  $C(x_c, y_c)$  - вектор смещения исходной области относительно начала координат (рис. 3). Любая точка  $P(x, y)$  лежит внутри заданной области, если обе части выражения (1) больше нуля, лежит на границе, если хотя бы одна из частей равна нулю, а другая принимает неотрицательные значения, и не принадлежит области, если хотя бы одна из частей меньше нуля.

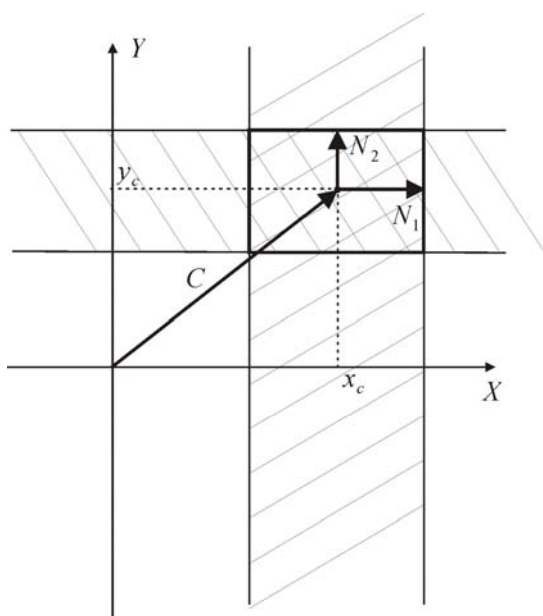


Рис. 3

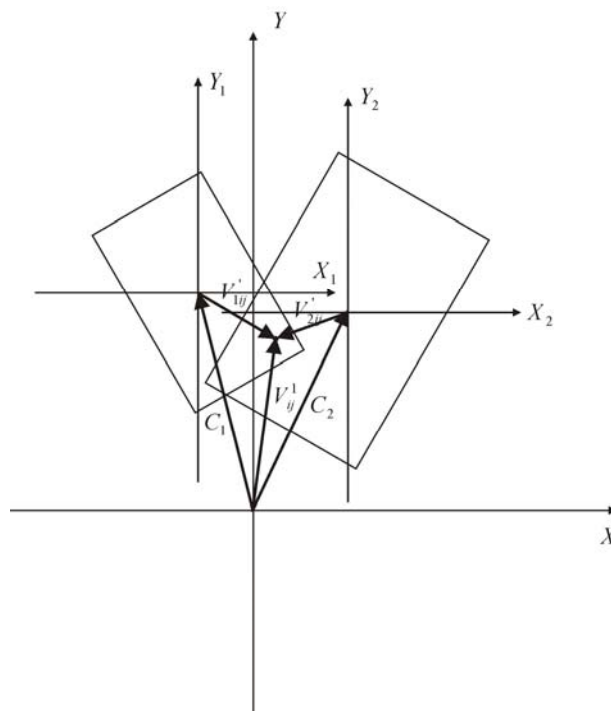


Рис. 4

Изначально массив  $M_1$  задан в системе координат  $X_1Y_1$ , массив  $M_2$  задан в системе координат  $X_2Y_2$ ,  $XY$  - система координат наблюдателя. Векторы  $C_1, C_2$  задают смещение систем  $X_1Y_1$  и  $X_2Y_2$  относительно начала координат  $XY$ .

Рассмотрим единичную замкнутую прямоугольную область, разбитую на  $2^{nm}$  подобных подобластей (далее кластеров). Центр  $o(x_{io}, y_{jo})$   $ij$ -кластера этой области определяется по формулам:

$$\begin{aligned} x_{io} &= -1 + \frac{1}{t}(1 + 2i) \\ y_{jo} &= -1 + \frac{1}{t}(1 + 2j), \end{aligned} \quad (7)$$

где  $t = 2^n$ ,  $n$  - количество итераций.

Согласно (1) базисная матрица  $B_1 = \begin{bmatrix} x'_{1ort} & 0 \\ 0 & y'_{1ort} \end{bmatrix}$  характеризует сжатие-растяжение по осям области, определенной массивом  $M_1$  относительно единичной области. Таким образом, координаты центра ( $ij$ ) кластера массива  $M_1$  определяются по формуле (2):

$$\begin{bmatrix} x'_{1i} \\ y'_{1j} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x'_{1ort} & 0 \\ 0 & y'_{1ort} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_{io} \\ y_{jo} \end{bmatrix}$$

Поворот массива  $M_1$  на некоторый угол  $\alpha$  осуществляется путем умножения на матрицу поворота  $R_1$  (см. формулу 3). Смещение системы  $X_1Y_1$  относительно системы координат  $XY$  определяется по формуле 4. В векторном виде центр ( $ij$ ) кластера массива  $M_1$  в системе  $XY$  будет определяться вектором  $V_{1ij}$ , таким что:

$$V_{1ij} = (B_1 \cdot R_1) \cdot V'_{1ij} + C_1, \quad (8)$$

где  $V_{ij}$  вектор, определяющий точку с координатами  $(x_{1i}, y_{1j})$ .

Пусть векторы  $X_{2ort}(x_{2ort}, 0), Y_{2ort}(0, y_{2ort})$  определяют базис  $B_2$  замкнутой прямоугольной области, определенной массивом  $M_2$  в системе координат  $X_2Y_2$ . Поворот массива  $M_2$  на некоторый угол  $\beta$  определяет матрица поворота  $R_2$ .

Функциональное описание прямоугольной области массива  $M_2$  в системе координат  $X_2Y_2$  согласно (5) можно представить в виде:

$$((X_{2ort})^2 - |x - x_{2o}|) \cap ((Y_{2ort})^2 - |y - y_{2o}|), \quad (9)$$

где  $(x_{2o}, y_{2o})$  - координаты центра области массива  $M_2$  в  $X_2Y_2$ .

Смещение  $X_1Y_1$  относительно  $X_2Y_2$  определяется вектором  $C_{12} = (C_1 - C_2)$ . Вектор  $V_{1ij}'$  с началом в центре координат в системе  $X_1Y_1$  и окончанием в точке  $p_{1ij}'(x_{1i}', y_{1j}')$  отображается в вектор  $V_{2ij}'$  с началом в центре координат в системе  $X_2Y_2$  и окончанием в точке  $p_{2ij}'(x_{2i}', y_{2j}')$  системы координат  $X_2Y_2$ :

$$V_{2ij}' = (V_{1ij}' - C_2) \cdot R_2 \quad (10)$$

Будем считать, что  $(ij)$  - кластер массива  $M_1$  входит в область массива  $M_2$ , если при подстановке точки  $p_{2ij}'(x_{2i}', y_{2j}')$  (9) обе части выражения принимают неотрицательные значения.

Поскольку для каждого кластера определены свои дифференциальные характеристики функции, то для определения дифференциальных характеристик нового объекта необходимо определить, какие кластеры массива  $M_2$  пересекаются с кластерами массива  $M_1$ . Для этого необходимо дать функциональное описание каждого кластера массива  $M_2$ . Смещение центра  $(kl)$  кластера определяется вектором, с началом в точке  $(0,0)$  и окончанием в точке  $(x_{ok}, y_{ol})$ , где

$$\begin{aligned} x_{ok} &= -1 + \frac{1}{f}(1 + 2k) \\ y_{ol} &= -1 + \frac{1}{f}(1 + 2l), \end{aligned} \quad (11)$$

где  $f = 2^q$ ,  $q$  - количество итераций массива  $M_2$ .

Поскольку векторы  $X_{2ort}(x_{2ort}, 0), Y_{2ort}(0, y_{2ort})$  определяют всю область  $M_2$ , то при умножении их на коэффициент  $\frac{1}{2^q}$  ( $q$  - количество итераций) мы получим векторы, которые определяют любой  $(lk)$  кластер. Следовательно, функциональное описание  $(lk)$  будет иметь вид:

$$\left(\frac{1}{2^q} \cdot (X_{2ort})^2 - |x - x_{ok}|\right) \cap \left(\frac{1}{2^q} \cdot (Y_{2ort})^2 - |y - y_{ol}|\right) \quad (12)$$

Будем считать, что  $(ij)$  - кластер массива  $M_1$  пересекается с  $(kl)$  кластером массива  $M_2$ , если при подстановке точки  $p_{2ij}'(x_{2i}', y_{2j}')$  обе части выражения (12) принимают неотрицательные значения.

Результаты работы описанного выше метода приведены ниже:



Рис. 5. Образ функции  
 $z = (9 - (x - 1)^2 - y^2) \cap (9 - (x + 1)^2 - y^2)$



Рис. 6. Пересечение образов двух функций  
 $z_1 = (9 - (x - 1)^2 - y^2)$  и  $z_2 = (9 - (x + 1)^2 - y^2)$

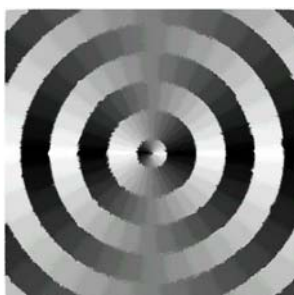


Рис. 7. Образ функции  
 $z_1 = 100 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{50} \cdot \sqrt{x^2 + y^2}\right)$

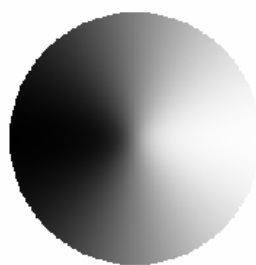


Рис. 8. Образ функции  
 $z_2 = (8100 - x^2 - y^2)$

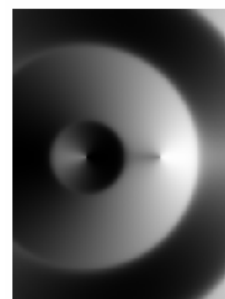


Рис. 9. Пересечение образов двух функций  
 $z_1 = 100 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{50} \cdot \sqrt{x^2 + y^2}\right)$  и  
 $z_2 = (9 - x^2 - y^2)$

Предложенный метод конструирования новых графических образов позволяет строить сложные графические образы как композицию более простых, находить дифференциальные характеристики построенного объекта. Это значительно сокращает временные затраты так как нет необходимости рассчитывать новый массив данных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Толоч А.В., Мухин В.В. Алгоритм итерационного уточнения области исследования поверхности // Вісник Запорізького державного університету: Фізико-математичні науки. – 1998. - N2. - С.90-97.
2. Гладкий Б.М., Толоч А.В. Применение алгоритма частичной сортировки по глубине к визуализации функции трёх переменных // Вісник Запорізького державного університету: Фізико-математичні науки. – 1999. - N2. – С.28-35.
3. Корогод В.Л., Мыльцев А.М., Толоч А.В. Синтез и отображение геометрических характеристик функций в виде трехмерных графических образов // Материалы XXXI международной конференции и дискуссионного научного клуба IT+SE'2004 “Информационные технологии в науке, образовании, телекоммуникации и бизнесе”. – Крым (Украина). – 2004. – С.319-321.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОСНОВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРУЖЕНОГО СТАНУ СКЛАДЕНИХ КОНІЧНИХ ОБОЛОНОК ВІД КУТІВ КОНУСНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДІВ ТЕОРІЇ ПОТЕНЦІАЛУ

Левчук С.А., к.ф.-м.н., доцент

*Запорізький державний університет*

Розглянута задача вісесиметричного вигину складених конічних оболонок. Розв'язання здійснювалося з використанням методів теорії потенціалу. Із цією метою досліджуване тіло розглядалося як складена конструкція, що складається із скінченної кількості конічних секцій. Сформульовані умови з'єднання секцій у складеній конструкції. Побудована матриця типу Гріна для розглянутої задачі. Досліджена залежність основних характеристик напруженого стану складеної конічної оболонки від кутів конусності.

*Ключові слова:* складена конічна оболонка, теорія потенціалу, напружено-деформований стан, матриця типу Гріна.

Левчук С.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СОСТАВНЫХ КОНИЧЕСКИХ ОБОЛОЧЕК ОТ УГЛОВ КОНУСНОСТИ ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДОВ ТЕОРИИ ПОТЕНЦИАЛА/ Запорожский государственный университет, Украина

Рассмотрена задача осесимметричного изгиба составных конических оболочек. Решение осуществлялось с использованием методов теории потенциала. С этой целью исследуемое тело рассматривалось как составная конструкция, состоящая из конечного количества конических секций. Сформулированы условия соединения секций в составной конструкции. Построена матрица типа Грина для рассмотренной задачи. Исследована зависимость основных характеристик напряженного состояния составной конической оболочки от углов конусности.

*Ключевые слова:* составная коническая оболочка, теория потенциала, напряженно-деформированное состояние, матрица типа Грина.

Levchuk S.A. RESEARCH THE DEPENDENCE OF BASIC CHARACTERISTICS THE STRAINLY STATES OF THE COMPOUND CONE SHELLS RELATIVELY CONE ANGL WITH THE HELP OF THEORY OF POTENTIAL METHOD/ Zaporizhzhya State University, Ukraine

The problem axial-symmetry curve of the compound cone shells had been considered. Solution have been realising with use the method of theory of potential. The body which investigate had been considered as compound construction, which consist of the final number of cone sections. Conditions of combination sections had been formulated in the compound construction. The matrix of Green type had been constructed for consider problem. Dependens of basic characteristics the strainly states of the compound cone shell relatively cone angle had been reseach.

*Key words:* compound cone shell, theory of potential, strainly-deformed state, matrix of Green type.

Елементами складених тонкостінних технічних конструкцій нерідко бувають конічні оболонки, з'єднані між собою, або з елементами іншого типу. Прикладом подібної конструкції може бути гофрована коробка, або сильфон, який являє собою циліндричну посудину з нанесеними по поверхні поперечними гофрами (рис. 1), виготовлений з пружного матеріалу і здатний під дією осьових сил давати помітні видовження при порівняно малих згинальних напруженнях. Ця властивість сильфонів широко застосовується у техніці. Сильфони мають двояке застосування. З одного боку вони застосовуються як пружні компенсатори монтажних і експлуатаційних зміщень у системі трубопроводів, з другого - як чутливі елементи датчиків тиску в приладобудуванні.

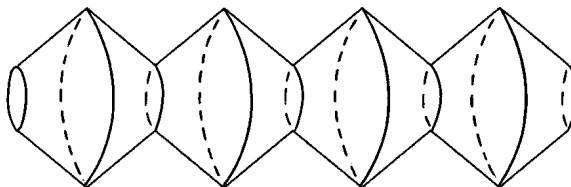


Рис. 1. Складена конічна оболонка

Деякі способи розрахунку напружено-деформованого стану гофрованих мембран з різними формами гофрування і сильфонів описані у [1]. Для цього застосовувався, зокрема, метод Л.Е. Андрєєвої, оснований на введенні коефіцієнтів анізотропії мембрани при розтягу і вигині в околівому і радіальному напрямках з наступним розрахунком гофрованої мембрани як анізотропної пластинки. Сильфон же було подано як систему кільцевих пластин, зв'язаних по зовнішньому і внутрішньому контурам позмінно.

Роботи [2–3] також були присвячені дослідженню деяких питань розрахунку деформування складених конічних оболонок. У [2], наприклад, було розглянуто теорію і методи розв'язання задач статки тонких багат шарових оболонок обертання довільного окреслення при нерівномірних силових і температурних впливах. Наведено результати розрахунку елементів наступних об'єктів: пружна система, складена з конічної, тороїдальної і двох циліндричних оболонок; з'єднання конічних оболонок з розривом. Із застосуванням методу скінченних елементів у [3] було досліджено напружено-деформований стан складених конічних і циліндричних оболонок обертання при дії симетричних навантажень, при цьому для вісесиметричної конічної оболонки використано аналітичний розв'язок у функціях Бесселя. У роботі [4] для розрахунку концентрації пружних напружень у зоні спряження конуса і циліндра застосовується метод скінченних елементів і теорія оболонок. Результати параметричного розрахунку напружень тонких оболонок під дією внутрішнього тиску порівнюються з експериментальними даними. При розрахунку оболонок конструкцій складної геометрії у [5] запропоновано використовувати розвиток сплайнового варіанта методу скінченних елементів з залученням тривимірних викривлених елементів.

У даній роботі задачу розрахунку напружено-деформованого стану складених конічних тіл розглянуто з точки зору теорії тонких оболонок В.З. Власова [6]. Попереднє розв'язання даної проблеми було започатковано у роботах [7–9]. У згаданих роботах розроблялася загальна методика розв'язання розглянутого класу задач, яка застосовується і буде розвинута далі у даній роботі у загальному теоретичному сенсі.

Система диференціальних рівнянь статичного деформування конічної оболонки в переміщеннях, згідно загальної моментної теорії тонких оболонок В.З. Власова ([6], стор. 244; [10], стор. 13) може бути записана таким наступним чином (у вісесиметричному випадку):

$$\frac{d^2 U}{dx^2} + \frac{\sin \gamma}{B} \frac{dU}{dx} - \frac{\sin^2 \gamma}{B^2} U + \frac{\sigma \cos \gamma}{B} \frac{dW}{dx} - \frac{\sin \gamma \cos \gamma}{B^2} W = \frac{\sigma^2 - 1}{Eh} q_x, \quad (1)$$

$$\frac{\sigma \cos \gamma}{B} \frac{dU}{dx} + \frac{\sin \gamma \cos \gamma}{B^2} U + \frac{\cos^2 \gamma}{B^2} W + \frac{h^2}{12} \nabla^2 \left[ \nabla^2 + \frac{\cos^2 \gamma}{B^2} \right] W = \frac{1 - \sigma^2}{Eh} q_z,$$

де  $U = U(x)$ ,  $W = W(x)$  і  $q_x = q_x(x)$ ,  $q_z = q_z(x)$  – компоненти векторів переміщень та інтенсивності поверхневого навантаження відповідно;  $h$  – товщина оболонки;  $\sigma$ ,  $E$  – коефіцієнт Пуассона і модуль Юнга;  $\nabla^2$  – позначає оператор Лапласа:

$$\nabla^2 = \frac{\sin \gamma}{B} \frac{d}{dx} + \frac{d^2}{dx^2},$$

де  $B = R + x \cdot \sin \gamma$ ,  $\gamma$  – кут конусності;  $R$  – відстань від осі обертання до точки на серединній поверхні конічної оболонки (рис. 2).

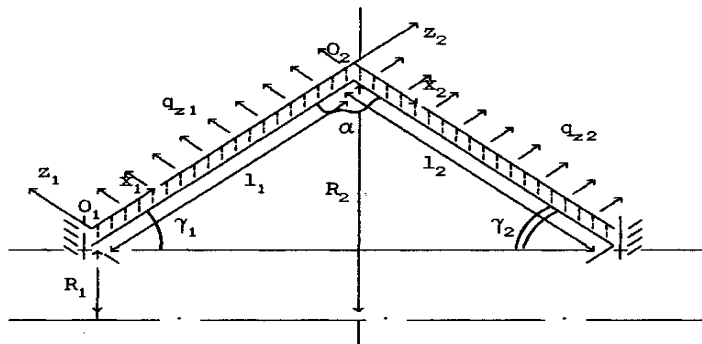


Рис. 2. Переріз двох з'єднаних конічних оболонок

Вирази внутрішніх зусиль і моментів мають вигляд [11]:

$$N(x) = \frac{Eh}{1-\sigma^2} \left( \frac{dU}{dx} + \frac{\sigma \sin \gamma}{B} U + \frac{\sigma \cos \gamma}{B} W \right); \quad M(x) = -D \left( \frac{d^2 W}{dx^2} + \frac{\sigma \sin \gamma}{B} \frac{dW}{dx} \right),$$

$$Q(x) = -D \frac{d}{dx} \nabla^2 W = -D \left( -\frac{\sin^2 \gamma}{B^2} \frac{dW}{dx} + \frac{\sin \gamma}{B} \frac{d^2 W}{dx^2} + \frac{d^3 W}{dx^3} \right); \quad (2)$$

де  $N$  – нормальне зусилля;  $Q$  – поперечна сила;  $M$  – згинальний момент;  $D$  – циліндрична жорсткість ( $12D(1-\sigma^2) = Eh^3$ ).

Якщо розглянути жорстке послідовне з'єднання  $n$  конічних оболонок під деяким кутом  $\alpha$  при затисненні зовнішніх країв (див. рис. 2), то додаткові умови набудуть вигляду:

$$U_1(0) = 0; \quad \bar{U}_i(l_i) + \bar{W}_i(l_i) = \bar{U}_{i+1}(0) + \bar{W}_{i+1}(0);$$

$$W_1(0) = 0; \quad \bar{N}_i(l_i) + \bar{Q}_i(l_i) = \bar{N}_{i+1}(0) + \bar{Q}_{i+1}(0);$$

$$\frac{dW_1}{dx_1}(0) = 0; \quad \frac{dW_i}{dx_i}(l_i) = \frac{dW_{i+1}}{dx_{i+1}}(0); \quad U_n(l_n) = 0; \quad (3)$$

$$M_i(l_i) = M_{i+1}(0); \quad W_n(l_n) = 0;$$

$$\frac{dW_n}{dx_n}(l_n) = 0,$$

де  $l_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n-1$ ) – довжини конічних оболонок (індексом умовимося позначати номер конічної секції), а шляхом наддруку позначаються відповідні вектори.

Подавши векторні рівності з умов (3) у скалярному вигляді (4)

$$U_i(l_i) = (-1)^{i+1} W_{i+1}(0) \sin \alpha - U_{i+1}(0) \cos \alpha;$$

$$W_i(l_i) = (-1)^i U_{i+1}(0) \sin \alpha - W_{i+1}(0) \cos \alpha; \quad (4)$$

$$N_i(l_i) = (-1)^i Q_{i+1}(0) \sin \alpha - N_{i+1}(0) \cos \alpha;$$

$$Q_i(l_i) = (-1)^{i+1} N_{i+1}(0) \sin \alpha - Q_{i+1}(0) \cos \alpha,$$

одержимо  $6n$  ( $n$  – кількість конічних секцій у складеному тілі) додаткових умов для визначення такої ж кількості довільних сталих, отриманих при інтегруванні системи (1), записаної для кожної з  $n$  конічних оболонок.

Подальший розв'язок системи вигляду (1) будемо здійснювати шляхом редукції до ряду задач Коші [12]. Тоді загальний розв'язок згаданої системи запишеться у вигляді:

$$U(x) = \sum_{i=1}^6 C_i(x) U^{(i)}(x), \quad W(x) = \sum_{i=1}^6 C_i(x) W^{(i)}(x). \quad (5)$$

Розв'язування задачі далі будемо здійснювати методом варіації довільних сталих, при цьому отримаємо залежності (у дискретному вигляді):

$$U(x) = \sum_{i=1}^6 \bar{C}_i(x) U^{(i)}(x) + \int_0^x \chi_{11}(x, \xi) q_x(\xi) d\xi + \int_0^x \chi_{12}(x, \xi) q_z(\xi) d\xi, \quad (6)$$

$$W(x) = \sum_{i=1}^6 \bar{C}_i(x) W^{(i)}(x) + \int_0^x \chi_{21}(x, \xi) q_x(\xi) d\xi + \int_0^x \chi_{22}(x, \xi) q_z(\xi) d\xi,$$

де  $\chi_{ij}(x, \xi)$  ( $i, j = 1, 2$ ) визначаються через детермінант та відповідні його мінори системи лінійних алгебраїчних рівнянь відносно невідомих  $dC_i/dx$ , що утворюється при застосуванні методу варіації довільних сталих.

Описана розрахункова схема застосовується для кожної із  $n$  конічних оболонок, які утворюють досліджуване складене тіло.

Сталі  $\bar{C}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6n$ ) визначаються з умов з'єднання конічних оболонок і жорсткого затиснення країв складеного об'єкта (3).

Підставивши (6), записані для кожної з  $n$  конічних оболонок, у (2), а потім одержані вирази у (3), приходимо до системи лінійних алгебраїчних рівнянь для визначення сталих  $\bar{C}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6n$ ).

Розв'язавши дану систему матричним методом і підставляючи знайдені вирази для  $\bar{C}_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 6n$ ) у (6), одержимо остаточний розв'язок задачі (1), (3) у вигляді:

$$\bar{V}_k(x_k) = \sum_{v=1}^n \int_{l_v} G_v(x_k, \xi) \bar{F}_v(\xi) d\xi, \quad (7)$$

де

$$\bar{V}_k(x_k) = (U_k(x_k) W_k(x_k))^T, \quad \bar{F}_v(\xi) = (q_{vx}(\xi) q_{vz}(\xi))^T, \quad G_v(x_k, \xi) = (G_v^{ij})_{i,j=1}^2, \quad (8)$$

$$(k = 1, 2, \dots, n).$$

$G_v(x_k, \xi)$  – побудовані матриці типу Гріна для даної задачі. При цьому мова йде фактично про чисельну апроксимацію таких матриць, оскільки вони отримані у дискретному вигляді.

Зазначені можливості нижче ілюструються деякими з результатів розрахунку напружено-деформованого стану описаного вище об'єкта, складеного з двох послідовно з'єднаних секцій (рис. 3). На усі секції об'єкта діяло тільки нормальне поверхнєве навантаження інтенсивністю  $q_z$ , при цьому, досліджувалася залежність основних характеристик напруженого стану складених конічних оболонок від їх кутів конусності.

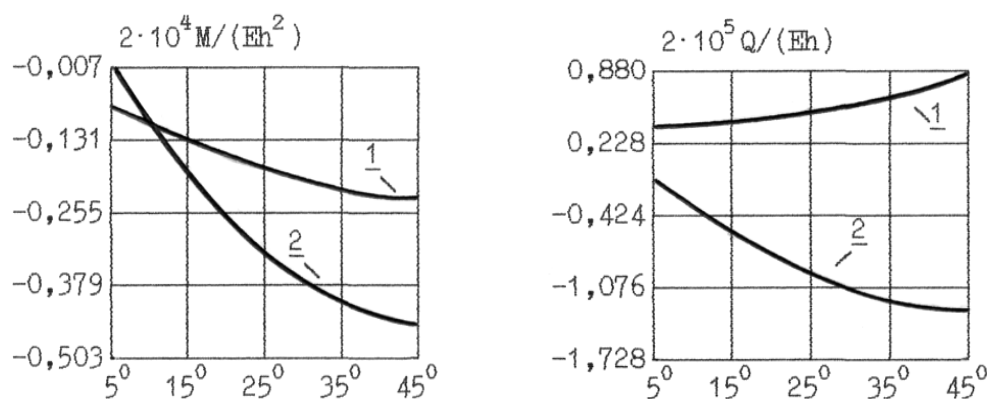


Рис. 3. Основні характеристики напруженого стану складеної конічної оболонки на кінцях тіла (крива 1) і в місці з'єднання секцій (крива 2)

При розрахунках було прийнято:  $q_z/E_i = 0,5 \cdot 10^{-6}$ ,  $\sigma_i = 0,25$ ,  $h_i/l_i = 1/60$ ,  $h_i/R_1 = 1/30$

$$(R_2 = R_1 + l_1 \sin \gamma_1), \quad (i = 1, 2).$$

Задачі Коші, які виникають при розрахунках, розв'язувалися за допомогою методу Рунге-Кутта четвертого порядку точності з відносною похибкою, що не перевищує 0,01% (із застосуванням правила Рунге практичної оцінки похибки).

Аналізуючи основні характеристики напруженого стану, такі, як згинальний момент  $M(x)$  і перерізуюча сила  $Q(x)$  (див. рис. 3), можна помітити, що вони як на кінцях складеного тіла (крива 1), так і в місці з'єднання оболонок (крива 2) зростають за модулем при збільшенні кутів конусності конічних секцій, що входять до складу складеної конструкції. Причому, у місці з'єднання оболонок згинальний момент і перерізуюча сила зростають (за модулем) більш швидко ніж на кінцях конструкції. Можна помітити

також, що якщо згинальні моменти збігаються за знаком на кінці складеної конічної оболонки і в місці з'єднання секцій, то перерізуючі сили у вказаних місцях мають різні знаки.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Пономарев С.Д., Бидерман В.Л., Лихарев К.К. Расчеты на прочность в машиностроении . – М., 1958. – Т. 2. – 975 с.
2. Григоренко Я.М. Изотропные и анизотропные слоистые оболочки вращения переменной жесткости.– К.:Наукова думка,1973.– 228 с.
3. Barinka L.L., Jenninge R.L. A numerical and subtraction analysis for discontinuous thin shells of revolution// Trans. 4th Int. Conf. Struct. Mech. React. Technol. – San. Francisco, Calif., 1977. – Amsterdam est., 1977. – М 3 – 3/1.
4. Skopinsky V.N. Stress concentration in cone-cylinder intersection// Int. J. Pressure Vessels and Pip. – 2001. – № 1 – Р. 35 – 41.
5. Якупов Н.М., Хисамов Р.З. Моделирование сложных оболочечных систем// Механика оболочек и пластин. – Н. Новгород: Изд-во ННГУ, 1999. – С. 203 – 2005.
6. Власов В.З. Избранные труды: В 3 т. - М.: Изд-во АН СССР, 1962. – Т.1. – 528 с.
7. Гавеля С.П., Левчук С.А. Деформирование составных конических оболочек// Запорож. ун-т. – Запорожье, 1994. – 13 с. – Деп. в УкрИНТЭИ 25.01.94, № 149 – Ук94.
8. Куземко В.А., Левчук С.А. Дослідження деформування багатосекційних оболочкових конструкцій// Вопросы механики деформирования и разрушения твердых тел. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1999. – С. 130 – 134.
9. Левчук С.А. Исследование деформирования сочлененных конических оболочек// Придніпровський науковий вісник. – Сер. Природничі та технічні науки. – Дніпропетровськ, 1997. – № 21(32). – С. 35 – 38.
10. Гавеля С.П. Метод построения матриц типа Грина для составных оболочек// Докл. АН УССР. – Сер. А. – 1981. - № 9. – С. 12 –17.
11. Биргер М. А., Пановко Я. Г. Прочность, устойчивость, колебания: В 3 т.- М.: Машиностроение, 1968. – Т. 1. – 832 с.
12. Левчук С.А. Матриці Гріна рівнянь і систем еліптичного типу для дослідження статичного деформування складених тіл: Дис... канд. фіз.-мат. наук: 01.02.04. – Запоріжжя, 2002. – 150 с.

УДК 519.862:330.105

## ОБ УСТОЙЧИВОСТИ НЕКОТОРОГО КЛАССА ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Леонтьева В.В., аспирант

*Запорожский государственный университет*

В работе проводится исследование на устойчивость траекторий математической модели динамики основных экономических показателей, описывающей поведение  $n$ -секторной экономической системы в заданный период времени в зависимости от вида функции непроизводственного потребления.

*Ключевые слова: агрегирование, система дифференциальных уравнений, валовой выпуск продукции, валовые капитальные вложения, функция непроизводственного потребления, устойчивость по Ляпунову, граница устойчивости*

Леонтьева В.В. ПРО СТІЙКІСТЬ ДЕЯКОГО КЛАСУ ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ / Запорізький державний університет, Україна

У роботі проводиться дослідження на стійкість траекторій математичної моделі динаміки основних економічних показників, що описує поведінку  $n$ -секторної економічної системи в заданий період часу залежно від вигляду функції невиробничого споживання.

*Ключові слова: агрегування, система диференціальних рівнянь, валовий випуск продукції, валові капітальні вкладення, функція невиробничого споживання, стійкість по Ляпунову, межа стійкості*

Leontyeva V.V. ABOUT THE STABILITY OF SOME CLASS OF DYNAMIC MODELS OF ECONOMIC SYSTEMS / Zaporozhye State University, Ukraine

Work be investigated on a stability of trajectories of mathematical model of dynamics of the basic economic indexes circumscribing behavior of a  $n$ -sector economic system in given phase of time depending on various kinds of function of non-productive consumption.

*Key words: aggregation, a system of the differential equations, total output, total capital investments, function of non-productive consumption, a stability on Lyapunov, boundary of a stability*

## 1. ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все большее внимание уделяется вопросам проектирования, исследования и управления сложными системами (процессами) с использованием системного подхода. Это приводит к необходимости разработки методов исследования сложных систем управления процессами произвольной природы [1-5, 7, 8]. Под сложными системами будем понимать системы, имеющие  $n$  конечных элементов с различными взаимосвязями между ними. В данной работе в качестве сложной системы будет рассматриваться экономическая система.

Задачи управления экономическими процессами тесно связаны с изучением свойств этих процессов. При исследовании экономических систем с помощью моделей изучение свойств сводится к анализу поведения траекторий модели, имитирующих реальные процессы, протекающие в данной системе.

Один из наиболее существенных вопросов при таком анализе заключается в исследовании устойчивости траекторий модели.

В данной работе построенная динамическая макроэкономическая модель экономики, описывающая поведение двух- и трехсекторной экономики в зависимости от выбора вида функции непроизводственного потребления [5, 6] исследуется на устойчивость с целью определения границ применимости данной модели к прогнозированию и управлению поведением реальной экономической системы.

## 2. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ $N$ -СЕКТОРНОЙ ЭКОНОМИКИ

Рассмотрим динамическую математическую модель  $n$ -секторной экономики в виде [5, 7]

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^n W_{ij} + \sum_{j=1}^n \frac{dK_{ij}}{dt} + C_i(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где  $X_i(t)$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – валовый выпуск продукции в момент времени  $t$ , параметры  $W_{ij}$  и  $dK_{ij}/dt$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ) определяют потоки капиталов соответственно на производственные потребления и продукции приращения капитальных фондов из  $i$ -го производства в производства  $j = \overline{1, n}$ , а  $C_i(t)$  ( $i = \overline{1, n}$ ) – непроизводственные потребления.

В данном случае число  $n$  определяет количество секторов, используемых в модели после применения теории агрегирования [2]. Предполагается, что каждый сектор экономической системы состоит из  $r$  отраслей, каждая из которых выпускает однородную продукцию и является таким образом «чистой отраслью».

Введем коэффициенты  $\alpha_{ij}$  и  $\beta_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  ( $\alpha_{ij}, \beta_{ij} \geq 0$ ) [5, 7, 8], определяющие нормы затрат продукции  $i$ -той отрасли на воспроизводство единицы продукции  $j$ -той отрасли ( $W_{ij} = \alpha_{ij} X_j$ ) и соответственно дополнительно поток валовых капитальных вложений ( $\Delta K_{ij} \approx \beta_{ij} \frac{dX_j}{dt}$ ). Коэффициенты  $\alpha_{ij}$  и  $\beta_{ij}$  определяются из регрессионного анализа реальных данных объекта исследования.

После подстановки данных соотношений для  $W_{ij}$  и  $\Delta K_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  (для дискретной модели) или  $dK_{ij}/dt$ ,  $i, j = \overline{1, n}$  (для непрерывной модели) в систему дифференциальных уравнений (1) получим:

$$X_i(t) = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} X_j(t) + \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \frac{dX_j(t)}{dt} + C_i(t), \quad i = \overline{1, n}. \quad (2)$$

После приведения системы дифференциальных уравнений (2) к канонической форме, получаем:



$$\begin{aligned}
& X_i(t) \geq 0; \\
& \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} < 0,5, \quad \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} < 0,5; \\
& \sum_{i=1}^n \beta_{ij} < 0,5, \quad \sum_{j=1}^n \beta_{ij} < 0,5; \\
& \sum_{i=1}^n (\alpha_{ij} + \beta_{ij}) \leq 1, \quad \sum_{j=1}^n (\alpha_{ij} + \beta_{ij}) \leq 1; \\
& \alpha_{ij}, \beta_{ij} \geq 0.
\end{aligned}$$

При заданных начальных условиях получено аналитическое решение, позволяющее анализировать и прогнозировать состояние и изменения производства в зависимости от вида функции непроизводственного потребления  $C_i(t)$ . Границы применимости данной математической модели определяются на основе проведения анализа исследования модели на устойчивость.

### 3. ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ N-СЕКТОРНОЙ ЭКОНОМИКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ

Исследуем систему дифференциальных уравнений (3) на устойчивость. Пусть  $\bar{x}(t) = (\bar{x}^1(t), \dots, \bar{x}^n(t))$  – изучаемая нами траектория системы (3), являющаяся ее решением с начальными условиями [9]

$$\bar{x}^1(0) = D_{10}, \dots, \bar{x}^n(0) = D_{n0}. \quad (6)$$

Рассмотрим наряду с траекторией  $\bar{x}(t)$  траекторию  $x^1(t), \dots, x^n(t)$ , определяемую начальными условиями

$$x^1(0) = x_0^1, \dots, x^n(0) = x_0^n. \quad (7)$$

Известно [4, 9-11], что асимптотически устойчивым по Ляпунову будет решение  $\bar{x}^i(t)$  системы (3) с начальными условиями (6), если существует такое число  $\delta > 0$ , что любое решение  $x^i(t)$  с начальными данными (7), удовлетворяющими неравенствам  $|x_0^i - D_{i0}| < \delta$ ,  $i = \overline{1, n}$ , обладает свойством

$$|x^i(t) - \bar{x}^i(t)| \rightarrow 0 \quad \text{при } t \rightarrow \infty.$$

Исследование системы (3) показывает, что как бы ни была мала величина  $|x_0^i - D_{i0}|$  отклонений в начальных условиях, отклонение решений  $x^i(t)$  от  $\bar{x}^i(t)$  будет неограниченно возрастать при  $t \rightarrow \infty$ . Это позволяет сделать вывод о том, что любое частное решение системы (3) оказывается неустойчивым.

На рис.1 (а, б) и рис. 2 (а, б) приведены фазовые траектории модели (3), определяемые различными начальными условиями  $\alpha_{ij}$ ,  $\beta_{ij}$  и  $D_{i0}$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ), из которых видно, что фазовые траектории  $X_i(t)$  в момент  $t \rightarrow \infty$  стремятся к границе устойчивости, но не достигают ее. Следовательно, система уравнений (3) при любых начальных условиях является неустойчивой в смысле Ляпунова. Однако при оптимальном выборе начальных условий модели представляется возможным не перевести систему дифференциальных уравнений (3) в устойчивое состояние, а приблизить к границе устойчивости, то есть к равновесному состоянию исходной системы дифференциальных уравнений (3).

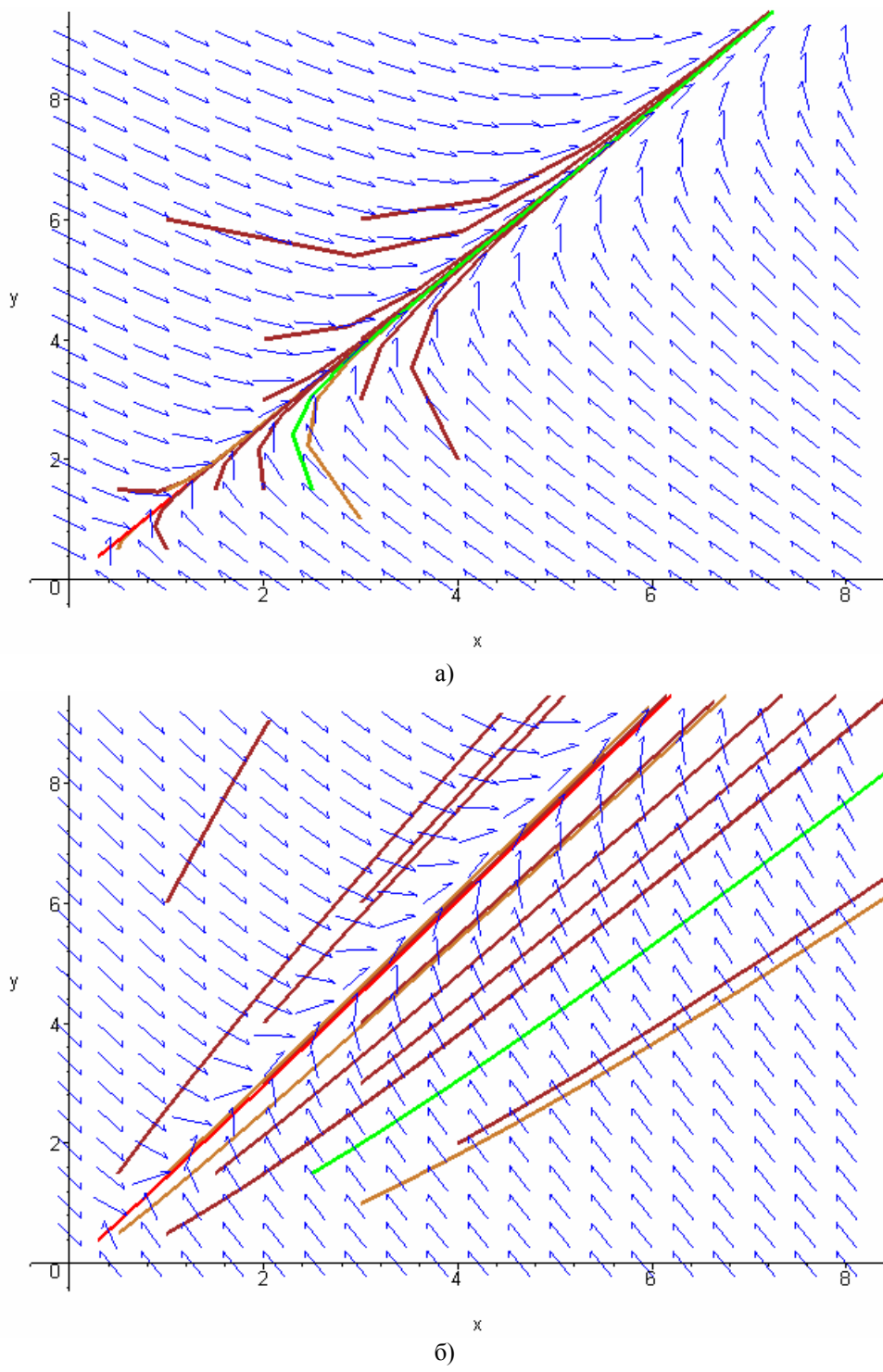
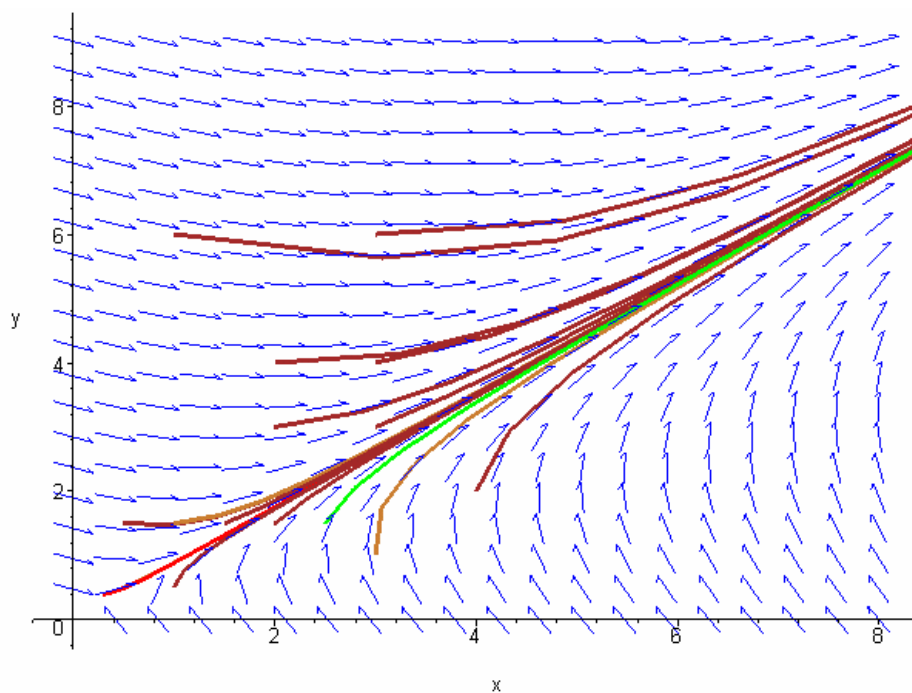
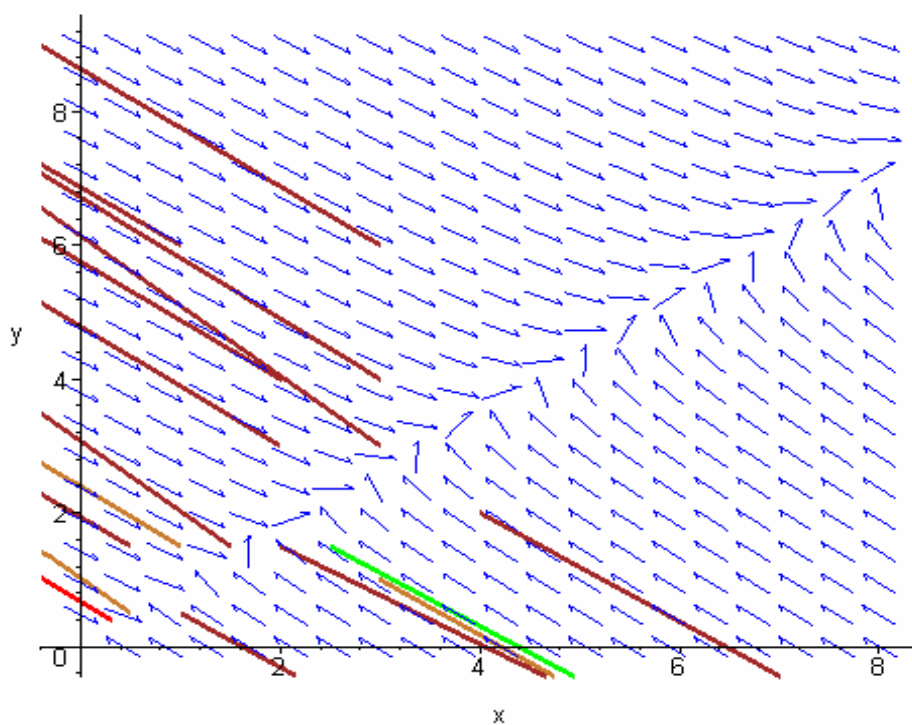


Рис.1



а)



б)

Рис.2

#### 4. ВЫВОДЫ

Проведенный анализ устойчивости траекторий модели показывает, что система является неустойчивой в смысле Ляпунова при любых значениях начальных условий  $\alpha_{ij}$ ,  $\beta_{ij}$  и  $D_{io}$  ( $i, j = \overline{1, n}$ ). Это позволяет сделать вывод о том, что применение данной модели возможно лишь для случая краткосрочного прогнозирования, что для экономической системы является наиболее приемлемым в силу продолжающихся структурных изменений в экономике, характерных для настоящего периода. В то же время возможен и другой вывод: неустойчивой экономической системой возможно управлять, и тем самым не дать прийти к состоянию стагнации.

Таким образом, процессы в экономических системах, описываемые уравнениями (3), являются неустойчивыми в смысле Ляпунова вне зависимости от числа агрегированных отраслей, то есть числа дифференциальных уравнений, входящих в систему (3).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А. Опыт математического моделирования экономики. – М.: Энергоатомиздат, 1996. – 544 с.
2. Моисеев Н.Н. Простейшие математические модели экономического прогнозирования. – М.: Знание, 1975. – 63 с.
3. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем. – К.: Вища школа, 1988. – 520 с.
4. Кочура С.В., Косарев В.М. Моделивання макроекономічної динаміки: Навчальний посібник. – К.: Центр навчальної літератури, 2003. – 236 с.
5. Грищак В.З., Леонтьева В.В. О динамической модели многоотраслевой экономики. // Зб. наук. праць. Вісник ЗДУ. – Запоріжжя, 2003, №1. – С.32-36.
6. Статистическое моделирование и прогнозирование: Учеб. пособие / Гамбаров Г.М., Журавель Н.М., Королев Ю.Г. и др / Под ред. Гранберга А.Г. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 383 с.
7. Тамуров М.Г., Леонтьева В.В. Математична модель динаміки багатопродуктового виробництва. Зб. наук. праць. Вісник ЗДУ. – Запоріжжя, 2000 р.
8. Леонтьев В.В. Экономические эссе. Теории, исследования, факты и политика: Пер. с англ. / Под ред. С.С. Шаталина, Д.В. Волового. – М.: Политическая литература, 1990. – 415 с.
9. Чезари Л. Асимптотическое поведение и устойчивость решений обыкновенных дифференциальных уравнений: Пер. с англ. / Под ред. В.В. Немыцкого. – М.: Мир, 1964. – 477 с.
10. Фельдбаум А.А., Дудыкин А.Д., Мановцев А.П., Миролюбов Н.Н. Теоретические основы связи и управления / Под ред. А.А.Фельдбаума – М.: Физматгиз, 1963. – 963 с.
11. Иванов В.А., Чемоданов Б.К., Медведев В.С. Математические основы теории автоматического регулирования: Учебное пособие для вузов / Под ред. Б.К. Чемоданова.– М.: Высшая школа, 1971.– 808 с.

УДК 532.5 + 536.24

## КОНСТРУКТИВНЫЕ СРЕДСТВА МЕТОДА R-ФУНКЦИЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОСТРОЕНИЯ УРАВНЕНИЙ СЛОЖНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Максименко-Шейко К.В., к.ф.-м.н., Мацевитый А.М., к.т.н.,\* Толок А.В., д.т.н., доцент,  
Шейко Т.И., д.т.н., профессор

*Институт проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного НАН Украины (г. Харьков)  
\*Запорожский институт им. гетьмана Петра Сагайдачного МАУП*

На основе R-функций предложен общий алгоритм для автоматического построения предикатной и аналитической функции геометрического объекта, составленного из задаваемого перечня стандартных примитивов. Построены функции стандартных примитивов с буквенными параметрами, определяющими положение, размеры, и ориентацию примитивов. В системах ПОЛЕ и РАНОК проиллюстрированы возможности автоматизации построения уравнений геометрических объектов из стандартных примитивов.

*Ключевые слова: метод R-функций, автоматизированные программирующие системы, стандартные примитивы, геометрический объект.*

Максименко-Шейко К.В., Мацевитый А.М., \*Толок О.В., Шейко Т.И. КОНСТРУКТИВНІ ЗАСОБИ МЕТОДУ R-ФУНКЦІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПОБУДОВИ РІВНЯНЬ СКЛАДНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ / Інститут проблем машинобудування ім. А.М.Підгорного НАН України, \*Запорізький інститут ім. гетьмана Петра Сагайдачного МАУП

У роботі запропонована математична модель конструювання нових графічних образів на базі вже існуючих з використанням R-функцій. Запропонований метод дозволяє знаходити області перетинання декількох масивів даних, які описують вихідні графічні образи. В статті наведені метод та принципи отримання диференційних характеристик в області перетинання та результати роботи алгоритму.

*Ключові слова:* метод R-функцій, автоматизовані програмуєчі системи, стандартні примітиви, геометричний об'єкт.

Maksymenko-Sheyko K.V., Matsevyt A.M., \*Tolok A.V., Sheyko T.I. CONSTRUCTIVE MEANS OF THE R-FUNCTIONS METHOD FOR THE AUTOMATION OF CONSTRUCTING THE COMPLEX GEOMETRICAL OBJECTS EQUATIONS/Institute for Mechanical Engineering Problems of National Academy of Sciences of Ukraine, \*P.Sagaydachny Zaporizhzhya Institute of IRAPM, Ukraine.

In the given work the mathematical model of designing of new graphic images is offered on the basis of with use of R-functions. The given method allows to find areas of crossing of several data files which describe initial graphic images. In the article the method and principles of reception of differential characteristics are formulated in the field of crossing, results of work of algorithm are given.

*Keywords:* metod of R-functions, graphic images, several data files.

Метод R-функцій (RFM) [1] являється теоретической основой известных автоматизированных программирующих систем серии ПОЛЕ [2,3] и РАНОК [4]. Однако на сегодня эти системы обладают двумя существенными недостатками. Первый из них — практическое отсутствие автоматизации задания геометрической информации. Построение уравнения границы геометрического объекта (ГО) требует задания, как опорных функций, так и логической формулы, позволяющей при соответствующем выборе системы R-операций получить уравнение в аналитическом виде. Это требует определенных математических знаний и навыков, что делает систему труднодоступной для инженеров и исследователей, которые не знакомы с RFM, аналитической и дифференциальной геометрией. Перспективным в этом направлении представляется формирование уравнения составного ГО не из опорных функций, а из стандартных (предлагаемых пользователю) примитивов: окружность, эллипс, прямоугольник, треугольник и др. (в 2D) и сфера, параллелепипед, конус, призма, цилиндр и др. (в 3D) с наборами геометрических параметров, определяющих положение и размеры примитивов. При этом логическая формула будет записываться автоматически. Вторым недостатком системы ПОЛЕ является ее ориентация лишь на решение двумерных задач расчета физико-механических полей. В 3D RFM и системы ПОЛЕ применялись лишь для цилиндров конечной длины с направляющей сложной геометрии [5,6,7] (применялись интегральные преобразования) и тел с осевым или винтовым типом симметрии при наличии соответствующей физической симметрии (задачи сводились к решению в 2D). Таким образом, практический опыт построения уравнений ГО в 3D с использованием теории R-функцій мал.

**Целью данной работы** является автоматизация процесса построения уравнений геометрических объектов (ГО) предлагаемым методом стандартных примитивов.

Описанная в [1] методика построения уравнений ГО, в том числе нормализованных, представляет собой хорошую технологическую основу для автоматизации самого процесса составления этих уравнений. Фактически нужно автоматизировать лишь процесс построения предикатных уравнений, поскольку переход от этих уравнений к обычным элементарным уравнениям ГО может быть выполнен формальной заменой символов функций логики соответствующими символами R-функцій, а символов областей — левыми частями соответствующих им неравенств.

Итак, во входную информацию для алгоритма, должны входить:

1. Виды используемых стандартных примитивов: окружность, эллипс, прямоугольник, треугольник, выпуклый многоугольник и др. (в зависимости от запросов пользователя меню может пополняться), или их внешности (отрицания) (рис.1) 2D и сфера, эллипсоид, параллелепипед, конус, призма, цилиндр или их внешности (отрицания) в 3D;
2. Геометрические параметры, определяющие положение и размеры стандартного примитива.

По этой информации автоматически сформируются опорные функции, нормализованные уравнения вызванных примитивов и по признаку «внутренность» — «внешность» сформируются предикатная и аналитическая функции составного ГО.

Рассмотрим нормализованные уравнения стандартных примитивов в 2D, предлагаемых в меню, с буквенными параметрами, определяющими их положение и размеры.

— для окружностей радиусов  $r_k$  с координатами центров  $(x_k, y_k)$ :

$$f_k = \frac{1}{2r_k} (r_k^2 - (x - x_k)^2 - (y - y_k)^2), \quad w_k = f_k;$$

— для эллипсов с полуосями  $a_e, b_e$  и координатами центров  $(x_e, y_e)$ :

$$f_e = \left( 1 - \frac{(x-x_e)^2}{a_e^2} - \frac{(y-y_e)^2}{b_e^2} \right) / \sqrt{1 - \frac{(x-x_e)^2}{a_e^2} - \frac{(y-y_e)^2}{b_e^2} + \frac{4(x-x_e)^2}{a_e^4} + \frac{4(y-y_e)^2}{b_e^4}},$$

$$w_e = f_e;$$

для правильных шестиугольников с координатами центров  $(x_s, y_s)$  и радиусом описанной окружности  $r_s$ :

$$f1 = \frac{1}{2a} \left( a^2 - (y-y_s)^2 \right); \quad f2 = \frac{1}{2a} \left( a^2 - \left( (x-x_s) \sin \frac{\pi}{3} - (y-y_s) \cos \frac{\pi}{3} \right)^2 \right);$$

$$f3 = \frac{1}{2a} \left( a^2 - \left( (x-x_s) \sin \frac{\pi}{3} + (y-y_s) \cos \frac{\pi}{3} \right)^2 \right); \quad w_s = f1 \wedge_0 f2 \wedge_0 f3$$

$$\text{где } a = r_s \cos \frac{\pi}{6}.$$

для прямоугольников с параметрами  $2a_i$ —ширина,  $2b_i$ —высота,  $(x_i, y_i)$  — координаты центра симметрии:

$$f1_i = \frac{1}{2a_i} \left( a_i^2 - (x-x_i)^2 \right); \quad f2_i = \frac{1}{2b_i} \left( b_i^2 - (y-y_i)^2 \right); \quad w_i = f1_i \wedge_0 f2_i$$

для треугольника с координатами вершин  $(x_j, y_j)$  ( $j = 1, 2, 3$ ), задаваемыми против часовой стрелки:

$$f1 = \frac{(y-y1)(x2-x1) - (x-x1)(y2-y1)}{\sqrt{(x2-x1)^2 + (y2-y1)^2}}; \quad f2 = \frac{(y-y2)(x3-x2) - (x-x2)(y3-y2)}{\sqrt{(x3-x2)^2 + (y3-y2)^2}};$$

$$f3 = \frac{(y-y3)(x1-x3) - (x-x3)(y1-y3)}{\sqrt{(x1-x3)^2 + (y1-y3)^2}}; \quad w = f1 \wedge_0 f2 \wedge_0 f3$$

для четырехугольников с координатами вершин  $(x_j, y_j)$  ( $j = 1, 2, 3, 4$ ), задаваемыми против часовой стрелки:

$$\text{— } ff = \frac{(y-y_j)(x_{j+1}-x_j) - (x-x_j)(y_{j+1}-y_j)}{\sqrt{(x_{j+1}-x_j)^2 + (y_{j+1}-y_j)^2}}; \quad w = f1 \wedge_0 f2 \wedge_0 f3 \wedge_0 f4$$

при  $j = 4 \quad j+1 \Rightarrow 1$ .

По такому же алгоритму строятся нормализованные уравнения неправильных выпуклых пяти- шести- и других многоугольников.

Заметим, что функциональная информация скрыта от пользователя, который задает лишь тип примитива и его геометрические параметры, приведенные на рис.1.

Нормализованное уравнение границы геометрического объекта, составленного из вызванных стандартных примитивов, автоматически строится по формуле

$$w = \left( \bigcup_{i=1}^N w_i \right) \cap \left( \bigcap_{i=N+1}^{N+K} \bar{w}_i \right) = 0, \quad (1)$$

где  $w_i$  — функции стандартных примитивов из левого, а  $\bar{w}_i$  — из правого столбца рис.1, а  $\cup, \cap$  заменяются системами R-операций  $\{R_0\}$  или  $\{R_\alpha\}$ .

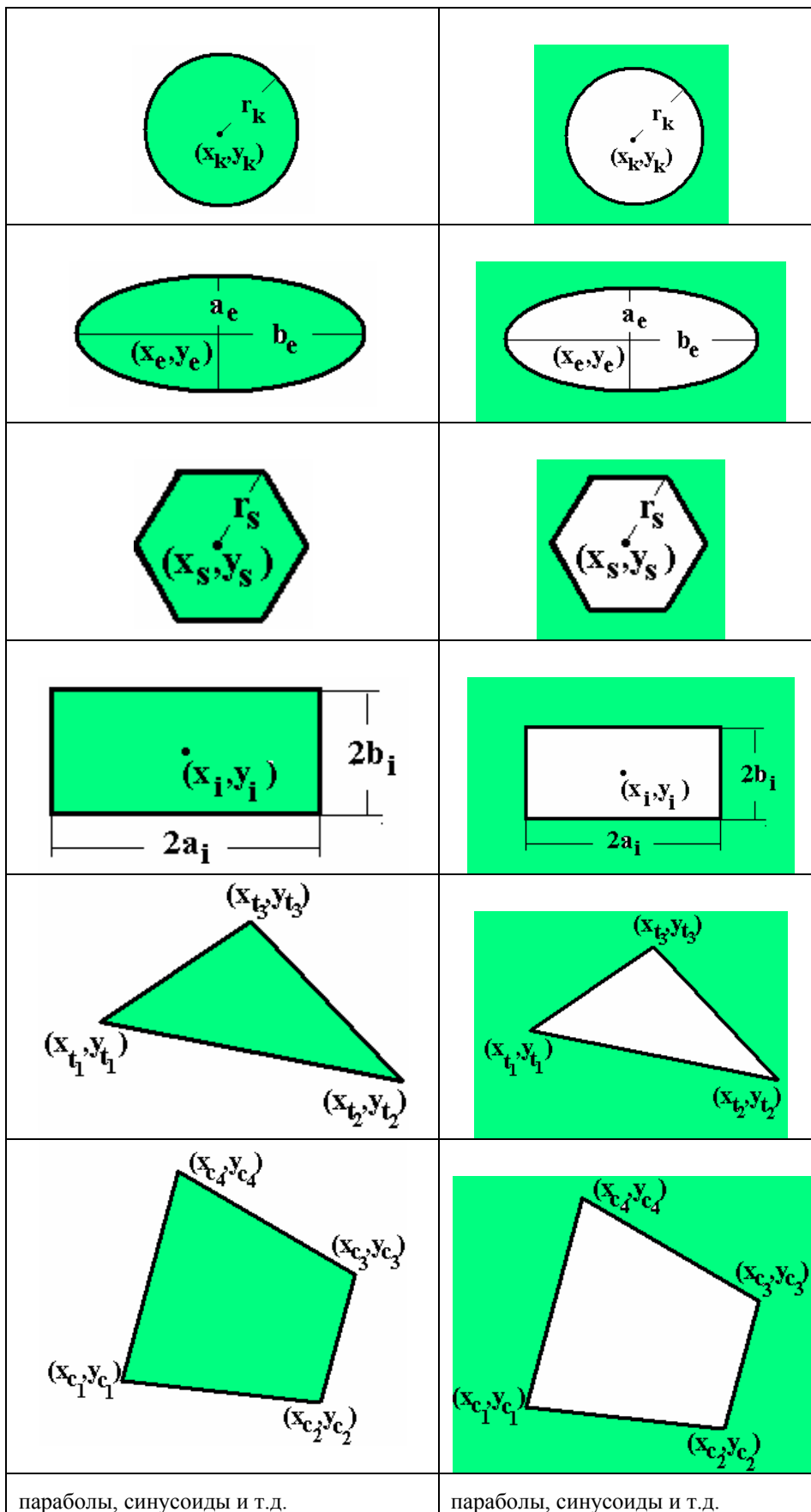


Рис. 1. Виды стандартных примитивов.

Напомним, что

$$\{R_0\} \equiv \begin{cases} x \wedge_0 y = x + y - \sqrt{x^2 + y^2} \\ x \vee_0 y = x + y + \sqrt{x^2 + y^2} \\ \bar{x} = -x \end{cases}; \{R_\alpha\} \equiv \begin{cases} x \wedge_\alpha y = \frac{1}{1+\alpha} (x + y - \sqrt{x^2 + y^2 + 2\alpha xy}) \\ x \vee_\alpha y = \frac{1}{1+\alpha} (x + y + \sqrt{x^2 + y^2 + 2\alpha xy}) \\ \bar{x} = -x \end{cases}$$

При этом в нашем случае следует соблюдать следующее правило: стандартные примитивы не должны касаться, а должны обязательно пересекаться, т.е. из примитивов нельзя «складывать мозаику».

В качестве примеров рассмотрим формирование ГО, изображенных на рис.2.

ГО на рис.2а) состоит из прямоугольника «1» — ABCD и круга «2» левой колонки (рис.1) а также круга «4» и двух прямоугольников «3» — NMLK и «5» — SPRT правой колонки. После задания соответствующих геометрических параметров формула (1) приобретает вид

$$w = (w1 \vee_0 w2) \wedge_0 (\bar{w}3 \wedge_0 \bar{w}4 \wedge_0 \bar{w}5).$$

ГО на рис.2б) является невыпуклым двадцатисемиугольником и состоит из одного неправильного семиугольника «1» — ABCDKLM левой колонки а также неправильных треугольников «2» — RQE, «3» — ФЖШ, «5» — GUI, «6» — VHS и пятиугольника «4» — TPFSN правой колонки. После задания соответствующих геометрических параметров формула (1) приобретает вид

$$w = (w1) \wedge_0 (\bar{w}2 \wedge_0 \bar{w}3 \wedge_0 \bar{w}4 \wedge_0 \bar{w}5 \wedge_0 \bar{w}6).$$

Заметим, что в работе [1] приведен весьма громоздкий алгоритм построения невыпуклого многоугольника, основанный на процедуре расстановки скобок групп членов, соответствующих ломаным, опирающимся на добавленные до выпуклых многоугольников отрезки. Используя метод стандартных примитивов, мы существенно упрощаем алгоритм и уменьшаем число операций.

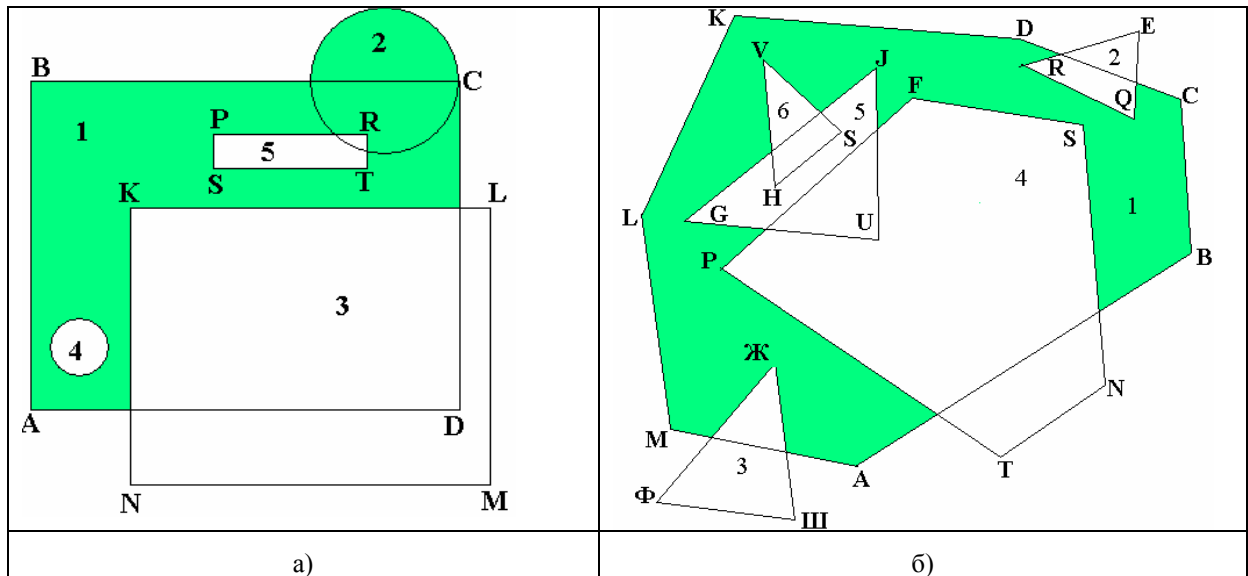


Рис.2 Геометрические объекты, составленные из стандартных примитивов.

Автоматизировать процесс построения нормализованных уравнений границ ГО методом стандартных примитивов можно и в последней версии системы ПОЛЕ. Например, пусть имеется 6 стандартных примитивов с 22 рабочими параметрами. Среди них три прямоугольника шириной  $2a_i$  ( $i=1,2,3$ ) и высотой  $2b_i$  ( $i=1,2,3$ ) с центрами в точках  $(x_i, y_i)$  ( $i=1,2,3$ ) из левой колонки и один прямоугольник шириной  $2a_4$  и высотой  $2b_4$  с центром в точке  $(x_4, y_4)$  из правой колонки. Также имеется две окружности радиусов  $r_1$  и  $r_2$  с координатами центров  $(x_{r1}, y_{r1})$  и  $(x_{r2}, y_{r2})$  из разных колонок. Пользуясь формулой вида  $w = (wp1 \vee_0 wp2 \vee_0 wp3 \vee_0 wol) \wedge_0 (\bar{w}o2 \wedge_0 \bar{w}p4)$ , подставляя R-операции системы  $\{R_0\}$  и задавая значения вышеперечисленных буквенных параметров, можно получить для одной формулы  $w = (wp1 \vee_0 wp2 \vee_0 wp3 \vee_0 wol) \wedge_0 (\bar{w}o2 \wedge_0 \bar{w}p4)$  множество различных видов геометрических объектов, некоторые из которых приведены на рис.3.

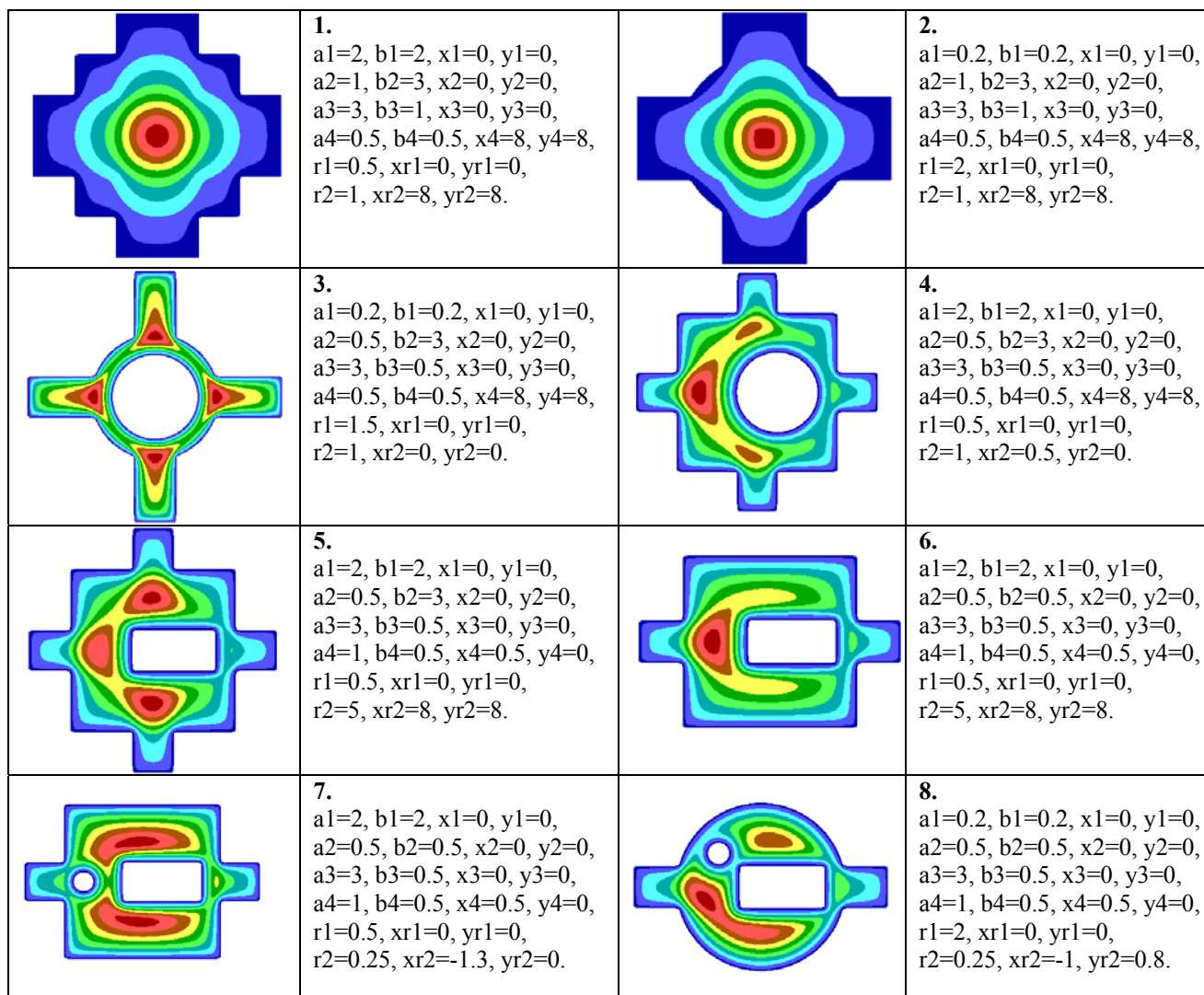


Рис.3. Картины линий уровня функций  $w$  геометрических объектов, составленные из стандартных примитивов.

Ниже приведена программа на входном языке системы ПОЛЕ-RL, позволившая реализовать нормализованные уравнения ГО данного примера. В рамках выделены функции стандартных примитивов и формула их сборки (символу « $\wedge_0$ » соответствует «&», а символу « $\vee_0$ » соответствует «!»).

DECLARE

```
pol0 a1,b1,x1,y1,a2,b2,x2,y2,a3,b3,x3,y3,a4,b4,x4,y4,
r1,xr1,yr1,r2,xr2,yr2;
```

OMEGA

```
f11=(a1*a1-(x-x1)*(x-x1))/2/a1;
f12=(b1*b1-(y-y1)*(y-y1))/2/b1; wp1=f11&f12;
f21=(a2*a2-(x-x2)*(x-x2))/2/a2; wp2=f21&f22;
f22=(b2*b2-(y-y2)*(y-y2))/2/b2;
f31=(a3*a3-(x-x3)*(x-x3))/2/a3; wp3=f31&f32;
f32=(b3*b3-(y-y3)*(y-y3))/2/b3;
f41=(a4*a4-(x-x4)*(x-x4))/2/a4;
f42=(b4*b4-(y-y4)*(y-y4))/2/b4; wp4=-(f41&f42);
fr1=(r1*r1-(x-xr1)*(x-xr1)-(y-yr1)*(y-yr1))/2/r1; wo1=fr1;
fr2=(r2*r2-(x-xr2)*(x-xr2)-(y-yr2)*(y-yr2))/2/r2; wo2=-fr2;
W = (wp1!wp2!wp3!wo1) & (wo2&wp4);
```

PROGRAM

```
filexy(p, fw);
fw(w)=w;
```

VALUE

```

CONST=1,1,1,1,100,1,1;
TABL=1,1,1,1,1, 0,1,1,0,0;
PR  =-3,-3, 3,3;
P=100,PR;
a1=(2,.2,.2,2,2,2,2,.2);b1=(2,.2,.2,2,2,2,2,.2);
x1=(0,0,0,0,0,0,0,0);y1=(0,0,0,0,0,0,0,0);
a2=(1,1,0.5,0.5,0.5,0.5,0.5,0.5);b2=(3,3,3,3,3,0.5,0.5,0.5);
x2=(0,0,0,0,0,0,0,0);y2=(0,0,0,0,0,0,0,0);
a3=(3,3,3,3,3,3,3,3);b3=(1,1,0.5,0.5,0.5,0.5,0.5,0.5);
x3=(0,0,0,0,0,0,0,0);y3=(0,0,0,0,0,0,0,0);
a4=(0.5,0.5,0.5,0.5,1,1,1,1);b4=(0.5,0.5,0.5,0.5,0.5,0.5,0.5,0.5);
x4=(8,8,8,8,0.5,0.5,0.5,0.5);y4=(8,8,8,8,0,0,0,0);
r1=(0.5,2,1.5,0.5,0.5,0.5,0.5,2);r2=(1,1,1,1,5,5,0.25,0.25);
xr1=(0,0,0,0,0,0,0,0);yr1=(0,0,0,0,0,0,0,0);
xr2=(8,8,0,0.5,8,8,-1.3,-1);yr2=(8,8,0,0,8,8,0,0.8);
END

```

По требованию заказчика (соответствующая команда в меню) может быть выполнена подстановка

$$\begin{cases} x \Rightarrow x \cos \alpha_i + y \sin \alpha_i \\ y \Rightarrow -x \sin \alpha_i + y \cos \alpha_i \end{cases} \text{ в функции некоторых примитивов. В результате изменятся их ориентации}$$

(осуществятся повороты на заданные углы  $\alpha_i$ ). Так, в данном примере в функцию  $wp4 = wp4(x, y)$

для пятого и седьмого вариантов выполнена подстановка при  $\alpha = \frac{\pi}{6}$  (рис.4а) и  $\alpha = -\frac{\pi}{6}$  (рис.4б)

соответственно.

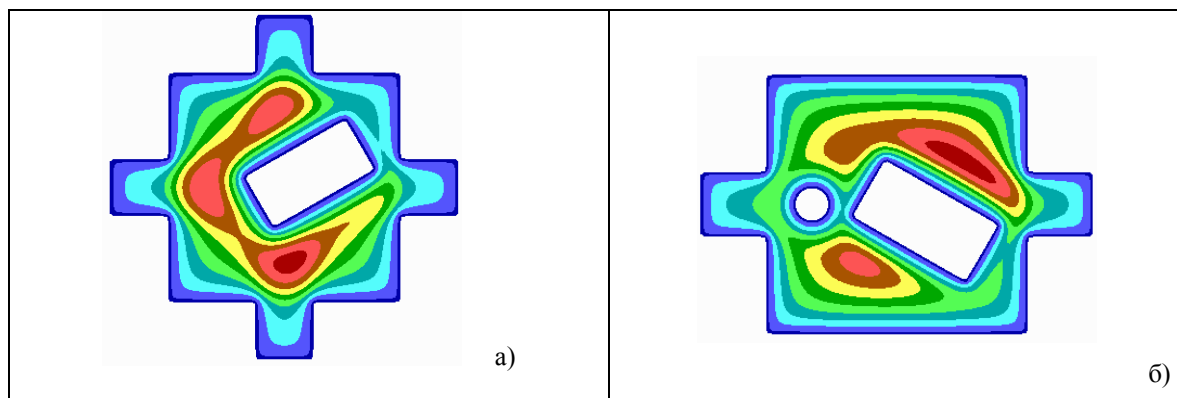


Рис.4. Картины линий уровня функций  $w$  геометрических объектов, составленные из стандартных примитивов с изменением ориентации одного из них.

Следует отметить, что в приведенной программе для системы ПОЛЕ (и для системы РАНОК) весьма существенным недостатком является вычисление всех (в данном случае шести) заданных функций примитивов, в то время как в формировании каждого из приведенных на рисунках ГО участвуют лишь 3 или 4 разных стандартных примитива. Для полной автоматизации этого процесса необходимо реализовать формирование заполнения формулы (1) не из всего массива стандартных примитивов, а лишь из запрошенных, и тем самым избежать лишних операций. Новые версии систем будут реализовывать усовершенствованный таким образом алгоритм.

С методами построения уравнений ГО на основе теории R-функций хорошо сочетаются классические приемы построения уравнений поверхностей тел вращения, призматических и конических тел [1], скрученных цилиндров и змеевиков неклассического поперечного сечения.

Рассмотрим прежде всего метод построения нормализованных уравнений поверхностей тел вращения. Пусть  $\omega_0(x, y) = 0$  — нормализованное уравнение границы области  $\Omega_0 = (\omega_0(x, y) \geq 0)$  в 2D, построенное с использованием стандартных примитивов. Тогда уравнение вида

$$\omega(x, y, z) \equiv \omega_0\left(x, \sqrt{y^2 + z^2}\right) = 0 \quad (2)$$

является уравнением  $\Omega$ , для которого ось  $Ox$  — это ось симметрии.

Один из полезных подходов к построению ГО в 3D из 2D заключается в том, что если в плоскости  $xOy$  граница ГО описывается уравнением

$$\omega_0(x, y, c_1, \dots, c_m) = 0, \quad (3)$$

где  $c_i$  — геометрические параметры, определяющие форму и размеры  $\Omega_0$  и его элементов, то, вводя функции  $c_i(z)$  ( $i = 1, \dots, m$ ), при условии  $c_i(0) = c_i$ , получаем уравнение поверхности вида

$$\omega(x, y, c_1(z), \dots, c_m(z)) = 0, \quad (4)$$

которому в сечениях  $z = H = const$  будут соответствовать ГО из семейства (3).

Необходимо ещё обратить внимание на тот случай, когда в нижнем, верхнем и всех промежуточных сечениях расположены ГО, обладающие свойством геометрического подобия. Если известно построенное с помощью R-функций уравнение границы ГО в плоскости  $xOy$  —  $\omega(x, y) = 0$ , то

уравнение подобной фигуры имеет вид:  $\frac{1}{k}\omega(kx, ky) = 0$ , где  $k$  — коэффициент подобия. Тогда, задавая  $k = k(z)$ , при условии  $k(0) = 1$ , получим уравнение поверхности вида

$$\partial\Omega = \left( \frac{1}{k(z)}\omega(k(z)x, k(z)y) = 0 \right), \quad (5)$$

которому в сечениях  $z = H = const$  будут соответствовать подобные ГО.

Нормализованное уравнение  $\omega(x, y) = 0$  является уравнением бесконечной призмы (или цилиндра) в

3D. Замена переменных  $\begin{cases} x \Rightarrow x - \alpha z \\ y \Rightarrow y - \beta z \end{cases}$  позволяет получить уравнение

$$\omega(x - \alpha z, y - \beta z) = 0 \quad (6)$$

наклонной призмы (или цилиндра) с образующими, параллельными вектору  $\bar{a} = (\alpha, \beta, 1)$  и направляющей, описываемой уравнением  $\omega(x, y) = 0$ .

Замена переменных  $\begin{cases} x \Rightarrow x_0 - z_0 \frac{x - x_0}{z - z_0} \\ y \Rightarrow y_0 - z_0 \frac{y - y_0}{z - z_0} \end{cases}$  позволяет получить уравнение

$$\omega\left(x_0 - z_0 \frac{x - x_0}{z - z_0}, y_0 - z_0 \frac{y - y_0}{z - z_0}\right) = 0 \quad (7)$$

конической поверхности с вершиной в точке  $A(x_0, y_0, z_0)$  [1], для которой направляющая описывается уравнением  $\omega(x, y) = 0$ .

Теперь рассмотрим вопрос о построении уравнения ГО, закрученного вдоль оси  $z$  по некоторому закону  $\varphi(z)$ . Если в плоскости  $xOy$  граница  $\partial\Omega_0$  ГО  $\Omega_0$  описывается уравнением  $\omega(x, y) = 0$ , то замена

переменных  $\begin{cases} x \Rightarrow x \cos \varphi(z) + y \sin \varphi(z) + c_x(z) \\ y \Rightarrow y \cos \varphi(z) - x \sin \varphi(z) + c_y(z) \end{cases}$  позволяет получить уравнение

$$\omega(x \cos \varphi(z) + y \sin \varphi(z) + c_x(z), y \cos \varphi(z) - x \sin \varphi(z) + c_y(z)) = 0, \quad (8)$$

которое определяет в 3D такой ГО, что его сечения плоскостями  $z = H = const$  получаются из  $\Omega_0$  путем его вращения вокруг оси  $Oz$  и смещения всех его точек в плоскости  $z = H$  на вектор

$\bar{c}(c_x(z), c_y(z))$ . Если  $\varphi(z)$  есть линейная функция вида  $\varphi(z) = \alpha z$ , а  $c_x = c_y = 0$ , то ГО  $\Omega$  будет получаться из ГО  $\Omega_0$  путем движения  $\Omega_0$  вдоль винтовой линии с осью  $Oz$ , а именно путем вращения вокруг оси  $Oz$  и равномерного поступательного движения вдоль неё (рис.5). [8,9].

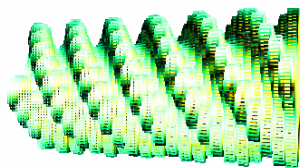


Рис. 5 Фрагмент скрученного цилиндра

Пусть функция  $\varphi(z)$  задана по закону, изображенному на рис.6.

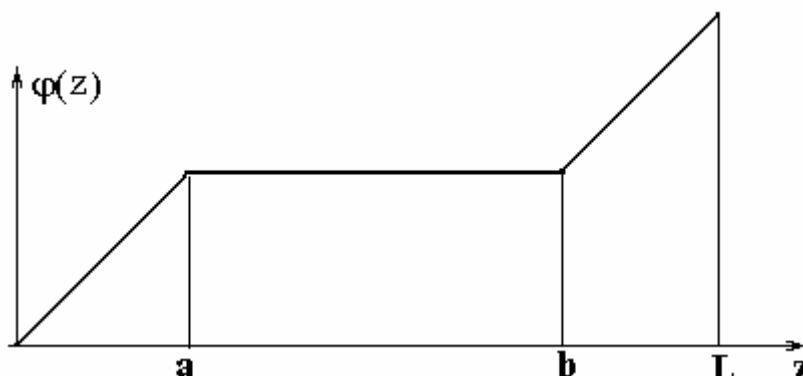


Рис.6. Закон частичной закрутки цилиндра

Тогда, используя R-операции системы  $\{R_1\}$ , этот закон можно записать в виде  $\varphi(z) = (\varphi_1 \wedge_1 \varphi_2) \vee_1 \varphi_3$ , где  $\varphi_1 = \frac{2\pi}{h} z$ ;  $\varphi_2 = \frac{2\pi}{h} a$ ;  $\varphi_3 = \frac{2\pi}{h} (z - b + a)$ . После подстановки получим цилиндр, скрученный по часовой стрелке лишь на участках  $(-\infty, a)$ ;  $(b, \infty)$  (рис.7).

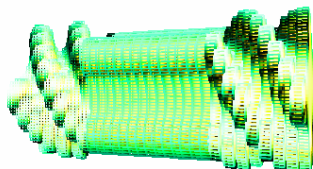


Рис. 7 Фрагмент цилиндра, скрученного на концах по часовой стрелке

Пусть функция  $\varphi(z)$  задана по закону, изображенному на рис.8.

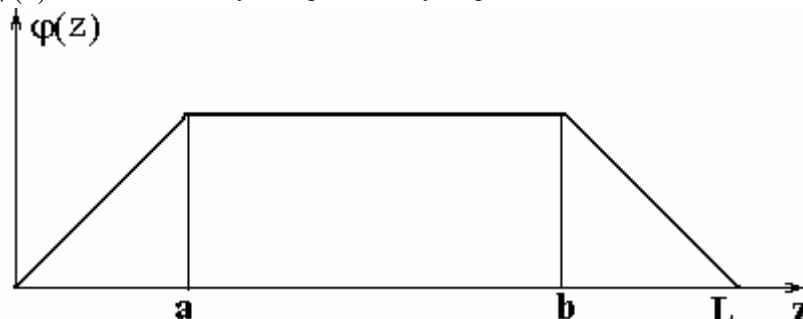


Рис.8. Закон частичной закрутки цилиндра

Тогда, используя R-операции системы  $\{R_1\}$ , этот закон можно записать в виде  $\varphi(z) = (\varphi_1 \wedge_1 \varphi_2) \wedge_1 \varphi_3$ , где  $\varphi_1 = \frac{2\pi}{h} z$ ;  $\varphi_2 = \frac{2\pi}{h} a$ ;  $\varphi_3 = \frac{2\pi}{h} (L - z)$ . После подстановки

получим цилиндр, скрученный по часовой стрелке на участке  $(-\infty, a)$  и против часовой стрелки на участке  $(b, \infty)$  (рис.9).

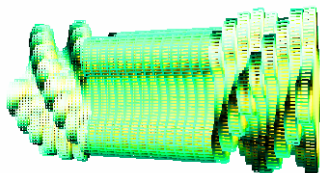


Рис. 9 Фрагмент цилиндра, скрученного на концах (по и против часовой стрелки)

Для построения уравнения бесконечного змеевика рассмотрим тор с сечением, уравнение границы которого  $\omega(\sqrt{x^2 + y^2}, z) = 0$ . После подстановки  $z \Rightarrow z - \alpha \arctg \frac{y}{x}$ , где  $\alpha = \frac{H}{2\pi}$ , в уравнение

$\omega(\sqrt{x^2 + y^2} - c, z) = 0$ , получим уравнение

$$\omega_b(x, y, z) \equiv \omega\left(\sqrt{x^2 + y^2} - c, z - \alpha \arctg \frac{y}{x}\right) = 0 \quad (9)$$

бесконечной поверхности  $\partial\Omega_b$  (Рис.10), ограничивающей область  $\Omega_b$  змеевика, с шагом  $H$  и поперечным сечением  $\partial\Omega$  [10].



Рис.10. Фрагмент змеевика сложного поперечного сечения.

Для построения уравнения скрученного тора рассмотрим тор с сечением, уравнение границы которого

$$\omega(x, z) = 0. \quad \text{После подстановки} \quad \begin{cases} x \Rightarrow (r - R)\cos \frac{R\varphi}{h} + z \sin \frac{R\varphi}{h}; \\ z \Rightarrow -(r - R)\sin \frac{R\varphi}{h} + z \cos \frac{R\varphi}{h}; \end{cases} \quad \text{где}$$

$r = \sqrt{x^2 + y^2}$ ;  $\varphi = \arctan \frac{y}{x}$  в уравнение  $\omega(x, z) = 0$ , получим уравнение

$$\omega\left((r - R)\cos \frac{R\varphi}{h} + z \sin \frac{R\varphi}{h}, -(r - R)\sin \frac{R\varphi}{h} + z \cos \frac{R\varphi}{h}\right) = 0 \quad (10)$$

поверхности, ограничивающей область, изображенную на рис. 11.

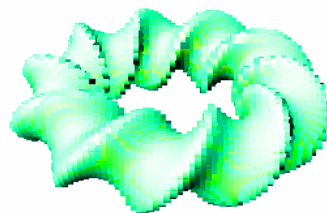


Рис.11. Скрученный тор

Отметим общность методики построения уравнений вышеприведенных ГО в 3D:

- все уравнения направляющих и границ поперечных сечений в 2D  $\omega(x, y) = 0$  задаются с помощью стандартных примитивов (Рис.1);

- затем в  $\omega(x, y) = 0$  выполняется замена переменных  $\begin{cases} x \Rightarrow \psi_1(x, y, z) \\ y \Rightarrow \psi_2(x, y, z) \end{cases}$ ;

- полученное уравнение  $\omega(\psi_1(x, y, z), \psi_2(x, y, z)) = 0$  является уравнением примитива в 3D;

В заключение следует отметить, что построенные уравнения простейших трехмерных геометрических объектов могут быть использованы в качестве стандартных примитивов, а построение уравнения

составного ГО в 3D также осуществляется по формуле  $w = \left( \bigcup_{i=1}^N w_i \right) \cap \left( \bigcap_{i=N+1}^{N+K} \bar{w}_i \right) = 0$  с учетом правил,

аналогичных приведенным выше для 2D.

Визуализация представленных в 3D поверхностей выполнена с помощью разработанной в Запорожском государственном университете системы РАНОК [4], в которой реализованы основные R-операции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Рвачев В.Л. Теория R-функций и некоторые ее приложения. -К.: Наукова думка, 1982. — 552 с.
2. Рвачев В.Л., Манько Г.П. Автоматизация программирования в краевых задачах. -К.: Наукова думка, 1977.—232 с.
3. Рвачев В.Л., Шевченко А.Н. Проблемно-ориентированные языки и системы для инженерных расчетов.—К.: Техніка, 1988. — 197 с.
4. A.V. Tolok The Image Analysis System “RANOK” – the Solution for 3D-Visualization // Прикладна геометрія та інженерна графіка.– К.: КНУБА.- 2002-№70.- С. 242-245.
5. Рвачев В.Л., Слесаренко А.П. Алгебра логики и интегральные преобразования в краевых задачах.—К.: Наук.думка, 1977.—287 с.
6. Рвачев В.Л., Слесаренко А.П. Алгебро-логические и проекционные методы в задачах теплообмена.—К.: Наук.думка, 1978.—138 с.
7. Рвачев В.Л. Методы алгебры логики в математической физике. — К.: Наукова думка, 1974.—259 с.
8. Рвачев В.Л., Толлок А.В., Уваров Р.А., Шейко Т.И. Новые подходы к построению уравнений трехмерных локусов с помощью R-функций // Вісник ЗДУ. — №2.- 2000.—С. 119-131.
9. Максименко-Шейко К.В. Некоторые новые классы пространственных краевых задач, сводящиеся к двумерным // Доповіді НАН України.—2003.—№1.—С.25-28.
10. Максименко-Шейко К.В., Шейко Т.И. Математические модели скалярных полей в змеевиках произвольного сечения // Вісник ЗДУ—2002.—№2.—С.65-74.

УДК 519.6

## СТАТИСТИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ СЕГМЕНТАЦИИ

Перепелица В.А., д. ф.-м. н., профессор, зав.кафедрой экономической кибернетики,  
Терещенко Э.В., аспирант

*Запорожский государственный университет*

В статье предлагается теоретико-графовая модель сегментации рынка, в рамках которой задача сегментации сводится к задаче покрытия графа звездами, нахождения совершенных паросочетаний. Проводится вероятностный анализ многокритериальной задачи о совершенном паросочетании на двудольном графе. Предлагается статистически эффективный алгоритм для решения многокритериальной задачи сегментации с оценкой его вычислительной сложности.

*Ключевые слова: сегментация рынка, многокритериальная оптимизация, линейная свертка критериев, статистически эффективный алгоритм, вычислительная сложность алгоритма, задача о совершенных паросочетаниях*

Перепелиця В.О., Терещенко Е.В. СТАТИСТИЧНО ЕФЕКТИВНИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ЗАДАЧІ СЕГМЕНТАЦІЇ / Запорізький державний університет, Україна.

У статті пропонується теоретико-графова модель сегментації ринку, у рамках якої задача сегментації зводиться до задачі покриття графа зірками, пошуку досконалих паросполучень. Проводиться ймовірнісний аналіз задачі про досконали паросполучення на дводольному графі. Пропонується статистично ефективний алгоритм для розв'язування багатокритеріальної задачі сегментації з оцінкою його обчислювальної складності.

*Ключові слова: сегментація ринку, багатокритеріальна оптимізація, лінійна згортка критеріїв, статистично ефективний алгоритм, обчислювальна складність алгоритму, задача про досконали паросполучення.*

Perpelitsa V.A., Tereshchenko E.V. STATISTICALLY EFFECTIVE ALGORITHM FOR A VECTOR OPTIMIZATION PROBLEM OF SEGMENTATION / Zaporizhzhya State University, Ukraine

The graph model of segmentation of the market has been suggested in article. Within the framework of this model the problem of segmentation have been reduced to a problem of a covering the graph by stars and problem of presence of the perfect matching. The probability analysis of problems about the perfect matching in the bipartite graph has been carried out. Statistically effective algorithm for the decision of a vector optimization problem of segmentation with an estimation of its computing complexity has been suggested.

*Key words: market segment, vector optimization problems, calculating algorithm complexities, statistic effective algorithm, perfect matching.*

## 1. ТЕОРЕТИКО-ГРАФОВАЯ МОДЕЛЬ СЕГМЕНТАЦИИ РЫНКА

Ключевым моментом теории маркетинга является понятие сегментации рынка. Сегментация рынка заключается в разделении рынков на четкие группы потребителей, характеризующихся однотипной реакцией на предлагаемый продукт или на набор маркетинговых стимулов [1].

Проблемам поиска эффективного решения задачи сегментации рынка, которая является задачей многокритериальной оптимизации, посвящены многочисленные научные исследования и практические разработки [2,3,4]. Актуальность выбранной темы обусловлена тем, что несмотря на большое разнообразие накопленных критериев сегментации и возможности применения разнообразных методов многомерной статистики существующая схема планирования выбора целевого рынка считается недостаточно проработанной конструкцией [5], что порождает множественность подходов и неоднозначность получаемых разными исследователями результатов.

В настоящей работе предлагается теоретико-графовая модель задачи сегментации рынка, что дает возможность применить хорошо разработанный аппарат теории графов [6] для выделения рыночных сегментов. Практически это позволит обогатить прикладной инструментарий маркетинга научно обоснованными методами, позволит облегчить деятельность экономистов-исследователей по выявлению обоснованной стратегии выбора целевого рынка и определению рыночной ниши предприятия.

Математическое описание модели сегментации рынка формируется в предположении, что априори определена база для сегментации рынка, то есть задано множество потенциальных покупателей (как индивидуальных потребителей, так и организаций) и выбраны факторы (критерии) сегментации. Кроме того, определена номенклатура однотипного товара, предъявляемого рынку.

В процессе моделирования сегментации рынка формулируется математическая постановка многокритериальной задачи на двудольном графе  $G=(V_1, V_2, E)$ , мощности долей которого  $|V_1|=m$  и  $|V_2|=l$ ,  $m \leq l$  [6].

Содержательно вершины  $v_i \in V_1$  поставлены во взаимнооднозначное соответствие предъявленным типам товара, которые перенумерованы индексом  $i=1,2,\dots,m$ . Вершины  $v_j \in V_2$  поставлены во взаимнооднозначное соответствие группам потребителей, перенумерованных индексом  $j=1,2,\dots,l$ .

Через  $n_j$  будем обозначать прогнозируемое количество покупаемых единиц товара представителями  $j$ -ой группы.

Ребро  $e=(v_i, v_j)$  принадлежит множеству  $E$  тогда и только тогда, когда  $i$ -й тип товара может оказаться приемлемым для покупателей  $j$ -ой группы ( $1 \leq j \leq l$ ). Каждое ребро  $e \in E$  графа  $G=(V_1, V_2, E)$  взвешено числами  $w_v(e)$ ,  $v=1, \bar{N}$ , где веса  $w_v(e)$  отражают собой экспертно определенную степень потребительской пригодности  $i$ -го типа товара для покупателей из группы  $j$ ,

$0 \leq w_\nu(e) \leq 1$ ,  $\nu = 1, 2, \dots, N$ ,  $e \in E$  (здесь индексом  $\nu$  перенумерованы критерии потребительского качества товара: долговечность, надежность, удобство в эксплуатации и т.д.).

Через  $k_i$  обозначаем априорно заданное минимально допустимое количество экземпляров товара  $i$ -ого типа, при котором его производство оказывается экономически выгодным,  $i = 1, 2, \dots, m$ .

Допустимым решением формулируемой на двудольном графе  $G=(V_1, V_2, E)$  задачи сегментации является всякая такая его часть (или подграф)  $x = (V_1^x, V_2, E_x)$ ,  $V_1^x \subseteq V_1$ ,  $E_x \subseteq E$  графа  $G=(V_1, V_2, E)$  каждая компонента связности которой (которого) представляет собой либо некоторое ребро  $e \in E$ , либо  $(h+1)$ -вершинную звезду,  $h \in \{2, 3, \dots, l\}$ , центром которой является некоторая вершина  $v_i \in V_1$  и ребра которой образуют множество  $E_x^i$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, m\}$ . При этом висячие вершины конкретной звезды  $E_x^i$  образуют подмножество  $V_2^x(v_i) \subseteq V_2$ , удовлетворяющее неравенству

$$\sum_{v_j \in V_2^x} n_j \geq k_i, \quad v_i \in V_1^x, \quad (1)$$

где центр  $v_i \in V_1^x$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$  и объединение  $\bigcup_{v_i \in V_1^x} V_2^x(v_i) = V_2$ .

Примечание 1. Если отдельное ребро  $e = (v_i, v_j)$  принадлежит  $E_x$ , то в контексте условия (1) его можно рассматривать как 2-вершинную звезду с центром  $v_i$  и висячей вершиной  $v_j$ . При этом неравенство (1) не учитывается для вершин  $v_i \in (V_1 \setminus V_1^x)$ .

Множество всех допустимых решений (МДР) на графе  $G=(V_1, V_2, E)$  обозначаем через  $X = X(G) = \{x\}$ . На МДР  $X$  определена векторная целевая функция (ВЦФ)

$$F(x) = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_{N+1}(x)), \quad (2)$$

состоящая из  $N$  критериев весового вида MAXSUM

$$F_\nu(x) = \sum_{e \in E_x} w_\nu(x) \rightarrow \max, \quad \nu = \overline{1, N} \quad (3)$$

и одного критерия комбинаторного вида

$$F_{N+1}(x) = |V_1^x| \rightarrow \max, \quad (4)$$

отражающего разнообразие номенклатуры, то есть количество типов (товара), которые целесообразно производить.

ВЦФ (2)–(3) определяет собой в МДР  $X$  паретовское множество (ПМ)  $\tilde{X}$ , состоящее из всех паретовских оптимумов (ПО)  $\tilde{x} \in \tilde{X}$  [7].

Всякая пара ПО  $\tilde{x}_1, \tilde{x}_2 \in \tilde{X}$  считается эквивалентной, если выполняется равенство значений ВЦФ:  $F(\tilde{x}_1) = F(\tilde{x}_2)$ . Поэтому в настоящей работе рассматриваем алгоритмическую проблему нахождения так называемого полного множества альтернатив (ПМА) [8].

Подмножество  $X^0 \subseteq \tilde{X}$  называется ПМА, если его мощность  $|X^0|$  минимальна при выполнении равенства  $F(X^0) = F(\tilde{X})$ , где  $F(X^*) = \{F(x) : x \in X^*\}$   $\forall X^* \subseteq X$ . Здесь и далее

подразумеваем, что ПМ  $\tilde{X}$  и ПМА  $X^o$  определены для данного графа  $G$ , т.е.  $\tilde{X} = \tilde{X}(G)$ ,  $X^o = X^o(G)$ .

## 2. ДВУХУРОВНЕВЫЙ ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ АЛГОРИТМА ЛИНЕЙНОЙ СВЕРТКИ

Отметим вначале, что первые  $N$  критериев ВЦФ (1)–(4) образуют группу однородных критериев весового вида, в то время как последний  $(N+1)$ -й критерий этой ВЦФ является комбинаторным. В силу этого обстоятельства предлагается следующий двухуровневый подход к решению сформулированной многокритериальной задачи.

На нижнем уровне осуществляется перебор различных комбинаций множеств  $V_1^x$ , удовлетворяющих условию (1).

Для этого различные сочетания из  $m$  вершин множества  $V_1$  по  $k \in \{1, 2, \dots, m\}$  вершин перенумеруем в порядке неубывания их мощностей индексом  $r = \{1, 2, \dots, M\}$ ,  $M = 2m - 1$ ;  $r$ -ое сочетание представляем в виде подмножества  $V^r \subseteq V_1$ , совокупность этих подмножеств обозначаем через  $WI = \{V^r\}$ ,  $r = 1, 2, \dots, M$ . Тогда через  $X_r \subset X$  обозначим такое подмножество допустимых решений  $x = (V_1^x, V_2, E) \in X$ , у каждого из которых имеет место совпадение  $V_1^x = V^r$ . Отметим, что для некоторых подмножеств  $V^r$  подмножество  $X_r$  может оказаться пустым.

На верхнем уровне для фиксированного множества центров звезд  $V^r \subseteq V_1$  вначале выбирается конечное подмножество  $\Lambda_N^0 \subset \Lambda_N$  множества

$\Lambda_N = \{ \lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N) : \sum_{v=1}^N \lambda_v = 1, \lambda_v > 0, v = \overline{1, N} \}$ . Далее для каждого вектора  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N) \in \Lambda_N^0$  строится линейная свертка критериев (ЛСК)

$$F^{(\lambda)}(x) = \sum_{v=1}^N \lambda_v F_v(x), \quad x \in X^r, \quad 1 \leq r \leq M \quad (5)$$

В силу аддитивной природы критериев (3) ЛСК (5) представляем в качестве целевой функции (ЦФ)

$$F^{(\lambda)}(x) = \sum_{v=1}^N \lambda_v \sum_{e \in E_x} w_v(e) \rightarrow \max, \quad (6)$$

где для допустимого решения  $x = (V_1^x, V_2, E) \in X^r$  множество ребер  $E_x$  определяется таким допустимым разбиением доли  $V_2$  на подмножества

$$V_2^x(v_i) \subseteq V_2, \quad v_i \in V^r, \quad \bigcup_{v_i \in V^r} V_2^x(v_i) = V_2, \quad (7)$$

которое обеспечивает выполнение неравенств

$$\sum_{v_j \in V_2^x(v_i)} n_j \geq k_i, \quad v_i \in V^r. \quad (8)$$

Иными словами, при фиксированном множестве центров  $V_1^x = V^r$  формирование подмножеств  $V_2^x(v_i)$ ,  $v_i \in V_1^x$ , которые определяют допустимое решение  $x$ , удовлетворяющее условию (8), получается в процессе достижения требуемого экстремального значения ЦФ (6).

Как известно [3], если при фиксированном векторе  $\lambda \in \Lambda_N$  допустимое решение представляет собой оптимум по ЛСК (5), то это решение является парето-оптимальным. Следовательно, является справедливым следующее

Утверждение 1. Для всякого фиксированного множества центров звезд  $V^r$  и выбранного вектора  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N) \in \Lambda_N^0$  допустимое решение  $x(\lambda)$ , удовлетворяющее условию (8), является парето-оптимальным по ВЦФ  $\overline{F(x)} = (F_1(x), F_2(x), \dots, F_N(x))$ , если на  $x(\lambda)$  ЦФ (6) достигает требуемого экстремума. Объединение решений  $x(\lambda)$  по всем  $\lambda \in \Lambda_N^0$  образует определенное множество  $\tilde{X}(V^r)$ , которое состоит из допустимых решений, являющихся парето-оптимальными в указанном смысле.

Из утверждения 1 вытекает, что для данного графа  $G=(V_1, V_2, E)$  в результате объединения найденных множеств решений  $\tilde{X}(V^r)$  по всевозможным вариантам  $V^r \in W_1$  множеств центров звезд, получаем некоторое подмножество паретовского множества  $\tilde{X} = \tilde{X}(G)$ . В свою очередь из полученного подмножества ПМ  $\tilde{X}$  выделяется некоторое подмножество искомого ПМА  $X^o = X^o(G)$ . Это подмножество можно рассматривать в качестве аппроксимации ПМА  $X^o$ .

### 3. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ВЕРХНЕГО УРОВНЯ ДЛЯ СПЕЦИАЛЬНОГО СЛУЧАЯ

Обозначим через  $\alpha$  приближенный алгоритм градиентного типа для нахождения оптимального покрытия данного двудольного графа  $G=(V_1, V_2, E)$  при фиксированном множестве центров  $V^r \subseteq V_1$  для случая, когда в условии (8) значения его параметров удовлетворяют равенствам  $n_j = n$  для каждого  $j = \overline{1, l}$  и значение  $k_i = nl/m_r$  для каждого  $i \in V^r$ . Эти условия означают, что все допустимые решения  $x = (V_1^x, V_2, E) \in X^r$  представляют собой покрытия данного графа  $G$  звездами одинаковой степени. Отсюда, не теряя общности, рассматриваемую задачу при указанных условиях можно рассмотреть в следующей постановке.

Для данного однозвешенного двудольного графа  $G=(V_1, V_2, E)$ , с мощностями его долей  $|V_1|=m$  и  $|V_2|=l$ ,  $l$  кратно  $m$ , МДР представляет собой такой остовный подграф  $x=(V_1, V_2, E_x)$  графа  $G$ , у которого каждая компонента связности представляет собой  $(n+1)$ - вершинную звезду с центром в некоторой вершине  $v_i \in V_1$ .

Предлагаемый алгоритм  $\alpha$  нахождения покрытия оптимального по значению ЦФ

$$F(x) = \sum_{e \in E_x} w(e) \rightarrow \max \quad (9)$$

состоит из подготовительного этапа и  $n$  вычислительных этапов. На подготовительном этапе множество вершин второй доли  $V_2$  разбиваем на  $n$  равномошных подмножеств  $V_2^s$ ,  $|V_2^s| = m$ ,  $s = 1, 2, \dots, n$ ,  $n = \frac{l}{m}$ . Далее для каждого подмножества  $V_2^s \subset V_2$  строим двудольный граф  $G^s = (V_1, V_2^s, E^s)$  такой, что его множество  $E^s$  состоит из ребер  $e = (v_i, v_j) \in E$ , у каждого из которых концевая вершина  $v_i \in V_1$  и концевая вершина  $v_j \in V_2^s$ . Результатом подготовительного этапа является последовательность двудольных графов

$$G^s = (V_1, V_2^s, E^s), \quad s = 1, 2, \dots, n. \quad (10)$$

Последующие  $n$  этапов перенумеруем индексом  $s=1, 2, \dots, n$ . Вычислительная работа очередного этапа  $s$  состоит в нахождении в графе  $G$  совершенного паросочетания  $E_o^s \subseteq E^s$ , оптимального по значению целевой функции

$$W(E_x^s) = \sum_{e \in E_x^s} w(e) \rightarrow \max. \quad (11)$$

Последний этап  $s=n$  завершается построением остовного подграфа  $x_\alpha = (V_1, V_2, E_{x_\alpha})$ , множество ребер которого  $E_{x_\alpha} = \bigcup_{s=1}^n E_o^s$ . По определению алгоритма  $\alpha$  остовной подграф является допустимым решением задачи покрытия данного графа  $G$  звездами одинаковой степени.

#### 4. ВЕРОЯТНОСТНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ЗАДАЧИ О СОВЕРШЕННОМ ПАРСОЧЕТАНИИ НА ДВУДОЛЬНОМ ГРАФЕ

Рассмотрим теперь в  $N$ -критериальной постановке задачу о совершенном паросочетании на двудольном графе с ВЦФ (2), состоящей из критериев весового вида

$$F_\nu(x) = w_\nu(x) = \sum_{x \in E_x} w_\nu(e) \rightarrow \max, \quad \nu = 1, 2, \dots, N. \quad (12)$$

Предлагаемый алгоритм  $\alpha_2$  нахождения ПМА для этой задачи состоит из этапов  $\alpha_2^k$ ,  $k = 1, 2$ .

Этап  $\alpha_2^1$ . Для каждого ребра данного  $N$ -взвешенного графа  $G(A) = (V_1, V_2, E)$  вычисляем суммарный вес  $w(e) = \sum_{\nu=1}^N w_\nu(e)$ . Для каждой вершины  $\nu \in (V_1 \cup V_2)$  выделяем множество всех инцидентных ей ребер, среди которых отмечаем звездочкой (\*) те ребра, которые в этом множестве имеют максимальный вес  $w(e)$ . Удалив из  $G$  все ребра, не имеющие ни одной метки \*, получим двудольный граф  $G(A) = (V_1, V_2, E^*)$ , ребра которого считаем невзвешенными. Применяем к графу  $G$  алгоритм Хопкрофта–Карпа [9] нахождения максимального паросочетания  $x_o$ . Далее вычисляем максимум  $a_\nu = \max_{e \in E} w_\nu(e)$  и проверяем выполнение условий

$$w_\nu(x_o) = a_\nu m, \quad \nu = 1, 2, \dots, N. \quad (13)$$

Если условия (13) выполняются, то работа алгоритма заканчивается, поскольку найденное решение  $x_o$  представляет собой искомое ПМА. Если хотя бы одно из условий (13) не выполняется, то переходим к этапу  $\alpha_2^2$ .

Этап  $\alpha_2^2$  – это АЛС, работа которого в общем случае состоит в следующем. Из множества  $\Lambda_N$  по усмотрению лица, принимающего решения (ЛПР), выбираются векторы  $\lambda^t = (\lambda_1^t, \dots, \lambda_N^t)$ ,  $t = 1, 2, \dots, C_o$ , где  $C_o$  – константа. Этот выбор осуществляется случайным образом либо с учетом того, какую для данной индивидуальной задачи относительную важность имеет каждый из критериев (12) [7]. Ребрам  $e$  данного графа  $G$  приписываем веса свертки  $w^t(e) = \sum_{\nu=1}^N \lambda_\nu^t w_\nu(e)$ , обозначив полученные в результате такого взвешивания двудольные графы через  $G_t$ ,  $t = 1, 2, \dots, C_o$ . Для каждого графа  $G_t$  с помощью венгерского алгоритма [10] или других методов [11] находим оптимальное совершенное паросочетание  $x_t$ . Множество найденных таким образом паросочетаний обозначим  $X_2 = \{x_t\}$ ,  $t = 1, 2, \dots, C_o$ . Выбрав из  $X_2$  по одному прообразу для

каждого образа из  $F(X_2)$ , получим подмножество  $X_2^0 \subseteq X^o$ , которое в общем случае представляет собой аппроксимацию искомого ПМА. Построением  $X_2^0$  этап  $\alpha_2^2$  (алгоритм  $\alpha_2^0$ ) заканчивает работу.

Оценим вычислительную сложность  $\tau(\alpha_2^0)$  алгоритма  $\alpha_2^0$ ; трудоемкость построения графа  $G$  составляет  $O(Nm^2)$ , трудоемкость алгоритма Хорпкродта–Карпа составляет  $O(m^{5/2})$  [9] откуда  $\tau(\alpha_2^1) = O(Nm^2 + m^{5/2})$ . Сложность вычисления весов ребер графа  $G$  составляет  $O(Nm^2)$ , нахождения решения  $x_t - O(m^3)$  [9], откуда  $\tau(\alpha_2^2) = O(Nm^2 + m^3)$ . Таким образом, получаем верхнюю оценку вычислительной сложности рассматриваемого АЛС:  $\tau(\alpha_2^0) = O(Nm^2 + m^3)$ .

Обоснование оценок эффективности алгоритма  $\alpha_2^0$  осуществим в терминах теории вероятностных графов. Будем использовать следующие обозначения:  $\varphi = \varphi(m)$ ,  $\psi_z = \psi_z(m)$  – сколь угодно медленно растущие функции от  $m$ ,  $\lim_{m \rightarrow \infty} \varphi(m) = \lim_{m \rightarrow \infty} \psi(m) = \infty$ ,  $\psi_z = O(\varphi)$ ,  $z = 1, 2$ ;

$\tilde{G}(N, m, R)$  ( $\ddot{G}(N, 2m, R)$ ) – множество всех  $N$ -взвешенных  $m$ -вершинных графов (двудольных  $2m$ -вершинных графов  $G = (V_1, V_2, E)$ ), с равномошными долями  $|V_1| = |V_2| = m$ , у которых каждое ребро  $e \in E$  взвешено числами  $w_\nu(e) \in \{1, 2, \dots, R\}$ ,  $\nu = 1, 2, \dots, N$ ;

$G(R, N)$  ( $\bar{G}(R, 2N)$ ) – вероятностный  $m$ -вершинный граф ( $2m$ -вершинный двудольный граф с равномошными долями:  $|V_1| = |V_2| = m$ ), определяемый следующим условием. Для каждой пары его вершин  $v', v'' \in V$  ( $v' \in V_1, v'' \in V_2$ ) могут выполняться следующие  $R^N + 1$  равновероятных событий: отсутствие ребра  $e = (v', v'')$  и появление этого ребра, взвешенного одним из  $R^N$  векторов  $(w_1(e), \dots, w_\nu(e), \dots, w_N(e))$ ,  $w_\nu(e) \in \{1, 2, \dots, R\}$ ,  $\nu = 1, 2, \dots, N$ ;

$G_p(m)$  ( $\bar{G}_p(2m)$ ) – случайный граф (случайный граф с равномошными долями  $|V_1| = |V_2| = m$ ), который определяется следующим образом: для всякой пары вершин  $v', v'' \in \{1, 2, \dots, m\}$  ( $v' \in V_1, v'' \in V_2$ ) ребро  $e = (v', v'')$  появляется с вероятностью  $p$  и не появляется с вероятностью  $1-p$ . При этом считаем, что всякая реализация графа  $G_p(m)$  принадлежит множеству  $\tilde{G}(1, m, 1)$  ( $\ddot{G}(1, 2m, 1)$ ), то есть всякое ребро появляется с весом  $R$ ;

$\tilde{G}_k(N, m, R)$  ( $\ddot{G}_k(N, 2m, R)$ ) – множество всех таких графов  $G \in \tilde{G}(N, m, R)$  (двудольных графов  $G \in \ddot{G}(N, 2m, R)$ ), у каждого из которых количество ребер  $|E| = k$ .

Рассматривая поставленную задачу на графе  $G$ , условимся, что утверждение «свойство  $\omega$  выполняется» означает следующее: данный граф  $G$  содержит такой искомый подграф  $x \in X$ , каждое ребро которого взвешено вектором  $(R, R, \dots, R) \in R^N$ . Заметим, что в терминологии обзора [12] для рассматриваемой задачи сегментации «свойство  $\omega$ » является монотонным по ребрам.

Наряду с указанной монотонностью будем пользоваться тем, что для всякого  $N$  при  $R=1$  ребра  $N$ -взвешенного графа имеют единственный вектор весов  $(1, 1, \dots, 1) \in R^N$ , при  $R=1$   $N$ -взвешенный граф можно рассматривать как  $1$ -взвешенный граф. Из этого утверждения вытекает, что является справедливой следующая

Лемма 3. Если  $R \leq \frac{m}{2 \ln m + \varphi}$ , то для почти всех двудольных графов  $G \in \tilde{G}(N, 2m, R)$  алгоритм  $\alpha_2^0$

находит ПМА задачи о совершенных паросочетаниях с ВЦФ (1),(18), причем  $|X^o| = 1$  и сложность

нахождения ПМА  $\tau(\alpha_2^0) = O(m^{5/2})$ .

Доказательство. Согласно теореме 1 [13] почти во всех двудольных графах  $G \in \ddot{G}_k(N, 2m, 1)$  существует совершенное паросочетание тогда и только тогда, когда  $k = k(m) = m(\ln m + \psi_1)$ ,  $\psi_1 = O(\varphi)$ . В [12] установлена связь между числом  $k$  и вероятностью  $p$ , при которых обеспечивается выполнение всякого монотонного по ребрам свойства, в частности, свойства  $\mathcal{W}$  для почти всех графов  $G \in \tilde{G}_k(N, m, 1)$  и почти всегда, то есть с вероятностью

$$p \geq 1 - \delta_m, \quad \lim_{m \rightarrow \infty} \delta_m = 0 \quad \text{для вероятностного графа } G_p(m) \quad (G(R, m), \quad R = \frac{1}{p} + 1).$$

Согласно этому из [12, теорема 17], вытекает, что почти всегда граф  $G_p(2m) \quad (G(R, 2m))$  обладает свойством  $\mathcal{W}$ , если

$$p = (R^N + 1)^{-1} \geq (\ln m + \psi_2) / m, \quad \psi_2 = O(\psi_1). \quad (14)$$

Согласно указанной связи соотношение (14) означает, что почти каждый двудольный граф  $G \in \ddot{G}_k(N, 2m, R)$  обладает свойством  $\mathcal{W}$ , то есть содержит требуемое совершенное паросочетание, если  $R^N \leq \frac{m}{2 \ln m + \varphi}$ . Поскольку ребра  $e^*$  этого паросочетания (обозначим его  $x^*$ ) имеют

максимально возможный вес  $w(e^*) = \sum_{v=1}^N w_v(e^*) = N$ , то  $x^*$  содержится в графе  $G^* = (V_1, V_2, E^*)$ ,

который строится в процессе работы этапа  $\alpha_2^1$ . Тогда по определению графа  $G^*$  имеем  $w(e) = N$ ,  $\forall e \in E^*$ . Отсюда следует, что в результате работы этапа  $\alpha_2^1$  почти всегда получаем удовлетворяющее условию  $\mathcal{W}$  паросочетание  $x_0$ ,  $X^0 = \{x_0\}$  и  $|X^0| = 1$ . Поскольку последнее

эквивалентно выполнению легко проверяемого условия (12), то почти всегда  $\tau(\alpha_2^0) = \tau(\alpha_2^1)$ .

Требуемое равенство  $\tau(\alpha_2^1) = O(Nm^2 + m^{5/2}) = O(m^{5/2})$  является следствием того, что при выполнении условий леммы 3 по необходимости выполняется неравенство  $N \leq \sqrt{m}$ . Лемма 3 доказана.

Вернемся в п.3 к алгоритму  $\alpha$ , который в графе  $G \in \ddot{G}_k(N, 2m, R)$  находит его покрытие звездами одинаковой степени, причем веса каждого из ребер этого графа удовлетворяют условию (12). Из этого условия вытекает, что найденное с помощью алгоритма  $\alpha$  допустимое решение  $x^*$  представляет собой одноэлементное ПМА. Появление такого ПМА в условиях леммы 3 означает нахождение совершенных паросочетаний в каждом из  $n$  двудольных графов  $G^s = (V_1, V_2^s, E^s)$ ,  $s = 1, 2, \dots, n$ ,  $n = \frac{l}{m}$ , в каждом из которых веса ребер удовлетворяют условию (12). Результативный исход такого события, то есть результативный исход  $n$ -кратного применения алгоритма  $\alpha_2^0$ , при выполнении условий леммы 3 возможен в том случае, когда величина  $n$  ограничена сверху константой. Последнее означает, что в исходном  $N$ -взвешенном графе  $G(A) = (V_1, V_2, E)$  (см. п. 4) выполняется условие

$$m = O(l) \quad (15)$$

При этом вычислительная сложность  $n$ -кратного применения алгоритма  $\alpha_2^0$  представляет собой верхнюю оценку алгоритма  $\alpha$

$$\tau(\alpha) = n\tau(\alpha_2^0) = \frac{l}{m} O(m^{5/2}) = O(m^{3/2}l) \quad (16)$$

Обозначим через  $J(m, l, R, N) = \{G\}$  множество  $N$ -взвешенных двудольных графов  $G = (V_1, V_2, E)$ , с мощностями долей  $|V_1| = m$ ,  $|V_2| = l$ ,  $l = mn$ , в каждом из которых всякому ребру  $e \in E$  приписаны веса  $w_\nu(e) \in \{1, 2, \dots, R\}$ ,  $\nu = 1, 2, \dots, N$ .

Из леммы 3 с учетом (12), (15) вытекает, что является справедливой следующая теорема о достаточных условиях статистической эффективности алгоритма  $\alpha$ :

Теорема 1. Если  $R^N \leq \frac{m}{2 \ln m + \varphi}$  и  $m = O(l)$ , то для почти всех графов  $G \in J(m, l, R, N)$  алгоритм  $\alpha$  находит ПМА задачи сегментации (задачи покрытия графа звездами одинаковой степени) с ВЦФ (2)-(4), причем ПМА является одноэлементным  $|X^\alpha| = 1$  и сложность его нахождения  $\tau(\alpha) \leq O(m^{3/2}l)$ .

## ВЫВОДЫ

В статье предложена теоретико-графовая модель задачи сегментации рынка, в рамках которой сформулирована математическая постановка многокритериальной задачи на двудольном графе с ВЦФ, в которой первые  $N$  критериев образуют группу однородных критериев весового вида, последний  $(N+1)$ -й критерий является комбинаторным. В силу этого обстоятельства предлагается двухуровневый подход к решению сформулированной задачи, причем второй уровень представляется как многокритериальная задача о совершенном паросочетании. Проведен вероятностный анализ многокритериальной задачи о совершенном паросочетании на двудольном графе. Предложен алгоритм  $\alpha$ , позволяющий находить ПМА поставленной задачи сегментации как задачи покрытия графа звездами одинаковой степени, причем ПМА является одноэлементным  $|X^\alpha| = 1$  и сложность его нахождения  $\tau(\alpha) \leq O(m^{3/2}l)$ .

Дальнейшие исследования планируется посвятить асимптотически точным алгоритмам сегментации рынка в рамках предложенной теоретико-графовой модели.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зозулев В.С. Сегментация рынка. – М.: Наука, 1990. – 384с.
2. Березин И.С. Маркетинг и исследование рынка. — М.: Русская деловая литература, 1999. -416 с.
3. Дубров А.М. Компонентный анализ и эффективность в экономике.-М: Финансы и статистика, 2002. – 352с
4. Кутлалиев А. Х. Проблемы использования многомерных методов анализа данных в маркетинговых исследованиях: <http://gorod.org.ru/msad241101.shtml>
5. Пиотровский А., Денисов А. Кластерный анализ как инструмент подготовки эффективных маркетинговых решений: <http://www.cfin.ru/press/practical/2001-05/01.shtml>
6. Лекции по теории графов / Емеличев В.А., Мельников О.И., Сарванов В.И., Тышкевич Р.И. – М.: Наука, 1990. – 384с.
7. Подиновский В.В., Ногин В.Д. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. – М.: Наука, 1982. – 256с.
8. Емеличев В.А., Перепелица В.А. Сложность дискретных многокритериальных задач// Дискретная математика.– 1994. –Вып.1,6. – С.3-33.
9. Пападимитриу Х., Стайглиц К. Комбинаторная оптимизация. Алгоритмы и сложность. – М.: Мир, 1985. – 512 с.
10. Кристофидес Н. Теория графов. Алгоритмический подход. – М.: Мир, 1978. –432с.
11. Адельсон-Вельский Г.М., Диниц Е.А., Карзанов А.В. Поточковые алгоритмы. – М.: Наука, 1975. – 118с.
12. Коршунов А.Д. Основные свойства случайных графов с большим числом вершин и ребер // Успехи математических наук. —1985. — Т.40, №1(241). —С.123-164
13. Коршунов А.Д. Об одном алгоритме нахождения паросочетаний в конечных графах// Кибернетика. – 1975. –№1. – С.1–8.

## К ТОЧНОМУ РЕШЕНИЮ УРАВНЕНИЙ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ОПТИКИ БЛОХА

Ройтман А. Б., д.т.н., профессор

*Запорожский государственный университет,*

*Departamento de Fisica, Universidade Federal de Maranhão, Brasil, e-mail: aroyt@ufma.br*

Разложение потенциала электромагнитного поля в ряд по степеням  $V/c$  приводит к необходимости учитывать силы, пропорциональные третьей производной дипольного момента системы.

В [1] определены пределы, в которых учёт этой составляющей, не противоречит электродинамическим законам. Эти пределы используются в работе [2] для получения важных результатов в области оптики.

Учёт производной третьего порядка позволяет модифицировать оптические уравнения Блоха [2], но при этом третья производная в модифицированных уравнениях приближённо заменяется первой. В настоящей работе удаётся получить решение без этой приближённой замены.

В статье уточнены решения уравнения (17) в [2].

[1] L. D. Landau, E. M. Lifshitz. The classical Theory of Field. Pergamon Press, New York, 1971

[2] G. I. Surdutovich, A. V. Ghiner. A twolevel atom and the problem of the radiation reaction in semiclassical theory: Optical Bloch equations revisited. Physica A 283 (2000) 2-13

*Ключевые слова: электродинамика, оптические уравнения, третья производная, модифицированные уравнения.*

Ройтман А.Б. ДО ТОЧНОГО РІШЕННЯ РІВНЯНЬ МОДИФІКОВАНОЇ ОПТИКИ БЛОХА / Запорізький державний університет, Україна

Розкладання потенціалу електромагнітного поля в ряд по ступенях  $V/c$  призводить до необхідності враховувати сили, пропорційні третій похідній дипольного моменту системи.

У [1] визначені межі, у яких облік цієї складової, не суперечить електродинамічним законам. Ці межі використовуються в роботі [2] для одержання важливих результатів в області оптики.

Облік похідної третього порядку дозволяє модифікувати оптичні рівняння Блоха [2], але при цьому третя похідна в модифікованих рівняннях приблизно замінюється першою. У даній роботі вдається отримати рішення без цієї наближеної заміни. У статті уточнені рішення рівняння (17) у [2].

[1] L.D. Landau, E.M. Lifshitz. The classical Theory of Field. Pergamon Press, New York, 1971.

[2] G.I. Surdutovich, A.V. Ghiner. A twolevel atom and the problem of the radiation reaction in semiclassical theory Optical Bloch equations revisited. Physica A 283 (2000) 2-13

*Ключові слова: електродинаміка, оптичні рівняння, третя похідна, модифіковані рівняння*

Anatoliy Roytman. BY THE CLOSE SOLUTION OF OPTICAL BLOCH EQUATIONS REVISITED / Zaporizhzhya State University, Ukraine, Departamento de Fisica, Universidade Federal de Maranhão, Brasil, UFMA, Brazil

The decomposition of the electromagnetic field in serie on effect of retardation up to terms of the third order leads to the next result: each charge is acted by force proportional the third temporal derivative of the dipole moment of the system.

In [1] are determined the limits out of which the classical electrodynamics leads to the internal contradictions. Nevertheless such of approach is used sufficiently frequently for analysis of the concrete phenomena [2]. The approximate relationship is used usually when the radius-vector third derivative and, as a result, the ordinary third order differential equation of motion turns to the second order equation. So the important root is out of the consideration. This root describes the unlimited increasing in time of charge oscillations amplitude.

At the present report the exact solution of the third order equation is represented with taking into account the initial conditions. Under some assumption the exact solution of the Modified Optical Bloch Equations [2] is found. Some permitable relationships are established. Such relationships show the region of the existence of the complex-conjugate roots, which influence essentially on physical sense and mathematical representation of the results. The estimation of physical importance of the temps in permitable relationships is made. As a result the common conception of radiation reaction as well as the results of paper [2] are discussed. Define more precisely the simultaneous equations (17) in [2].

[1]. L. D. Landau, E. M. Lifshitz. The Classical Theory of Field. Pergamon Press, New York, 1971.

[2]. G. I. Surdutovich, A. V. Ghiner. A two-level atom and the problem of the radiation reaction in semiclassical theory: Optical Bloch Equations revisited. Physica A 283 (2000) 213.

*Key words: electromagnetic field, optical equations, third order equation, simultaneous equations.*

### ОБОЗНАЧЕНИЯ

$\bar{e}$  – заряд в электромагнитном поле

$\bar{V}$  - скорость заряда

$\bar{r}$  - радиус вектора заряда

$\bar{d} = \sum e\bar{r}$  - дипольный момент системы электрических зарядов

m – масса заряда

$\bar{f}$  - сила, действующая на заряд  
 $c$  – скорость света  
 $\omega_0$  - собственная частота осциллятора  
 $\omega$  - частота падающей волны  
 $\hbar$  –  $h/2\pi$  - постоянная Планка  
 $N$  – перенаселённость  
 $N^e$  – равновесное значение  $N$  при отсутствии  $\bar{E}$   
 $\bar{E}$  - напряжённость электрического поля  
 $\Gamma, \gamma$  – скорости релаксации

1. Известно [1], что разложение потенциалов поля системы зарядов в ряд по степеням  $V/c$  до членов третьего порядка приводит к выражению

$$\bar{E} = \frac{2}{3c^2} \ddot{d}, \quad (1.1)$$

на каждый заряд  $e$  действует сила

$$\bar{f} = \frac{2e}{3c^2} \ddot{d} \quad (1.2)$$

Силы (1.2) называют «силами торможения» излучением или «лоренцовыми силами трения», т.к. они оказывают «обратное действие излучения» на заряды.

При наличии одного движущегося заряда возникает торможение излучением [1]:

$$\bar{f} = \frac{2e^2}{3c^3} \ddot{V} \quad (1.3)$$

При отсутствии внешнего поля уравнение движения приводится к виду:

$$m\dot{V} = \frac{2e^2}{3c^2} \ddot{V} \quad (1.4)$$

Выражение (1.4) приводит к противоречиям, связанными с тем, что (1.3) применимо только тогда, когда длина падающей на заряд волны велика по сравнению с величиной  $e^2/mc^2$ ; кроме того, необходимо, чтобы само поле было не слишком сильным: поля  $\approx m^2c^4/e^3$  являются предельными. В более сильных полях классическая электродинамика приводит к внутренним противоречиям. Тем не менее, соотношения (1.1) – (1.4) в последнее время используются для описания конкретных физических явлений [2]. Понятно, что при такой ситуации необходимо соблюдать при вычислениях определённую осторожность, что, к сожалению, не выполняется, т. к., например, в работах [1,2] вместо дифференциальных уравнений третьего порядка исследуются дифференциальные уравнения, которые являются следствием использования приближённого соотношения

$$\ddot{r} = -\omega_0^2 r \quad (1.5)$$

Обыкновенное дифференциальное уравнение 3-го порядка приводится к уравнению 2-го порядка. При этом теряется важный корень.

Поэтому в настоящей статье выражения (1.1) - (1.4) исследуются без использования приближенного соотношения (1.5).

2. Свободные колебания заряда в падающей волне в одномерном случае запишем в виде:

$$\ddot{r} + \omega_0 r = \frac{2e^2}{3mc^3} \ddot{r} \quad (2.1)$$

Пусть

$$A_0 = \frac{2}{3} \frac{e^2}{mc^3}, \quad (2.2)$$

тогда

$$A_0 \ddot{r} - \ddot{r} - \omega_0^2 r = 0 \quad (2.3)$$

Характеристическое уравнение для (2.3) имеет вид:

$$A_0 S^3 - S^2 - \omega_0^2 = 0, \quad (2.4)$$

или

$$x^3 + ax^2 + bx + c = 0, \quad (2.5)$$

где

$$a = -\frac{1}{A_0}; \quad b = 0; \quad c = -\frac{\omega^2}{A_0} \quad (2.6)$$

Введем новую переменную  $y$ :

$$x = y - \frac{a}{3} = y + \frac{1}{3} A_0 \quad (2.7)$$

Тогда

$$y^3 + py + q = 0 \quad (2.8)$$

здесь

$$p = -\frac{1}{3} A_0^2; \quad q = -\frac{1}{A_0} \left[ \left( \frac{2}{3^3} / A_0^2 \right) A_0^3 + \omega_0^2 \right] \quad (2.9)$$

Рассмотрим выражение

$$Q = \left( \frac{p}{3} \right)^3 + \left( \frac{q}{2} \right)^2 = \frac{\omega_0^2}{A_0^2} \left( \frac{1}{3^3 A_0^2} + \frac{\omega_0^2}{4} \right) \quad (2.10)$$

очевидно, что

$$Q > 0 \quad (2.11)$$

тогда

$$\sqrt{Q} = \frac{\omega}{A_0} \sqrt{\frac{1}{3^3 A_0^2} + \frac{\omega_0^2}{4}} \quad (2.12)$$

$$A = \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left( \frac{2}{3^3 A_0^2} + \omega_0^2 \right) + \frac{\omega_0}{A_0} \sqrt{\frac{1}{3^3 A_0^2} + \frac{\omega_0^2}{4}}} + \frac{\omega_0}{A_0} \sqrt{\frac{1}{3^3 A_0^2} + \frac{\omega_0^2}{4}}$$

$$B = \sqrt[3]{\frac{1}{2} \left( \frac{2}{3^3 A_0^2} + \omega_0^2 \right) + \frac{\omega_0}{A_0} \sqrt{\frac{1}{3^3 A_0^2} + \frac{\omega_0^2}{4}}} - \frac{\omega_0}{A_0} \sqrt{\frac{1}{3^3 A_0^2} + \frac{\omega_0^2}{4}} \quad (2.13)$$

Уравнение (2.8) имеет 3 различных корня:

$$y_1 = A+B, \quad y_{2,3} = \frac{A+B}{2} \pm \frac{A-B}{2} \sqrt{3}, \quad (2.14)$$

как и уравнение (2.5):

$$x_1 = y_1 + \frac{1}{3A_0}, \quad x_{2,3} = y_{2,3} + \frac{1}{3A_0} \quad (2.15)$$

Полагая  $S_i = x_i$  ( $i=1,2,3$ ), получаем общее решение дифференциального уравнения (2.1):

$$r = C_1 e^{s_1 t} + C_2 e^{s_2 t} + C_3 e^{s_3 t} \quad (2.16)$$

где  $C_i$  ( $i=1,2,3$ ) – неизвестные постоянные, определяемые начальными условиями:

$$\text{при } t = t_0 \quad r = r_0, \quad \dot{r} = \dot{r}_0, \quad \ddot{r} = \ddot{r}_0, \quad (2.17)$$

где выражение для  $\ddot{r}$  берётся из соотношения (1.3).

Для определения  $C_i$  приходим к системе из 3-х линейных алгебраических уравнений:

$$\begin{aligned} C_1 + C_2 + C_3 &= r_0 \\ S_1 C_1 + S_2 C_2 + S_3 C_3 &= \dot{r}_0 \\ S_1^2 C_1 + S_2^2 C_2 + S_3^2 C_3 &= \ddot{r}_0 \end{aligned} \quad (2.18)$$

Подставляя значения (2.13) – (2.15), легко показать, что  $S_1 = x_1 > 0$ , т. е. первое из слагаемых (2.16) при достаточно большом промежутке времени  $t$  стремится к  $\infty$ .

При  $A\omega_0 \ll 1$

$$A = \sqrt[3]{\frac{m^2 c^6}{12e^2} + \frac{\omega_0}{3\sqrt{3}}}, \quad B = \sqrt[3]{\frac{m^2 c^6}{12e^2} - \frac{\omega_0}{3\sqrt{3}}} \quad (2.19)$$

### 3. При наличии электрического поля

$$\ddot{\vec{r}} + \omega_0^2 \vec{r} = \frac{e}{m} \vec{E}_0 e^{-i\omega t} = \frac{2e^2}{3mc^3} \ddot{\vec{r}} \quad (3.1)$$

или в одномерном случае

$$A_0 \ddot{r} - \ddot{r} - \omega_0^2 r = \frac{e}{m} E_0 \sin \omega t \quad (3.2)$$

Решение дифференциального уравнения (3.2) – линейного неоднородного – можно представить в виде суммы общего решения уравнения (2.3), представленного в виде (2.16), и какого-либо частного решения уравнения (3.2), т. е.

$$r = r_1 + r_2 \quad (3.3)$$

Пусть

$$r_2 = g \cos(\omega t + \psi), \quad (3.4)$$

где

$g$  и  $\psi$  – неизвестные постоянные.

Тогда, подставляя (3.4) в (3.2), приходим к рассмотрению системы уравнений относительно  $g$  и  $\psi$ :

$$\begin{aligned} (\omega_0^2 - \omega^2) \cos \psi &= A_0 \omega^3 \sin \psi \\ -g(\omega_0^2 - \omega^2) \sin \psi &= \frac{e}{m} E_0 + A_0 g \omega^3 \cos \psi \end{aligned} \quad (3.5)$$

Отсюда

$$tg \psi = \frac{(\omega_0^2 - \omega^2) 3mc^2}{\omega^3 2e^2} \quad (3.6)$$

А с учетом того, что

$$\cos \psi = \sqrt{\frac{1 - 2tg^2 \psi}{1 - tg^2 \psi}}, \quad \sin \psi = \frac{tg \psi}{\sqrt{1 - tg^2 \psi}} \quad (3.7)$$

получаем

$$g = \frac{-eE_0 / m}{\frac{(\omega_0^2 - \omega^2)^2}{\omega^3} \frac{3mc^3}{2e^2} + \frac{2e^2}{3mc^3} \omega^3} \quad (3.8)$$

Выражения (3.7) и (3.8) с учётом начальных условий (2.17) позволяют построить точное решение уравнения (3.2).

**4.** Рассмотрим «низко-амплитудную» форму уточнённых оптических уравнений Блоха, учитывающую эффект радиального демпфирования (механизм релаксации) [2]. Приходим к системе, состоящей из двух дифференциальных уравнений:

$$\ddot{d} + 2\Gamma \dot{d} + \omega_0^2 d = -2fNE - \frac{4}{3} \frac{f}{c^3} N \ddot{d} \quad (4.1)$$

$$\dot{N} + \gamma(N - N^e) = \frac{2}{\hbar \omega_0} E \dot{d} + \frac{4}{3\hbar \omega_0 c^3} \ddot{d} \quad (4.2)$$

В отличие от известных оптических уравнений Блоха система уравнений (4.1), (4.2) содержит параметры  $\gamma$  и  $\Gamma$ .

Пусть правая часть уравнения (4.2) равна 0.

Тогда

$$\dot{N} + \gamma(N - N^e) = 0 \quad (4.3)$$

Откуда

$$N = N^e - \frac{1}{c\gamma} e^{-t} \quad (4.4)$$

При начальных условиях

$$t_0 = 0, \quad N = N_0 \quad (4.5)$$

$$N = \frac{1}{\gamma} N^e + (N_0 - N^e) e^{-t} \quad (4.6)$$

Рассмотрим свободные колебания частицы в поле, напряжённость которого  $E=0$ . Удержим в разложении функции  $e^{-t}$  в ряд только один член:

$$N = \frac{N^e}{\gamma} + (N_0 - N^e) \quad (4.7)$$

Тогда вместо системы уравнений (4.1), (4.2) приходим к одному уравнению:

$$\frac{4}{3} \frac{f}{c^3} N \ddot{d} + \ddot{d} + 2\Gamma \dot{d} + \omega_0^2 d = 0 \quad (4.8)$$

Введём обозначения

$$a_0 = \frac{4}{3} \frac{f}{c^3} N, \quad a_1=1, \quad a_2=2\Gamma, \quad a_3 = \omega_0^2 \quad (4.9)$$

Уравнение (4.8) с коэффициентами (4.9) представляет собой обыкновенное однородное дифференциальное уравнение 3-го порядка с постоянными коэффициентами.

Для его решения рассмотрим следующее кубическое дифференциальное уравнение:

$$x^3 + ax^2 + bx + \bar{c} = 0, \quad (4.10)$$

где

$$a = \frac{3c^3}{4fN}; \quad b = \frac{3c^3\Gamma}{2fN}; \quad \bar{c} = \frac{3c^3\omega_0^2}{4fN} \quad (4.11)$$

Уравнение (4.10) подстановкой

$$x = y - \frac{c^3}{4fN} \quad (4.12)$$

приводится к «неполному» виду

$$y^3 + py + q = 0 \quad (4.13)$$

где

$$p = \frac{3c^3}{2fN} \left( \Gamma - \frac{1}{8} \frac{c^3}{fN} \right), \quad q = \frac{3c^3}{4fN} \left( \frac{9c^6}{8f^2N^2} - \frac{3c^3\Gamma}{2fN} + \omega_0^2 \right) \quad (4.14)$$

Для построения конкретного решения (4.8) принципиально важно установить: будет ли выражение

$$Q = \left( \frac{p}{3} \right)^3 + \left( \frac{q}{3} \right)^2 \quad (4.15)$$

положительно, равно нулю или отрицательно.

В последнем случае («неприводимый» случай) конкретное решение (4.8) можно будет построить только используя трансцендентные функции.

Для ситуации, которая для уравнения (4.8) реальна, введём оценки нижеперечисленных параметров размерности  $t^{-4}$ :

$$\begin{aligned} \Gamma^3 \beta &\approx 10^{49}, & \Gamma^2 \beta^2 &\approx 10^{66}, & \beta^2 \omega_0^2 &\approx 10^{80}, & \beta^4 &\approx 10^{100}, \\ \Gamma \beta^3 &\approx 10^{83}, & \omega_0^4 &\approx 10^{60}, & \beta \Gamma \omega_0^2 &\approx 10^{63} \end{aligned} \quad (4.16)$$

Получаем

$$Q \gg 0, \quad (4.17)$$

т. е. решение (4.13) удастся реализовать в радикалах:

$$y_1 = A + B, \quad y_{2,3} = -\frac{A+B}{2} \pm i \frac{A-B}{2} \sqrt{3} \quad (4.18)$$

$$A = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{Q}}, \quad B = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{Q}} \quad (4.19)$$

Все корни уравнения (4.13) различны и общее решение дифференциального уравнения (4.8) представим в виде

$$d = C_1 e^{x_1 t} + C_2 e^{x_2 t} + C_3 e^{x_3 t} \quad (4.20)$$

Т. к. коэффициенты уравнения (4.10) – действительны, то комплексные корни  $x_2$  и  $x_3$  встречаются сопряжёнными парами  $\sigma \pm i\omega$ .

Соответствующие пары членов в решении также будут комплексно сопряжёнными и могут быть заменены действительными членами:

$$t^m C e^{(\sigma+i\omega)t} + t^m \bar{C} e^{(\sigma-i\omega)t} = t^m e^{\sigma t} (A \cos \omega t + B \sin \omega t) = R t^m e^{\sigma t} \sin(\omega t + \alpha) \quad (4.21)$$

Определение постоянных  $C_i$  ( $i=1,2,3$ ) удобнее всего выполнять, рассматривая систему линейных уравнений:

$$\begin{aligned} d_1 &= C_1 e^{x_1 t_0} + C_2 e^{x_2 t_0} + C_3 e^{x_3 t_0} \\ \dot{d}_1 &= C_1 x_1 e^{x_1 t_0} + C_2 x_2 e^{x_2 t_0} + C_3 x_3 e^{x_3 t_0} \\ \ddot{d}_1 &= C_1 x_1^2 e^{x_1 t_0} + C_2 x_2^2 e^{x_2 t_0} + C_3 x_3^2 e^{x_3 t_0} \end{aligned} \quad (4.22)$$

Правые части уравнений (4.22) определяются из начальных условий:

при  $t = t_0$ ,  $d = d_1$ ,  $\dot{d} = \dot{d}_1$ ,  $\ddot{d} = \ddot{d}_1$ , а  $\ddot{d}$  находится из соотношения (1.3).

5. В работе [2] имеется существенная неточность, устраняемая ниже.

При рассмотрении решения и выводе нового закона насыщения следует отметить, что уравнение (17) имеет два корня:

$$N_{1,2} = \frac{-N^l}{\frac{1+I}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{1+I}{2}\right)^2 + \frac{I}{\xi} N^l}}, \quad (5.1)$$

где  $\xi = (\Gamma_c + \Gamma_d) / \Gamma_d$ .

Тогда

$$\gamma \rightarrow \gamma_\alpha \quad \text{и} \quad \Gamma \rightarrow \Gamma_d, \quad \xi \rightarrow 2, \quad N^e \rightarrow -1$$

При  $\xi \rightarrow 2$  и  $N^e \rightarrow -1$

$$N_{1,2} = \frac{-2N^e}{1 + I \pm \sqrt{1 + I^2}} \quad (5.2)$$

При  $I \ll 1$

$$N_1 = \frac{-N^e}{1 + \frac{I}{2}}, \quad N_2 = \frac{-2N^e}{I} \quad (5.3)$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е. М. Теория поля. Теоретическая физика. - Т.II.- М.:Наука.- 1973, 504 с.
2. Surdutovich G. I., Ghiner A. V. A twolevel atom and the problem of the radiation reaction in the semi classical theory: optical Bloch equations revisited. Physica A283 (2000), p. 212-217.
3. Meystre P., Sargent M., Elements of Quantum Optics, Springer, Berlin, 1993, 271 p.
4. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров.- М.:Наука, 1970.-720 с.
5. Roytman A., Ghiner A. About Damping of Charge Particle Motion by Electromagnetic Waves Radiation, XXVI Encontro Nacional de Física da Matéria Condensada, Resumos, 6-10 maio 2003, Caxambu, Brasil, p. 79.

УДК 004.65

## СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА БАЗЫ ДАННЫХ. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ОБЪЕКТНО-РЕЛЯЦИОННЫХ БАЗ ДАННЫХ

Тодорико О.А., аспирант, Гоменюк С.И., к. ф.-м. н., доцент

*Запорожский государственный университет*

В статье рассматриваются различные подходы к построению баз данных, их достоинства и недостатки. Наиболее широко раскрываются недостатки реляционного подхода при использовании его в нетрадиционных приложениях со сложной структурой данных. Описываются исследования проектов, выходящих за пределы реляционной модели представления данных, но более подходящих для использования в таких приложениях. Наиболее перспективным из них является объектно-реляционный подход.

*Ключевые слова:* база данных, реляционная база данных, объектно-реляционная база данных, модель данных, система управления базами данных, типы баз данных.

Тодоріко О.А., Гоменюк С.І. СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД НА БАЗИ ДАНИХ. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ОБ'ЄКТНО-РЕЛЯЦІЙНИХ БАЗ ДАНИХ/ Запорізький державний університет, Україна.

У статті розглядаються різні підходи до побудови баз даних, їхні достоїнства та недоліки. Найбільш повно розкриваються недоліки реляційного підходу при використанні його в нетрадиційних додатках зі складною структурою даних. Описуються дослідження проектів, що виходять за межі реляційної моделі подання даних, але більше підходять для використання в таких додатках. Найбільш перспективним з них є об'єктно-реляційний підхід.

*Ключові слова:* база даних, реляційна база даних, об'єктно-реляційна база даних, модель даних, система керування базами даних, типи баз даних.

Todoriko O.A., Gomenyuk S.I. MODERN SIGHT ON DATABASES. PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF OBJECT-RELATIONAL DATABASES/ Zaporizhzhya State University, Ukraine

Different approaches to database design, their advantages and disadvantages are considered in the article. Disadvantages of relational data model applied in original applications with complex data structure are covered widely. Researches of non-relational date model project are described in the article. The mast perspective non-relational date model among them is object-rational approach.

*Key words:* database, relational database, object-relational database, model of the data, control system of databases, types of databases.

С ростом объема информации, которая подлежит долговременному хранению, растут требования и к программному обеспечению, что вызывает необходимость разрабатывать более гибкие подходы к управлению большими объемами информации. На данный момент для структурированного и эффективного хранения данных, а также управления ими используют базы данных (БД), под которыми понимается набор структурированно упорядоченных данных и правила управления ими.

В зависимости от способа организации данных различают разные типы БД. В настоящее время наиболее распространен и исследован реляционный подход к разработке систем управления базами данных (СУБД). Считается, что его достаточно для представления данных любой предметной области. Вместе с тем при использовании данного подхода в нетрадиционных приложениях со сложной структурой данных проявляется его некоторая ограниченность, невозможность адекватного отражения семантики предметной области. Поэтому теперь, когда таких областей становится все больше, исследуются направления, выходящие за пределы реляционной модели данных [1].

Чтобы лучше понимать пути развития реляционных и постреляционных СУБД, которые возникли в соответствии с новыми требованиями к разработке БД, в связи с применением последних в нестандартных предметных областях, следует рассмотреть ранние (или как их еще называют дореляционные) СУБД. Внутренняя организация последующих систем во многом основана на использовании методов ранних систем.

Рассмотрим общие подходы к организации трех типов ранних систем: систем, основанных на инвертированных списках, иерархических и сетевых. База данных, организованная с помощью инвертированных списков, похожа на реляционную БД, но с тем отличием, что хранимые таблицы и пути доступа к ним видны пользователям. Иерархическая БД состоит из упорядоченного набора деревьев; более точно, из упорядоченного набора нескольких экземпляров одного типа дерева. Сетевой подход к организации данных является расширением иерархического. В иерархических структурах запись-потомок должна иметь в точности одного предка; в сетевой структуре данных потомок может иметь любое число предков. Сетевая БД состоит из набора записей и набора связей между этими записями, то есть из набора экземпляров каждого типа из заданного в схеме БД набора типов записи и набора экземпляров каждого типа из заданного набора типов связи.

К сильным местам ранних СУБД можно отнести:

- Развитые средства управления данными во внешней памяти на низком уровне;
- Возможность построения вручную эффективных прикладных систем;
- Возможность экономии памяти за счет разделения подобъектов (в сетевых системах) [2].

К недостаткам:

- Сложность использования;
- Фактически необходимы знания о физической организации;
- Прикладные системы зависят от этой организации;
- Их логика перегружена деталями организации доступа к БД [2].

К достоинствам реляционного подхода относят:

наличие небольшого набора абстракций, которые позволяют сравнительно просто моделировать большую часть распространенных предметных областей и допускают точные формальные определения, оставаясь интуитивно понятными;

наличие простого и в то же время мощного математического аппарата, опирающегося главным образом на теорию множеств и математическую логику и обеспечивающего теоретический базис реляционного подхода к организации баз данных;

возможность ненавигационного манипулирования данными без необходимости знания конкретной физической организации баз данных во внешней памяти [3].

Реляционные системы далеко не сразу получили широкое распространение. В то время, как основные теоретические результаты в этой области были получены еще в 70-х, и тогда же появились первые прототипы реляционных СУБД, долгое время считалось невозможным добиться эффективной реализации таких систем. Однако отмеченные выше преимущества и постепенное накопление методов и алгоритмов организации реляционных баз данных и управления ими привели к тому, что уже в середине 80-х годов реляционные системы практически вытеснили ранние СУБД.

В реляционных базах данных все данные отображаются в двухмерных таблицах. База данных, таким образом, это ни что иное, как набор таблиц. Строки таблицы составлены из полей, заранее известных

базе данных. В большинстве систем нельзя добавлять новые типы данных. Каждая строка в таблице соответствует одной записи. Положение данной строки может изменяться вместе с удалением или вставкой новых строк. Так как таблицы должны содержать постоянное число полей заранее определенных типов, приходится создавать дополнительные таблицы, учитывающие индивидуальные особенности элементов, при помощи внешних ключей. Такой подход сильно усложняет создание сложных взаимосвязей в базе данных.

В настоящее время основным недостатком реляционных СУБД является не их недостаточная эффективность, а присущая этим системам некоторая ограниченность при использовании в так называемых нетрадиционных областях (например, в системах автоматизации проектирования), в которых требуются предельно сложные структуры данных. Еще одним часто отмечаемым недостатком реляционных баз данных является невозможность адекватного отражения семантики предметной области [4].

Самое большое, что обеспечивают реляционные СУБД, - это возможность формулирования и поддержки ограничений целостности данных. Плоские нормализованные отношения универсальны и теоретически достаточны для представления данных любой предметной области. Однако в нетрадиционных приложениях в базе данных появляется множество таблиц, над которыми постоянно выполняются операции соединения, необходимые для воссоздания сложных структур данных, присущих предметной области [5]. Осознавая эти ограничения и учитывая недостатки реляционных систем, исследователи в области баз данных разрабатывают проекты, основанные на идеях, выходящих за пределы реляционной модели данных.

В результате исследований выделяют такие постреляционные системы: распределенные СУБД, системы клиент-сервер, интегрированные или федеративные системы и мультибазы данных, объектно-ориентированные, объектно-реляционные СУБД. Основная задача систем управления распределенными базами данных состоит в обеспечении средства интеграции локальных баз данных, располагающихся в некоторых узлах вычислительной сети, с тем, чтобы пользователь, работающий в любом узле сети, имел доступ ко всем этим базам как к единой базе данных.

При этом должны обеспечиваться:

- простота использования системы;
- возможности автономного функционирования при нарушениях связности сети или при административных потребностях;
- высокая степень эффективности [6].

Возможны однородные и неоднородные распределенные базы данных. В однородном случае каждая локальная база данных управляется одной и той же СУБД. В неоднородной системе локальные базы данных могут относиться даже к разным моделям данных. Сетевая интеграция неоднородных баз данных - это актуальная, но очень сложная проблема. Многие решения известны на теоретическом уровне, но пока не удалось справиться с главной проблемой - недостаточной эффективностью интегрированных систем [7].

Направление интегрированных или федеративных систем неоднородных БД и мульти-БД появилось в связи с необходимостью комплексирования систем БД, основанных на разных моделях данных и управляемых разными СУБД. Основной задачей интеграции неоднородных БД является предоставление пользователям интегрированной системы глобальной схемы БД, представленной в некоторой модели данных, и автоматическое преобразование операторов манипулирования БД глобального уровня в операторы, понятные соответствующим локальным СУБД. В теоретическом плане проблемы преобразования решены, имеются реализации [6].

В системах мульти-БД не поддерживается глобальная схема интегрированной БД и применяются специальные способы именованя для доступа к объектам локальных БД. Как правило, в таких системах на глобальном уровне допускается только выборка данных. Это позволяет сохранить автономность локальных БД. Как правило, интегрировать приходится неоднородные БД, распределенные в вычислительной сети. Это в значительной степени усложняет реализацию. Дополнительно к собственно проблемам интеграции приходится решать все проблемы, присущие распределенным СУБД: управление глобальными транзакциями, сетевая оптимизация запросов и т.д.

Для внешнего представления интегрированных и мульти-БД используется (иногда расширенная) реляционная модель данных. В последнее время все чаще предлагается использовать объектно-ориентированные модели, но на практике пока основой является реляционная модель. Поэтому, в частности, включение в интегрированную систему локальной реляционной СУБД существенно проще и эффективнее, чем включение СУБД, основанной на другой модели данных.

Возникновение направления объектно-ориентированных баз данных (ООБД) определяется прежде всего потребностями практики: необходимостью разработки сложных информационных прикладных систем, для которых технология предшествующих систем БД была не вполне удовлетворительной. Направление ООБД возникло сравнительно давно. Публикации появлялись уже в середине 1980-х. Однако наиболее активно оно развивается в последние годы. С каждым годом увеличивается число публикаций и реализованных коммерческих и экспериментальных систем.

Соответствующий базис таким системам обеспечивают как предыдущие работы в области БД, так и давно развивающиеся направления языков программирования с абстрактными типами данных и объектно-ориентированных языков программирования. Что касается связи с предыдущими работами в области БД, то наиболее сильное влияние на работы в области ООБД оказывают проработки реляционных СУБД и хронологически следующее за ними семейство БД, в которых поддерживается управление сложными объектами (например: распределенные БД, мульти-БД и т.д.). Кроме того, исключительное влияние на идеи и концепции ООБД и, как кажется, всего объектно-ориентированного подхода оказал подход к семантическому моделированию данных. Достаточное влияние оказывают также развивающиеся параллельно с ООБД направления дедуктивных и активных БД [7].

Это СУБД, основанные на правилах, т.е. в них правила играют существенно более важную роль, чем в традиционных реляционных системах. По определению БД называется активной, если СУБД по отношению к ней выполняет не только те действия, которые явно указывает пользователь, но и дополнительные действия в соответствии с правилами, заложенными в саму БД. Дедуктивная БД состоит из двух частей: экстенциональной, содержащей факты, и интенциональной, содержащей правила для логического вывода новых фактов на основе экстенциональной части и запроса пользователя.

В наиболее общей и классической постановке объектно-ориентированный подход базируется на следующих концепциях:

- объекта и идентификатора объекта;
- атрибутов и методов;
- классов;
- иерархии и наследования классов [7].

ООСУБД оптимально подходят для организации распределенных вычислений. Такая архитектура имеет ряд недостатков, главным из которых является вопрос масштабируемости. Базы данных работают в распределенных средах, в которых объекты распределены по разным рабочим станциям и серверам и где любой пользователь может получить доступ к любому объекту. Благодаря стандартам межкомпонентного взаимодействия все эти фрагменты кода комбинируются друг с другом независимо от аппаратного, программного обеспечения, операционных систем, сетей, компиляторов, языков программирования, разных средств организации запросов и формирования отчетов и динамично изменяются при манипулировании объектами без потери работоспособности [8].

Еще одним недостатком объектно-ориентированных систем баз данных является их склонность к ошибкам, которая может привести к некоторым сложностям при работе с базами данных. К тому же в настоящее время объектно-ориентированным базам данных не хватает теоретической основы РБД, которые можно однозначно описывать математически с помощью реляционной алгебры. Проблемы ООБД гораздо более сложные, чем решаемые в реляционных системах [9].

Кроме того, во всем мире значительные средства уже инвестированы в реляционные СУБД. Многие организации не уверены, что затраты, связанные с переходом на объектные базы данных, окупятся. Поэтому пользователи заинтересованы в комбинированном подходе, который бы позволил воспользоваться достоинствами объектных баз данных, не отказываясь полностью от реляционных БД. Такие решения действительно существуют. Если переход от реляционной базы к объектной обходится слишком дорого, то применение последней в качестве расширения и дополнения реляционных СУБД часто является более экономичной альтернативой. Компромиссные решения позволяют соблюсти баланс между объектами и реляционными таблицами. То есть оптимальным решением является создание гибридных объектно-реляционных СУБД, которые могут сохранять и традиционные табличные данные, и объекты [10].

Объектно-реляционная концепция относительно новая. Много лет старались расширить реляционную модель базы данных, ведь переход реляционных наборов данных на объектно-ориентированную структуру очень не легкий. Прежде чем был получен результат, было проведено множество различных исследований. В результате возникли новые концепции, которые назвали постреляционными. Название “постреляционные” должно было напоминать о попытке расширения реляционной модели. К основным концепциям относятся:

- Расширенные, обусловленные и определенные пользователем типы данных;

- Функции и методы;
- Конструкторы типов;
- Тождественность объекта;
- Рекомендации [11].

Основа этих систем является соответственно моделью соотношения. Основным признаком разницы между реляционными и объектно-реляционными базами данных является поддержка комплексных типов данных.

В объектно-реляционных базах данных информация организуется в виде знакомых реляционных табличных структур. А саму объектно-реляционную модель характеризуют как модель с “объектно-ориентированной концепцией в форме таблиц”. Данные перерабатываются уже с самой таблицей, поля таблицы - структурированные данные, также поддерживаются абстрактные типы данных. Основной критерий для объектно-реляционной БД - механизм наследования методов и структур.

Объектно-реляционные системы поддерживают наследование на табличном уровне, на котором таблица может принимать свойства уже существующей таблицы. Другой полезный признак - это то, что объектно-реляционные от объектно-ориентированных баз данных взяли тождественность объекта. Каждому объекту автоматически приписывается уникальный идентификатор, который используется при моделировании связей. Этот идентификатор остается неизменным на протяжении всего существования объекта [9].

Добавление новых объектных возможностей к реляционным системам в объектно-реляционных системах управления базами данными (ОРСУБД) серьезно влияет на технологию современных информационных систем. Объектно-реляционный подход унаследовал транзакционные возможности и эффективность РБД, а также гибкость ООБД. Проектировщики баз данных могут работать со знакомыми табличными структурами и языками определения данными, усваивая при этом новые возможности управления объектами.

Подведем краткие итоги статьи. В настоящее время для хранения, обработки и управления данными используют различные подходы к построению баз данных. Наиболее распространенным и изученным из которых является реляционный подход. Теоретически его достаточно для представления данных любой предметной области. Однако при использовании такого подхода в нетрадиционных приложениях со сложной структурой данных проявляется его некоторая ограниченность, невозможность адекватного отражения семантики предметной области. Поэтому сейчас, когда таких областей становится все больше, исследуются направления, выходящие за пределы реляционной модели данных.

Наиболее перспективными считаются исследования объектно-ориентированного и объектно-реляционного подходов. ООБД позволяют использовать различные типы данных и оптимально подходят для организации распределенных вычислений. Но отличается сложностью в реализации, предрасположенностью к ошибкам, к тому же им не хватает теоретической основы, надежного и достаточного математического аппарата. А перспективы ОРБД открывают новые возможности для хранения и управления разными типами данных, сохраняя при этом привычные табличные структуры данных. Опять же, в отличие от чисто объектных баз данных, переход к объектно-реляционным системам не требует массового перепрограммирования.

Наиболее важными новыми объектно-реляционными возможностями являются:

- определяемые пользователями типы (UDT - User-Defined Types),
- определяемые пользователями функции (UDF - User-Defined Functions),
- инфраструктура (методы индексации и доступа, а также усовершенствованные способы оптимизации).

Структуры данных вкладываются в однотипные большие двоичные объекты (BLOBs - Binary Large Objects). Интересна новая возможность создания серверных функций для индексирования, поиска и обработки хранимых мультимедийных данных. То есть при использовании объектно-реляционного подхода моделируются и данные, и процессы: информация, которой располагаем, и то, что собираем с ней делать.

На сегодня ОРСУБД добились наибольшего успеха в областях управления мультимедийными объектами и сложными данными, такими как геопространственные данные и временные ряды финансовых приложений. Системы часто используются в Web-приложениях и специализированных складах данных. Развитые Web-приложения демонстрируют преимущества возможностей ОРСУБД по интегрированному управлению мультимедиа, традиционными структурированными данными и шаблонами для динамической генерации страниц.

Все это делает перспективным дальнейшее развитие объектно-реляционных систем баз данных. Раскрывает новые возможности для хранения и управление разными типами данных, позволяя использовать их в различных нетрадиционных предметных областях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. <http://www.osp.ru/DBMS/1998/03/20.htm> Джим Грей. О сегодняшнем и завтрашнем дне баз данных//СУБД.- 1998.-№ 3.
2. Дейт К. Введение в системы баз данных: Пер. с англ., 6-е изд., перераб. и доп. - К.: Диалектика,- 1998.- 495с.
3. Мейер Д. Теория реляционных баз данных.- М.: Финансы и статистика, 1987.-479с.
4. <http://www.citforum.ru/database/articles/keepdata.shtml> Вон Ким. Три основных недостатка современных хранилищ данных
5. Heuer Andreas Objektorientierte und objektrelationale Datenbanksysteme.- Bonn: OBJEKTSpektrum, 1998. - 320s.
6. [http://www.citforum.ru/database/articles/art\\_25.shtml](http://www.citforum.ru/database/articles/art_25.shtml) Сергей Кузнецов. Тенденции в мире систем управления базами данных.
7. [http://www.citforum.ru/database/articles/future\\_01.shtml](http://www.citforum.ru/database/articles/future_01.shtml) Сергей Кузнецов. Будущие направления исследований в области баз данных: десять лет спустя.
8. Аткинсон М., Бансилон Ф., ДеВитт Д., Диттрих К., Майер Д., Здоник С. Манифест систем объектно-ориентированных баз данных//СУБД.- 1995.-№ 4.
9. [www.citforum.ru/database/articles/manifests/art\\_28.shtml](http://www.citforum.ru/database/articles/manifests/art_28.shtml) Сергей Кузнецов. Три манифеста баз данных: ретроспектива и перспективы.
10. [http://www.citforum.ru/database/articles/art\\_24.shtml](http://www.citforum.ru/database/articles/art_24.shtml) Сергей Кузнецов. Объектно-ориентированные базы данных - основные концепции, организация и управление: краткий обзор.
11. [www.citforum.ru/database/articles/ooo\\_rel\\_data/](http://www.citforum.ru/database/articles/ooo_rel_data/) Евгений Григорьев. Объектно-ориентированная организация реляционных данных (формальное обоснование объектно-ориентированных систем управления реляционными БД).

# БІОЛОГІЧНІ НАУКИ

УДК 582.951.6:577.1:633.881

## ДОСЛІДЖЕННЯ ФЛАВОНОЇДІВ ЛЬОНКУ КРЕЙДЯНОГО

Батура Н.Р., старший викладач, Панов С.Ж., студент

*Запорізький державний університет*

Отримано спиртовий витяг із надземної частини льонку крейдяного *Linaria cretacea* та методом хроматографії на папері досліджено його флавоноїдний склад. Установлено наявність у досліджуваному вилученні речовини, ідентичної флавонолу кверцетину.

*Ключові слова:* Льонок крейдяний, флавоноїди льонку крейдяного, кверцетин та його похідні, хроматографічний аналіз.

Батура Н.Р., Панов С.Ж. ИССЛЕДОВАНИЕ ФЛАВОНОИДОВ ЛЬНЯНКИ МЕЛОВОЙ/ Запорожский государственный университет, Украина

Получено спиртовое извлечение из надземной части льнянки меловой *Linaria cretacea*, и методом хроматографии на бумаге исследован его флавоноидный состав. Установлено наличие в исследуемом извлечении вещества, идентичного флавонолу кверцетину.

*Ключевые слова:* Льнянка меловая, флавоноиды льнянки меловой, кверцетин и его производные, хроматографический анализ.

Batura N.R., Panov S.G. FLAVONOIDS OF LINARIA CRETACEA RESEARCH/ Zaporizhzhya State University, Ukraine

Extraction from an elevated part if reteived spirit *Linaria cretacea*. By a method of a chromatography on a paper is investigated it flavonoid structure. Presence in researched extraction of the substance identical to flavonol quercetinum if established.

*Key words:* *Linaria cretacea*, flavonoids of *linaria cretacea*, quercetinum and it erivate, chromatographyc analysis

Для рослин роду Льонок *Linaria* є характерною наявність різних груп вторинних метаболітів – алкалоїдів, іридоїдних глікозидів та флавоноїдів, що виявляють широкий спектр фізіологічної активності. Численними дослідженнями доведена кардіотонічна, судиннозвужувальна, ранозагоювальна, протизапальна, анальгезуюча та фунгіцидна активність флавоноїдів різних видів льонку. Крім того, народна медицина рекомендує галенові препарати з надземної частини льонку при порушенні обміну речовин, захворюваннях печінки, серця, головному болі, анемії, задишці, а також як антигельмінтний засіб. Для вилучень із трави льонку доведена здатність до стимулювання нервової системи та підвищення тону скелетної мускулатури [1].

Об'єктом дослідження в нашій роботі був обраний вид роду Льонок – льонок крейдяний *Linaria cretacea*, який досі не знайшов застосування в офіційній медицині, очевидно, внаслідок недостатньо вивченого хімічного складу. Ряд лікувальних ефектів препаратів рослин роду Льонок може бути зумовлений дією групи флавоноїдних сполук. Зважаючи на те, що флавоноїди, маючи широкий спектр біологічної активності, є нетоксичними сполуками [2], дослідження цієї групи речовин стає актуальним для сучасної біохімії та медицини.

Метою досліджень було вивчення флавоноїдного складу трави льонку крейдяного.

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ЧАСТИНА

У рослинних тканинах флавоноїди зазвичай представлені численними глікозидами, ефірами та агліконами, тому на початкових етапах дослідження доцільно аналізувати більш просту суміш агліконів та монозидів [3]. Так, оскільки аглікони та монозиди флавоноїдів майже нерозчинні у воді, із рослинної сировини їх екстрагують органічними розчинниками (етанолом, етиловим ефіром, ацетоном) [4]. Тому для приготування вилучення з трави льонку був використаний 96%-ний етанол.

5 г подрібненої сировини з точністю  $\pm 0,1$  г поміщали в колбу на 250 мл і заливали 100 мл 96%-ного етанолу. Колбу з'єднували із зворотним холодильником і нагрівали на водяній бані протягом 10 хвилин з моменту початку кипіння спирту в колбі. Після охолодження отриманий витяг фільтрували через паперовий фільтр [5, 6].

Для фракціонування компонентів досліджуваного витягу було обрано хроматографічне розділення. Як рухому фазу ми використали 15%-ний розчин оцтової кислоти [3]. На хроматографічний папір FN-4 за

допомогою капіляра наносили досліджуваний спиртовий екстракт із трави льонку у вигляді плям. Кількість нанесення підбирали експериментально; оптимальним є нанесення 40 мкл вилучення. Папір поміщали в камеру і хроматографували висхідним методом до проходження фронтом розчинника 17 см. Потім хроматограму висушували на повітрі до випаровування залишків розчинника і переглядали у видимому та ультрафіолетовому світлі, обробляли спиртовим розчином хлориду алюмінію. Після обробки хроматограму переглядали в ультрафіолетовому світлі.

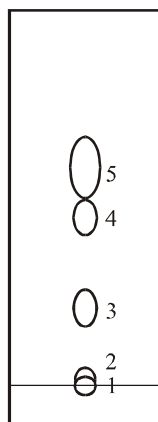


Рис. 1 Схема паперової хроматограми спиртового екстракту трави льонку крейдяного в 15%-ній оцтовій кислоті

Результати переглядання хроматограми у видимому та ультрафіолетовому світлі містить табл. 1.

Таблиця 1 - Ідентифікація вторинних метаболітів льонку крейдяного при хроматографуванні в системі 15%-ної оцтової кислоти

№ плями	Rf	Без проявлення		AlCl <sub>3</sub> , 5% сп.р-н		ідентифікація
		BC	УФ	BC	УФ	
1	0	зел-кор	черв-кор	зел	черв-кор	хлорофіл
2	0,04	бл-жовт	бл-зел-жовт	бл-жовт	я-зел-жовт	флавонол
3	0,25	–	блідо-коричневий	–	я-жовтий	флавоон або флавонол-3-глікозид
4	0,49	–	блідо-зелений	–	зелений	не ідентифіковано
5	0,65	–	блакитний	–	блакитний	не ідентифіковано

У результаті хроматографічного розділення, переглядання у видимому та ультрафіолетовому світлі до та після проявлення хлоридом алюмінію виявлено 5 плям. Із них речовина в першій плямі за своїми характеристиками (зелене забарвлення у видимому світлі та червона флуоресценція в ультрафіолеті) може бути ідентифікована як хлорофіл. Однак наявність коричневого відтінку дає змогу вважати, що на лінії старту поруч із хлорофілом розташована інша речовина, можливо, флавоноїдної природи.

Пляма 2, при ідентифікації за Бандюковою [7], належить до групи флавонолів. Про це свідчить зміна блідо-зелено-жовтої флуоресценції в ультрафіолеті на яскраво-зелено-жовту після обробки хлоридом алюмінію, що є характерним для флавонолів із вільною 3-оксигрупою).

Пляма 3 за своїми характеристиками може бути ідентифікована з флавоном або 3-глікозидом флавонолу, оскільки має в ультрафіолеті коричневе забарвлення, яке після обробки хлоридом алюмінію змінюється на жовто-зелене [7]. Плями 4 і 5 не ідентифікувалися.

Оскільки походження забарвлення плями 1 може бути викликано як накладенням забарвлення речовини з плями 2, так і наявністю там іншої речовини, ця область хроматограми потребує більш детального дослідження.

Ділянку хроматограми, що містить плями 1 та 2, вирізали, подрібнювали та поміщали в пробірку, заливали 5 мл етанолу та залишали на ніч. Потім вміст пробірки фільтрували через скляний фільтр №4, а отриманий фільтрат згущали в 5 разів та наносили на хроматографічний папір.

Для дослідження були використані такі системи розчинників:

А) бутанол – оцтова кислота – вода (4:1:5);

Б) етилацетат, насичений водою;

В) Форестальський розчинник (оцтова кислота - концентрована хлористоводнева кислота - вода (30:3:10);

Г) толуол – оцтова кислота – вода (4:1:5);

Д) 2 н розчин хлористоводневої кислоти [8].

Хроматографування тривало до проходження фронтом розчинника 100 мм. Потім хроматограми аналізували у видимому та ультрафіолетовому світлі, обприскували 5%-ним етанольним розчином хлориду алюмінію.

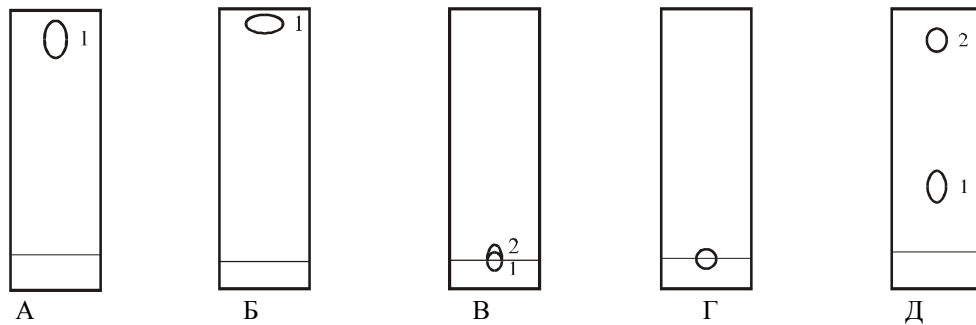


Рис. 2 Хроматографічне розділення малополярних флавоноїдів спиртового комплексу з трави льонку крейдяного в різних системах розчинників

Аналіз отриманих результатів дозволяє дійти таких висновків:

- при хроматографуванні в системах А, Б і Г розділення компонентів вилучення не відбувається; елюенти є непридатними для дослідження;
- незважаючи на те, що при елюції у Форестальському розчиннику флавоноїди, характерні для льонків, розділяються з великими розбіжностями у величинах R<sub>f</sub>, у наших умовах хроматографування ця система не дає очікуваних результатів внаслідок невеликої величини пробігу фронту розчинника;
- хроматографування в системі Д дозволяє встановити, що досліджувана зона хроматограми містить лише дві речовини, наявність яких встановлено раніше: хлорофіл та флавонол.

Відомо, що хроматографування у двох напрямках забезпечує розділення речовин, які мають близькі значення хроматографічної рухливості в одній системі. Тому для детальнішого дослідження речовин флавоноїдної природи в спиртовому комплексі льонку крейдяного нами було проведено двомірне хроматографування. Перший напрямок хроматографування – у системі 15%-ної оцтової кислоти, а другий – толуол – оцтова кислота – вода (4:1:5).

У системі 15%-ної оцтової кислоти відбувається розділення компонентів спиртового комплексу залежно від їхньої полярності: глікозиди флавоноїдів та інші полярні сполуки мають у цій системі розчинників більші значення R<sub>f</sub>, ніж аглікони флавоноїдів і неполярні речовини, що розташовуються ближче до лінії старту або залишаються нерухомими. Друга система розчинників є менш полярною, і тому краще розділяє речовини агліконової природи. Таким чином, при двовимірному хроматографуванні відбувається достатньо повний розподіл спиртового комплексу льонку крейдяного на компоненти.

Хроматографування тривало до проходження фронтами розчинників в обох напрямках 130 мм. Час хроматографування в першій системі склав 2 години 10 хвилин, а в другій – 1 годину 30 хвилин. Після завершення елюювання хроматограму висувували на повітрі і передивлялися у видимому та ультрафіолетовому світлі до та після проявлення 5%-ним спиртовим розчином хлориду алюмінію і парами амоніаку. Переглядання хроматограми у видимому та ультрафіолетовому світлі до і після обробки проявниками дозволило встановити, що деякі плями залишилися індивідуальними, а деякі розділилися. Висновок про індивідуальність речовин робили на основі зміщення плями в напрямку руху фронту другої системи розчинників.

Нижче наведено схему хроматограми та результати ідентифікації речовин у хроматографічних плямах. Стрілками показаний напрямок руху фронтів розчинників; цифри над стрілками вказують на систему розчинників.

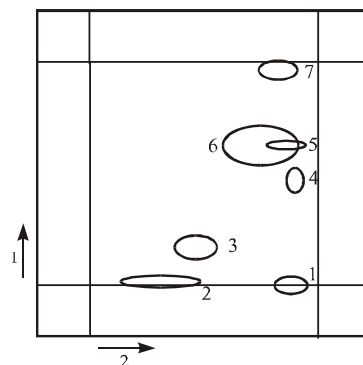


Рис. 3 Схема двомірної хроматограми спиртового комплексу льонку крейдяного в системах 15%-на оцтова кислота (1) і толуол – оцтова кислота – вода (4:1:5) (2)

Результати аналізу хроматограми у видимому та ультрафіолетовому світлі та проявлення реактивами зведені в таблиці 2.

Таблиця 2 Ідентифікація вторинних метаболітів льонку крейдяного на паперовій хроматограмі в системах 15%-ної оцтової кислоти (1) та толуол – оцтова кислота – вода (4:1:5) (2)

№ пл	Rf в 1	Rf в 2	Без проявлення		AlCl <sub>3</sub>		NH <sub>3</sub>	Ідентифікація
			ВС	УФ	ВС	УФ	УФ	
1	0	0,82	зелений	червоний	зел	черв	черв	хлорофіл
2	0,04	0,31	–	бл-зел-жовт	бл-жовт	я-зел-жовт	бл-ж	флавонол
3	0,2	0,46	–	погл	бл-жовт	лим-жовт	бл-ж	флавонол або флавонол-3-глікозид
4	0,46	0,92	–	бл-блак	–	бл-блак	бл-блак	оксикорична к-та
5	0,59	0,84	–	бл-кор	–	жовт-кор	жовт-кор	не ідентифіковано
6	0,6	0,77	бл-кор	бл-блак	бл-кор	бл-блак	бл-блак	оксикорична к-та
7	0,96	0,82	бл-кор	бл-блак	бл-кор	бл-блак	бл-блак	не ідентифіковано

При перегляданні хроматограми в ультрафіолеті виявлено 7 плям.

Пляма 1 у видимому світлі має зелений колір, а в ультрафіолеті – червону флуоресценцію. Це дозволяє підтвердити, що речовина в плямі 1 є хлорофілом.

Поведінка плями 2 до та після обробки парами амоніаку та 5% розчином хлориду алюмінію дала змогу підтвердити висловлене раніше припущення відносно того, що речовина у плямі є флавонолом, який має вільну 3-оксигрупу.

Пляма 3 до обробки хроматограми проявниками поглинає ультрафіолетові промені; після проявлення хлоридом алюмінію набуває жовтої флуоресценції. Така властивість є характерною ознакою флавонолів та флавонол-3-глікозидів.

Таким чином, із семи виявлених плям перша є хлорофілом, пляму 2 ідентифіковано з флавонолом, 3 – з флавоном або 3-глікозидом флавонолу; плями 4 та 6 за блакитною флуоресценцією в ультрафіолеті попередньо ідентифіковані як оксикоричні кислоти.

Зважаючи на літературні свідчення відносно флавоноїдного складу рослин роду Льонки, ми можемо припустити, що речовиною в плямі 2 є кверцетин. Із метою ідентифікації ми проводили хроматографічний аналіз для порівняння рухомості речовини в плямі з достовірним зразком кверцетину. Хроматографування здійснювалось у системах толуол – оцтова кислота – вода та у Форестальському розчиннику. Величина пробігу фронту розчинника становила 130 мм. Значення Rf флавоноїдних плям і кверцетину збігаються. Це дає змогу з певним рівнем достовірності ідентифікувати речовину в плямі 2 з кверцетином.

Для остаточного підтвердження ідентичності речовини з кверцетином ми отримали УФ-спектр, елюювавши 96° етанолом речовину з двомірної хроматограми. Перша, довгохвильова, смуга поглинання має максимум при довжині хвилі 371 нм, а короткохвильова (друга) – при 254 нм. Таке розташування максимумів свідчить про приналежність речовини до групи флавонолу [3]. Крім максимумів поглинання в спектрі досліджуваної речовини знайдено два “плеча” – при 269 та 301 нм. Наявність двох максимумів і “плечей” у спектрі свідчить про наявність замісників у положеннях 3' та 4'. Порівняння розташування екстремальних точок практично отриманого спектру досліджуваної речовини в плямі 2 з літературними відомостями щодо спектральних характеристик кверцетину [9, 10] дає змогу остаточно ідентифікувати речовину як кверцетин.

Максимуми поглинання речовини, що міститься у плямі 3 (табл. 2), виявляються при 268 та 370 нм. Інтенсивність першого максимуму дещо перевищує інтенсивність поглинання другого, що є притаманним для флавонолів і флавонолів нормального ряду. Згідно досліджених нами літературних джерел розташування піків поглинання в визначеній області спектру свідчить про приналежність досліджуваної речовини до 3-глікозидів кверцетину, що містять один цукровий залишок [9].

Плями 4 та 6 (табл. 2) виявляють блідо-блакитну флуоресценцію, що є характерною ознакою оксикоричних кислот або ізофлавонолів. Розташування максимумів поглинання в межах 230 – 240 та 290-320 нм свідчить про приналежність речовин у названих плямах до оксикоричних кислот [3].

## ВИСНОВКИ

Методами хроматографічного та спектрального аналізу в траві льонку крейдяного виявлені:

1. Флавоноловий аглікон кверцетин;
2. 3-монозид кверцетину;
3. Дві речовини, які попередньо ідентифіковані як оксикоричні кислоти.

### СПИСОК СКОРОЧЕНЬ У ТАБЛИЦЯХ ОПИСІВ ХРОМАТОГРАМ

блак – блакитний	погл – поглинання
бл – блідо	р-н – розчин
ВС – видиме світло	сп. – спиртовий
жовт – жовтий	УФ – ультрафіолетове світло
зел – зелений	фіол – фіолетовий
кор – коричневий	черв – червоний
лим – лимонний	я – яскравий

## ЛІТЕРАТУРА

1. Растительные ресурсы СССР: Цветковые растения, их химический состав, использование; Сем. Caprifoliacea – Plantaginacea. – Л.: Наука, 1990. – 328 с.
2. Барабой В. А. Биологическое действие растительных фенольных соединений. – К.: Наукова думка, 1976. – 260 с.
3. Запрометов М.Н. Основы биохимии фенольных соединений. Учебн. пособие для биол. специальностей университетов. – М.: Высшая школа, 1974. – 214 с.
4. Химический анализ лекарственных растений / Ладыгина Е.Я. и др./ Под ред. Н.И. Гринкевич – М.: Высшая школа, 1983. – 176 с.
5. Государственная фармакопея СССР: Вып. 2. Общие методы анализа. Лекарственное растительное сырье / МЗ СССР. – 11-е изд., доп. – М.: Медицина, 1989. – 140 с.
6. Гуменюк Л.А., Головата В.Ф., Перова Т.В., Багрій О.К.. Фітохімічне дослідження молодила руського // Фармац. журнал. – 1982. – №3. – С. 61-65.
7. Бандюкова В.А. Применение цветных реакций для обнаружения флавоноидов путем хроматографии на бумаге // Раст. ресурсы. – 1965. – Т.1, вып.4. – С.591-596.
8. Клышев Л.К., Бандюкова А.В., Алюкина Л.С. Флавоноиды растений. – Алма-Ата: Наука, 1978. – 220 с.
9. Георгиевский В. П. и др. Физико-химические и аналитические характеристики флавоноидных соединений/ Георгиевский В.П., Рыбаченко А.И., Казаков А.Л.; отв. ред. Н.Ф. Комиссаренко; Сев.-Кавк. науч. центр. высш. шк. – Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1988. – 115 с.
10. Блажей А., Шутый Л. Фенольные соединения растительного происхождения. – М.: Мир, 1977. – 239с.

УДК [599.325.1:591.526]:59.087

## АЛГОРИТМ ОБЛІКУ ЧИСЕЛЬНОСТІ ЗАЙЦЯ-РУСАКА, ОСНОВАНІЙ НА ВИМІРЮВАННІ ДИСТАНЦІЇ СПОЛОХУВАННЯ

Богомаз Р.В., заступник начальника науково-дослідного сектору

*Запорізький державний університет*

Алгоритм обліку чисельності зайця-русака заснований на використанні поведінкової реакції - дистанції сполохування. Облік проводиться у два етапи. На першому етапі вимірюються дистанції сполохування. Достатньо 100 вимірювань. Діапазон набутих значень дозволяє обчислити поправочні коефіцієнти. Більша частина облікових робіт проводиться на другому етапі - одночасно з проведенням полювання. Для розрахунків чисельності використовуються поправочні коефіцієнти, що відповідають відстані між мисливцями. Поправочні коефіцієнти можна застосувати для уточнення результатів

облікових робіт за іншими методами. Алгоритм обґрунтований і апробований для угідь степової зони України.

*Ключові слова:* облік чисельності, заяць-русак, дистанція сполохування, поправочні коефіцієнти, полювання.

Богомаз Р.В. АЛГОРИТМ УЧЕТА ЧИСЛЕННОСТИ ЗАЙЦА-РУСАКА, ОСНОВАННИЙ НА ИЗМЕРЕНИИ РАССТОЯНИЯ ВСПУГИВАНИЯ / Запорожский государственный университет, Украина

Алгоритм учета численности зайца-русака основан на использовании поведенческой реакции - расстояния испугивания. Учет проводится в два этапа. На первом этапе измеряются расстояния испугивания. Достаточно 100 измерений. Диапазон полученных значений позволяет вычислить поправочные коэффициенты. Большая часть учетных работ проводится на втором этапе - одновременно с проведением охоты. Для расчетов численности используются поправочные коэффициенты, соответствующие расстоянию между охотниками. Поправочные коэффициенты применимы для уточнения результатов учетных работ по другим методам. Алгоритм обоснован и апробирован для угодий степной зоны Украины.

*Ключевые слова:* учет численности, заяц-русак, расстояние испугивания, поправочные коэффициенты, охота.

Bogomaz R.V. ALGORITHM OF ACCOUNT OF QUANTITY OF EUROPEAN HARE, BASED ON MEASURING OF DISTANCE OF SCARING AWAY / Zaporizhzhya State University, Ukraine

The algorithm of account of quantity of European hare is based on the use of behavior reaction - distance of scaring away. An account is conducted in two stages. On the first stage distances of scaring away are measured. Enough 100 measurings. The range of the got values allows to calculate correction coefficients. Greater part of registration works is conducted on the second stage - simultaneously with conducting of hunting. For the calculations of quantity correction coefficients proper to distance between hunters are used. Correction coefficients can be applied for clarification of results of registration works on other methods. An algorithm is grounded and approved for lands of steppe area of Ukraine.

*Key words:* account of quantity, European hare, distance of scaring away, correction coefficients, hunt.

## ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Із метою втілення в життя державної політики України, направленої на раціональне природокористування, законодавством передбачено, що підприємства, установи, організації та громадяни, які отримали право користування державним мисливським фондом, зобов'язані проводити облік чисельності мисливських тварин. Тому шляхи забезпечення точності облікових робіт постійно залишаються об'єктом вивчення, і результати мають крім теоретичного, ще й практичне значення для мисливського господарства країни.

Під час проведення таксації обліковці реєструють тільки певний відсоток від дійсної чисельності тварин. Перед дослідниками ставиться завдання винайти методи обліків, які дозволять, з одного боку, знизити величину похибки, а, з іншого - врахувати похибку і точно встановити чисельність тварин.

## АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Методи обліків чисельності зайця-русака, які застосовуються в мисливських господарствах України, побудовані за єдиною схемою. Обліковці проходять на відстані 10 – 40 м один від одного. Площа облікових ділянок, на яких підраховується чисельність, становить  $20 \pm 5$  % загальної площі. Отримані дані екстраполюються на всю площу господарства.[1 - 3]

Різними авторами досліджена достовірність даних, отриманих за такими методами. Було показано процент помилки вимірювань, залежний від умов організації облікових робіт та виведені поправочні коефіцієнти. Розроблені способи збору та математичної обробки первинних матеріалів, які дозволяють ефективно й точно проводити обліки за традиційними методами.

Слід відмітити інший підхід до визначення чисельності тварин, запропонований З. Мілановим [4]. Застосовуються таксаційні індекси, а саме кількість зайців, піднятих за 1 годину шляху. Індекс вставляється у формулу, за якою розраховується щільність тварин на одиницю площі. Корекція отриманої щільності проводиться шляхом множення на кореляційний коефіцієнт. При цьому відпадає необхідність точного визначення розміру облікової ділянки як основного джерела похибок.

## ВИДІЛЕННЯ НЕВИРІШЕНИХ РАНІШЕ ЧАСТИН ЗАГАЛЬНОЇ ПРОБЛЕМИ

Для забезпечення точності обліків за традиційними методами відстань між обліковцями передбачається такою, щоб практично повністю виключити недооблік, тому потрібна велика кількість обліковців. Деяким мисливським господарствам доводиться залучати до участі близько 450 чоловік при розрахунковому інтервалі 40 метрів. Практично повністю можна виключити пропуски тільки при відстані 10 метрів, але таке збільшення кількості учасників недосяжне з економічних міркувань. Тому пропуски все одно залишаються.

Застосування поправочних коефіцієнтів - це спосіб пошуку компромісу між завданням установити абсолютну чисельність на обліковій ділянці та неможливістю забезпечити необхідну кількість людей.

Поправочні коефіцієнти отримані емпіричним шляхом і виправляють таксаційну помилку, не розкриваючи причину її виникнення. Коректовані в такий спосіб неточності можуть бути суб'єктивного або природного походження. На жаль не в усіх дослідженнях такий розподіл визначається. Тільки суб'єктивну складову поправочного коефіцієнта можна вважати достовірною, оскільки механізм її виникнення відомий уже до такого рівня, що може бути описаний математичними методами. Необхідно з'ясувати, яким природним процесом пояснюється закономірне виникнення пропусків, і використовувати знання про механізм його дії, представити алгоритм збору та обробки даних для обліку чисельності зайця-русака в мисливських господарствах. Алгоритм повинен ураховувати ті особливості тварин конкретних господарств, які мають значення для точності обліку. Крім того, передбачається зменшення витрат праці за рахунок відмови від необхідності абсолютного обліку.

Таксація є дуже трудомістким процесом, тому проводиться тільки перед початком і після закінчення сезону полювання. Поточний облік залишається тільки добрим побажанням. Протягом сезону реєструється тільки кількість добутої дичини. Запропонований у цій статті алгоритм дозволяє в економічно доступний спосіб здійснювати поточний облік зайця-русака.

## ВИКЛАДЕННЯ ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ

По характеру організації облік чисельності видно ставлення до тварин як до статичних об'єктів, які не мають поведінки. Однак важливою особливістю таксації, зокрема, зайця-русака є те, що об'єктом обліку виступає не просто один індивід, а тільки той, що був сполоханий людиною. Завдяки маскуванню помітити його раніше практично неможливо. Саме від тої відстані, на якій заєць підніметься, залежить, чи буде він врахований чи ні. Тому для облік чисельності може бути використана саме поведінкова реакція - дистанція сполохування, яка при вимірюванні завжди дає діапазон значень. Пропозиції використовувати цей показник уже зустрічались у літературі. В одних випадках обирали найменше значення для встановлення відстані між обліковцями на маршруті, в інших випадках брали найбільше значення для визначення ширини облікового маршруту одиночного обліковця. Таке вживання цього показника вимагало виведення поправочних коефіцієнтів.

Ми пропонуємо використовувати дистанцію сполохування як динамічну характеристику цілого угруповання тварин певного мисливського господарства. Тому з масиву значень не враховуються середні (або крайні) значення, а обчислюється розподіл імовірності цієї величини між інтервалами.

Запропонована методика передбачає застосування одиночного обліку, або сполучення одиночного й групового облік. Одиночний облік не вимагає великої кількості людей і проводиться тільки силами співробітників мисливського господарства перед початком сезону полювання або в немисливські дні в сезон полювання. За результатами встановлюється чисельність тварин й одночасно складається таблиця, яка показує відсоток зайців, піднятих при будь-якій відстані між мисливцями. Фактично це і є динамічна характеристика поведінки зайців даного мисливського господарства, викладена для облік у зручній табличній формі. Дані таблиці будуть використані при груповому обліку в мисливські дні. Для групового обліку використовуються мисливці, які під керівництвом егеря полюють на хутрового звіра. Вони можуть і не знати про те, що беруть участь в обліку, оскільки ніяких особливих вимог їм у зв'язку з цим не висувається. Те, що важливо при організації облікових робіт з інших методів, тут уже буде враховано. Наприклад, при обліках учасникам завжди вказують, на якій відстані йти одному від одного, і довжину маршруту, який необхідно пройти. Це необхідно для охоплення точно визначеної заздалегідь пробної площі. У запропонованому методі керівник полювання тільки записує кількість учасників, відстань між ними, пройдений ними шлях і кількість піднятих зайців. Заздалегідь визначати площі облікових ділянок не потрібно. За допомогою поправочних коефіцієнтів із згаданої таблиці визначається чисельність тварин.

Застосування обох етапів облік дозволить змінити сам принцип спостереження за чисельністю зайців, поклавши більшу частину робіт на час проведення полювань, коли нестачі обліковців немає.

Алгоритм обґрунтований та апробований для угідь степової зони України.

Пропонується такий алгоритм збору й обробки даних.

Перший етап (одиночний облік)

Кожен обліковець сам проходить маршрут, записує його довжину. Дистанції сполохування вимірюються кроками від місця лежання зайця до місця, де перебував обліковець у момент сполохування тварини.

Обмірювані дистанції сполохування заносяться до колонки 2 табл. 1 з інтервалами по 10 м (або 5 м при кількості вимірів більше 250). Значення, що потрапляють на межу інтервалу, записуються в інтервал із меншим значенням. Досить близько 100 вимірювань.

Таблиця 1

Дистанція сполохування, м	Кількість вимірювань, шт.	Відсоток	Наростаючий відсоток	Зворотний відсоток	Піднято на маршруті, %	Поправочний коефіцієнт $\kappa$	Відстань між обліковцями, м
1	2	3	4	5	6	7	8
10	23	23	23	100	100	1,00	20
20	28	28	51	77	89	0,89	40
30	15	15	66	49	75	0,75	60
40	15	15	81	34	65	0,65	80
50	8	8	89	19	56	0,56	100
60	5	5	94	11	48	0,48	120
70	3	3	97	6	42	0,42	140
80	1	1	98	3	37	0,37	160
90	1	1	99	2	33	0,33	180
100	1	1	100	1	30	0,30	200
Усього	100	100%	Середнє	30			

**Примітка:** дані, занесені в таблицю, засновані на польових спостереженнях. Із загальної кількості спостережень випадково чином обрані тільки 100 штук за допомогою вбудованої функції програми Excel 97 "Вибірка з генеральної сукупності"

У колонку 3 проставляється, скільки відсотків вимірювання, що потрапили в цей інтервал, становлять від загальної кількості вимірювань.

Наростаючий відсоток проставляється в колонку 4, у кожному рядку якої підраховується сума всіх попередніх відсотків вимірювань і поточного з колонки 3.

У колонці 5 обчислюється зворотний відсоток, що дорівнює різниці 100 % мінус значення наростаючого відсотка з попереднього рядка.

У колонці 6 „Піднято на маршруті, %” обчислюється середнє арифметичне всіх попередніх відсотків вимірювань і поточного з колонки 5.

У колонку 7 „Поправочний коефіцієнт  $\kappa$ ” проставляється значення з колонки 6, але виражені не у відсотках, а в долях одиниці.

У колонку 8 "Відстань між обліковцями" заноситься подвоєна дистанція сполохування по поточному рядку.

Дані колонок 6, 7, 8 табл. 1 використовуються на другому етапі (груповий облік).

Середнє арифметичне чисел колонки 5 показує відсоток врахованих зайців на маршруті шириною, що дорівнює найбільшій дистанції сполохування з обох боків від одиночного обліковця. Це значення дозволяє точно відкоректувати облікові дані. У нашому випадку (табл. 1) на маршруті шириною 200 м (по 100 м праворуч і ліворуч від одиночного обліковця) враховано 30 % від реальної чисельності. Тому значення поправочного коефіцієнта у вигляді долі одиниці  $\kappa = 0,3$  підставляється у формулу (1) для визначення реальної щільності тварин на обліковому маршруті.

Знаючи довжину пройденого всіма обліковцями шляху, легко порахувати щільність тварин на 1000 га за формулою (1):

$$X = \frac{A \times 10000}{B \times D \times \kappa}; \quad (1)$$

де  $X$  - щільність тварин на 1000 га, голів;

$A$  - кількість врахованих зайців із колонки 2 табл. 1, рядок "Усього", голів;

$\kappa$  - поправочний коефіцієнт  $\kappa = 0,3$  (0,3 – 30% – середнє арифметичне чисел колонки 5 табл. 1);

$B$  - ширина маршруту – максимальне значення з колонки 1 табл. 1, м;

$D$  - довжина маршруту, км.

Приклад розрахунку: для отримання даних, занесених до таблиці 1, обліковці пройшли 260 кілометрів. Обчислення за формулою (1) дало результат щільності: 63 зайці на 1000 га.

Якщо для обліку 100 зайців, дані про яких занесені в таблицю 1, пройдено 167 км, значить щільність на 1000 га становить 100 голів; якщо пройдено 222 км - щільність складає 75 голів/1000 га; якщо пройдено 333 км, щільність - 50 голів/1000 га; якщо пройдено 667 км, щільність - 25 голів/1000 га.

Очевидно, що за цим методом можна одержати облікові дані силами егерської служби без залучення помічників. При щільності зайців 50 голів на 1000 га пройти 333 км облікових маршрутів, необхідних

для обліку 100 зайців, можуть 11 егерів за 2 дні, проходячи по 15 км.

Застосовувані сьогодні методики обліку вимагають на площі, еквівалентній 11 егерським обходам (110 тис. га), закласти 5445 км маршрутів та участі 363 чоловік протягом 1-2 днів.

### Другий етап (груповий облік)

Мисливці на полюванні шукають зайців таким само способом, як обліковці на обліку, тому можна на полюванні одержати дані для визначення чисельності тварин.

Егер повинен записувати кількість учасників, відстань між ними, пройдений шлях і кількість піднятих зайців у картку наступної форми (табл. 2):

Протягом маршруту мисливці кілька разів будуть міняти відстань один від одного. Для кожного такого відрізка загального маршруту призначений свій рядок у картці.

Якщо мисливці йдуть "котлом", то відстань між ними вимірюється уздовж лінії, перпендикулярної напрямку маршруту.

У картку не заносяться зайці, що піднялися ліворуч від крайнього лівого мисливця й праворуч від крайнього правого мисливця. Так виключаються впливи вимірювань за межами облікової смуги.

Заповнені облікові картки (табл. 2) обробляються в камеральних умовах із використанням даних табл. 1, складеної на першому етапі облікових робіт. При цьому необхідно враховувати, що довірливі умови проведення полювання, на якому збираються облікові дані, повинні бути близькими до умов складання табл. 1. В іншому випадку таблицю 1 необхідно скласти знову.

Таблиця 2

Назва мисливського господарства _____			
Дата _____		Кількість мисливців _____	
№ п/п	Відстань між мисливцями, м	Пройдений шлях, км	Піднято зайців, голів
Егер _____			

Обчислення проводяться спочатку окремо для кожного рядка облікової картки (табл. 2). Так визначається щільність тварин на одиницю площі (на 1000 га) для кожного відрізка маршруту, що відповідає певній відстані між мисливцями. Розрахунки проводяться за формулою (2).

$$X_1 = \frac{A_1 \times 10000}{B_1 \times D_1 \times K_1}; \quad (2)$$

де  $X_1$  - щільність тварин на 1000 га на відрізку маршруту, голів;

$A_1$  - кількість врахованих зайців на відрізку маршруту з табл. 2, голів;

$K_1$  - поправочний коефіцієнт (значення колонки 7 табл. 1, яке відповідає відстані між обліковцями на даному відрізку маршруту);

$B_1$  - ширина маршруту – відстань між крайніми обліковцями на даному відрізку маршруту, м;

$D_1$  - довжина відрізка маршруту, км.

У випадку, коли відстань між мисливцями на відрізку маршруту відрізняється від значень, занесених до колонки 8 табл. 1, поправочний коефіцієнт береться середнім від двох найближчих значень.

Якщо на якійсь ділянці маршруту мисливці йшли на відстані, більшій ніж передбачено в колонці 8 табл. 1, то їх потрібно прийняти за одиночних обліковців. У табл. 1, наведеній для прикладу, максимальна відстань між обліковцями 200 метрів. При складанні власної таблиці в мисливському господарстві в

колонці 8 будуть отримані інші цифри й орієнтуватися потрібно на них. Припустимо, максимальна відстань 160 метрів, а мисливці вирішили захопити широке поле цілком і пройшли його з інтервалом 200 метрів один від одного. Тоді ширина маршруту кожного з них приймається рівною 160 метрам. Сорокаметрові смуги, що залишилися, не зараховуються в площу, охоплену обліком, під час розрахунків за формулою (2).

Потім обчислюється середнє зважене по всіх рядках облікової картки (табл. 2) й одержуємо щільність на 1000 га на маршруті. У загальному вигляді формула (3).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i D_i}{\sum D_i}; \quad (3)$$

де  $\bar{X}$  - щільність зайців на 1000 га;

$\sum X_i D_i$  - сума добутків щільності, розрахованої для кожного відрізка на його довжину;

$\sum D_i$  - сума довжин відрізків, тобто загальна довжина маршруту.

Для обліків вона використовується в такому вигляді:

$$\bar{X} = \frac{X_1 D_1 + X_2 D_2 + X_3 D_3 + \dots + X_n D_n}{D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n}; \quad (4)$$

Оскільки  $D_1 + D_2 + D_3 + \dots + D_n$  - загальна довжина маршруту вже відома, формулу можна спростити (5):

$$\bar{X} = \frac{X_1 D_1 + X_2 D_2 + X_3 D_3 + \dots + X_n D_n}{D}; \quad (5)$$

де  $D$  - загальна довжина маршруту.

Останнє обчислення дозволяє уникнути впливу на результат нерівномірності розподілу тварин по території.

Таким чином, здійснюється поточний моніторинг за станом поголів'я. Для вирішення питання про припинення полювання на зайця щільність є більш інформативним показником, ніж загальна чисельність. За потребою один показник легко перераховується в інший.

Поправочні коефіцієнти можуть бути застосовані для уточнення результатів обліків за іншими методами.

Для демонстрації використання поправочного коефіцієнту перевіримо результат щільності зайця 63 голови на 1000 га, отриманий у прикладі розрахунку за формулою (1) на першому етапі.

У той же період обліки, проведені мисливськими господарствами за традиційним методом, дали результат 53 зайця на 1000 га. Нам відомо, що відстань між обліковцями становила близько 50 метрів, а в розрахунках щільності поправочний коефіцієнт не використовувався. Тому можемо взяти відповідний коефіцієнт із табл. 1. Перерахувавши  $53 \div 0,82$ , отримуємо щільність 65 голів. Результат практично точно збігається. Коефіцієнт 0,82 взятий як середнє із значень колонки 7 табл. 1, передбачених для 40 та 60 метрів відстані між обліковцями.

## ВИСНОВКИ З ЦЬОГО ДОСЛІДЖЕННЯ І ПЕРСПЕКТИВИ

Використання запропонованого алгоритма збору та обробки даних під час обліку чисельності зайця-русака в мисливських господарствах степової зони України дозволить підвищити точність облікових робіт, скоротити витрати праці і транспортні витрати завдяки зменшенню потреби в обліковцях, що, у свою чергу, сприятиме зниженню фактора занепокоєння.

Крім того, користувач мисливських угідь матиме можливість здійснити поточний моніторинг чисельності зайця, відповідно коректувати експлуатацію і не допустити перевищення норм добування.

Наявний в автора досвід організації облікових робіт на території Запорізької області дає підставу вважати, що застосування запропонованих підходів буде вигідно користувачам мисливських угідь та підвищить ефективність господарської діяльності.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Основы охотустройства Украинской ССР. Инструктивно-методические указания по проведению внутривхозяйственного охотустройства. - Ирпень. - 1985.-249с.
2. Методические рекомендации по учету численности охотничьих животных. - Львов. - 1987.-36с.

3. Методи обліків мисливських тварин в Запорізькій області, затверджені наказом Державного управління екологічної безпеки в Запорізькій області та Державного лісгосподарського об'єднання "Запоріжжяліс" від 1.02.2000 № 1/9.
4. Миланов З. Таксация зайца-русака с применением таксационных индексов. - София: Наука грата, 1993.-30, № 1.- С. 7.

УДК 615:12+547.831

## БІОЛОГІЧНА АКТИВНІСТЬ ПОХІДНИХ 2- І 4-ГІДРАЗИНОХІНОЛІНІВ

Бражко О.А., к. фарм. н., доцент, Омелянчик Л.О., д. фарм. н., професор,  
Коваленко Д.С., аспірант, Завгородній М.П., к. б. н.

*Запорізький державний університет*

Проведено аналіз біологічної дії 2- і 4-гідразінопохідних хіноліну. Показано, що даний клас органічних сполук проявляє різноманітні види біологічної активності. Найбільш перспективними є види, що пов'язані з антивірусною, протипухлинною, антипаразитарною активністю. Вивчені речовини можна розглядати як основи для створення нових біоактивних сполук.

*Ключові слова: 2-гідразінохіноліни, 4-гідразінохіноліни, біологічна активність*

Бражко А.А., Омелянчик Л.А., Коваленко Д.С., Завгородній М.П. **БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДНЫХ 2- И 4-ГИДРАЗИНОХИНОЛИНОВ** / Запорожский государственный университет, Украина

Проведен анализ биологического действия 2- и 4-гидразинопроизводных хинолина. Показано, что данный класс органических соединений проявляет разнообразные виды биологической активности. Наиболее перспективными являются виды, которые связаны с антивирусной, противоопухолевой, антипаразитарной активностью. Изученные вещества можно рассматривать как основы для создания новых биологически активных соединений.

*Ключевые слова: 2-гидразинохинолины, 4-гидразинохинолины, биологическая активность*

Brazhko A.A., Omelyanchick L.O., Kovalenko D.S., Zavgorodny M.P. **BIOLOGICAL ACTIVITY OF DERIVATIVES OF 2-AND 4- HYDRAZINQUOLINES** / Zaporizhzhya State University, Ukraine

The analysis of biological action of 2-and 4- hydrazinquinolines was carried out. It was shown, that given class of organic compounds reveals various kinds of biological activity. The most promising are compounds concerned with anti-virus, antineoplastic and antiparasitic activity. Studied substances can be considered as basis for creation of new biologically active compounds.

*Key words: 2- hydrazinquinolines, 4- hydrazinquinolines, biological activity*

Пошук високоефективних та малотоксичних біоактивних молекул ведеться як серед природних, так і серед штучних сполук. Значною мірою ці дослідження проводяться серед похідних азагетероциклів. Гетероциклічна система хіноліну зарекомендувала себе ефективною в плані пошуку на її основі антимікробних, фунгістатичних та протипаразитичних препаратів [1, 2]. Похідні цього азагетероциклу також проявляють протипухлинну, аналгетичну, нейротропну та інші види дії [1-8].

Крім того, хінолінові сполуки використовуються як ветеринарні препарати, пестициди, барвники, аналітичні реагенти тощо [1-3]. Гетероциклічна система хіноліну має високо реакційні положення 2 і 4, що дозволяє модифікувати її й одержувати нові сполуки.

Гідразінопохідні знайшли широке застосування в різних галузях життєдіяльності людини. Гідразінопохідні азотовмісних гетероциклів використовуються як лікарські засоби (Апресин або Нудралазин; Dihydralazin або Nepresol; Budralazin, Endralazin, кад랄азин, екаразин та ін.), препарати сільськогосподарського призначення, компоненти електрооптичних пристроїв та вихідні продукти для синтезу гетероциклічних сполук [1, 2, 7, 18, 19]. У цьому напрямку представляють інтерес сполуки, в структурі яких поєднується хіноліновий цикл та залишок гідразину. Метою даної роботи є аналіз біодії 2- та 4-гідразінопохідних хіноліну й перспективність створення на основі останніх нових лікарських і ветеринарних препаратів.

Дослідження 2- та 4-гідразінохінолінів проводились, у першу чергу, на предмет пошуку серед них сполук із протималарійними, антивірусними та протипухлинними властивостями. Так, похідні 4-[N,N'-біс(2-хлоретил)гідразин]хіноліну володіють протипухлинною активністю (рис.1) [10].

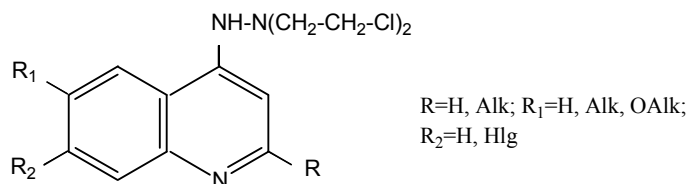


Рис. 1. Похідні 4-[N,N'-біс(2-хлоретил)гідазин]хіноліну

У літературі також відомі структурні аналоги вищенаведених речовин - N-заміщені 2-нітрофурилвініл-4-гідазинохінолінів, які володіють протипухлинною та протимікробною активністю (рис.2) [12].

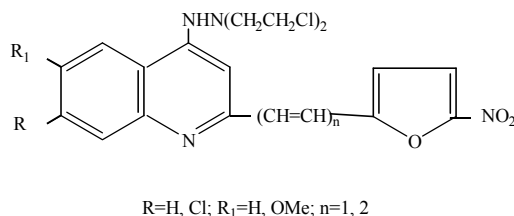


Рис. 2. N-заміщені 2-нітрофурилвініл-4-гідазинохінолінів

При вивченні протипухлинних властивостей вищенаведених сполук встановлено, що дані речовини здійснюють незначний вплив на ріст саркоми Йенса, саркоми 45, саркоми АК, карциноми НК і карциносаркоми Уокера (гальмування їх росту не перевищувало 30%). Протимікробна активність у досліджах *in vitro* даних гідазонів залежить від характеру замісника в хіноліновому кільці й довжини ланцюга. Введення додаткового зв'язку -CH=CH- у 2-му положенні хіноліну призводить до зниження активності. Найменшою активністю по відношенню до патогенних мікроорганізмів володіють сполуки, що мають у положенні 6 метоксигрупу. Деякі сполуки поряд із протипухлинною активністю проявляють і антимікробні властивості [10].

4-Хінолінгідазони (рис.3) володіють антималярійною [13], антимікоплазматичною, антицистодною (стьожкові черви) [16], мікостатичною й антивірусною активністю [10, 15].

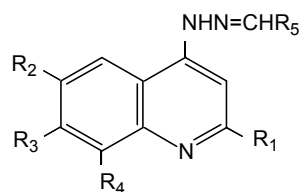


Рис. 3. 4-Хінолінгідазони

У результаті аналізу біологічної дії цих сполук було зроблено висновок, що при R<sub>2</sub>=OCH<sub>3</sub> сполуки більш схильні до активності, ніж R<sub>2</sub>=H; R<sub>3</sub>=OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>. Крім того, при R<sub>3</sub>=H; а R<sub>4</sub>=H і OCH<sub>3</sub> антималярійний ефект майже не змінювався. Дослідження R<sub>5</sub> груп показало, що при збільшенні дії надається перевага замісникам R<sub>5</sub>=3-CH<sub>3</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, 4-CH<sub>3</sub>OC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>, 3,4-(CH<sub>3</sub>O)<sub>2</sub>C<sub>6</sub>H<sub>3</sub> або 3,4,5-(CH<sub>3</sub>O)<sub>3</sub>C<sub>6</sub>H<sub>2</sub> [11].

При дослідженні 4-хінолінгідазонів та їх N-оксидів як аналогів азотистих іпритів виявилось, що дані речовини не володіють протипухлинною дією [10].

Гідазони хінальдину та лепідину (рис.4) були досліджені як інгібітори перетворення ретровірусів під дією транскриптази [14].



(R=R<sub>2</sub>=R<sub>4</sub>=H, R<sub>1</sub>=OMe, R<sub>3</sub>=4-HOC<sub>6</sub>H<sub>4</sub>)

(R=R<sub>1</sub>=R<sub>4</sub>=OMe, R<sub>2</sub>=H, R<sub>3</sub>=пірид-2-іл)

Рис. 4. 2- та 4-хінолінгідазони

Біологічні дослідження вищенаведених сполук проведено на вірусах M-MuV, RAV-2 та ВІЧ-1. Інгібуюча активність сполук зменшується в ряді M-MuV > RAV-2 > ВІЧ-1. 4-Заміщені вивчалися більш активні ніж їх аналоги по 2-му положенні.

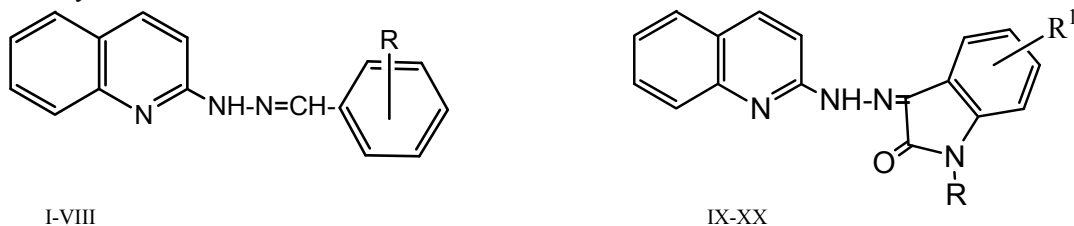
Був досліджений зв'язок між структурою й активністю N-хінолін-4-іл-N<sup>1</sup>-бензиліденгідразинів методом лінійного дискримінантного аналізу (ЛДА). Вивчення фармакологічних властивостей 4-гідразинохінолінів показало, що вони володіють антималярійною, а також противірусною активністю. Наявність замісника в положенні 6 і 8 хінолінової системи підвищує активність системи, а замісника в положенні 5 і 7 знижує активність [15].

Проведені останнім часом дослідження показали, що серед гідразінопохідних хіноліну знайдені речовини, які володіють антимікробною, антигрибковою, нейротропною, антидіуретичною, ранозагоюючою [7, 10, 18, 21-23] та протицестодною активністю [24].

Систематичні дослідження 2- та 4-гідразинохінолінів було проведено співробітниками кафедри хімії Запорізького державного університету [25-28]. Так, дослідження гострої токсичності хінолін-2-ілгідразонів похідних бензальдегіду (I-VIII) та ізатину (IX-XX) (рис.5) показало, що вони за класифікацією Сидорова [9] відносяться до помірно або малотоксичних сполук. Найбільш токсичними сполуками є гідразон (IV) похідного бензальдегіду, який містить у пара-положенні фенілу диметиламіногрупу ( $LD_{50}=76\pm 5$  мг/кг), та хінолін-2-ілгідразон (XIV) похідного ізатину, в якому атом водню в 1-му положенні індольного циклу заміщений на бензильний радикал ( $LD_{50}=92\pm 9$  мг/кг).

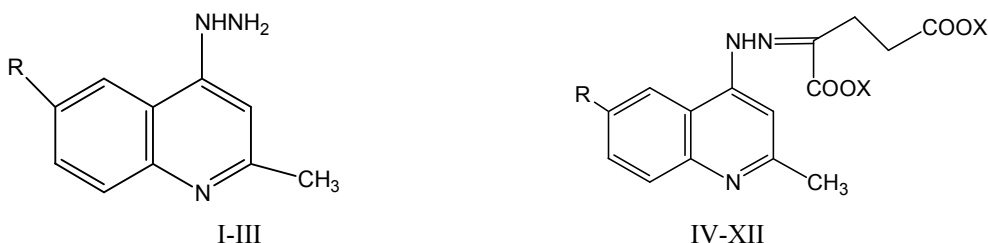
Дані сполуки проявляють високу аналгетичну дію, яка знаходиться на рівні або навіть перебільшує препарати – стандарти (анальгін, ортофен). 2-Хінолінгідразони ізатину перебільшують за дією 2-хінолінгідразони бензальдегіду. Найбільшу дію проявляють сполуки, які мають алкільні замісники в 1-му положенні або атом хлору в 5-му положенні індольного циклу. Для останніх сполук також властива висока антизапальна дія, яка знаходиться на рівні високоефективного препарату – ортофену.

Вивчення гострої токсичності 4-гідразинохінолінів (I-III) (рис.6) показало їхню досить високу токсичність. Введення електрондонорних замісників (6-OMe та 6-OEt) призвело до підвищення токсичності в 3-7 разів. Блокування залишку гідразину оксокомпонентом в гідразонах  $\alpha$ -кетоглутарової кислоти та їх солей (IV-XII) (рис.5) сприяє значному зменшенню токсичності. Отримані дані свідчать про зростання токсичності в ряду  $H < K < Na$ , що автори пов'язують із зростанням розчинності у вищезгаданих сполуках.



I-R=2-OH; II-R=2,4-діOH; III-R=2-OH-5-Br; IV-R=4-OCH<sub>3</sub>; V-R=2,4-діOCH<sub>3</sub>; VI-R=4-N(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; VII-R=4-NO<sub>2</sub>; VIII-C<sub>6</sub>H<sub>5</sub>-R=5-нітрофурил-2; IX-R=R<sup>1</sup>=H; X-R=CH<sub>3</sub>, R<sup>1</sup>=H; XI-R=C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, R<sup>1</sup>=H; XII-R=C<sub>3</sub>H<sub>7</sub>, R<sup>1</sup>=H; XIII-R=(CH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>Br, R<sup>1</sup>=H; XIV-бензил, R<sup>1</sup>=H; XV-R=H, R<sup>1</sup>=CH<sub>3</sub>; XVI-R=CH<sub>3</sub>, R<sup>1</sup>=Cl; XVII-R=C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, R<sup>1</sup>=Cl; XVIII-R=CH<sub>3</sub>, R<sup>1</sup>=Br; XIX-R=C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, R<sup>1</sup>=Br; XX-R=бензил, R<sup>1</sup>=Br.

Рис.5. Хінолін-2-ілгідразони похідних бензальдегіду та ізатину



I-R=H; II-R=OCH<sub>3</sub>; III-R=OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>; IV-R=H, X=H; V-R=OCH<sub>3</sub>, X=H; VI-R=OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, X=H; VII-R=H, X=Na; VIII-R=H, X=K; IX-R=OCH<sub>3</sub>, X=Na; X-R=OCH<sub>3</sub>, X=K; XI-R=OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, X=Na; XII-R=OC<sub>2</sub>H<sub>5</sub>, X=K.

Рис.6. 4-гідразінопохідні хінальдину

Вищенаведені сполуки не проявляють антимікробної активності по відношенню до грампозитивних або грамнегативних мікроорганізмів, а в деяких випадках навіть і підсилюють ріст мікроорганізмів, що

пояснюється структурною схожістю сполук IV-XII до структурного фрагменту фактору росту бактерій – фолієвої кислоти [17, 26].

Дослідження антиоксидної активності 4-гідразінопохідних хіноліну на моделях ініціації вільнорадикального окиснення показало, що дія гідразонів (IV-XII, рис.5) значною мірою визначається характером катіонів у залишку  $\alpha$ -кетоглутарової кислоти. Так, якщо 4-гідразінохіноліни (I-III) проявляють виражену антиоксидну дію, то блокування гідразіногрупи на залишок  $\alpha$ -кетоглутарової кислоти (сполуки IV-VI) дещо зменшує антиоксидний ефект, що пов'язується із їх поганою розчинністю в середовищах. Підтвердженням цього факту є ріст антиоксидної активності при заміні протонів у карбоксильних групах на катіони натрію або калію (солі), що призводить до значного поліпшення розчинності даних сполук у середовищах. Для наведених сполук характерна невисока антирадикальна дія по відношенню до супероксид-радикала [17, 26]. Гідразони  $\alpha$ -кетоглутарової кислоти рекомендовано для дослідження їх на предмет метаболітогальної дії.

Таким чином, аналіз даних літератури свідчить про різноманітні види біологічної дії серед 2- та 4-гідразінопохідних хіноліну. Ці дані речовини проявляють антималярійну, протипухлинну та антивірусну дію. Знайдені останнім часом нові цікаві види антибактеріальної та фізіологічної дії свідчать про перспективність пошуку біоактивних молекул серед даного класу сполук.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Альберт А. Избирательная токсичность. Физико-химические основы терапии. – М.: Медицина, 1989. – 300 с.
2. Машковский М.Д. Лекарственные средства: В 2 т. Ч.2.– 14-е изд. -М.: ООО “Изд-во Новая Волна”, 2000. - 608 с.
3. Молева В.І. Біологічна дія та антимікробна активність гетероциклічних похідних хіноліну // Клін. фармація. – 1997. – Т. 1, № 1. – С. 32 - 35.
4. Grundon M.F. Quinoline, quinazoline, and acridone alkaloids // Nat. Prod. Rep.– 1988.– Vol. 5, №3.– P. 293-307.
5. Michael J.P. Quinoline, quinazoline and acridone alkaloids // Nat. Prod. Rep.– 1997.– Vol. 14, №1.– P. 11-20.
6. Michael J.P. Quinoline, quinazoline, and acridone alkaloids // Nat. Prod. Rep.– 1992.– Vol. 9, №1.– P. 25-35.
7. Мартыновский А.А. Синтез, физико-химические свойства, биологическая активность в ряду тио-, гидразинопериодических пиридина и его конденсированных систем: Дис. ... д-ра фармац. наук: 15.00.02. - Запорожье, 1989. - 358 с.
8. Омелянчик Л.А. Синтез, свойства и биологическая активность N- и S-замещенных акридина, хинолина, пиридина: Дис. ... д-ра фармац. наук: 15.00.02. - Запорожье, 1991.- 367 с.
9. Таран С.Г., Ліханова Н.В., Українець І.В. Синтез та вивчення діуретичної активності фурфуріл- та тетрагідрофурфуріламідів 1-R-4-гідрокси-2-оксо-хінолін-3-карбонових кислот // Вісник фармації. – 1999. – № 2 (20). – С. 47-49.
10. Сухова Н.М. Синтез, строение и свойства физиологически активных хинолиновых, гидразиновых и углеводородсодержащих производных фурана: Автореф. дис. ... д-ра фармац. наук: 15.00.02 / Харк. фармац. ин-т. – Х., 1988.- 44 с.
11. Jean Th., Charles E., Walter B. Antiviral Quinolinehydrazones. A Modified Free-Wilson Analysis // J. Med. Chem.- 1975.- № 18. - P. 257-260.
12. Сухова Н.М., Лидак М.Ю., Зидермане А.А. Синтез, противоопухолевая и антимикробная активность N-замещенных нитрофурфурилвинил-4-гидразинохинолинов // Хим.-фарм. журн. - 1989. - № 10. - С. 1226-1228.
13. Pellerano C., Savini L. Sintesi di potenziali agenti antitumorali: mostarde azotate a supporto chinolinico // Farmaco Ed. sci. - 1984. – Vol.39, № 8. - P. 162-165.
14. Quinolinehydrazones as inhibitors of retroviral reverse transcriptase / C.Bartolucci, L.Cellai, P. Di Filippo, V.Brizzi // Farmaco. – 1992. – 47, № 6. - P. 47-49.
15. Zombar V. Structure-activity relationship studies of antiviral N-quinolin-4-yl-N'-benzylidenehydrazine derivations by determination analysis // Arzheim – Forsch. – 1985. - 35, № 11. - P. 114-125.
16. Dellerane C., Savini L., Messarelli P. Sistemi chelanti tridentati N-N-N quali potenziali agenti antitumorali // Parmaco. Ed. Sci. – 1985. – Vol. 40, N 9. - P. 645-654.

17. Sing T., Stein R., Bill J. "Proximal" hydrazine derivatives of 7-chloroquinoline // J. Meg. Chem. - 1968. – Vol. 12, № 4 – P. 801-803.
18. Мартыновский А.А., Бражко А.А., Панасенко А.И. Синтез, свойства и биологическая активность в ряду тио- и гидразинопроводных пиридина и его конденсированных систем // В кн: тез. докл. 4 с'їзда фармацевтов Литовської ССР, Каунас, 1987, - С. 180.
19. Химия и биологическая активность синтетических и природных соединений. Азотистые гетероциклы и алкалоиды / Под. ред. В.Г. Карцева, Г.А. Толстикова. –М.: Иридум-пресс, 2001. - Т. 1. – 602 с.
20. Панасенко А.И. Синтез, физико-химические и биологические свойства метокси- и нитрозамещенных 9-тио- и 9-гидразинокридинов: Автореф. дис. ... канд. фармацевт. наук: 15.00.02 / ВНИИХТЛС. – Х., 1987. – 25 с.
21. 2-(N-метил-5-хлор-2,3-дигидроиндолон-2-илиден-3)-гидразинокринолин, проявляющий нейрорепти-ческую активність: А. с. 1459203 СССР, МКИ<sup>5</sup> С 07 Д 215/36, А 61 К 31/47 / А.А.Мартыновский, А.А.Бражко, Б.А. Самура // Б.И. 1989, № 6. - (Не підл. публ.). – 3 с.
22. 2-(N-этил-5-хлор-2,3-дигидроиндолон-2-илиден-3)-гидразинокринолин, проявляющий антидиуретическую активність: А. с. 1466207, МКИ<sup>5</sup> С 07 Д 215/36, А 61 К 31/47 / А.А.Мартыновский, А.А.Бражко, Б.А.Самура // Б.И. 1989, № 10. - (Не підл. публ.). – 3 с.
23. 2-(4-нитробензилиден)гидразинокринолин, обладающий антидиуретической активностью: А. с. № 1513851, МКИ<sup>5</sup> С 07 Д 215/36, А 61 К 31/47 / А.А.Мартыновский, А.А.Бражко, Б.А.Самура // Б.И. 1989, № 37. - (Не підл. публ.). – 3 с.
24. Albert A. Acridines. Synthesis and reactions. Pt. VI: A New Dehalogenation of 9-chloroacridine and its Derivations. Further Acridine Ionization Constant Ultraviolet Spectra // J. Chem. Soc. – 1964. – № 6. – P. 4653-4658.
25. Бражко О.А., Рильський О.Ф., Завгородній М.П., Коваленко Д.С. та ін. Пошук біологічно активних речовин з антимікробною активністю серед 4-N-i-S-похідних хінольдину // Питання біоіндикації та екології.–Запоріжжя, 2002.-Вип. 7, №1.-С. 122-127.
26. Бражко О.А., Рильський О.Ф., Завгородній М.П., Коваленко Д.С. та ін. Пошук біологічно активних речовин серед хінольдин-4-ілгидразонів  $\alpha$ -кето-глутарової кислоти // Питання біоіндикації та екології.–Запоріжжя, 2003. -С. 181-187.
27. Бражко О.А., Завгородній М.П., Коваленко Д.С., Біленький А.П. Синтез та біологічні властивості похідних 2-,4-гидразинокринолінів //Мат. III Всеукр. конф. студ. та аспір. "Сучасні проблеми хімії".– Київ, 2002. -С.99-100.
28. Бражко О.А., Завгородній М.П., Коваленко Д.С., Работягова О.С. Синтез та біологічні властивості 6-галогенопохідних 4-гидразинокринолінів // Мат. IV Всеукр. наук. конф. студ. та аспір. "Сучасні проблеми хімії"–Київ, 2003. -С.134.

УДК 633.854.78

## **РІЗНОМАНІТТЯ КОЛЕКЦІЙНИХ ЗРАЗКІВ СОНЯШНИКА У ЗВ'ЯЗКУ ІЗ СЕЛЕКЦІЄЮ НА ПІДВИЩЕННЯ РОЗМІРІВ НАСІННЯ**

\*Ведмедева К.В., науковий співробітник, Пересипкина Т.М., к.б.н., доцент, Кібальник С.П., студент

*\*Інститут олійних культур УААН, Запорізький державний університет*

На матеріалі колекції встановлені суттєві кореляційні зв'язки між ознаками розмірів сім'янки та діаметром кошика, між кількістю гілок та діаметром кошика. Для збереження та підвищення розмірів насіння в селекційному процесі в більшості випадків достатньо ураховувати діаметр кошика. Колекція соняшника має можливість для створення ліній з ознаками крупноплідності, тобто кондитерського напрямку використання. Це можливо, якщо вести цілеспрямований добір на довжину насіння.

*Ключові слова: соняшник, ознака, насіння, кореляція.*

\*Ведмедева Е.В., Пересыпкина Т.Н., Кибальник С.П. МНОГООБРАЗИЕ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ОБРАЗЦОВ ПОДСОЛНЕЧНИКА В СВЯЗИ С СЕЛЕКЦИЕЙ НА УВЕЛИЧЕНИЕ РАЗМЕРОВ СЕМЕНИ /

\*Институт масличных культур УААН, Запорожский государственный университет, Украина

На матеріалі колекції установлені суттєві кореляційні зв'язи між ознаками розмірів семянки і діаметром корзинки, між кількістю гілок і діаметром корзинки. Для збереження і підвищення розмірів семянки в селекційному процесі в більшості випадків достатньо враховувати діаметр корзинки. Колекція підсолонечника має можливість для створення ліній з ознаками крупноплодності, тобто кондитерського напрямку використання.

*Ключові слова: підсолонечник, ознака, семя, кореляція.*

\*Vedmedeva E.V. Peresipkina T.N., Kibalnik S.P. DIVERSITY OF SUNFLOWER COLLECTION SAMPLES IN CONNECTION WITH BREEDING FOR A LARGER SEED SIZE / \*Institute of oilseed crops uaa, Zaporizhzhya State University, Ukraine

Using collection accessions essential correlations were found between traits of seed size and head diameter, and between branch number and head diameter. To preserve and increase seed size during a breeding process it is enough, in most cases, to take into account head diameter trait. The collection of sunflower samples comprised possibility for developing of lines with a big seed size, that is confectionery type. That is possible if conducting aimed selection for seed length.

*Key words: sunflower, trait, seed, correlation.*

## ВСТУП

Вченими вже описано багато морфологічних ознак сім'янки соняшника, але більшість із них стосуються забарвлення. Із розмірів відомо лише, що співвідношення розміру основи сім'янки до довжини має полігенний контроль успадкування [1]. Перші дослідження мали опис колекційних зразків за розміром, де сім'янки були поділені на малі середні та великі [2].

Зараз знову з'явилась потреба вивчати розміри насіння соняшника, але вже як селекційний показник. Це важливо як для створення більш врожайного олійного соняшника [3], так і для створення нових ліній та в перспективі гібридів кондитерського напрямку використання, з збільшеним розміром насіння.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вивчалась колекція 125 зразків соняшника, у яку було включено зразки колекцій Всеросійського інституту рослинництва (м. Санкт-Петербург), Всеросійського інституту олійних культур (м. Краснодар), та колекційні зразки Інституту олійних культур УААН (м. Запоріжжя).

Посіви соняшника розміщалися по попереднику – озимій пшениці. Передпосівна культивування проводилася на глибину 6-8 см з одночасним внесенням гербіциду тріфлану в дозі 5 кг/га. Поле маркірувалося в двох напрямках шестирядним начіпним маркером. Посів проводили ручними саджалками на глибину 7-8 см. Обробку міжрядь проводили культиваторами в сполученні з ручною прополкою. Протягом вегетаційного періоду проводили наступні обліки і спостереження: біометричні виміри: висота рослин, діаметр кошика, тип нахилу кошика, число листів.

Статистична обробка експериментальних даних проводилася методом дисперсійного аналізу [4]. Дослідження були проведені у 2003 році.

## РЕЗУЛЬТАТИ Й ОБГОВОРЕННЯ

У результаті кореляційного аналізу, проведеного програмою Excel, була складена таблиця «Морфологічні ознаки колекції» (табл. 1). Всього було проаналізовано 125 колекційних зразків за ознаками: висота рослини, число гілок, діаметр кошика, розміри і забарвлення насіння.

Таблиця 1 - Морфологічні ознаки колекції

Назва зразка	Висота, см	Число гілок, од.	Діаметр корзинки, см	Показники сім'янки		
				Ширина, см	Довжина, см	Товщина, см
1	2	3	4	5	6	7
47/246	65,7	0	18,3	0,53	1,07	0,36
ВК98/1	116,7	0	16,0	0,65	1,05	0,38
ВК400	121,7	0	18,6	0,49	0,94	0,38
Rf407/1053	135,7	0	18,6	0,63	1,11	0,38
K2586-1-11	78,7	0	13,0	0,42	0,98	0,26
ВК475	106,0	0	17,3	0,55	1,16	0,35
КГ19	115,0	2	14,3	0,58	0,99	0,44
ZB231AC	111,0	0	16,7	0,62	1,24	0,36
КГ13	139,0	2	13,5	0,75	1,19	0,46
КГ48	111,3	0	18,0	0,55	0,87	0,34
КГ49	98,3	8	9,0	0,38	0,84	0,27
Сл2099	147,6	0	18,5	0,63	0,95	0,45

Сол9-254	98,3	0	17	0,46	0,95	0,32
ВК-206	137,0	0	15,7	0,62	0,98	0,39
Сл1790	123,6	0	20,7	0,71	1,27	0,47
НА60А	129,6	0	17,3	0,59	1,28	0,38
К-562Б	128,3	0	18,3	0,55	1,02	0,41
ВА1Б	121,0	0	17,3	0,62	1,10	0,36
ЖС-17А	117,3	0	17,0	0,61	1,01	0,45
НА-89А	103,3	0	15,7	0,59	1,04	0,41
К2086А	136,6	0	23,2	0,65	1,02	0,55
НА300	118,3	0	17,0	0,63	1,32	0,49
Z1064	67,0	0	20,0	0,53	1,10	0,37
Л2090	130,0	0	18,0	0,68	1,21	0,47
Л2544	102,7	4,3	14,3	0,56	1,03	0,35
СЛІ2349	79,7	0	14,3	0,53	1,15	0,43
Л7247	136,6	0	16,0	0,56	1,23	0,38
ВК393	114,0	0	19,0	0,57	1,14	0,45
Л2079	105,7	0	17,0	0,64	1,07	0,42
К-3376	114,3	0	17,7	0,51	0,85	0,37
Сл-179	128,3	0	19,3	0,62	1,30	0,45
Rf7	107,0	0	22,0	0,67	1,09	0,46
355114p2-4	122,3	4,3	12,0	0,49	1,12	0,30
ИзД1251	152,7	0	17,7	0,62	1,22	0,47
ИзД847	165,0	0	20,7	0,52	1,12	0,39
К912	87,7	0	19,3	0,69	1,33	0,54
Сл1787	138,3	0	20,0	0,62	1,14	0,44
Сл2491	133,7	0	20,7	0,42	0,96	0,32
ВА2Б	103,7	0	17,0	0,69	1,17	0,55
ВК1601Б	63,3	0	20,0	0,62	0,86	0,52
НА-73Б	98,0	0	22,3	0,80	1,43	0,52
Сл1260	81,5	0	12,5	0,53	1,07	0,35
Л2121-2	98,3	0	15,0	0,46	1,11	0,41
Сл2636	112,7	0	22,3	0,76	1,22	0,56
СЛІ2354	113,6	0	16,7	0,67	1,15	0,46
ВК652	113,6	0	19,0	0,58	1,05	0,45
ВК636	71,0	0	16,0	0,54	1,09	0,39
ЛГ11-2	125,7	0	19,0	0,54	1,13	0,34
Орп1	144,7	0	20,3	0,56	1,05	0,36
Л-2094-13	69,7	15	12,0	0,51	1,05	0,34
ЛГ-8-4	96,7	4	11,0	0,46	1,09	0,35
НА89Б	94,3	0	19,7	0,65	1,06	0,46
Сл2966	101,7	0	21,0	0,65	1,40	0,47
ВК419/2	91,0	0	15,7	0,64	1,16	0,39
ВК511	113,7	0	23,3	0,70	1,21	0,40
К2472	127,0	0	24,3	0,65	1,09	0,43
Л2563	116,7	10	13,0	0,50	1,12	0,31
Л1221	116,0	0	18,7	0,66	1,12	0,43
АН70029Rf	102,3	8,3	14,0	0,54	1,06	0,35
Сл2613	102,0	0	18,7	0,52	1,24	0,39
ВК541	114,0	0	18,0	0,61	1,13	0,44
МВГ2	108,3	0	20,0	0,54	0,82	0,39
ВА4	112,7	0	17,3	0,54	1,26	0,41
lnK2848	112,3	0	14,7	0,61	1,28	0,32
lnK439	143,3	16,7	14,0	0,66	1,06	0,41
lnK2207	131,3	0	22,3	0,67	1,45	0,44
lnK1675	101,5	2	15,5	0,72	1,11	0,43
lnK1962	85,0	12,7	13,0	0,58	1,16	0,43
lnK2832	186,0	0	17	0,87	1,85	0,33
КГ-4	164,7	0	24,3	0,64	1,29	0,39
ВА5Б	150,3	0	18,3	0,57	1,17	0,35
ЛГ3№1	123,0	7,3	9,7	0,40	0,77	0,26

lnK1587	151,7	0	17,3	0,54	1,11	0,39
lnK2058	154,0	0	21,0	0,63	1,23	0,41
Сл2177	98,3	0	18,7	0,59	1,25	0,41
lnK561-2	118,0	4,3	10,3	0,53	1,01	0,41
КГ-32	128,0	6,7	12,3	0,43	0,93	0,22
RNA297	110,3	13,3	10,7	0,31	1,00	0,26
ВК-61	112,6	0	15,3	0,60	1,06	0,46
ВК-310	130,0	0	18,0	0,79	1,40	0,55
Сл2039	160,0	0	18,3	0,52	0,97	0,34
Сл2090	84,0	0	17,3	0,65	1,03	0,47
АД66	111,3	0	18,0	0,74	1,45	0,54
lnK2462	126,6	0	16,7	0,56	1,04	0,30
К3159	119,6	0	14,3	0,51	1,22	0,30
ln(ВК374x НА113)	102,6	11,5	8,3	0,46	0,99	0,35
lnK225	123,3	18	12,6	0,44	0,82	0,34
lnВИР391	129,5	16	13,6	0,41	1,01	0,26
lnВИР369	105,3	6,3	12	0,43	0,86	0,29
ln515547	107,6	5,6	9,6	0,46	0,95	0,25
lnK1124	138,3	0	17,7	0,71	1,26	0,44
МВГ-3	141,0	0	16,0	0,54	1,27	0,27
RNA274	119,0	4,6	10,3	0,44	1,03	0,28
Л2073	111,6	0	16,0	0,49	1,29	0,38
ВК484	111,0	0	18,3	0,70	1,07	0,43
lnK433	144,3	16	13,3	0,70	1,11	0,46
lnK1675	119,3	3,7	15,7	0,72	1,11	0,43
К630	114,6	10	10,7	0,35	0,81	0,24
К1724	144,0	3,7	13,0	0,46	0,99	0,31
ИзД4 ВИР91	62,0	0	13,5	0,62	1,08	0,43
ИзД72р3	142,7	6	15,3	0,52	1,15	0,38
ИзД156р1	126,3	14,3	13,7	0,41	0,82	0,32
Д220(98г)	78,7	0	26,7	0,60	1,08	0,45
ИзД1217	108,0	4,7	19,0	0,38	1,48	0,45
ИзД1250	66,3	0	25,0	0,51	0,95	0,37
lnK370	125,3	0	20,0	0,59	1,07	0,39
lnK1070	95,0	13	9,0	0,36	0,86	0,25
lnK404	133,0	0	15,3	0,54	1,26	0,43
lnK2003	107,5	20,3	19,0	0,66	1,04	0,56
lnK87	122,7	23,7	14,0	0,65	1,23	0,45
lnD1231	110,0	1,3	20,3	0,75	1,25	0,44
КГ18	144,7	0	20,7	0,69	1,27	0,47
ВИР130	145,3	7,3	18,0	0,55	0,97	0,43
КГ-7	118,0	0	16,7	0,55	1,03	0,32
І <sub>5</sub> ВИР151	138,5	0	25,0	0,58	1,25	0,38
ВИР484	122,0	0	19,7	0,66	1,18	0,43

Висота колекційних зразків була від 62 до 186 сантиметрів. Різниця показників велика, але при цьому зразків, що перевищують 130 см, виявилася незначна кількість, тому найбільша кількість зразків колекції знаходиться в межах від 100 до 130. Але враховуючи увесь відомий нам матеріал, відомі силосні зразки, висота яких може досягти більше 3 метрів навіть у посушливі роки як рік випробування. Також існують кілька зразків, поки що не досить стабільних за ознакою висоти, але окремі рослини мають висоту лише 10 см. Отже реальна розбіжність цієї ознаки у соняшника набагато більша, ніж та, що представлена в цій колекції. Але для створення селекційного напрямку вивчення параметрів колекції використовувати згадані вище граничні за цим параметри соняшника досить важко. Дуже великі зразки за висотою - це популяції, які при створенні на їх основі лінії зменшують свій зріст до розмірів, представлених зразками колекції, деякі створені також з досить високорослих зразків.

Стовпчик за ознакою "гілкування" показує, що більшість зразків мають однокошикові рослини, але гілкування теж має досить великі розбіжності - від 1 до 23 бокових кошиків. Ознака кількості бокових гілок має кореляційний зв'язок з ознакою діаметра кошика ( $r=0,54$ ). Такий показник, як діаметр кошика, у нашій колекції був у межах від 9 до 26,7 см. При цьому найбільше число зразків виявилось укладеним у межах від 12 до 20 см.

Дослідження ширини сім'янок зразків колекції показує, що найвищий показник у зразка In2832, ширина якого 0,87, а найнижчий показник у зразка RHA297 – його ширина не перевищує 0,31 см. Різниця в цьому показнику досить істотна і становить інтерес для селекції. За довжиною сім'янок зразки знаходяться у межах від 0,77 до 1,85 см. При цьому довжина більшості зразків колекції знаходиться в межах від 0,82 до 1,2. Різниця цих показників досить велика. Товщина зразків колекції знаходиться в межах від 0,22 до 0,56 см. Абсолютні розміри сім'янок зразків звичайно пов'язані між собою. Але найбільший суттєвий коефіцієнт кореляції 0,74 між ознаками ширина та товщина сім'янки. Менший коефіцієнт кореляції 0,59 між довжиною та шириною сім'янки. Враховуючі усе вищезгадане, можна зрозуміти, що при гілкуванні зменшується діаметр центрального кошика, та, як правило, розміри насіння, особливо довжина та ширина. Це підтверджує те спостереження, що насіння ліній з гілкуванням мають маленьку веретеновидну форму. У них параметри товщини та ширини мало відрізняються. Усі ці спостереження вказують на неможливість застосування розгалуження для підвищення розмірів насіння.

Усі можливі кореляційні зв'язки ознак, що вивчалися, представлені у таблиці 2.

Таблиця 2 - Кореляційні зв'язки між морфологічними ознаками соняшника

Ознаки	Висота рослин				
Діаметр кошика	0,13	Діаметр кошика			
Кількість бокових гілок	0,01	<b>0,54</b>	Кількість бокових гілок		
Ширина сім'янки	0,18	<b>0,51</b>	0,33	Ширина сім'янки	
Довжина сім'янки	0,24	0,36	0,30	<b>0,59</b>	Довжина сім'янки
Товщина сім'янки	0,04	<b>0,54</b>	0,24	<b>0,74</b>	0,41

Розмірковуючи над отриманими результатами, можна зробити важливий висновок, що в цій групі морфологічних ознак існує досить цікаве їх поєднання, а саме ознаки розміру сім'янок пов'язані діаметром кошику в першу чергу. Тобто найбільш важливою селекційною ознакою за якою треба вести добір зразків для збільшення розміру насіння, є діаметр кошика.

Для селекції ж у кондитерському напрямку соняшника є досить великі можливості. Справа в тому, що відомі досі кондитерські сорти соняшника мають підвищену лушпинність та порівняно більшу довжину сім'янки. Раніше було з'ясовано, що на масу 1000 насінин більш за інші розміри насіння впливає довжина сім'янки. Представлена колекція має досить цікаві у цьому напрямку зразки. Наприклад, лінія InK2832 має довжину насіння 1,85 см, хоча діаметр кошика її досить помірний.

Напевне, усі селекційні спроби для створення цих ліній були не досить вдалим лише тому, що звичайна селекція не звертає уваги на окремі показники розмірів сім'янок. Тобто, якщо вести цілеспрямований добір на довжину насіння, можна створити більш вдалі лінії кондитерського напрямку використання.

## ВИСНОВКИ

1. Встановлені суттєві кореляційні зв'язки між ознаками розмірів сім'янки та діаметром кошику, між кількістю гілок та діаметром кошику.
2. Для збереження та підвищення розмірів насіння у селекційному процесі у більшості випадків достатньо враховувати діаметр кошику.
3. Колекція соняшнику має можливості для створення ліній з ознаками крупноплідності, тобто кондитерського напрямку використання. Це можливо, якщо вести цілеспрямований добір на довжину насіння.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Перестова Т.А. Морфолого-анатомические особенности плода видов рода – Helianthus, используемых в селекции: Автореферат диссертации канд. биол. наук. - Ленинград, - 1975.-146с.
2. Столетова Е.А. Полевые и огородные культуры Армении // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции.- Т. XXIII.- 1929-1930.- Вып.4. – С. 236-237.
3. Diaz Carrasco H., Velazouez Oel, Lopez Maria Teresa, Garcia Omaid, Gonzales Mauri Jorge. Correlaciones fenotipicas y coeficientes de sendero en caracteres agronomicos del girasol. / Cienc.agr. 1986. - №29. – P. 55-58.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. – М.: Колос, 1965.-224с.

## РОЗМІРИ НАСІННЯ СОНЯШНИКА ЯК СЕЛЕКЦІЙНІ ПОКАЗНИКИ

\*Ведмедева К.В., науковий співробітник,  
Пересипкіна Т.М., к.б.н., доцент, Цапук Н.О., студент

*\*Інститут олійних культур УААН, Запорізький державний університет*

На гібридному матеріалі встановлена суттєва кореляція між ознаками маси 1000 сім'янок та довжина сім'янки та відсутність кореляції між врожайністю гібридів та розмірами сім'янки. З отриманих результатів видно, що для врожаю гібридів соняшника найбільш важливим показником із розмірів сім'янки є її довжина.

*Ключові слова: соняшник, ознака, насіння, кореляція.*

\*Ведмедева Е.В., Пересыпкина Т.Н., Цапук Н.О. РАЗМЕР СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА КАК СЕЛЕКЦИОННЫЙ ПОКАЗАТЕЛЬ / \*Институт Масличных Культур Уаан, Запорожский Государственный Университет, Украина

На гибридном материале установлена существенная корреляция между признаками массы 1000 семян и длиной семян и отсутствие корреляции между урожайностью гибридов и размером семечки. Из полученных результатов видно, что для урожая подсолнечника наиболее важным показателем из размеров семени является его длина.

*Ключевые слова: подсолнечник, семена, корреляция.*

\*Vedmedeva E.V., Peresipkina T.N., Zapuk N.O. SUNFLOWER SEED SIZE AS A BREEDING PARAMETER / \*Institute Of Oilseed Crops Uaas, Zaporizhzhya State University, Ukraine

Essential correlation between 1000 seeds weight and seed length, and absence of correlation between productivity of hybrids and seed size were established using hybrid material. From the received results it is clear, that for a high yield of sunflower hybrids the most important of the seed sizes is seed length.

*Key words: sunflower, trait, seed, correlation.*

### ВСТУП

Генетика соняшника вже налічує більш ніж 50 генів морфологічних ознак. Існує багато статей про вивчення кореляцій та спадкування ознак, які мають вплив на врожайність цієї культури, але лише кілька дослідів були проведені з вивченням ознак сім'янок. Перше найгрунтовніше дослідження було проведено Плачек Е.М. у 1915 році [1]. Вона описала усі наявні забарвлення насінин, але за розміром весь колекційний матеріал було тільки розділено на малі, середні та великі, без позначення якимось цифрами. Наступні ґрунтовні досліді та опис колекції було зроблено Перестовою Т.А. у 1975 році [2]. Вона з'ясувала успадкування забарвлень насінин, а також те, що співвідношення розміру основи до довжини сім'янки має полігенний контроль успадкування. Усі інші відомі дослідження у цьому напрямку брали до уваги лише забарвлення насінини, але не її розміри.

Існує ще й рослинницько-селекційний напрямок досліджень, у роботах якого іноді вивчається зв'язок розміру насіння та врожайності. Так, Борисонник З.Б. та Мінковський А.Є. констатують, що за їхніми спостереженнями врожайні властивості насіння усіх фракцій товщиною більш 3 мм однакові, незалежно від густоти стояння материнських рослин [3].

Díaz Carrasco Н. зі співробітниками виявили пряму кореляцію між врожаєм насіння та масою 1000 насінин (0,63) [4]. Але у жодному з відомих нам досліджень не розглянуто питання необхідності добору селекційних зразків за розмірами насіння. Тому цікаво було дослідити, які розміри мають переваги у створенні гібридів соняшника.

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Посіви соняшника розміщалися по попереднику – озимій пшениці. Передпосівна культивування проводилася на глибину 6-8см з одночасним внесенням гербіциду трефлану в дозі 5 кг/га. Поле маркувалося у двох напрямках шестирядним начіпним маркером.

Посів проводили ручними саджалками на глибину 7-8 см. Обробку міжрядь проводили культиваторами та ручним прополюванням.

У розплідниках конкурсного іспиту гібридів загальна площа складає: ділянок 44,1 м<sup>2</sup>, облікова площа – 25,5 м<sup>2</sup>. Ділянки шестирядкові п'ятнадцятигніздні (0,7х0,7м) по дві рослини в гнізді, повторність – 4-кратна, 2 і 4 повторності рендомізовані.

Протягом вегетаційного періоду проводили такі обліки і спостереження:

- 1). фенологічні спостереження (50% прояву фази) – сходи, бутонізація, цвітіння, фізіологічне дозрівання;
- 2). біометричні виміри: висота рослин, діаметр кошика, тип нахилу кошика, число листків.

Збирання врожаю з облікової площі ділянки здійснювалися однофазним способом. Збір врожаю проводився методом суцільного обмолоту. Врожай насіння приводився до стандартної вологості (10%) і перераховувався на одиницю площі (т/га).

Після очищення насіння з кожної ділянки відбирався зразок для лабораторних оцінок, що містили визначення вологості, лушпинності, маси 1000 насінин, олійності й інших показників.

Статистична обробка експериментальних даних проводилася методом дисперсійного аналізу [5]. Досліди були проведені у 2003 році.

## РЕЗУЛЬТАТИ Й ОБГОВОРЕННЯ

По-перше, було вивчено вплив розмірів насінин на звичайні селекційні ознаки. Було проведено вимірювання усіх потрібних вихідних даних на 26 гібридах соняшника, внесених до реєстру сортів рослин України. Виявилось, що ширина сім'янки змінюється від 0,62 см у гібрида Кий до 0,50 см у гібрида Victor (табл.1). Розбіжність цих показників невелика, це говорить про пристосованість усіх гібридів до створення великого врожаю та, можливо, про оптимальні розміри сім'янки. У другій колонці - дані довжини сім'янок. Тут самий великий показник у гібрида Слав'янин 1,162 см і самий низький - в Одеського помаранчевого - 0,866 см. Із таблиці бачимо, що більшість гібридів розрізняється суттєво за цією ознакою. Це говорить про те, що саме довжина сім'янки буде впливати на масу 1000 насінин та, можливо, на врожай. Третя колонка за результатами виміру товщини сім'янок показала досить суттєву різницю між гібридами. Тому, можливо, на масу 1000 насінин може впливати товщина сім'янок. Результати дослідів представлені в таблиці 1.

Таблиця 1 - Біометричні показники гібридів соняшника

Гібриди	Ширина, см	Довжина, см	Товщина, см	Вага 1000 насінин, г	Врожай, т/га
1	2	3	4	5	6
Крузі	0,559	1,07	0,398	66,2	2,85
Одеський помаранчевий	0,53	<b>0,866</b>	<b>0,328</b>	<b>51,2</b>	3,02
Надійний	0,55	1,107	0,381	76,3	<b>3,82</b>
Хортиця	0,528	0,924	0,382	<b>57,8</b>	3,41
Олівко 3	0,52	0,932	0,348	62	3,17
Ант	0,546	0,976	0,348	55	2,82
Олівер	0,584	0,948	0,372	<b>57,8</b>	3,13
Одеський 149	0,548	0,972	0,388	59,7	<b>2,49</b>
Слав'янин	0,555	<b>1,162</b>	0,371	75,2	3,3
Красень	0,612	0,909	0,416	68,5	3,13
Світоч	0,607	1	0,427	68,3	2,98
Еней	0,594	0,983	0,403	75,8	3,72
Сівер	0,549	0,951	0,399	63,8	3,54
Дарій	0,531	0,997	0,39	63,3	3,16
Ковчег	0,601	1,061	<b>0,472</b>	61,2	3,18
Кий	<b>0,615</b>	0,939	0,404	67,2	3,24
Ной	0,573	0,94	0,381	62,9	3,44
Етюд	0,591	0,971	0,415	60,9	3,22
Дукат	0,55	0,93	0,381	71,2	3,75
Дунай	0,518	1,015	0,406	60,8	3,66
Victor	<b>0,502</b>	0,948	0,354	<b>58</b>	3,58
Tisa	0,508	0,98	0,404	64	3,7
Gena	0,509	0,936	0,313	<b>57,1</b>	3,73
Hortica	0,524	0,938	0,344	62,8	3,79
K93x2254B	0,568	1,091	0,389	75,9	3,43
1	2	3	4	5	6
K93xЛ-70В	0,605	1,057	0,405	<b>87,7</b>	3,37
K93x3Л678В	0,532	1	0,377	67,3	3,51
Кубанський 941	0,536	1,057	0,382	70,5	3,73
Юпітер	0,532	1,062	0,378	73,4	3,26
<b>НСР</b>	<i>0,05</i>	<i>0,08</i>	<i>0,05</i>		
<i>Вірогідність</i>	<i>3%</i>	<i>2,57%</i>	<i>3,87%</i>		

Проведено кореляційний аналіз шести пар ознак сім'янки. Коефіцієнт кореляції між ознаками маса 1000 насінин та довжина насіння дорівнює 0,63, маса 1000 насінин та ширина дорівнює 0,33, та маса 1000 насінин і товщина дорівнює 0,31. Маса з 1000 сім'янок має середній коефіцієнт кореляції тільки з довжиною сім'янки, а врожайність гібридів не корелює з яким-небудь розміром сім'янки.

Попитом у виробників сільськогосподарської продукції користуються гібриди, які мають досить велику масу 1000 насінин, крім, звичайно, й інших необхідних якостей таких, як врожай, олійність та ін. Якщо вирощувати насіннєвий матеріал, зменшуючи густоту стояння рослин, можна отримати досить велике насіння, але це зменшує кількість насіння.

Для того, щоб уникнути таких недоречностей, треба використовувати гібриди з більшою масою 1000 насінин у звичайній густоті вирощування рослин. Так, у нашому досліді густота стояння рослин усіх гібридів була однаковою. Проведений дослід свідчить, що за масою 1000 насінин, найважливішим є показник довжини сім'янки, менш важливим - товщина, та зовсім не важливою виявилася ширина. Крім того, як з'ясувалося, розміри насіння не мають кореляції з врожайністю. Це можна пояснити відсутністю великої різниці за врожаєм гібридів, оскільки для вивчення був узятий досить довго селектуємий матеріал, якість якого підтверджена багаторічними дослідями. Це дослідження не може повністю відповісти про доцільність відбору за розмірами насінин, але воно потребує необхідності вивчення спадкування ознак розмірів насіння, можливо застосовуючи якісь відносні показники, та впливу ознак батьківських форм на розмір насіння гібридів. Проведене дослідження вказує на можливість створення гібридів із доброю врожайністю та досить великою масою 1000 насінин, які будуть користуватися більшим попитом, ніж звичайні.

### ВИСНОВКИ

1. Встановлена суттєва кореляція між ознаками: маса 1000 сім'янок та довжина сім'янки.
2. Встановлена відсутність кореляції між врожайністю гібридів та розмірами сім'янки.
3. З отриманих результатів видно, що для врожаю соняшника серед гібридів важливою є довжина сім'янки, тому що мінливість інших розмірів сім'янки не досить велика. Тому стає цікавим пошук збільшення цих параметрів.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Плачек Е.М. Подсолнечник // Труды саратовской областной сельскохозяйственной опытной станции. Отчёт Селекционного Отдела.- Вып. V. - Саратов.- 1915. - С.58-74.
2. Перестова Т.А. Морфолого-анатомические особенности плода видов рода – *Helianthus*, используемых в селекции: Автореферат диссертации канд. биол. наук. - Л., 1975. –146 с.
3. Борисонник З.Б., Минковский А.Е. Проблема использования наиболее плотных семян подсолнечника для посева // Селекция и семеноводство. – М., 1988. - №6. - С. 38-42.
4. Diaz Carrasco H., Velazquez Oel, Lopez Maria Teresa, Garcia Omaid, Gonzales Mauri Jorge. Correlaciones fenotipicas y coeficientes de sendero en caracteres agronomicos del girasol. / Cienc.agr. 1986. - № 29. – P. 55-58.

УДК 577:581.143

## ИЗМЕНЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСТВОРИМЫХ ЛЕКТИНОВ ПРОРОСТКОВ ЛЬНА МАСЛИЧНОГО В ОТВЕТ НА АБИОГЕННОЕ СТРЕССОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ

Войтович Е.Н., к.б.н., ст. преподаватель, Левчук А.Н., магистр

*Запорожский государственный университет*

Исследовано влияние температурного, осмотического стресса и засоления на изменение активности лектинов у 7-дневных проростков *Linum usitatissimum* L. Показаны сортовые различия в активности и углеводной специфичности лектинов. Абиотические стрессы индуцировали различные уровни изменения функциональных характеристик лектинов в зависимости от устойчивости сорта и интенсивности стресса.

*Ключевые слова: абиотический стресс, лектины, углеводная специфичность, устойчивость*

Войтович О.М., Левчук Г.М. ЗМІНА ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗЧИННИХ ЛЕКТИНІВ ПРОРОСТКІВ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО У ВІДПОВІДЬ НА АБІОГЕННИЙ СТРЕСОВИЙ ВПЛИВ / Запорізький державний університет, Україна

Досліджено вплив температурного, осмотичного стресу і засолення на зміну активності лектинів у 7-денних проростків *Linum usitatissimum* L. Показано сортові відмінності в активності і вуглеводній специфічності лектинів. Абіотичні стреси індукували різні рівні зміни функціональних характеристик лектинів залежно від стійкості сорту й інтенсивності стресу.

*Ключові слова: абіотичний стрес, лектини, вуглеводна специфічність, стійкість*

Vojtovich E.N., Levchuk A.N. CHANGE OF THE FUNCTIONAL CHARACTERISTICS SOLUBLE LECTINS SPROUTS OF FLAX OLIVE IN REPLY TO ABIOTIC STRESSFUL INFLUENCE / Zaporizhzhya State University, Ukraine

Influence of a temperature, osmotic stress and salinization on change of lectins activity at 7-day's sprouts *Linum usitatissimum* L is investigated. The sort distinctions in activity and carbohydrate specificity of lectins are shown. Abiotic stresses induced various levels of change of the functional characteristics of lectins in dependence on resistance of a grade and intensity of a stress.

*Key words: abiotic stress, lectins, carbohydrate specificity, resistance*

## ВВЕДЕНИЕ

Абиотические стрессовые факторы вызывают значительные перестройки в метаболизме клеток растений, которые затрагивают все стороны их жизнедеятельности. Важную роль в адаптации растений к этим факторам отводят лектинам – углеводсвязывающим белкам, которые благодаря наличию свойства специфично и обратимо связывать углеводные детерминанты или глюкоконъюганты без нарушения их ковалентных связей, могут принимать участие в процессах узнавания, тем самым обеспечивая специфичность межмолекулярных взаимодействий [1].

В литературе имеются данные об изменении уровня лектинов в растениях при абиотических стрессах: под влиянием засухи и осмотического шока [2], засоления [3-5], гипотермии [6-8], гипертермии [9-10], раневого стресса [11], что свидетельствует об участии лектинов в неспецифических защитных реакциях растений.

Наиболее изученным объектом в этом отношении является озимая пшеница. В то же время изучение влияния абиогенных стрессоров на активность и специфичность лектинов других культур может дать дополнительную информацию для понимания механизма адаптации и физиологической роли лектинов в растении в целом.

В связи с этим мы в своей работе исследовали влияние различных стрессов на активность лектинов в проростках льна масличного.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом исследования служили проростки льна масличного (*Linum usitatissimum* L.) четырех сортов: Циан, Антарес, Айсберг и К6080, взятых из коллекции Института масличных культур УААН.

Семена проращивали в чашках Петри во влажной камере.

При температурном стрессе 6-дневные проростки подвергались трехчасовой инкубации либо при 4°C (гипотермия), либо при 40°C (гипертермия) с последующим суточным ростом при комнатной температуре. Осмотический стресс создавали путем проращивания семян на растворе осмотика (15% сахара), а солевой стресс – на 1%-ном хлористом натрия в течение 7 суток.

Анализ сырья проводили на восьмые сутки.

Экстракцию растворимого лектина проводили по методике, описанной [12], с последующим высаливанием сульфатом аммония (при 70 %-ном насыщении) и осаждением ацетоном (при 60 %).

Лектиновую активность определяли общепринятыми методами [1] – по реакции гемагглютинации с трипсинизированными эритроцитами человека и выражали как величину, обратную наименьшей концентрации лектина, при которой еще наблюдается агглютинация (мкг/мл<sup>-1</sup>).

Концентрацию лектина в очищенном ацетоном экстракте определяли по методу Варбурга и Кристиана [13].

Углеводную специфичность лектинов определяли по угнетению реакции гемагглютинации в присутствии растворов углеводов [1].

Исследования проводились в четырехкратной биологической повторности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований обнаружена неоднозначная реакция лектинов на стрессовое воздействие. Отличия определялись как генотипически обусловленной сортовой спецификой проростков, так и напрямую зависели от типа абиогенного фактора.

Так, условия, моделирующие засуху, вызвали существенное снижение активности растворимых лектинов у всех анализируемых сортов, которое составляло 74-92% по сравнению с контролем в зависимости от генотипа (рис. 1). Столь значимое падение активности может быть связано с общей засухоустойчивостью культуры и высокими показателями адаптационной способности к осмотическому стрессу у выбранных для анализа сортов.

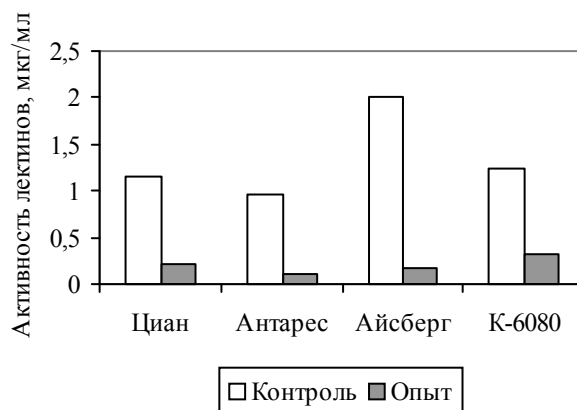


Рис.1 Изменение активности лектинов при осмотическом стрессе

Воздействие повышенных температур у большинства сортов привело к падению уровня активности растворимых лектинов на 56-63%, и лишь сорт Антарес показал увеличение уровня активности на 24% по сравнению с контролем (рис.2). Подобные сортовые различия, учитывая аналогичные закономерности, выявленные на других культурах [8,10], позволяют говорить о дифференцировке генотипов по устойчивости к гипертермии. Показано, что неустойчивые сорта характеризуются повышением уровня активности лектинов, тогда как у устойчивых сортов этот показатель не изменяется или снижается.

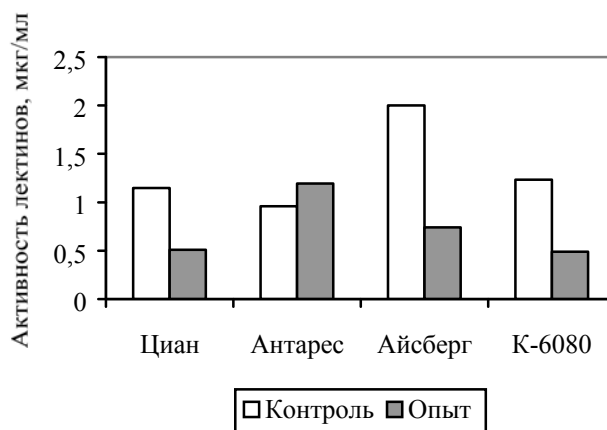


Рис. 2. Изменение активности лектинов при высокотемпературном стрессе

Подобные тенденции, позволяющие делать предположения об относительной устойчивости сорта, обнаруживаются и при действии холодового и солевого стресса (рис. 3 и 4). Реакция на гипотермический шок у сорта Антарес проявилась в значимом и довольно существенном увеличении активности растворимых лектинов на 226% по сравнению с контролем, тогда как лектины проростков сорта Айсберг, наоборот, снизили свою активность на 64%.

Рост проростков на 1% растворе хлорида натрия, что создавало условия засоления, подтвердил возможность неоднозначного ответа со стороны лектинов в зависимости от сортовой принадлежности растения. Сорта Айсберг и Антарес показали увеличение уровня активности на 43 и 247% соответственно, в то время как лектины сорта Циан снизили свою активность на 33% по сравнению с контролем.

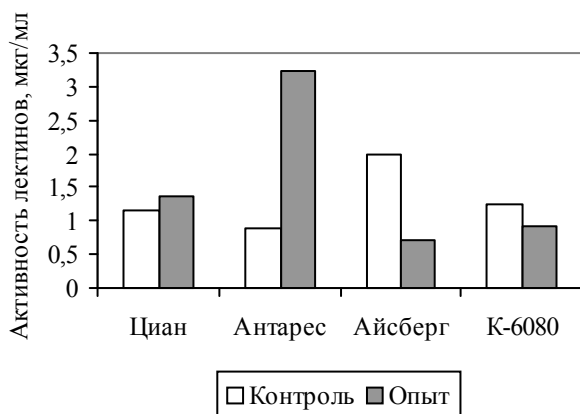


Рис. 3. Изменение активности лектинов при холодном стрессе

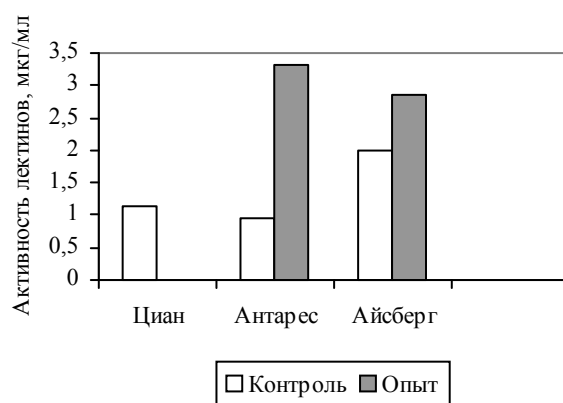


Рис. 4. Изменение активности лектинов при солевом стрессе

Основной биологической характеристикой лектинов является их участие в углевод-белковых взаимодействиях на основании присущей им избирательности к углеводным детерминантам. Поэтому углеводная специфичность служит функциональной характеристикой этих белков. В связи с этим нами проанализировано возможное изменение этого показателя в ответ на стрессовое воздействие. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Изменение углеводной специфичности лектинов проростков льна масличного при стрессе

Вариант стресса	Углеводы							
	глюкоза	сахароза	галактоза	манноза	мальтоза	лактоза	арабиноза	ксилоза
<b>ЦИАН</b>								
Контроль	-	-	+	-	-	+	+	+
Холодовой	-	-	-	-	-	-	+	+
Высокотемпературный	-	-	+	+	-	-	-	-
Осмотический	+	-	-	-	-	-	-	-
Солевой	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>АНТАРЕС</b>								
Контроль	-	-	-	-	+	+	-	-
Холодовой	-	-	-	-	-	+	-	-
Высокотемпературный	-	-	-	-	+	+	-	-
Осмотический	-	-	-	-	+	-	+	-
Солевой	+	-	+	+	+	+	+	-
<b>АЙСБЕРГ</b>								
Контроль	-	-	-	-	-	+	+	+
Холодовой	+	-	+	-	-	+	+	+
Высокотемпературный	+	-	+	-	+	-	+	+
Осмотический	-	+	-	-	-	-	-	-
Солевой	-	-	+	-	+	-	-	-
<b>К-6080</b>								
Контроль	-	-	-	-	+	+	+	+
Холодовой	-	-	+	+	-	+	+	-
Высокотемпературный	+	-	-	+	-	+	+	-
Осмотический	-	-	-	+	+	+	-	-

+ - угнетение реакции агглютинации;

- наличие агглютинации.

В результате изучения угнетения простыми сахарами гемагглютинирующей активности лектинов наблюдались сортовые отличия. Причем некоторые из сахаров (лактоза, арабиноза, ксилоза) оказались специфичными практически для лектинов всех сортов. Все применяемые стрессоры в разной степени

изменяли углеводную специфичность лектинов, что служит дополнительным доказательством их участия в неспецифических механизмах устойчивости. Эта реакция также показала генотипически обусловленную природу. Подобные результаты были получены ранее на других культурах [14].

Принимая во внимание вышесказанное, а также обнаруженные нами тенденции в распределении сортов по изменению активности лектинов, постстрессовые изменения углеводной специфичности показали общие закономерности. Наблюдаемые тенденции, а именно расширение или сужение спектра углеводной специфичности или её полное изменение соотносятся с общим изменением активности лектинов. У сортов, характеризующихся повышением лектиновой активности, углеводная специфичность либо не изменяется, либо её спектр сужается. У сортов с наблюдаемым уменьшением активности лектинов отмечена их специфичность к большему, а иногда и совсем иному набору сахаров.

## ВЫВОДЫ

1. Активность растворимого лектина проростков льна масличного достоверно изменяется при воздействии всех изученных нами типов абиотических стрессов, что подтверждает их участие в адаптационных механизмах.
2. Сортвые отличия в реакции на стресс как по направлению изменения активности лектинов, так и по степени этого изменения позволяют предположить возможное использование этого показателя как одного из критериев устойчивости генотипа к различным стрессам.
3. Наблюдаемые тенденции в изменении углеводной специфичности, а именно расширении или сужения спектра, или её полное изменение соотносятся с общим изменением активности лектинов. При повышении лектиновой активности углеводная специфичность либо не изменяется, либо её спектр сужается, при понижении лектиновой активности наблюдается противоположная тенденция.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Луцик М.Д., Панасюк В.М., Луцик А.Д. Лектины. – Львов: Вища школа, 1981 –156с.
2. Cammue В.Р.А., Broecaert W.F., Kellens I.T.S., Raichel N.V., Peumans V.I. Stress-induced accumulation of wheat germ agglutinin and abscisic acid in root of wheat seedlings // Plant Physiol.- 1989. - Vol. 91, №3/ - P.1432.
3. Шакирова Ф.М., Безрукова М.В., Хайруллин Р.М., Ямалеев Л.М. Увеличение уровня лектина в проростках пшеницы под влиянием солевого стресса // Изв. РАН.- 1993.- №1. – С.142-145.
4. Шакирова Ф.М., Безрукова М.В. Изменение содержания АБК и лектина в корнях проростков пшеницы под влиянием 24-ЭБ и засоления // Физиология растений, 1998. – Т.45, №3.- С.451-455.
5. Шакирова Ф.М., Безрукова М.В., Авальбаев А.М., Райхутдинова Р.А. Механизмы регуляции накопления лектина в проростках пшеницы при засолении // Физиология растений. – 2003. – Т.50, №3. – С.341 –345.
6. Комарова Э.Н., Выскребенцева Э.И., Трунова Т.И. Изменение лектиновой активности меристемы узла кушения озимой пшеницы при закаливании к морозу // Физиология растений, 1995. – Т.42, №4.- С.612-615.
7. Комарова Э.Н., Выскребенцева Э.И., Трунова Т.И. Активность лектиноподобных белков клеточных стенок и внешних мембран органел и их связь с эндогенными лигандами в проростках озимой пшеницы при холодной адаптации // Физиология растений, 2003. – Т.50, №4. – С.511-516.
8. Тимофеева О.А., Хохлова Л.П., Трифонова Т.В., Беяева Н.В., Чулкова Ю.Ю. Индуцированные модификаторами цитоскелета изменения активности лектина при адаптации растений к низким температурам и обработке АБК // Физиология растений, 1999. – Т.46, №2. - С. 181-186.
9. Шакирова Ф.М., Безрукова М.В., Шаяхметов И.Ф. Влияние теплового стресса на динамику накопления АБК и лектина в клетках каллуса пшеницы // Физиология растений, 1995. - Т.42, №5. – С.700-702.
10. Ляшок А.К., Григорюк І.П., Нижник Т.П., Феоктісов П.О. Амілолетична і лектинова активність у проростаючих зернівках озимої пшениці за дії високотемпературного стресу // Физиология и биохимия культурных растений, 2003.- Т.35, №2. - С.172-177.
11. Любимова Н.В., Лахтин В.М., Бинюков В.И., Шувалова Е.П. Структурно-функциональные изменения цитоплазматической мембраны растительной клетки, индуцированные раневым стрессом // Прикладная биохимия и микробиология.- 1988. –Т.24. – Вып.1. – С.110.

12. Бабоша А.В. Действие  $\alpha$ -интерферона человека и вирусной инфекции на активность фитогемагглютининов и другие показатели в листьях растений табака и картофеля // Физиология растений, 1995. – Т.42. - №6. – С.891-898.
13. Практикум по биохимии / Под ред. С. Е. Северина, Г.А.Соловьевой. - М.: МГУ, 1989. - С.81-83.
14. Комарова Э.Н., Выскребенцева Э.И., Трунова Т.И. Изменение лектиновой активности клеточных стенок этиолированных проростков озимой пшеницы в процессе закаливания к морозу./ Докл. РАН, 1993. – Т.329, №5. – С.680-682.

УДК 669.5:61

## **ЗМІНИ ВМІСТУ ЦИНКУ В ГРАНУЛОЦИТАХ КРОВІ ПРИ ІМУНОДЕФІЦИТІ З ВІЛ-ІНФЕКЦІЄЮ**

Григорова Н.В., к.б.н., доцент, Скорняков В.І., аспірант

*Запорізький державний університет*

Були проведені порівняльні дослідження імунного статусу та вмісту цинку в гранулоцитах крові в осіб контрольних та хворих на імунodefіцит з ВІЛ-інфекцією. Спостерігалась відповідність дефіциту цинку в клітинах важкості захворювання.

*Ключові слова: гранулоцити крові, дитизон, імунний статус, імунodefіцит, хінолін, цинк.*

Григорова Н.В., Скорняков В.І. ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЦИНКА В ГРАНУЛОЦИТАХ КРОВИ ПРИ ИММУНОДЕФИЦИТЕ С ВИЧ – ИНФЕКЦИЕЙ / Запорожский государственный университет, Украина

Были проведены сравнительные исследования иммунного статуса и содержания цинка в гранулоцитах крови у лиц контрольных и больных иммунодефицитом с ВИЧ-инфекцией. Наблюдалось соответствие дефицита цинка в клетках тяжести заболевания.

*Ключевые слова: гранулоциты крови, дитизон, иммунный статус, иммунодефицит, хинолин, цинк.*

Grigorova N.V., Skorniyakov V.I. ZINC CONTENT CHANGES IN BLOOD GRANULOCYTES UNDER IMMUNODEFICIT WITH HIV – INFECTION / Zaporizhzhya State University, Ukraine

Comparative investigations of immune status and zinc content in blood granulocytes were fulfilled in control subjects and subjects suffering from immunodeficit with HIV infection. Conformity was observed between zinc content in the cells and disease severity.

*Key words: blood granulocytes, dithizon, immune status, immunodeficit, quinoline, zinc.*

### **ВСТУП**

Актуальність дослідження імунного статусу осіб, хворих на імунodefіцити з ВІЛ – інфекцією, в Запорізькому регіоні визначається не тільки високим темпом приросту кількості виявлених ВІЛ – інфікованих, але і складними екологічними умовами, що впливають на стан імунної системи. У своїх дослідженнях нарівні з визначенням імунологічних показників за допомогою стандартних методів ми встановлювали вміст цинку в гранулоцитах крові. Враховуючи важливу роль цього металу в підтриманні імунного статусу, проведення таких досліджень ми вважали необхідним [1-13]. Раніше визначення вмісту цинку в зернистих лейкоцитах у ВІЛ – інфікованих осіб, хворих на імунodefіцити, не проводили в зв'язку з відсутністю досконалих методів його цитохімічного визначення. Розробка в нашій лабораторії високочутливих і селективних цитохімічних реакцій на цинк дитизону та 8 – (п-толуолсульфоніламіно) – хіноліну (8 – ТСХ) дозволила вирішити цю проблему [14,15].

Мета дослідження – вивчити стан імунної системи та вміст цинку в зернистих лейкоцитах у осіб, хворих на імунodefіцит з ВІЛ – інфекцією.

### **2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ**

Матеріалом дослідження слугували проби крові 85 осіб, серед яких 45 осіб були контрольними, а 40 – хворими на імунodefіцити з ВІЛ - інфекцією.

Імунний статус організму людей визначали за показниками специфічного (клітинного та гуморального) та неспецифічного імунітету. Функціональний стан клітинної ланки імунітету визначали за показниками кількості Т- і В - лімфоцитів і їх субпопуляційного складу методом розеткоутворювання. Для з'ясування стану гуморального імунітету в обстежених осіб використовували показники рівня імуноглобулінів G, А,М по Манчіні та циркулюючих імунних комплексів (ЦІК) по Діжону, а також титру гетерофільних

антигін. Результати досліджень титру комплементу за 50% гемолізом, фагоцитарної активності та показників тесту відновлення нітросинього тетразолію (НСТ – тесту) свідчили про стан факторів неспецифічної резистентності організму.

З метою порівняння результатів імунологічних тестів і стану метаболізму цинку в гранулоцитах крові використовували цитохімічні методи виявлення цього металу за допомогою дитизону та 8 – ТСХ. Для постановки цитохімічних реакцій використовували мазки периферійної крові.

Перед забарвленням дитизоном мазки фіксували протягом 5 хв у парах формаліну. Для цього в чашку Петрі наливали 20 мл формаліну, на її дно клали 2 скляних валика, поверх яких мазками униз клали предметні стекла. Чашку закривали кришкою. По закінченні терміну фіксації з чашки Петрі знімали кришку, витягали предметні стекла та клали на дно іншої чашки мазками догори. На них наливали за допомогою піпетки робочий розчин дитизону. Чашку закривали кришкою. Забарвлення мазків проводили протягом 3 год. Потім кришку знімали, мазки промивали дистильованою водою протягом 5 хв і занурювали в желатин. Мікроскопіювали у видимому світлі.

Робочий розчин дитизон готували п'ятиразовим розведенням дистильованою водою його основного розчину. Для приготування останнього в колбу з притертою пробкою наливали 30 мл дистильованої води, додавали 0,6 мл 25 % розчину гідроксиду амонію та 400 мг дитизону. Суміш перемішували на водяній бані протягом 10 хв при 70°C. Потім фільтрували через беззольний фільтр. Оскільки на фільтрі залишалося близько чверті наважки нерозчиненого реагенту, фільтрат являв собою 1% водно-аміачний розчин дитизону. Отже, мазки забарвлювали 0,2 % водно-аміачним розчином дитизону.

На препаратах цинк виявлявся у вигляді червоних цитоплазматичних гранул у зернистих лейкоцитах.

При постановці цитохімічної реакції 8 – ТСХ з цинком мазки одночасно фіксували та забарвлювали обробкою протягом 1 хв 0,01 % ацетоновим розчином 8 – ТСХ. Потім їх промивали протягом 5 хв у дистильованій воді, замикали в гліцерин. Мікроскопіювали у світлі люмінесценції. Для збудження останньої застосовували світлофільтр ФС-1, а як окулярний використовували світлофільтр зі скла ЖС – 18.

На препаратах цинк виявлявся в зернистих лейкоцитах у вигляді цитоплазматичних гранул з жовто-зеленою люмінесценцією.

Інтенсивність цитохімічних реакцій дитизону та 8 – ТСХ оцінювали за бальною системою [16,17]. За один бал приймали слабо позитивну, два бали – помірну, три бали – виражену за інтенсивністю реакції. Результати напівкількісного визначення цинку в гранулоцитах крові (за бальною системою) підкріплювали даними кількісного визначення (шляхом підрахунку кількості гранул у клітинах). На підставі підрахунку в 100 гранулоцитах виводили середню арифметичну величину ( $\bar{X}$ ), похибку (m) та показник достовірності (p).

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

В осіб контрольної групи (n = 45) кількість лейкоцитів складала в середньому  $5,71 \pm 0,321 \times 10^9$  /л, серед яких нараховувалось  $2,16 \pm 0,184 \times 10^9$  /л лімфоцитів, що відповідало  $37,8 \pm 2,31$  %.

У результаті проведення реакції розеткоутворення встановлено, що в осіб контрольної групи абсолютна кількість тотальних Є – розеткоутворюючих клітин (Є – РУК) складала  $1,15 \pm 0,142 \times 10^9$  /л, що у відносному значенні дорівнювало  $53,2 \pm 3,47$  %. Ці показники в безосадових Є – РУК становили відповідно  $0,26 \pm 0,021 \times 10^9$  /л і  $12 \pm 1,3$  %, у ранніх Є – РУК –  $0,88 \pm 0,092 \times 10^9$  /л і  $40,7 \pm 3,85$  %, відновлених Є – РУК –  $0,65 \pm 0,063 \times 10^9$  /л і  $30,1 \pm 2,74$  %, комплексних Є – РУК –  $1,26 \pm 0,131 \times 10^9$  /л і  $58,3 \pm 5,04$  %, стабільних Є – РУК –  $0,29 \pm 0,024 \times 10^9$  /л і  $13,4 \pm 1,19$  %, аутологічних Є – РУК –  $0,23 \pm 0,011 \times 10^9$  /л і  $10,6 \pm 1,23$  %, активно стимульованих Є – РУК –  $0,37 \pm 0,024 \times 10^9$  /л і  $17,1 \pm 2,18$  %. Різниця між відносною кількістю комплексних Є – РУК і тотальних Є – РУК (показник кількості молодих малодиференційованих попередників лімфоцитів, які не несуть Є – рецептор) складала  $5,1 \pm 0,38$  %.

У хворих на імунодефіцити із ВІЛ – інфекцією (n = 40) кількість лейкоцитів складала в середньому  $6,5 \pm 0,33 \times 10^9$  /л. Відмінність від контролю була несуттєвою (p > 0,05) і складала  $1,54 \pm 0,142 \times 10^9$  /л. Кількість лімфоцитів порівняно з контролем зменшувалась на 28,7 % (p < 0,05), що відповідало  $23,7 \pm 2,11$  % від загальної кількості лейкоцитів.

У досліджених осіб встановлено зниження абсолютної кількості тотальних (загальних) Є – РУК на 49,6% ( $0,58 \pm 0,037 \times 10^9$  /л; p < 0,001), ранніх Є – РУК (індукторів – хелперів) – на 53,4 % ( $0,41 \pm 0,036 \times 10^9$  /л; p < 0,001), комплексних Є – РУК, які характеризують вміст малодиференційованих Т – лімфоцитів, - відповідно на 45,2% ( $0,69 \pm 0,054 \times 10^9$  /л, p < 0,001) і 26,1% ( $0,17 \pm 0,012 \times 10^9$  /л, p < 0,001). Навпаки, по відношенню до безосадових Є – РУК (активованих лімфоцитів), відновлених Є – РУК (субкласу кілерів) і активно стимульованих Є – РУК (В - лімфоцитів) встановлено підвищення їх абсолютної кількості на 34,6% ( $0,35 \pm 0,034 \times 10^9$  /л, p < 0,05), 32,3% ( $0,86 \pm 0,075 \times 10^9$  /л, p < 0,05) і 73% ( $0,64 \pm 0,053 \times 10^9$  /л, p <

0,001). Так, абсолютна кількість стабільних Є–РУК (теж показник малодиференційованих Т–лімфоцитів) статистично не відрізнялась від норми ( $p > 0,05$ ) та складала в середньому  $0,25 \pm 0,019 \times 10^9 / л$ . Показники відносної кількості клітин зростала у випадку з безосадовими Є–РУК і відновленими Є–РУК. При цьому середні їх величини склали відповідно  $22,7 \pm 1,85\%$ ; і  $55,8 \pm 4,62$ , що на  $89,2\%$  і  $85,4\%$ ; більше порівняно з контролем. В обох випадках різниці з контролем високодостовірні ( $p < 0,001$ ). Відносна кількість активно стимульованих Є – РУК підвищувалась в 2,43 рази, що в середньому відповідало  $41,6 \pm 4,12 \%$  ( $p < 0,001$ ), встановлено зниження відносної кількості тотальних Є – РУК на  $29,1\%$  ( $37,7 \pm 2,93 \%$ ;  $p < 0,001$ ), ранніх Є – РУК – на  $34,6 \%$  ( $26,6 \pm 2,17 \%$ ;  $p < 0,01$ ), комплексних Є – РУК – на  $23,2\%$  ( $44,8 \pm 3,79 \%$ ;  $p < 0,05$ ). Показники відносної кількості стабільних і аутологічних Є – РУК статистично не відрізнялись від нормальних величин ( $p > 0,05$ ) і склали в середньому відповідно  $16,2 \pm 1,56 \%$  і  $11,43 \pm 0,941 \%$ . Різниця між відносною кількістю комплексних Є – РУК і тотальних Є – РУК суттєво не збільшилась порівняно з контролем і в середньому складала  $5,9 \pm 0,47 \%$  ( $p > 0,05$ ).

Таким чином, у хворих на імунodefіцити з ВІЛ – інфекцією клітинна ланка імунітету характеризувалась зниженням вмісту лімфоцитів периферійної крові, рівня загальних Є – РУК і комплексних Є – РУК, а також кількості Т – лімфоцитів з хелперною активністю; підвищенням рівня активованих лімфоцитів, субкласу кілерів і В – лімфоцитів.

У контрольних осіб рівень імуноглобуліну G в середньому складав  $13,75 \pm 1,132$  г/л, імуноглобуліну А –  $2,37 \pm 0,184$  г/л, імуноглобуліну М –  $2,09 \pm 0,196$  г/л. У осіб цієї групи процентне співвідношення великі ЦІК / дрібні ЦІК мало вигляд  $8,3 \pm 0,76 / 33,4 \pm 3,02$ . Титр гетерофільних антитіл складав  $1 : 8 - 1 : 32$ .

Концентрація імуноглобуліну А в осіб з ВІЛ – інфекцією, хворих на імунodefіцити, підвищувалась на  $44,7\%$  ( $3,43 \pm 0,285$  г / л;  $p < 0,001$ ), а імуноглобуліну М - на  $92,8 \%$  ( $4,03 \pm 0,376$  г / л;  $p < 0,001$ ). Концентрація імуноглобуліну G достовірно не відрізнялась від значень контролю ( $p > 0,05$ ) і складала в середньому  $13,12 \pm 1,214$  г / л. У досліджених осіб процентне співвідношення великі ЦІК / дрібні ЦІК мало вигляд  $24,2 \pm 2,31 / 64,2 \pm 5,73$ . Отримані дані свідчать про підвищення кількості великих ЦІК в 2,9 рази ( $p < 0,001$ ), а дрібних ЦІК – в 1,9 рази ( $p < 0,001$ ). Титр гетерофільних антитіл порівняно з контролем був у двічі підвищеним і складав ( $1 : 16 - 1 : 64$ ) ( $p < 0,001$ ).

Отже, у хворих на імунodefіцити з ВІЛ – інфекцією відмічалась активація гуморальної ланки імунітету, що проявлялось підвищенням концентрації імуноглобулінів А та М, рівня ЦІК, а також титру гетерофільних антитіл.

В осіб контрольної групи активність комплементу складала  $58,4 \pm 5,21 \%$ , кількість позитивно реагуючих клітин у спонтанному НСТ – тесті –  $20,7 \pm 1,83\%$ , цитохімічний індекс –  $1,1 \pm 0,09$ ; фагоцитарна активність нейтрофілів –  $7,81 \pm 7,44\%$ , фагоцитарний індекс –  $5,8 \pm 0,41$ , індекс завершеності фагоцитозу –  $1,2 \pm 0,09$ . Методом “шкіряного вікна” на препаратах через 4 год. визначалось  $92,7 \pm 8,97 \%$  нейтрофілів,  $7,3 \pm 0,65 \%$  - моноцитів – макрофагів, а через 24 год  $9,6 \pm 0,88 \%$  клітин склали нейтрофіли та  $90,4 \pm 8,62 \%$  - моноцити – макрофаги.

Кількість позитивно реагуючих клітин у осіб дослідної групи в спонтанному НСТ – тесті складала  $15,6 \pm 1,08 \%$ , а цитохімічний індекс –  $0,4 \pm 0,02$ , що відповідно на  $24,6 \%$  ( $p < 0,05$ ) і  $63,6 \%$  ( $p < 0,001$ ) менше порівняно з контролем. Спостерігалось зниження фагоцитарної активності нейтрофілів на  $39,1 \%$  ( $p < 0,001$ ) та індексу завершеності фагоцитозу на  $33,3 \%$  ( $p < 0,001$ ), при цьому середні їх показники відповідали значенням  $47,6 \pm 3,82 \%$  і  $0,8 \pm 0,06$ . По відношенню до міграційної функції фагоцитів і активності комплементу достовірних різниць з контролем не встановлено ( $p > 0,05$ ). Методом “шкіряного вікна” на препаратах через 4 год визначалось  $91,3 \pm 7,92 \%$  нейтрофілів,  $8,7 \pm 0,76 \%$  - моноцитів – макрофагів, а через 24 год  $10,7 \pm 0,98 \%$  склали нейтрофіли та  $89,3 \pm 6,89 \%$  - моноцити – макрофаги. Активність комплементу складала в середньому  $49,1 \pm 4,37 \%$ .

Отже, у хворих на імунodefіцити з ВІЛ – інфекцією виявлено зміни реагування з боку неспецифічної ланки імунітету, що проявлялось зниженням показників НСТ – тесту та фагоцитозу.

При постановці цитохімічних реакцій дитизону та 8 – ТСХ у зернистих лейкоцитах крові – компонентах неспецифічної ланки імунітету в хворих на імунodefіцити з ВІЛ – інфекцією виявлені зміни вмісту цинку. Результати досліджень інтенсивності цих реакцій у досліджених осіб наведені в таблиці 1.

Із таблиці 1 видно, що в контрольних осіб середня інтенсивність цитохімічної реакції дитизону складала  $1,3 \pm 0,11$ , а 8 – ТСХ – реакції –  $1,4 \pm 0,13$ . У хворих на імунodefіцити з ВІЛ – інфекцією інтенсивність цитохімічної реакції дитизону складала  $1,0 \pm 0,07$ , що на  $23,1 \%$  нижче порівняно з контрольними величинами ( $p < 0,05$ ). Інтенсивність цитохімічної реакції 8 – ТСХ зменшувалась на  $21,4 \%$ , при цьому середні її показники відповідали  $1,1 \pm 0,09$  ( $p < 0,05$ ).

Таблиця 1 – Інтенсивність цитохімічних реакцій дитизону та 8-ТСХ у гранулоцитах крові ВІЛ – інфікованих осіб, хворих на імунодефіцити ( $\bar{X} \pm m$ ).

Група досліджених осіб	Інтенсивність реакцій, у.о.	
	дитизону	8-ТСХ
Контроль (n = 45)	1,3 ± 0,11	1,4 ± 0,13
Імунодефіцити з ВІЛ – інфекцією (n = 40)	1,0 ± 0,07	1,1 ± 0,09
p	< 0,05	< 0,05

Подібні зміни спостерігались при підрахунку в зернистих лейкоцитах кількості гранул дитизону та 8 – ТСХ (таблиця 2).

Таблиця 2 – Кількість гранул дитизону та 8-ТСХ у гранулоцитах крові ВІЛ – інфікованих осіб, хворих на імунодефіцити ( $\bar{X} \pm m$ ).

Група досліджених осіб	Кількість гранул	
	дитизону	8-ТСХ
Контроль (n = 45)	141 ± 4,9	143 ± 5,2
Імунодефіцити з ВІЛ – інфекцією (n = 40)	125 ± 3,5	128 ± 3,7
p	< 0,05	< 0,05

Як видно з даних цієї таблиці, у осіб контрольної групи в зернистих лейкоцитах крові нараховувалось у середньому 141 ± 4,9 дитизонових гранул і 143 ± 5,2 – гранул 8 – ТСХ. У хворих на імунодефіцити з ВІЛ – інфекцією середня кількість гранул дитизону складала 125 ± 3,5, що на 11,3 % менше порівняно зі значеннями контролю (p < 0,05). Кількість 8 – ТСХ – гранул скорочувалась на 10,5 %, що в середньому відповідало 128 ± 3,7 (p < 0,05).

Зниження інтенсивності реакцій і скорочення кількості гранул дитизону та 8 – ТСХ, встановлених за допомогою цитохімічних реакцій з реагентами на цинк, вказують на недостатність цього металу в досліджених клітинах.

Таким чином, у ВІЛ – інфікованих осіб з імунодефіцитами розвивався дефіцит цинку в зернистих лейкоцитах, наявність якого встановлено за допомогою цитохімічних реакцій дитизону та 8 – ТСХ.

#### 4. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

У хворих на імунодефіцити з ВІЛ – інфекцією за допомогою стандартних імунологічних методів встановлено відхилення з боку функціонування всіх ланок імунної системи.

За допомогою металохромних індикаторів на цинк дитизону та 8 – ТСХ виявлено дефіцит цього металу в гранулоцитах крові досліджених осіб.

Подальші дослідження будуть направлені на визначення стану імунної системи та вмісту цинку в гранулоцитах крові в осіб, хворих на СНІД.

#### ЛІТЕРАТУРА

- Gardner E.M. Immune response to influenza vaccine in healthy elderly: lack of association with plasma beta – carotene, retinol, alpha – tocopherol, or zinc // Mech. Ageing. Dev. – 2000. – Vol. 117. – № 1-3. – P.29-45.
- Salgueiro M.J. Zinc status and immune system relationship: a review // Biol. Trace Elem. Res. – 2000. – Vol. 76, №3. – P.193-205.
- Wellinghausen N. Zinc serum level in human immunodeficiency virus – infected patients in relation to immunological status // Biol. Trace Elem. Res. – 2000. – Vol. 73, №2. – P.139-149.
- Dalekos G.N., Ringstad J., Savaidis J., Seferiadis K.J., Tsianos E.V. Zinc, copper and immunological markers in the circulation of well nourished patients with ulcerative colitis // Eur. J. Gastroenterol. Hepatol. - 1998. – Vol. 10, №4. – P. 331 – 337.
- Vignolini F., Nobili F., Mengleri E. Involvement of interleukin – 1 beta in zinc deficiency induced intestinal damage and beneficial effect of cyclosporine A // Life Sci. - 1998. – Vol. 62, №2. – P. 131 – 3141.

6. Solomons N.W. Mild human zinc deficiency produces an imbalance between cell-mediated and humoral immunity // *Nutr. Rev.* – 1998. – Vol. 56, №1. – P.27-28.
7. Thurnham D.J. Micronutrients and immune function: some recent developments // *J. Clin. Pathol.* – 1997. – Vol. 50, №11 – P. 887-891.
8. Бабенко Г.О., Завійський Ю.М. Про роль цинку в формуванні імунодепресивного ефекту імурану // *Фізіол. журнал.* – 1996. – Т.42. – С.51-57.
9. Litzman J., Dastyh M., Hegar P. Analysis of zinc, iron and copper serum levels in patients with common variable immunodeficiency // *Allergol. Immunopathol.* – 1995. – Vol. 23, №3. – P. 117-120.
10. Kang C., Fromm H.J. Identification of an essential second metal ion the reaction mechanism of *Escherichia coli* adenylosuccinate synthetase // *J. Biol. Chem.* - 1995. – Vol. 270, №26. – P.1539-15544.
11. Coyle P., Philcox J.C., Rofe A.M. Corticosterone enhances the zinc and interleukin – G – mediated induction of metallothionein in cultured rat hepatocytes // *J. Nutr.* – 1993. – Vol. 123, №9. – P. 1464-1470.
12. Keen C.L., Gershwin M.C. Zinc deficiency and immune function // *Ann. Rev. Nutr.* – 1990. – Vol. 10. – P. 415 – 431.
13. Bach J. F., Dardenne M. Thymulin, a zinc – dependent hormone // *Med. Oncol. Tumor. Pharmacother.* - 1989. – Vol. 6, №1. – P.25-29.
14. Гольдберг Е.В., Бовт В.Д., Ещенко В.А. Диагностическое значение селективной цитохимической реакции в гранулоцитах периферической крови // *Клиническая лабораторная диагностика.* – 1993. – №3. – С. 25-27.
15. Ещенко В.А., Бовт В.Д., Сколібог С.О. Цитохімічна дитизонова реакція в гранулоцитах крові при цинкодефіцитних станах // *Лікарська справа.* – 1994. – №9-12. – С.86-88.
16. Соколовский В.В. Гистохимические исследования в токсикологии. – Л.: Медицина, 1971. – 172 с.
17. Хейхоу Ф.Г. Дж., Кваглино Д. Гематологическая цитохимия. – М.: Медицина, 1983. – 320 с.

УДК 577.4:599.745

## ВЛИЯНИЕ ЗАРАЖЕННОСТИ ГЕЛЬМИНТАМИ НА ВЕС НЕПОЛОВОЗРЕЛЫХ И ПОЛОВОЗРЕЛЫХ ОСОБЕЙ КАСПИЙСКОГО ТЮЛЕНЯ (*PHOCA CASPICA*)

Демиденко Л. А., ассистент

*Крымский государственный медицинский университет им. С. И. Георгиевского*

Исследован вес половозрелых и неполовозрелых особей каспийского тюленя в зависимости от присутствия или отсутствия гельминтов в его органах. Из 13 видов гельминтов достоверное влияние на вес отмечено только для трематоды *Pseudamphistomum truncatum* ((Rudolphi 1819) Luhe 1908) при паразитировании её в двенадцатиперстной кишке, цестоды *Diphyllobothrium phocarum* (Delamure, Kurochkin et A. Skriabin 1964) и акантоцефала *Cooperosoma caspicum* (Golvan et Mokhaer 1973) – в тонком кишечнике.

*Ключевые слова:* каспийский тюлень, гельминты, вес.

Демиденко Л.О. ВПЛИВ ЗАРАЖЕНОСТІ ГЕЛЬМІНТАМИ НА ВАГУ НЕСТАТЕВОЗРІЛИХ І СТАТЕВОЗРІЛИХ ОСОБИН КАСПІЙСЬКОГО ТЮЛЕНЯ (*PHOCA CASPICA*) / Кримський державний медичний університет ім. С. І. Георгіївського, Україна

Досліджено вагу статевозрілих і нестатевозрілих особин каспійського тюленя в залежності від інвазованості їх гельмінтами. З 13 видів гельмінтів достовірний вплив на вагу відзначено тільки для трематоди *Pseudamphistomum truncatum* ((Rudolphi 1819) Luhe 1908) при паразитуванні її в дванадцятипалій кишці, цестоди *Diphyllobothrium phocarum* (Delamure, Kurochkin et A. Skriabin 1964) і акантоцефала *Cooperosoma caspicum* (Golvan et Mokhaer 1973) - у тонкому кишечнику.

*Ключові слова:* каспійський тюлень, гельмінти, вага.

Demidenko L. A. INFLUENCE OF HELMINTHE INFECTIONS ON WEIGHTS OF UNPUBERTAL AND PUBERTAL INDIVIDUALS OF CASPIAN SEAL (*PHOCA CASPICA*) / Crimea State University named by S. I. Georgiivskiy, Ukraine

Weights of pubertal and unpubertal individuals of Caspian seal were investigated in respect of presence of helminthes in their organs. Among the 13 helminthe species only trematode *Pseudamphistomum truncatum* ((Rudolphi 1819) Luhe 1908) infecting duodenum, cesthode *Diphyllobothrium phocarum* (Delamure,

Kurochkin et A. Skriabin 1964) and acanthocephal *Corynosoma caspicum* (Golvan et Mokhaer 1973) infecting intestine, have shown significant influence on the Caspian seal weight.

*Key words: Caspian seal, helminthes, weight.*

Каспийский тюлень (*Phoca caspica* Gmelin, 1788) – эндемичный вид ластоногих, который встречается только в акватории Каспийского моря. Численность его в последние годы значительно сократилась, что заставило исследователей обратить внимание на возможные причины этого. В частности, большое внимание было уделено изучению вирусной инфекции с помощью иммунологических, микробиологических и вирусологических методов исследования [1]. Однако хорошо известно, что на состояние популяций морских млекопитающих, наряду с этими и другими факторами, большое влияние может оказывать зараженность особей гельминтами. Гельминты, вызывая патологические изменения в различных органах и тканях, как правило, приводят к снижению упитанности и жизнеспособности хозяина. Вместе с тем следует иметь в виду, что характер воздействия паразитов на хозяина необычайно многообразен, причем нередко один и тот же паразит действует на хозяина в разных направлениях. При этом степень патогенности сильно зависит от интенсивности инвазии [2]. Так, установлено, что при низком уровне интенсивности инвазии каспийского тюленя (первая степень), когда численность трематоды *Pseudamphistomum truncatum* ((Rudolphi, 1819) Luhe, 1908) в печени не превышала нескольких сотен экземпляров, а в желчном пузыре и поджелудочной железе - до сотни, патологии не наблюдается [2]. Обычно с возрастом интенсивность инвазии, сопровождающаяся поражением печени и других органов этим гельминтом, повышается [2].

Для осуществления высоких темпов роста гельминту необходимо большое количество пищи, что может вызвать резкое истощение больного организма хозяина [3]. Но может наблюдаться и обратный эффект. Так, экспериментально показано, что встречаются редкие случаи, когда при заражении мышей определенными видами гельминтов происходило их паразитарное ожирение [4]. Известно, что у некоторых животных при инвазии гельминтами происходило увеличение веса вследствие дистрофического ожирения подкожной клетчатки, связанного с атрофией и ожирением щитовидной железы [5]. Столь противоречивые результаты хотя и затрудняют их обобщение, однако представляют большой теоретический и практический интерес.

Несмотря на наличие достаточно серьезных обобщающих работ по гельминтофауне каспийского тюленя [2, 6, 7], по-прежнему проблематичным и недостаточно ясным остается вопрос о влиянии гельминтов на вес особей этого морского млекопитающего.

В связи с тем, что вес организма является одним из важнейших интегральных показателей, характеризующих его упитанность и физиологическое состояние, в настоящей работе сделана попытка выяснения степени воздействия гельминтов на тюленей путём сравнения средних показателей веса особей, зараженных и незараженных тем или иным видом гельминтов.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материал для настоящей работы был собран во время научно-поисковой экспедиции Всесоюзного НИИ морского рыбного хозяйства и океанографии сотрудниками кафедры биологии Крымского государственного медицинского университета Л.А. Демиденко и кафедры зоологии Таврического национального университета И.М. Тайковым от 50 каспийских тюленей, добытых в авандельте реки Урал в октябре 1985 года. Все тюлени были исследованы методом полного препарирования отдельных органов с учетом специфики гельминтологических вскрытий морских млекопитающих. Объектом изучения служили каспийский тюлень и его гельминты в органах: желудке, печени, желчном пузыре, поджелудочной железе, двенадцатиперстной кишке, тонком и толстом кишечнике, лёгких.

Для определения стадий поражения отдельных органов тюленей использовали степень их макропатоморфологических изменений, наблюдаемых при вскрытиях. Были выделены следующие стадии: первая – низкая интенсивность заражения, на поверхности органов наблюдаются единичные нагноения или небольшие соединительно-тканые капсулы; вторая – на поверхности интенсивно инвазированных органов наблюдаются аденоматозные разрастания или мелкие множественные нагноения, перерожденная ткань составляет 10-30% общей поверхности; третья – аденомы и обширные нагноения охватывают более трети патологически перерожденных органов.

Поскольку масса тюленя прямо зависит от его возраста, особенно у неполовозрелых особей, то все тюлени были разделены соответственно на две группы: половозрелые и неполовозрелые. Статистическая обработка материала включала вычисление среднего веса и его статистической ошибки для групп особей с отсутствием и наличием разных видов гельминтов в различных органах тюленя, а также вычисление t-критериев достоверности различий веса в этих двух группах. Кроме того, определяли коэффициент ассоциации между качественными признаками – наличием гельминтов в разных парах органов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Все 50 исследованных тюленей были заражены гельминтами (табл. 1).

Таблица 1 - Различия в весе каспийских тюленей с отсутствием ( $x_1$ ) и наличием гельминтов ( $x_2$ ) в органах у неполовозрелых и половозрелых особей

Категория тюленя	n	$x_1 \pm m$ вес незараженных	n	$x_2 \pm m$ вес зараженных	Разность (%)	P	t-критерий Стьюдента
Желудок							
<b>Нематода <i>Anisakis schupakovi</i> (Mosgovoy 1951)</b>							
неполовозрелые	5	18.60±2.01	11	15.73±1.60	-15.4	-	1.12
половозрелые	9	49.22±3.34	25	49.84±2.37	1.3	-	0.15
<b>Нематода <i>Eustrongylides excisus</i> Jagerskiold, 1909</b>							
неполовозрелые	15	17.07±1.28	1	10.00±0.00	-41.4	-	-
половозрелые	32	49.91±2.02	2	46.00±6.00	-7.8	-	0.62
Печень							
<b>Трематода <i>Pseudamphistomum truncatum</i> ((Rudolphi 1819) Luhe 1908)</b>							
неполовозрелые	2	19.50±4.50	14	16.21±1.35	-16.8	-	0.70
половозрелые	8	45.50±3.56	26	50.96±2.24	12.0	-	1.30
Желчный пузырь							
<b>Трематода <i>P. truncatum</i></b>							
неполовозрелые	4	15.75±2.87	12	16.92±1.47	7.4	-	0.36
половозрелые	11	48.18±3.19	23	50.39±2.44	4.6	-	-
<b>Поджелудочная железа</b>							
<b>Трематода <i>P. truncatum</i></b>							
неполовозрелые	12	16.25±1.51	4	17.75±2.59	9.2	-	0.50
половозрелые	22	50.77±2.23	12	47.67±3.69	-6	-	0.72
Двенадцатиперстная кишка							
<b>Trematoda <i>P. truncatum</i></b>							
неполовозрелые	13	15.77±1.47	3	20.33±0.33	<b>28.9</b>	0,05	3.02
половозрелые	23	52.61±2.20	11	43.55±3.16	<b>-17.2</b>	0.05	2.35
Тонкий кишечник							
<b>Трематода <i>Mesorchis advena</i> ((Schupakov 1936) Kurochkin 1958)</b>							
неполовозрелые	3	16.33±3.53	13	16.69±1.42	2.2	-	0.09
половозрелые	4	44.00±6.40	30	50.43±2.01	14.6	-	0.96
<b>Трематода <i>Ciureana badamschini</i> (Kurochkin 1958)</b>							
неполовозрелые	1	10.00±0.00	15	17.07±1.28	70.7	-	5.53
половозрелые	1	55.00±0.00	33	49.52±1.98	-10.0	-	-
<b>Трематода <i>Parascotyle sinoecum</i> (Ciurea 1933)</b>							
неполовозрелые	16	16.63±1.27	0	0.00±0.00	-	-	-
половозрелые	33	49.36±1.96	1	60.00±0.00	21.5	-	-
<b>Трематода <i>Pygidiopsis genata</i> (Looss 1907)</b>							

неполовозрелые	15	16.13±1.26	1	24.00±0.00	48.8	-	6.26
половозрелые	32	49.44±2.04	2	53.50±2.50	8.2	-	1.26
<b>Трематода <i>Hysteromorpha triloba</i> ((Rudolphi 1819) Lutz 1931)</b>							
неполовозрелые	15	16.13±1.26	1	24.00±0.00	48.8	-	6.26
половозрелые	33	49.97±1.96	1	40.00±0.00	-20.0	-	-
<b>Цестода <i>Diphyllobothrium phocarum</i> (Delamure, Kurochkin et A. Skriabin 1964)</b>							
неполовозрелые	14	17.50±1.29	2	10.50±0.50	-40.0	0,001	5.05
половозрелые	30	48.50±2.09	4	58.50±0.96	20.6	0.001	4.35
<b>Цестода <i>Ligylya colymbi</i> (Zeder 1803)</b>							
неполовозрелые	15	17.00±1.30	1	11.00±0.00	-35.3	-	4.61
половозрелые	31	50.84±1.90	3	37.67±7.45	-25.9	-	1.71
<b>Нематода <i>A. schupakovi</i></b>							
неполовозрелые	13	16.62±1.55	3	16.67±1.67	0.3	-	0.02
половозрелые	28	49.93±2.16	6	48.50±4.63	-2.9	-	0.28
<b>Акантоцефал <i>Corynosoma caspicum</i> (Golvan et Mokhaer 1973)</b>							
неполовозрелые	14	16.21±1.35	2	19.50±4.50	20.3	-	0.70
половозрелые	15	55.53±2.63	19	45.05±2.29	-18.9	0.010	3.01
<b>Trematoda <i>Paracoenogonimus ovatus</i> (Katsurada 1914)</b>							
неполовозрелые	16	16.63±1.27	0	0.00±0.00	-	-	13.05
половозрелые	33	49.15±1.91	1	67.00±0.00	36.3	-	-
Толстая кишка							
<b>Трематода <i>C. badamschini</i></b>							
неполовозрелые	15	17.07±1.28	1	10.00±0.00	-41.4	-	5.53
половозрелые	33	49.52±1.98	1	55.00±0.00	11.1	-	-
<b>Трематода <i>M. advena</i></b>							
неполовозрелые	15	17.07±1.28	1	10.00±0.00	-41.4	-	5.53
половозрелые	33	49.52±1.98	1	55.00±0.00	11.1	-	-
<b>Акантоцефал <i>C. caspicum</i></b>							
неполовозрелые	14	17.21±1.36	2	12.50±2.50	-27.4	-	1.66
половозрелые	33	49.97±1.96	1	40.00±0.00	-20.0	-	-
Лёгкие							
<b>Нематода <i>Parafilaroides caspicum</i> (Kurochkin et Zablocki 1958)</b>							
неполовозрелые	14	16.86±1.35	2	15.00±5.00	-11.0	-	0.36
половозрелые	31	49.90±1.94	3	47.33±10.27	-5.1	-	0.25

Как видно из её данных, наличие паразитов в тех или иных органах в большинстве случаев не приводит к достоверному уменьшению или увеличению веса тела каспийского тюленя. Хотя в некоторых случаях, явно недостаточным был объём выборки, включающих, например, только одну особь тюленя с поражением конкретного органа.

Из 13 видов гельминтов, выявленных в органах каспийского тюленя, достоверные различия отмечены только для трематоды *P. truncatum* - при паразитировании её в двенадцатиперстной кишке, цестоды *Diphyllobothrium phocarum* (Delamure, Kurochkin et A. Skriabin 1964) и акантоцефала *Corynosoma caspicum* (Golvan et Mokhaer 1973) - в тонком кишечнике.

Наличие трематоды *P. truncatum* в двенадцатиперстной кишке приводит к достоверному ( $P < 0.05$ ) уменьшению (более чем на 17 %) среднего веса половозрелых особей по сравнению с незараженными этим видом особями. В то же время интересным представляется тот факт, что наличие этого паразита в печени и желчном пузыре не показало аналогичного уменьшения. По-видимому, отрицательное воздействие, связанное с обитанием этой трематоды именно в двенадцатиперстной кишке, оказывает наиболее сильное физиологическое влияние на всю пищеварительную систему каспийского тюленя.

С учётом того, что низкий уровень инвазии, наблюдаемый при первой стадии поражения органов, может не вызывать заметной патологии и не сказываться на упитанности тюленя; отдельному анализу подвергли вес тюленей, у которых была отмечена третья стадия поражения, обусловленная паразитированием *P. truncatum*. Таких особей среди 33 половозрелых оказалось только четыре. Среднее значение веса в этой группе оказалось всего лишь  $26.7 \pm 3.7$  кг, что почти в два раза ниже, чем в среднем у этой категории. У двух из этих четырёх тюленей при достаточно низких значениях веса тела (31 и 20 кг) толщина подкожного жирового слоя оказалась достаточно большой (соответственно 4.0 и 3.5 см.), что позволяет с достаточной уверенностью судить об их ожирении. Для сравнения следует отметить, что у большинства особей с весом в два-три раза большим наблюдается такая же толщина подкожного жирового слоя. Интересным представляется тот факт, что у этих двух особей оказались соответственно сильно поражёнными печень и желчный пузырь. У двух других особей с сильным поражением поджелудочной железы (также третья стадия) и двенадцатиперстной кишки толщина подкожного жирового слоя была одинаковой и составила всего лишь 2 см при весе соответственно 35 и 21 кг.

Известно, что, как правило, трематода *P. truncatum* одновременно поражает два и более органов тюленей. Ранее В.Н. Поповым и В.И. Крыловым [3] было установлено, что наиболее тесная статистически достоверная связь наблюдается между наличием этого гельминта в печени и наличием его в желчном пузыре. Также, если гельминт обнаруживался в поджелудочной железе, то он, как правило, был и в двенадцатиперстной кишке. В соответствии с этим оказались связанными и показатели стадий поражения этих пар органов. Наименее же связаны между собой заражённость печени и поджелудочной железы. Обработка нашей выборки подтвердила эту закономерность. Наиболее высокое значение коэффициента ассоциации оказалось для случаев встречаемости этого гельминта в печени и желчном пузыре ( $r_A = 0.655$ ,  $P < 0.001$ ). Для поджелудочной железы и двенадцатиперстной кишки эти значения оказались значительно меньше ( $r_A = 0.336$ ,  $P < 0.05$ ). Однако, как известно, при одновременном поражении этих пар органов наблюдается наиболее сильное негативное воздействие псевдамфистомозной инвазии на организм тюленей [2]. Всё это хорошо объясняет разнонаправленное влияние гельминтных поражений в этих двух парах морфологически и функционально связанных органов, что отражается не столько на весе, сколько на жировых запасах.

Таким образом, приведенные выше фактические данные показывают, что в случае сильной инвазии происходит в среднем почти двукратное падение веса тела, кроме того, в случае локализации большого количества *P. truncatum* в печени или желчном пузыре происходит ожирение организма. Как уже указывалось выше, признаки ожирения, связанные с изменениями метаболизма при гельминтозе, отмечались и у других млекопитающих.

Аналогичные закономерности – уменьшение массы тела у половозрелых особей и увеличение её у неполовозрелых, просматриваются при наличии в тонком кишечнике акантоцефала *C. caspicum* (см. табл. 1). По литературным данным [6], интенсивность инвазии *C. caspicum* составляет от 4 до 12280 экз. Локализуются эти гельминты в кишечнике, но распределяются на его протяжении неравномерно. Большая часть акантоцефалов сосредоточена в последней трети тонкой кишки. Патология, вызываемая единичными особями *C. caspicum*, незначительная и сопровождается тем, что в местах внедрения паразита в стенку кишечника наблюдаются поражения слизистой площадью 4-6 мм<sup>2</sup>. В случае интенсивности инвазии более 5000 экз. поражённые участки слизистой занимают значительную площадь кишечника, что приводит к нарушению функционирования этого органа [6]. В анализируемой выборке у всех особей тюленей наблюдалась первая стадия поражения. Но, тем не менее, наличие этого гельминта у половозрелых тюленей привело к достоверному ( $P < 0.01$ ) понижению их веса более чем на 18 %.

В отличие от двух предыдущих видов гельминтов у половозрелых тюленей, поражённых цестодой *D. phocarum*, наблюдается в высшей степени достоверное ( $P < 0.001$ ) увеличение веса тела более чем на 20%. У неполовозрелых же – наоборот. Цестода *D. phocarum* паразитирует в тонкой кишке каспийского тюленя и является сравнительно крупным гельминтом. Известно, что при этом заболевании (дифиллоботриозе), под воздействием выделяемых паразитом продуктов жизнедеятельности, в организме развиваются тяжелейшие общие изменения, такие как истощение, анемия и др. Таким образом, судя по полученным данным, этот гельминт наиболее существенное влияние оказывает на организм неполовозрелых тюленей, приводя к их истощению.

В целом анализ различий в весе каспийских тюленей, в зависимости от наличия или отсутствия гельминтов в его органах, показал наличие противоположных тенденций: в одних случаях вес

увеличивается, в других – уменьшается. Такая картина, по-видимому, является результатом влияния двух противоположных векторов.

Первый из них связан с тем, что гельминты в результате своей жизнедеятельности приводят к ухудшению физиологических показателей организма тюленя за счет интоксикации, нарушения всасывания питательных веществ в различных органах и механического воздействия на них.

Второй, по-видимому, носит опосредованный характер. Так, упитанность тюленей напрямую связана с успешной охотой, успешная охота приводит к большему поглощению пищи, а это в свою очередь в прямой пропорциональности увеличивает вероятность заражения гельминтами. Логика такой последовательности событий объясняет, почему средняя масса тюленей при наличии в них гельминтов может быть больше, чем при их отсутствии. Особенно ярко эта тенденция проявляется у неполовозрелых тюленей, которые за 1 - 4 года своего существования набирают больший вес тела, именно за счет интенсивного питания, в то же время, находящиеся в них гельминты в большинстве случаев за этот срок, вероятно, не успевают нанести существенный вред организму. Возможно, именно по этой причине произошло достоверное увеличение веса у неполовозрелых тюленей с поражением двенадцатиперстной кишки трематодой *P. truncatum*.

Безусловно, на такой интегральный показатель, как вес тела, действует множество факторов. Кроме того, следует иметь в виду, что они взаимодействуют между собой. Попытка проанализировать влияние наличия различных гельминтов в разных органах, в тех или иных комбинациях, на вес тела не дала достоверных результатов. Скорее всего, это связано с разновекторностью этих влияний, о чём свидетельствуют некоторые табличные данные. С другой стороны, для многих вариантов явно недостаточным оказался объём выборки.

Таким образом, проведенный анализ различий веса тела в связи с наличием или отсутствием гельминтов в различных органах тюленя показал в целом неоднородную картину. При этом лишь при поражении несколькими видами гельминтов удалось установить достоверные изменения веса каспийского тюленя, по – разному проявляющиеся у неполовозрелых и половозрелых особей.

## ВЫВОДЫ

1. Из 50 проанализированных каспийских тюленей не оказалось ни одной особи, свободной от гельминтов. Каждая из них содержала их определённый комплекс.
2. Из 13 видов гельминтов, присутствующих в органах каспийского тюленя, достоверные различия в изменении веса хозяина отмечены для трематоды *P. truncatum* при паразитировании её в двенадцатиперстной кишке, цестоды *D. phocarum* и акантоцефала *C. caspicum* - в тонком кишечнике.
3. При наличии указанных гельминтов в соответствующих органах наблюдаются достоверные различия между весом в группах незараженных и зараженных каспийских тюленей у неполовозрелых и половозрелых особей. Наличие трематоды *P. truncatum* или акантоцефала *C. caspicum* приводит к снижению веса половозрелых, но к увеличению веса неполовозрелых особей; наличие цестоды *D. phocarum* - к увеличению веса половозрелых, но к снижению веса неполовозрелых особей. Такие различия связаны с большей чувствительностью молодых, неполовозрелых особей каспийского тюленя к *D. phocarum* – сравнительно крупной цестоде.
4. Неоднозначная направленность в изменении веса при наличии тех или иных гельминтов в органах каспийского тюленя является результатом сложных взаимных влияний и их разновекторности, обусловленной отрицательными последствиями жизнедеятельности гельминтов – с одной стороны, и с другой – положительным эффектом, связанным с большей интенсивностью питания, но увеличивающим вероятность заражения паразитами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Питерина А.В., Разумова Ю.Н. К вопросу о причинах массовой гибели тюленей на Каспийском море весной-летом 2000 г. // Тезисы докл. I Международного симпозиум «Стресс и экстремальные состояния». - Кара-Даг, Феодосия, 2002. - С. 70-73.
2. Крылов В. И., Попов В. Н. Эколого-статистический анализ заболевания каспийского тюленя из авандельты Урала псевдамфистомозом // Некоторые аспекты биологии и экологии каспийского тюленя. – М.: ВНИРО, 1990. - С. 17-34
3. Богоявленский Ю.К. Взаимоотношения в системе паразит-хозяин на уровне особей // Биология / Под ред. В.Н. Ярыгина - М.: Медицина, 1984. - С. 411-414.
4. Шульц Р.С., Гвоздев Е. В. Основы общей гельминтологии. – Т. III. – М.: Наука, 1976. - 246 с.
5. Скачко Б. Г., Локтева И. Н., Данько О. П. Диагностика и лечение некоторых гельминтозов // Фітотерапія. - 2003. - № 3. - С.15-20.

6. Попов В. Н., Тайков И. М. Паразитофауна каспийского тюленя из района островов Михайлова и Огурчинский // Некоторые аспекты биологии и экологии каспийского тюленя. – М.: ВНИРО, 1990. – С. 49-57.
7. Юрахно М. В., Івашов А. В., Деміденко Л. А. Консортивні зв'язки з гельмінтами як показник походження каспійського тюленя // Доповіді НАН України. - 2004. - № 1. - С. 186-191.

УДК 574.587 (1-21) (282.247.327)

## МАКРОЗООБЕНТОС УРБАНІЗОВАНОЇ МАЛОЇ РІЧКИ МОКРА МОСКОВКА

Домбровський К.О., асистент, Муленко М.А., студент, Міхіна І.І., студент

*Запорізький державний університет*

У результаті вивчення біорізноманіття, структурно-функціональних показників макрозообентосу та біоіндикації сапробності дано характеристику сучасного екологічного стану р. Мокра Московка в межах м. Запоріжжя.

*Ключові слова: макрозообентос, донне угруповання, структурно-функціональні показники, сапробність.*

Домбровский К.О., Муленко М.А., Михина И.И. МАКРОЗООБЕНТОС УРБАНИЗИРОВАННОЙ МАЛОЙ РЕЧКИ МОКРАЯ МОСКОВКА / Запорожский государственный университет, Украина.

В результате изучения биоразнообразия, структурно-функциональных показателей макрозообентоса и биоиндикации сапробности дана характеристика современного экологического состояния р. Мокрая Московка в черте г. Запорожье.

*Ключевые слова: макрозообентос, донное сообщество, структурно-функциональные показатели, сапробность.*

Dombrovskij K.O., Mulyenko M.A., Mikhyna I.I. MACROZOOBENTHOS OF SMALL RIVER MOCRA MOSCOWCA/ Zaporizhzhya State University, Ukraine

On the basis of investigation the biodiversity, structurally functional indexes of macrozoobenthos and saprobity bioindication the modern ecological state of the Mocray Moscowca River, which disposed within the limits of Zaporozhie city is given.

*Key words: macrozoobenthos, benthic communities, structurally functional indexes, saprobity.*

Малі річки басейну Дніпра, які становлять понад 90% його річкової мережі, несуть надзвичайно велике антропогенне навантаження. Водою з малих річок забезпечується 18% усіх господарських потреб у басейні. У дрібну гідрографічну мережу скидається 15% усіх стічних вод у басейні і 6% - забруднених. Спроби гідротехнічними заходами (розчищенням) та спрямуванням русел річок, облицюванням їхніх берегів тощо, припинити зменшення стоку й водності малих річок не тільки не досягли своєї мети, а й призвели до порушення внутрішньо руслових процесів, гідробіологічного режиму, а звідси і зниження якості води. Цей показник за останні десятиріччя знизився майже вдвічі [1].

Мета даної роботи - охарактеризувати сучасний стан р. Мокра Московка в межах м. Запоріжжя на основі вивчення структурно-функціональних характеристик донних безхребетних.

Дослідження макрозообентосу р. Мокра Московка в межах м. Запоріжжя було проведено в червні – вересні 2004 р. Умовно в річці нами було виділено три ділянки (верхня ділянка – вище ОАО “Запорізький м’ясокомбінат”, середня ділянка – біля заводу “Сувенір” й нижня ділянка – біля Автовокзалу № 1). Проби відбирали згідно із загальновідомими гідробіологічними методиками [2] за допомогою гідробіологічного сачка (діаметром 25 см), ручного збору з вищої водної рослинності та занурених у воду предметів з глибини від 0,2 до 0,7 м. Усього було оброблено 24 кількісні проби макрозообентосу. Сапробіологічна оцінка якості води була проведена при використанні кількісного методу Пантле – Букка в модифікації Сладечека [3], також використовували значення індивідуальної сапробності та індикаторної значущості організмів, які відомі з літератури [4-9]. Стан макрозообентосу досліджених ділянок річки характеризували за структурно-функціональними показниками донних угруповань та широко прийнятим у гідробіології індексом біологічного різноманіття Шеннона [10]. Належність окремих видів донних безхребетних до певної трофічної групи виділяли згідно з літературними даними [11-12]. Розрахунок енергетичних показників популяцій угруповань і біоценозів бентосу виконувався за схемою Г.Г. Вінберга [13], із застосуванням фізіологічного методу. Гідрохімічні показники визначалися співробітником кафедри хімії біологічного факультету ЗДУ Ткачук О.В., якій автори виказують свою подяку.

При дослідженні макрозообентосу р. Мокра Московка було виявлено 33 види донних безхребетних. Найбільшим видовим багатством характеризувались личинки бабок (6 видів). П'явок та напівтвердокрилих було зареєстровано по 5 видів, моллюсків – 4 види, твердокрилих, личинок одноденок, хірономід, волохокрильців – по 2 види, інші групи (ізоподи, гамариди, личинки віскокрилих та деяких двокрилих) представлені одним таксоном.

Чисельність макрозообентосу коливалась у межах 1600-22200 екз/м<sup>2</sup>, біомаса змінювалась від 25,6 до 543,6 г/м<sup>2</sup>.

В угрупованні макрозообентосу верхньої ділянки водотоку відмічено 17 видів безхребетних. Домінували за біомасою черевоногі моллюски *Bithynia tentaculata* (L.), за чисельністю – ізоподи *Asellus aquaticus* L. В донних угрупованнях середньої (17 видів) та нижньої (21 вид) ділянок річки переважали за біомасою виключно п'явки *Herpobdella octoculata* L., а за чисельністю личинки одноденок *Baetis sp.* та личинки волохокрильців *Hydropsiche angustipennis* Curtis відповідно.

Уяву щодо стану окремих популяцій й угруповань гідробіонтів можливо одержати, аналізуючи їхні екологічні характеристики. У сучасних екологічних дослідженнях найбільш широкого розповсюдження має індекс видового різноманіття Шеннона. Величини індексу коливались у межах 1,50-3,03 біт/екз. Порівнюючи видове різноманіття макрозообентосу на різних ділянках водотоку відмічено зниження середніх показників індексу від верхньої ділянки (H=2,32) до нижньої ділянки (H=2,17) річки.

Характеризуючи трофічну структуру макрозообентосу р. Мокра Московка слід зазначити, що в донному угрупованні верхньої ділянки водойми переважали сестоно-детритофаги (39,2% від загальної біомаси бентосу) за рахунок черевоногих моллюсків *Bithynia tentaculata*, субдомінантне значення мали хижакі (32,1%) інші трофічні угруповання (фітофаги, детритофаги та еврифаги) мали другорядне значення. Трофічна структура бентосу була подібною у середній і нижній ділянках річки. Тут переваг набули хижакі (54,6% і 39,9% відповідно), які головним чином були представлені п'явками таких родів – *Herpobdella*, *Glossiphonia*, *Haemopsis*, *Piscicola*. На другому місці були всеїдні тварини (27,2% і 29,4% відповідно). Другорядне значення в донних угрупованнях водотоку мали детритофаги (середня ділянка) та сестонофаги (нижня ділянка), а сестоно-детритофаги складала не більше (1% біомаси бентосу). Проведений аналіз трофічної структури угруповань макрозообентосу р. Мокра Московка показав таке. Домінуючою трофічною групою в біоценозах є та, до якої належить (за характером живлення) домінуючий вид. Вплив антропогенного забруднення (внаслідок скиду забруднених промислово-побутових стоків міста) суттєво змінює трофічні умови в річці, що призводить до реорганізації трофічної структури донних угруповань. Тому при підвищеній трофності водойми в складі донних угруповань підвищується частка тварин хижаків, особливо п'явок та тварин із спеціалізованим типом харчування – еврифагів. Вплив сестоно-детритофагів навпаки зменшується, а деякі з них (*Physa sp.*) і зовсім зникають із складу макрозообентосу див. рисунок 1.

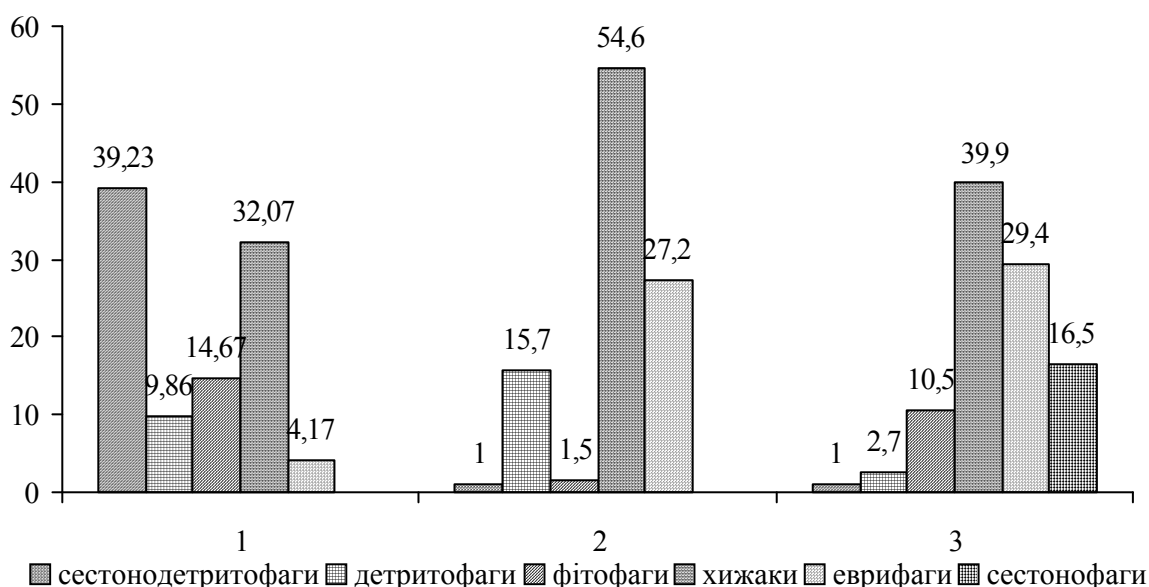


Рис. 1 Співвідношення трофічних груп угруповань макрозообентосу за біомасою в липні-серпні 2004 р. у р. Мокра Московка в межах м. Запоріжжя: 1 – верхня ділянка, 2 – середня ділянка, 3 – нижня ділянка

Оцінка стану екосистеми на основі визначення біотичного індексу видового різноманіття є лише одним із підходів, який використовується в сучасній гідробіології. Іншим широко розповсюдженим методом є оцінка сапробності за індикаторними видами. Оцінка сапробності включена як необхідний компонент в інтегральній класифікації якості води в багатьох країнах, у тому числі і в Україні.

Значне техногенне навантаження на водне середовище малої річки, що зумовлене накопиченням у воді біогенних речовин, призводить до евтрофікації водойми й погіршенню її гідрохімічних показників. Так було відмічено значне підвищення вмісту іонів  $Cl^-$ , іонів  $SO_4^{2-}$ , показників жорсткості води від допущених значень екологічних нормативів. Комплексна оцінка якості води в річці за еколого-санітарними характеристиками наведена в таблиці 1.

У цілому за середніми значеннями трофо-сапробіологічних (еколого-санітарних) показників, якість води на всіх досліджених ділянках водотоку оцінюється категорією 5 (помірно забруднена, посередня,  $\alpha$ -мезосапробна, ев-політрофна) із тенденцією переходу до категорії 6 (брудна, погана, полісапробна, політрофна), згідно з прийнятою в Україні класифікацією [14].

Порівнюючи дані сапробності вод верхньої і нижньої ділянок урбанізованої річки, слід зазначити, що за цей період було зареєстровано зниження кількості видів індикаторів  $\beta$ -мезосапробних вод з 76,9% до 57,1% і навпаки – збільшення видів індикаторів  $\alpha$ -мезосапробних вод з 23,1% до 42,9% відповідно. Відмічені зміни у співвідношенні кількісних показників розвитку різних за сапробністю форм донних безхребетних свідчать про суттєвий вплив антропогенного забруднення на бентосні угруповання дослідженої водойми в межах м. Запоріжжя.

Аналізуючи видове різноманіття угруповань макрозообентосу малої р. Мокра Московка, нами виявлена така залежність: при підвищенні величини індексу сапробності видове різноманіття донних тварин знижується, внаслідок чого їхня структура спрощується, перевагу набувають види із широкими екологічними спектрами. Встановлено від'ємний кореляційний зв'язок між показниками сапробності і індексом видового різноманіття ( $r = -0,37 \pm 0,26$  при  $p = 0,05$ ).

Показники деструкції органічних речовин перевищують продукційні характеристики донних угруповань безхребетних на дослідженій нами річці (табл. 2). Це свідчить про те, що донні ценози безхребетних, які функціонують в умовах значного антропогенного втручання (промислово-побутові стоки м. Запоріжжя), характеризуються високою самоочисною спроможністю і активно впливають на процеси формування якості води і загальну направленість потоків речовини та енергії у водній екосистемі.

Таблиця 1 – Трофо-сапробіологічна (еколого-санітарна) характеристика якості води р. Мокра Московка в межах м. Запоріжжя

Показники	Значення (результати аналізів)			Категорії якості води
	1	2	3	
Жорсткість води, мг екв/л	26,50	23,75	23,75	помірно забруднені
РН	7,65	7,72	7,93	чисті
БО, мг О/л	50,0	80,0	60,0	брудні
$SO_4^{2-}$ , мг S/л	820,0	820,0	820,0	дуже брудні
$Cl^-$ , мг Cl/л	283,60	290,69	272,97	брудні
Сапробність	2,67	2,76	2,46	помірно забруднені

П р и м і т к и: 1 – верхня ділянка річки; 2 – середня ділянка річки; 3 – нижня ділянка річки.

Таблиця 2 – Продукція (кДж/м<sup>2</sup> доб.) та деструкція (кДж/м<sup>2</sup> доб.) органічної речовини макрозообентосу р. Мокра Московка (червень-вересень 2004 р.)

Угруповання організмів	R кДж/м <sup>2</sup> ·доб	P кДж/м <sup>2</sup> ·доб
<i>Chironomidae</i>	0,20	0,05
<i>Crustacea</i>	21,20	4,45
<i>Coleoptera</i>	16,78	4,11
<i>Odonata</i>	64,62	15,06
<i>Ephemeroptera</i>	1,94	0,48
<i>Trichoptera</i>	20,34	4,50
<i>Hirudinea</i>	33,20	6,97
<i>Mollusca</i>	10,00	1,82
$\Sigma$ кДж/м <sup>2</sup> ·доб.	168,28	37,44
$R_{\text{угрупов.}}$ (продукційна активність угруповання)	– 17,16	
$R_{\text{угрупов.}}$ (деструкційна активність угруповання)	168,28	
P/R	– 0,10	

## ВИСНОВКИ

1. Трофічна структура угруповань макрозообентосу р. Мокра Московка суттєво спрощується внаслідок антропогенного забруднення (постійний скид промислово-побутових стоків м. Запоріжжя). Підвищується частка тварин хижаків та еврифагів, набувають переваги види з широкими екологічними спектрами – *Herpobdella octoculata*, *Baetis sp.*, *Asellus aquaticus*. Вплив сестоно-детритофагів від верхньої до нижніх ділянок водотоку навпаки зменшується, а деякі з них (*Physa sp.*) і зовсім зникають із складу макрозообентосу.
2. Якість води на всіх досліджених ділянках водотоку за трофо-сапробіологічними показниками оцінюється категорією 5 (помірно забруднена, посередня,  $\alpha$ -мезосапробна, ев-політрофна) із тенденцією переходу до категорії 6 (брудна, погана, полісапробна, політрофна), що підтверджується динамікою сапробних форм, а також величинами індексу видового різноманіття.
3. Показники індексу видового різноманіття макрозообентосу знаходяться в протилежній залежності від індексу сапробності. Встановлено від'ємний кореляційний зв'язок між показниками сапробності і індексом видового різноманіття ( $r = -0,37 \pm 0,26$  при  $p = 0,05$ ).
4. Макрозообентос дослідженого водотоку бере активну участь у самоочисних процесах водної екосистеми. Продукційні показники в донних ценозах р. Мокра Московка нижчі за деструкційні.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Програма моніторингу довкілля Запорізької області / В.В. Головін, Н.І. Гарашук, В.Т. Коба та ін. – Запоріжжя: Дніпропетровський металург, 2001. – 180 с.
2. Митропольский В.И., Мордухай-Болтовской Ф.Д. Макробентос // Методика изучения биогеоценозов внутренних водоемов. – М.: Наука, 1975. – С. 158-171.
3. Pantle E., Buck H. Die biologische Oberwachung der Gewasser und die Darstellung der Ergebnisse // Gas und Wasserfach. – 1955. – Bd. 96, № 18 – 604 p.
4. Голубева Г.В. Индикационное значение отдельных форм хирономид // Экология гидробионтов водоемов Западного Урала. – Пермь: Изд-во Пермского ун-та, 1988. – С. 43-51.
5. Олексив И.Т. Показатели качества природных вод с экологических позиции. – Львів: Світ, 1992. – 243 с.
6. Сладечек В. Общая биологическая схема качества воды // Санитарная и техническая гидробиология. – М.: Наука, 1967. – С. 26-31.
7. Тодераш И.К. Функциональное значение хирономид в экосистемах водоемах Молдавии. – Кишинев: Штиница, 1984. – 181 с.
8. Унифицированные методы исследования качества вод. - Ч. 3.: Методы биологического анализа вод. – Приложение 1. Индикаторы сапробности. – М.: СЭВ, 1977. – 124 с.
9. Uzunov I., Kosel V., Sladeczek V. Indicator value of Freshwater Oligochaeta // Acta hydrobiol. – 1988. – 16, № 2. – P. 173-186.
10. Протасов А.А. Биоразнообразие и его оценка. Концептуальная диверсикология. – К.: Академперіодика, 2003. – 105 с.
11. Зимбалева Л.Н. Экологические группировки фауны зарослей днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. – 1966. – Т. 2, № 5. – С. 34-41.
12. Плигин Ю.В. Экологические группировки макрозообентоса мелководий Кременчугского водохранилища // Гидробиол. журн. – 1979. – Т. 15, №1. – С. 26-32.
13. Винберг Г.Г. Концептуальные основы, перспективные задачи и вопросы кадрового обеспечения гидробиологических исследований // Гидробиол. журн. – 1988. – Т. 24, № 3. – С. 3-30.
14. Методика екологічної оцінки якості поверхневих вод за відповідними категоріями/ В.Д.Романенко, В.М.Жукинський, О.П.Оксіюк та інші. – К.: Символ-Т, 1998. – 28 с.

## **ЛИСИЦА ОБЫКНОВЕННАЯ (VULPES VULPES L.) КАК БИОИНДИКАТОР ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ЮГО- ВОСТОКЕ УКРАИНЫ**

Домнич В.И., к.б.н. доцент, Ерхов Я.В., аспирант

*Запорожский государственный университет.*

Рассматривается характер распределения тяжелых металлов (Ni, Pb, Fe, Cu, Cd, Cr) в почках и печени особей лисицы обыкновенной, которые были добыты на относительно “чистой” территории охотничьего хозяйства, удаленного от крупных промышленных центров. Делается предположение о возможности использования лисицы обыкновенной в биоиндикации окружающей среды как одного из её компонентов.

*Ключевые слова: тяжёлые металлы, лисица обыкновенная, почки, печень.*

Домніч В.І., Ерхов Я.В. ЛИСИЦЯ ЗВИЧАЙНА (VULPES VULPES L.) ЯК БІОІНДИКАТОР ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ НА ПІВДЕННОМУ СХОДІ УКРАЇНИ /Запорізький державний університет, Україна.

Розглядається характер розподілення важких металів (Ni, Pb, Fe, Cu, Cd, Cr) у нирках та печінці особин лисиці звичайної, які були добуті на відносно “чистій” території мисливського господарства, віддаленого від великих промислових центрів. Робиться припущення про можливість використання лисиці звичайної в біоіндикації навколишнього середовища як компонента, що входить до нього.

*Ключові слова: важкі метали, лисиця звичайна, нирки, печінка.*

Domnich V.I., Yerkhov Ya.V. A FOX (VULPES VULPES L.) AS A BIO-INDICATOR OF ENVIROMENT POLLUTION WITH HEAVY METALS IN SOUTH- EASTERN UKRAINE / Zaporizhzhya State University, Ukraine.

Heavy metals (Ni, Pb, Fe, Cu, Cd, Cr) distribution pattern in the liver and kidneys of fox specimens hunted on the relatively “pollution-free” hunting ground outlying the large industrial centers are considered. We suppose that the fox (*Vulpes*) may be used as an environment bio-indicator being a component of surroundings.

*Key words: heavy metals, fox (Vulpes), kindneys, liver.*

В настоящее время остро стоит проблема техногенного загрязнения окружающей среды. Среди веществ, обладающих большой токсичностью, выделяются тяжёлые металлы [1, 2, 3, 4]. Известно, что различные экологические группы животных (сапрофаги, фитофаги и хищники) играют различную, по значимости, роль в миграции тяжёлых металлов в экосистемах [5]. Причем Э.В. Ивантер и др., (1998 г.) отмечают, что среди животных наиболее чувствительны к концентрациям тяжёлых металлов хищные млекопитающие [6].

Подвергаясь вредному воздействию поллютантов, хищные млекопитающие могут служить хорошими индикаторами уровня загрязнения биосферы и применяться для мониторинга её состояния [7]. При изучении техногенного воздействия на наземные экосистемы особое значение приобретает определение содержания тяжёлых металлов в организме хищных млекопитающих, которые имеют относительно большую продолжительность жизни и занимают верхний уровень экологической пирамиды [8]. Нами выбран юго– восток Украины, так как наш регион является в большей степени подверженным техногенному воздействию.

Следует отметить, что по использованию хищных животных в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами проводилось сравнительно немного работ, и данная тема представляет собой научный вопрос и имеет научно-практическую ценность. В частности, для биомониторинга окружающей среды использовалась норка в Канаде [9, 10], в США [11], выдра - в Канаде и в Австрии [9, 12], барсук и куница - в США [11], кольчатая нерпа - в России [6]. В этих работах проводилось изучение накопления в различных органах хищных животных тяжелых металлов, а также изменение концентраций тяжелых металлов в зависимости от удаленности их от промышленных центров. Также указывалось, что загрязнение тяжелыми металлами приводит к отравлению и делает хищных животных более уязвимыми к воздействию внешней среды [6].

Данные исследования актуальны для Украины с точки зрения районирования территорий по загрязненности тяжелыми металлами, а также составления карт загрязненности тяжелыми металлами исследуемых районов. Все это непосредственно определяет качество охотничьей продукции, получаемой на изучаемой территории, а также показывает гигиеническое состояние данных районов. Тем более, что лисица является самым распространенным, массовым хищником в степной зоне Украины, где, например, в Нижнем Приднепровье численность ее с 1970 по 1996 годы колебалась в пределах от 6219 до 30340 особей, и при этом отмечалась цикличность в динамике численности этого вида: так, за

исследуемый период наблюдалось шесть пиков от 1 до 7 лет [13]. Таким образом, данные исследования важны для определения степени опасности как для здоровья людей, так и для здоровья животных.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В 2003-04 г.г. для исследований были взяты пробы почек и печени двух особей самок и шести самцов лисицы обыкновенной. Данный материал был получен в процессе охот, проводимых в государственном лесохозяйственном хозяйстве “Куйбышевское” (Куйбышевском районе Запорожской области), которое расположено на расстоянии от городов Мариуполя, Донецка, Запорожья и Днепропетровска, соответственно 67, 88, 115, 158 километров, где находятся крупные металлургические заводы.

Отбирали пробы почек и печени лисицы обыкновенной согласно стандартной методике [14]. Образцы почек и печени хранили в пластиковых пакетах, в условиях глубокой заморозки при  $-20^{\circ}\text{C}$ . Пробы почек и печени лисицы определяли на содержание Ni, Pb, Fe, Cu, Cd, Cr способом сухой минерализации по стандартной методике [14]. Перевод проб в растворенное состояние производился по стандартной методике [15]. Концентрацию тяжелых металлов, в образцах почек и печени лисицы обыкновенной, определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии [16], на спектрофотометре С-600 фирмы “Semi”. Результаты анализа, с калибровочным графиком и расчетом концентраций, мы получали с помощью стандартной компьютерной программы. Всего выполнено 48 анализов, проведенных в  $3^{\times}$  кратной повторяемости. За ПДК (предельно допустимые концентрации) взяты допустимые уровни содержания тяжелых металлов, пестицидов, микотоксинов в продуктах питания, сельскохозяйственном сырье и кормах для животных [17].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассматривая материал по содержанию исследуемых элементов в почках и печени лисицы обыкновенной (таблица), отмечаем, что содержание никеля в печени в 2,05 раза больше, чем в почках и соответственно составляет  $11,61 \pm 6,005$  и  $5,65 \pm 2,15$  мг/кг. В почках кольчатой нерпы содержание никеля в 18,22 раза ниже ( $0,45 \pm 0,10$  мг/кг), а в печени нерпы концентрация никеля была в 25,8 раз ниже ( $0,31 \pm 0,05$  мг/кг) [6], чем в почках и печени лисицы (см. таблицу).

Содержание свинца в почках лисицы в 1,01 раза больше, чем в печени и составляет соответственно  $0,297 \pm 0,09$  и  $0,292 \pm 0,09$  мг/кг. Отмечаем, что максимальные значения содержания свинца в печени превышают ПДК. По данным исследований, проведенных в Британской Колумбии (Канада), исследовавших также хищных млекопитающих, количество свинца в печени выдр достигало  $0,305 \pm 0,125$  мг/кг [9], что в 1,04 раза больше, чем в печени исследуемых особей лисицы на юго-востоке Украины, у которых концентрация этого элемента колебалась в пределах  $0,292 \pm 0,09$  мг/кг.

Что касается содержания железа в исследуемых органах лисицы, то больше всего его содержится в печени (в 1,01 раз больше, чем в почках), максимальные значения его содержания выше в печени и соответственно составляет  $1,57 \pm 0,46$  и  $1,59 \pm 0,48$  мг/кг.

Содержание меди в органах лисицы в 1,12 раза больше в печени, чем в почках и её содержание составляет в печени  $7,32 \pm 2,79$ , а в почках  $6,53 \pm 1,10$  мг/кг и в почках превышает ПДК. Если сравнивать полученные данные с данными литературных источников, то в печени норки в среднем содержится  $25,87 \pm 12,79$  мг/кг, а в печени выдр содержится  $24,05 \pm 2,05$  мг/кг меди [9], что соответственно больше в 3,53 и 3,28 раза, чем в печени лисицы юго-востока Украины (таблица).

Содержание меди в почках и печени кольчатой нерпы соответственно составляет  $3,14 \pm 0,27$  и  $5,07 \pm 0,54$  мг/кг [6], что соответственно в 2,07 и 1,44 раза меньше, чем в почках и печени исследуемых лисиц (таблица). Отдельно выделим превышение содержания меди в почках относительно ПДК.

Содержание кадмия у лисицы обыкновенной в 4 раза больше в почках, чем в печени и не превышает ПДК, и при этом составляет в почках  $0,09 \pm 0,02$ , а в печени  $0,03 \pm 0,008$  мг/кг. В Британской Колумбии содержание кадмия в печени выдр и норки соответственно составляет  $0,365 \pm 0,295$  и  $0,68 \pm 0,67$  мг/кг [9], что в 12,16 и 22,66 раза больше, чем в печени исследуемых нами особей лисицы обыкновенной (таблица). Содержание кадмия в почках и печени кольчатой нерпы составляло  $0,50 \pm 0,12$  и  $0,31 \pm 0,04$  мг/кг [6], что соответственно в 5,55 и 10,33 раза больше, чем в органах исследуемых нами особей лисицы обыкновенной (таблица).

Хром у лисиц содержится практически в одинаковом количестве как в почках, так и в печени и составляет  $0,08 \pm 0,06$  и  $0,08 \pm 0,03$  мг/кг. Отмечаем, что у лисиц на юго-востоке Украины содержание тяжелых металлов, кроме кадмия и свинца, преобладает в печени, что можно объяснить её депонирующей и выделительной функциями. Укажем, что наблюдается превышение содержания свинца в печени и меди в почках, относительно ПДК.

Таблица 1. Содержание тяжёлых металлов в органах и тканях лисицы обыкновенной (*Vulpes vulpes* L.) (в мг/кг) на юго-востоке Украины

Наименование исследуемых органов	Содержание тяжелых металлов (в мг/кг) и сравнение данных с ПДК.								
	Ni	Pb	ПДК на Pb	Fe	Cu	ПДК на Cu	Cd	ПДК на Cd	Cr
1. Почки	8	8	1	8	8	<b>20</b>	8	<b>1</b>	8
min-max	0,04-15,61	0,037-0,66		0,05-2,92	0,32-36,56		0,01-0,21		0,01-0,12
X ср. ± m	5,65 ± 2,15	0,297 ± 0,09		1,57 ± 0,46	6,53 ± 1,10		0,09 ± 0,02		0,08 ± 0,06
2. Печень	8	8	0,6	8	8	20	8	<b>0,3</b>	8
min-max	0,047-44,35	0,04-0,74		0,06-3,16	0,31-19,39		0,01-0,07		0,02-0,31
X ср. ± m	11,61 ± 6,005	0,292 ± 0,09		1,59 ± 0,48	7,32 ± 2,79		0,03 ± 0,008		0,08 ± 0,03

## ВЫВОДЫ

- 1) Исходя из результатов исследований в почках лисицы обыкновенной, обитающей на юго-востоке Украины, больше всего содержится свинца и кадмия, а в печени преобладает содержание меди и никеля.
- 2) Содержание тяжелых металлов в почках лисиц исследуемого региона находится, в порядке убывания, в следующей последовательности: Cu → Ni → Fe → Pb → Cd → Cr, а в печени по аналогичной схеме: Ni → Cu → Fe → Pb → Cr → Cd.
- 3) В органах лисиц превышение ПДК обнаружено в почках по меди, а в печени - по свинцу.
- 4) В сравнении с литературными данными, содержание тяжелых металлов в органах лисицы обыкновенной меньше, чем в почках и печени норки, выдры и нерпы, а в печени лисицы содержится меньше тяжелых металлов, чем у норки и выдры.
- 5) Лисица обыкновенная может использоваться в качестве биоиндикатора загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами, так как является наиболее распространенным всеядным хищником на юго-востоке Украины.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга. - М.: МГУ, 1985. - 185 с.
2. Алексеев Ю.В. Тяжёлые металлы в почвах и растениях. - Л.: Агропромиздат, 1987. - 142 с.
3. Кучерявий В.П. Екологія. - Львів: Світ, 2001. - 480 с.
4. Бойчук Ю.Д., Солошенко Е.М., Бугай О.В. Екологія і охорона навколишнього середовища. - Суми: Університетська книга, 2002. - 284 с.
5. Покаржевский А.Д. Геохимическая экология наземных позвоночных. - М.: Наука, 1985. - 230 с.
6. Ивантер Э.В., Медведев Н.В., Паничев Н.А. Содержание тяжёлых металлов в организме ладожской нерпы // Экология. - 1998. - №2. - С. 116-120.
7. Блэкберн А.А. Накопление и миграция микроэлементов в трофических цепях экосистем Чаткальского биосферного заповедника (Западный Тянь-Шань, Узбекистан) // Экология. - 2003. - №1. - С. 72-76.
8. Одум Ю. Экология: В 2 т., - Т.1: Пер. с англ. – М.: Мир, 1986. – 328 с.
9. Harding L.E., Harris M.L., Elliott J.E. Heavy and trace metals in wild mink (*Mustela vison*) and river otter (*Lontra canadensis*) capture on rivers receiving metals discharges // Environ / Contam and Toxicol. – 1998. – 61, - №5. – P. 600–607.
10. Poole K.G., Elkin B.T., Bethke R.W. Organochlorine and heavy metal contaminants in wild mink in Western Northwest Territories, Canada // Environ. Contam. and Toxicol. – 1998. – 34, - №4. – P. 406–413.
11. Sheffield Steve Mink and other mustelids as important sentinel species of environmental hazards // Euro-Amer. Mammal Congr., Santiago de Compostella. – 1998. – С.108.
12. Gutleb A.C., Kranz A., Nechay G., Toman A. Heavy metal concentrations in livers and kidneys of the otter (*Lutra lutra*) from Central Europe // Environ. Contam. And. Toxicol. – 1998. – 60, - №2. – P. 273-279.
13. Лебедева Н.І., Домніч В.І. Фактори, які зумовлюють динаміку чисельності лисиці звичайної (*Vulpes vulpes* L.) у Нижньому Подніпров'ї // Вісник Запорізького державного університету. - 2001. - №1. – С. 178-186.
14. ГОСТ 26929-94 Сырье и продукты пищевые. Подготовка проб. Минерализация для определения содержания токсичных элементов. – Взамен ГОСТ 26929-86; Введ. 01.01.98. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 78 с.
15. ГОСТ 26934-86 Сырье и продукты пищевые. Метод определения токсичных элементов в пищевом сырье. – Взамен ГОСТ 5370-58; Введ. 25.07.86. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 305 с.
16. Брицке М.Э. Атомно - абсорбционный спектрофотометрический анализ. – М.: Химия, 1982. - 222 с.
17. Наказ від 03.11.98. №16 про затвердження Обов'язкового мінімального переліку досліджень сировини, продукції тваринного та рослинного походження, комбікормової сировини, комбікормів, вітамінних препаратів та іншого, які слід проводити в державних лабораторіях ветмедицини і за результатами яких видається ветсвідотство.

## ЗМІНА МОРФОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЕРИТРОЦИТІВ У СПОРТСМЕНІВ ВИСОКОЇ КВАЛІФІКАЦІЇ ПІД ДІЄЮ ФІЗИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

Драницин О.В., аспірант

*Запорізький державний університет*

У цій роботі вивчалися морфологічні параметри еритроцитів периферичної крові спортсменів високої кваліфікації до та після фізичного навантаження субмаксимальної потужності. Було показано збільшення довжини кола, максимального та мінімального діаметра, площі поверхні еритроцитів, зміщення кривої Прайс-Джонса вправо в спортсменів після фізичного навантаження субмаксимальної інтенсивності.

*Ключові слова: довжина еритроцитів, максимальний та мінімальний діаметр еритроцитів, фізичне навантаження.*

Драницин О.В. ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭРИТРОЦИТОВ У СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ / Запорожский государственный университет, Украина.

В данной работе изучались морфологические параметры эритроцитов периферической крови спортсменов высокой квалификации до и после физической нагрузки субмаксимальной мощности. Было показано достоверное увеличение длины окружности, максимального и минимального диаметров, площади эритроцитов, смещение кривой Прайс-Джонса вправо у спортсменов после физической нагрузки субмаксимальной интенсивности.

*Ключевые слова: длина эритроцитов, максимальный и минимальный диаметры эритроцитов, физическая нагрузка.*

Dranitsin O.V. ALTERATIONS OF MORPHOLOGICAL PARAMETERS OF ERYTHROCYTES IN TOP ATHLETES AT PHYSICAL LOADS / Zaporizhzhya State University, Ukraine.

In the present work, morphological parameters of erythrocytes have been studied in top athletes at physical loads. The results showed a significant increase in circumference, maximum and minimum diameter, area of erythrocytes and displacement of Price-Jones curve to the right after physical loads.

*Key words: circumference of erythrocytes, maximum and minimum diameter of erythrocytes, physical loads.*

### ВСТУП

У світі постійного зростання спортивних досягнень і пов'язаного з цим посилення тренувальних навантажень зростає необхідність у пошуці нових методів контролю за тренувальним процесом, а також більш повного дослідження фізіологічних механізмів змін, що виникають при фізичному навантаженні. Зростає інтерес до проблеми фізичної адаптації людини до фізичного навантаження і пов'язаних з цим моффо-функціональних змін [1-4].

Морфологія клітини є золотим стандартом у гематології. Аналіз мазка крові був і залишається одним з основних способів діагностики багатьох захворювань. Дотепер дослідження морфології еритроцитів при багатьох клінічних обстеженнях зводилося до опису при візуальному аналізі мазка крові. Лише недавно з появою програм та обладнання для аналізу зображень став можливий більш точний аналіз морфології еритроцитів [5]. Велика увага в дослідженнях дотепер приділялася аналізу морфологічних змін еритроцитів при різних патологічних станах. Однак залишається маловивченим питання про зміни морфологічних параметрів еритроцитів при різних фізіологічних станах, зокрема при фізичних навантаженнях субмаксимальної інтенсивності.

Агрегація еритроцитів з'являється в областях із низьким тиском, особливо у венах, завдяки взаємодії між еритроцитами та макромолекулами плазми, але клітини в агрегатах розпадаються в областях із високим тиском [6,7], тому агрегація еритроцитів значною мірою залежить від тиску при фізіологічних умовах. На агрегацію еритроцитів впливають реологічні та хімічні характеристики еритроцитів і макромолекул. Однак ця взаємодія значною мірою залежить від фізичних і хімічних властивостей оточення, тобто складу суспензії еритроцитів.

Двовігнута форма еритроцитів створює велику та стабільну площу контакту між сусідніми клітинами при формуванні монетних стовпчиків еритроцитів [6,7]. Була виявлена зміна сферичної форми еритроцитів (in vitro) в більш кислій рН клітини збільшували об'єм, а також з'ясовано, що вона запобігає стабільному утворенню монетних стовпчиків еритроцитів, у той час як зменшення об'єму еритроцитів сприяє стабільному формуванню монетних стовпчиків. Залежність від рН у формуванні монетних стовпчиків еритроцитів у процесі оксигенації-деоксигенації викликана головним чином рН-залежними змінами у формі еритроцитів [8].

Однак дотепер не було показано змін морфологічних параметрів еритроцитів при фізичному навантаженні субмаксимальної інтенсивності.

**Мета роботи:** зареєструвати зміни морфологічних параметрів еритроцитів (довжину окружності, максимальний та мінімальний діаметри, площу видимої поверхні) до та після фізичного навантаження субмаксимальної інтенсивності в спортсменів високої кваліфікації.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Дослідження проводилися на 108 спортсменах-добровольцях високої кваліфікації, гравцях футбольних команд.

Фізичне навантаження надавалося за допомогою стандартного тесту оцінки фізичної працездатності  $PWC_{170}$  у модифікації ГЦОЛИФКа [9]. Навантаження субмаксимальної інтенсивності надавали з використанням двоступінчастої навантажувальної проби методом велоергометрії (велоергометр Kettler CX-1, Німеччина). Дослідження виконувалися в стандартизованих умовах. У спортсменів забирали капілярну кров до та після стандартизованого велоергометричного навантаження.

Для більш чіткого виявлення та збільшення якості вимірів еритроцити попередньо фарбували за оригінальною методикою [10]. Досліджувалися такі параметри, як довжина окружності, максимальний та мінімальний діаметри еритроцитів до та після фізичного навантаження. Мазки крові фіксували в парах формаліну (протягом 10 хвилин), тому що саме така фіксація запобігає деформації еритроцитів, внаслідок чого структура залишається незмінною. Після цього мазки обробляли н-бутанолом протягом 2 хвилин, потім мазки занурювали в 0,01% розчин бромфенолового синього в суміші етанол-диоксаноцтова кислота (5:4:1) на 10 хвилин і після повторного промивання в н-бутанолі 2 хвилини висушували та мікроскопіювали. Підрахунок здійснювали на 500 клітинах. Аналіз мазків виконувався за допомогою мікроскопа Leica CME з подальшим переведенням зображення в цифрову форму (відеокамера Sony ExwaveHad SSC-DC58AP). Аналіз зображень виконувався із застосуванням програмних пакетів NIHImage (Macintosh) та ScionImage (PC).

Математичну та статистичну обробку результатів досліджень проводили за допомогою комп'ютера з використанням програмних пакетів GrafPad Prism 4.0 (GrafPad Software Inc., США), Statistica 6.0 (StatSoft Inc., США) та Excel 2003 (Microsoft Corp., США). Відповідно до експериментальних установок різниці між середніми арифметичними в експериментах зі спортсменами тестували за допомогою парного t-тесту. Р значення  $<0,05$  було прийняте як достовірне. Результати були відображені як середнє арифметичне  $\pm$  середньоквадратичне відхилення.

## РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

У результаті проведених досліджень нами було встановлено, що довжина, максимальний та мінімальний діаметри, площа видимої поверхні еритроцитів у спортсменів достовірно збільшувалася після навантаження ( $P<0,001$ ) (рис.1).

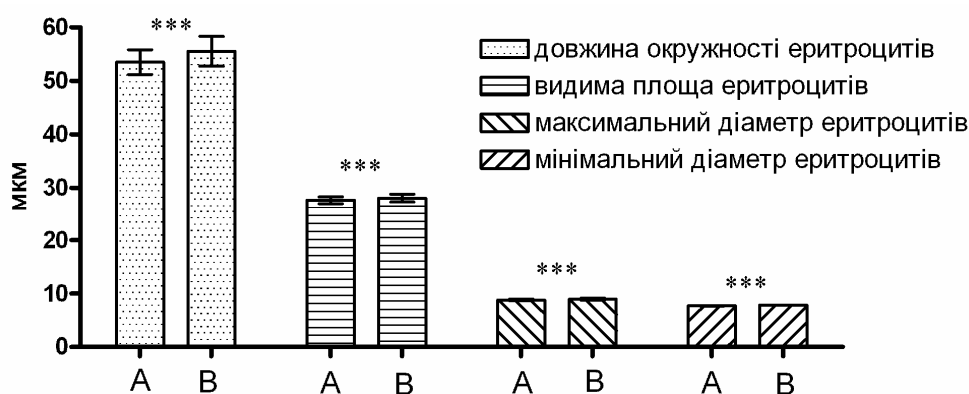


Рис.1. Зміна морфологічних параметрів еритроцитів спортсменів високої кваліфікації до (А) та після (В) фізичного навантаження. ‡Достовірно не відрізняється  $P>0,05$ ; достовірно відрізняється: \*\*\* $P<0,001$ ; \*\* $P<0,01$ ; \* $P<0,05$ .

При вивченні зміни кривої Прайс-Джонса до та після фізичного навантаження субмаксимальної потужності було виявлено в більшості випадків зміщення кривої вправо.

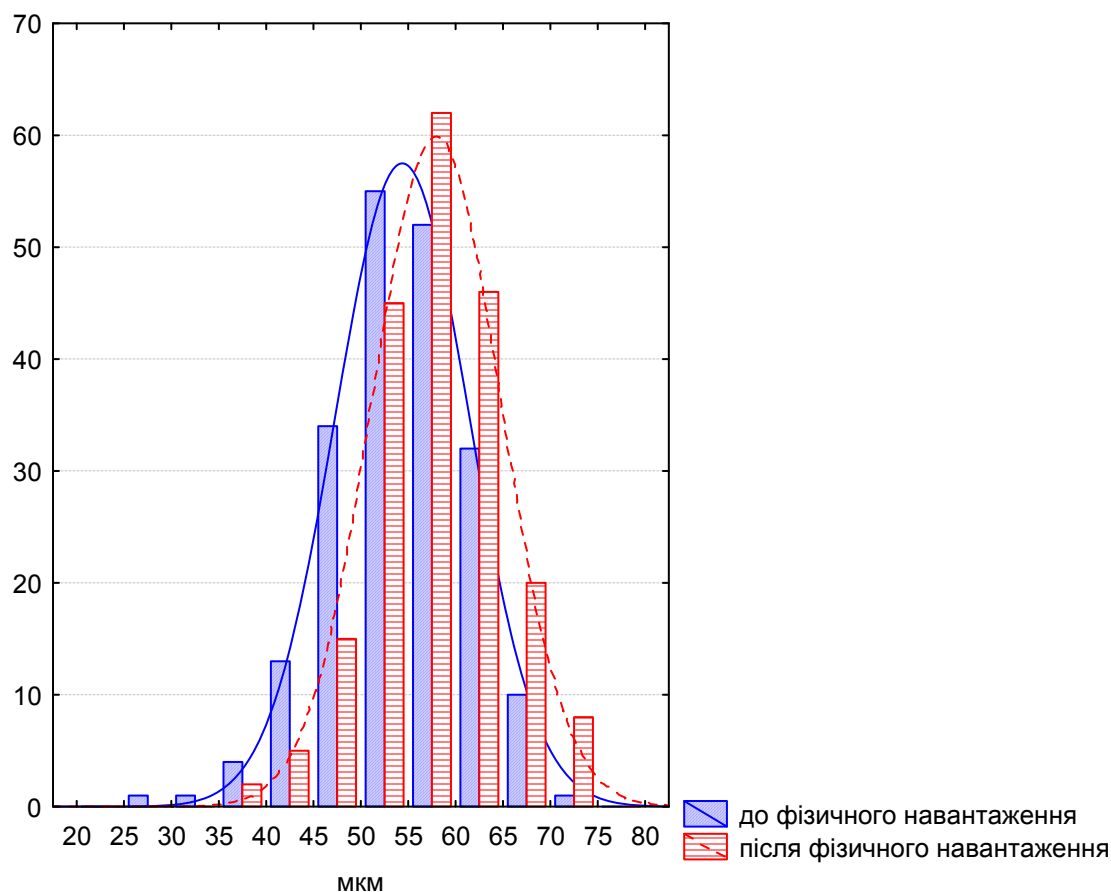


Рис.2. Приклад зміни кривої Прайс-Джонса (побудована на основі площі видимої поверхні еритроцитів) у спортсмена високої кваліфікації до та після фізичного навантаження.

Збільшення довжини, максимального і мінімального діаметрів еритроцитів після фізичного навантаження можна пояснити біохімічними і фізіологічними змінами системи циркулюючої крові. Оскільки було показано, що при зниженні рН у результаті збільшенням концентрації лактату та  $\text{CO}_2$  еритроцити набувають воду з плазми та збільшуються в розмірі. Найбільш імовірно, що ці морфологічні зміни, що відбуваються з еритроцитами, мають адаптаційно–приспосувальне значення, реалізація якого може проходити за такими напрямками:

По-перше, збільшення довжини, максимального і мінімального діаметра еритроцита веде до збільшення його площі, а отже і сумарної поверхні. Такі морфологічні зміни, що відбуваються з еритроцитами під дією фізичних навантажень, скоріш за все, мають антигіпоксантичне адаптаційно–приспосувальне значення, у результаті якого збільшується швидкість віддачі кисню і вуглекислого газу.

Збільшення розмірів еритроцитів призводить до зменшення їх агрегації, що поліпшує реологію крові та прискорює віддачу кисню до тканин.

По-друге, збільшення розмірів еритроцитів може бути антигемолітичним механізмом, що запобігає руйнуванню еритроцитів.

## ВИСНОВКИ

1. Під дією фізичного навантаження довжина, максимальний і мінімальний діаметри, площа поверхні еритроцитів вірогідно збільшуються, що може бути пов'язано зі збільшенням концентрації  $\text{H}^+$  іонів після фізичного навантаження.
2. У більшості випадків після фізичного навантаження субмаксимальної потужності крива Прайс-Джонса зміщується вліво, що також вказує на збільшення розмірів еритроцитів та збільшення макроцитарних форм після фізичного навантаження субмаксимальної потужності.
3. Перспективним є подальше вивчення змін морфо-функціональних параметрів еритроцитів у процесі фізичних навантажень різної інтенсивності, у людей що мають різну фізичну підготовку, у спортсменів із різною тренувальною направленістю та при дії фармакологічних препаратів. Дослідження в цих напрямках можуть дати можливість більш точно контролювати тренувальний процес та запобігати процесам дезадаптації.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Pedersen E.K., Hoffman-Goetz L. Exercise and the Immune System: Regulation, Integration, and Adaptation // *Physiological review*. - 2000.-Vol.-80.
2. Uusitalo A. Overtraining. Making a Difficult Diagnosis and Implementing Targeted Treatment // *The physician and sportmedicine*. - 2001. -Vol.-29.
3. Гольберг Н.Д., Морозов В.И., Рогозкин В.А. Метаболические реакции организма при адаптации к мышечной деятельности // *Теория и практика физической культуры*. Научно-теоретический журнал. - 2003.-Т.-3.
4. Опарина О.Н. Антиэндотоксиновый иммунитет в реакции срочной адаптации к физическим нагрузкам. // *Теория и практика физической культуры*. Научно-теоретический журнал. 2003. - Т.-6.
5. Козинец Г.И., Погорелов В.М., Шмаров Д.А. и др. Клетки крови и современные технологии их анализа. - М: Триада-фарм. - 2002. – С. 200.
6. Chien S. Biophysical behavior of red cells in suspensions. In: *The Red Blood Cell*. translator. Surgenor, D. M. New York: Academic. - 1975. - P.1031-1133.
7. Shiga T., Maeda N., Kon, K. Erythrocyte rheology // *Crit Rev Oncol Hematol* 1990.-Vol.-10. - P.9-48.
8. Cicha I., Suzuki Y., Tateishi N., Maeda N. Changes of RBC aggregation in oxygenation-deoxygenation: pH dependency and cell morphology // *Am J Physiol Heart Circ Physiol*. - 2003.-Vol.-284. - P.2335-2342.
9. Башкін І.М., Маліков М.В., Євдокімов Є.І., Сорокін В.О. Методи медико-біологічного контролю у фізичному вихованні та спорті. - Запоріжжя: ЗДУ. - 2002. - С. 144.
10. Пат. 61529А Україна, МКИ G01N33/48. Спосіб визначення морфологічних типів еритроцитів. Сорокін В.А., Башкін І.М., Плетінь С.В., Драницин О.В. Заявлено 24.02.2003 №2003021602. Опубл. 17.11.2003.- Бюл. №11, 2003. – 2с.

УДК 634.0.15:631.46

## ЕКОЛОГО-ФАУНІСТИЧНИЙ ОГЛЯД ДОЩОВИХ ЧЕРВ'ЯКІВ СХІДНОЇ УКРАЇНИ

Жуков О.В., к.б.н.

*Дніпропетровський національний університет*

У роботі здійснено аналіз екологічних та морфологічних особливостей дощових черв'яків Східної України. Наведено дані про 30 видів черв'яків. Дискутуються питання репродуктивних можливостей тварин, їх географічного та біотопічного розподілу.

*Ключові слова:* дощові черв'яки, ґрунтова фауна.

Жуков А.В. ЭКОЛОГО-ФАУНИСТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ДОЖДЕВЫХ ЧЕРВЕЙ ВОСТОЧНОЙ УКРАИНЫ / Днепропетровский национальный университет, Украина

В работе осуществлен анализ экологических и морфологических особенностей дождевых червей Восточной Украины. Приведены данные, относящиеся к 30 видам червей. Обсуждаются вопросы репродуктивных способностей животных, их географического и биотопического распределения.

*Ключевые слова:* дождевые черви, почвенная фауна.

Zhukov A.V. ECOLOGICAL AND FAUNA REVIEW OF EAST UKRAINIAN EARTHWORM / Dnepropetrovsk National University, Ukraine

The analysis of ecology and morphology properties of East Ukrainian earthworm has been done. Data dealing with of 30 earthworm species is presented. Reproduction ability, both geographic and biotopes distribution have been discussed.

*Key words:* earthworm, soil fauna

Дощові черв'яки відіграють важливу роль в угрупованнях ґрунтових тварин помірної зони [4]. Суттєвим є їхнє значення в ґрунтоутворювальному процесі, трансформації органічної речовини в ґрунті [3, 4, 6, 8]. Вони можуть використовуватися для процесів діагностики ґрунтоутворювального процесу і стану

екосистем в умовах антропогенного впливу [1, 2]. Відомості про фауну й екологічні особливості дощових черв'яків Східної України представлені в численних літературних джерелах. Ціллю даної роботи є узагальнений огляд фауни дощових черв'яків регіону з указівкою їхніх екологічних особливостей. Морфологічні особливості тварин наведені відповідно до роботи [4], а таксономія – до роботи [9].

Нижче наведений опис екологічних і морфологічних особливостей дощових черв'яків, що виявлені в межах степового Придніпров'я, а також тих видів, спостереження яких дуже ймовірне.

1. *Aporrectodea calliginosa calliginosa (Savigny, 1826)*. Широко розповсюджений космополітний вид. Типова (диплоїдна) форма властива для підзони змішаних і широколистяних лісів, де чисельність цього виду сягає найбільш високого рівня і він належить до масових видів дощових черв'яків. У лісостепу зустрічається в лісах, що виростають по схилах балок і на річкових терасах. За здатність заселяти орні землі названий «орним черв'яком». На території Харківської області є домінуючим і населяє практично всі біотопи. Найбільшої чисельності досягає у вологих ґрунтах, під пологом деревної рослинності [7]. Довжина 60-160 мм, ширина 4-7 мм. Число сегментів 104-248. Непігментований. Тіло в післяпасковій частині є дещо сплюсненим. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 9/10, рідше 8/9. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* на 9-11 сегментах і на декількох (частіше трьох) сегментах паска на папілах. Чоловічі статеві отвори оточені залозистими полями, що виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 27 по 34 або 35 сегмент. Пубертатні валики у вигляді двох горбків на 31-33 сегментах, що торкаються один одного. Сім'яних пухирців 4 пари, у 9-12 сегментах. Дві пари сім'яприймачів відкриваються в міжсегментні борозенки 9/10, 10/11 на лінії щетинок *cd*. Розташування м'язових волокон пір'ястого типу. *Aporrectodea calliginosa trapezoides (Duges, 1826)* - як і типова форма виду, космополіт. Розмножується партеногенетично й утворює поліплоїдні раси. Розповсюджений на Російській рівнині в основному до півдня від лісової зони. У лісостепу може зустрічатися як на луках, так і під пологом плакорних дібров. Найбільш часто зустрічається в заплавах рік (у ґрунті лугів і під лісовою рослинністю). Від типової форми відрізняється наявністю бурої пігментації, а також тим, що валики прямі, рівні.
2. *Aporrectodea rosea (Savigny, 1826)*. Космополітний вид, у межах Російської рівнини найбільш розповсюджений у підзоні змішаних і широколистяних лісів і лісостепу. Північніше проникає переважно по заплавах рік. Відноситься до деяких видів дощових черв'яків, здатних жити в ґрунтах плакорного степу. Найбільш поширені партеногенетичні поліплоїдні популяції виду. Амфіміктична форма виявлена тільки на чорноморському узбережжі Північно-Західного Кавказу. Найбільш сприятливою глибиною в стані активної життєдіяльності є шар ґрунту 0-20 см із вологістю 14-26% і температурою 3,6—21,8°C. Щонайменше один раз на рік може робити міграції всередину ґрунту на 80 см, що передрепає діапаузі [11]. Довжина черв'яка 35-150 мм, ширина 3-6 мм. Число сегментів 71-170. Непігментований. Тіло циліндричне. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 4/5. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені добре вираженими залозистими полями. Пасок з 24-25, рідше з 26 по 31-32 або 33 сегмент. Пубертатні валики з 29 по 31, рідше з 30 по 31 сегмент. Сім'яних пухирців 4, рідше 2 або 3 пари. Дві пари сім'яприймачів відкриваються в міжсегментні борозенки 9/10, 10/11 у середині спинної лінії, рідше відсутні. Розташування м'язових волокон перехідного типу.
3. *Aporrectodea longa (Ude, 1826)*. Зустрічається переважно на освоєних ґрунтах, а також у заплавах рік, але лише поблизу населених пунктів. Довжина 120-160 мм, ширина 6-8 мм. Число сегментів 160-200. Пігментація бура, покриви іризують. Хвостовий кінець тіла розширений і сплюснений. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 12/13. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* в області 9-11 і 31-34 сегментів на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені добре вираженими залозистими полями. Пасок з 27-28 по 35 сегмент. Пубертатні валики на 32-34 сегментах.
4. *Aporrectodea dubiosa (Orley, 1880)*. Амфібіотичний вид, що живе на рівнинах, по берегах рік і замкнених водойм. Ці черв'яки здатні досягати статевої зрілості тільки в ґрунті, покритому шаром води. У воді відбувається відкладення яйцевих коконів. Довжина 92-240 мм, ширина 5-10 мм. Число сегментів 121-303. Забарвлення від зеленувато-бурого до зеленувато-чорного. Головна лопать епілобічна, закрита. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 4/5. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* в області 10 і іноді 11 сегментів, а також в області паска на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені добре вираженими залозистими полями, що виходять на сусідні сегменти. Пасок з 37-38 по 46, 47, 48 сегмент. Пубертатні валики на 43, 44-47, 48 сегментах. Подовжня мускулатура пучкуватого типу.
5. *Aporrectodea jassyensis (Michaelsen, 1891)*. Зустрічається на півдні Російської рівнини і на Кавказі. Із рівнинних районів відомий по порівняно невеликому числу знахідок, зроблених у

заплавах рік і по дну глибоких ярів, що відкриваються в річкові долини. Виявлений у перегнійно-торф'яних ґрунтах заплавної лісу в Ізюмському районі [3], у 5 км на схід Харкова на березі ставка, розташованого у вибалку серед полів. У сильно вологому глинистому ґрунті біля крайки води чисельність його склала 19 екз./м<sup>2</sup>. У Луганській області виявлений у вологому глинистому ґрунті на березі струмка, що протікає по дну степового яру [7]. Довжина 54-95 мм, ширина 3-5 мм. Число сегментів 100-133. Пігментація відсутня. Тіло циліндричної форми з характерним ніби відрубаним хвостовим кінцем. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 4/5. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* в області 10-13 сегментів, а також в області паска на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені добре вираженими залозистими полями, що виходять на сусідні сегменти. Пасок з 29 (рідше 28) по 35 сегмент. Пубертатні валики на 32-34 сегментах. Подовжня мускулатура пір'ястого типу.

6. *Allolobophora chlorotica (Savigny, 1826)*. Гігрофіл, космополітний вид, що легко розселяється. Довжина 30-85 мм, ширина 4-5 мм. Число сегментів 98-126. Пігментація зелена або відсутня. Форма тіла циліндрична. Головна лопать епілобічна, відкрита. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 4/5. Щетинки сильно зближені попарно. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені залозистими полями, що виходять за межі сегмента. Пасок з 29 по 37 сегмент. Пубертатні горбки у виді присосків на 31, 33 і 35 сегментах.
7. *Allolobophora leoni Michaelsen, 1891*. Ендемічний вид, знайдений у рівнинних лісостепових і степових районах України. Зустрічається переважно по ярах, балках і уздовж рік. Довжина 65-130 мм, ширина 5-8 мм. Число сегментів 148-180. Пігментація відсутня. Форма тіла циліндрична, за паском сплюснена. Головна лопать про-епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 4/5. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* в області 11-13 і 27-29 сегментів на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені залозистими полями, що не виходять за межі сегмента. Пасок з 25, 26 по 34 сегмент. Пубертатні горбки на 30-32 сегментах, стикаються підшвами на 31 сегменті.
8. *Eiseniella tetraedra tetraedra (Savigny, 1826)*. Партеногенетичний поліплоїдний вид. Розташування чоловічих статевих отворів може варіювати (вони відкриваються на 13 або, рідше, на 14 сегменті). Космополіт, амфібіонт, що зустрічається по берегах водойм і в ґрунтах проточного типу заболочування. Довжина 20-70 мм, ширина 2-4 мм. Число сегментів 70-100. Пігментація жовтувато-бура. Тіло за паском чотиригранне. Головна лопать епілобічна, відкрита. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 4/5. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* в області 11-13 і 27-29 сегментів на папілах. Чоловічі статеві отвори оточені залозистими полями, що не виходять за межі сегмента. Пасок з 22-23 по 26-27 сегмент. Пубертатні валики з 23 по 25-26 сегмент.
9. *Eisenia fetida (Savigny, 1896)*. Космополіт. Зустрічається в компостах, що гниють, багатому перегноем ґрунті. У природних умовах живе в лісостеповій і степовій зонах. У лісах населяє гниючу деревину, зустрічається також у скупченнях рослинних залишків по дну ярів і берегах струмків і рік. Довжина 40-130 мм, ширина 2-4 мм. Число сегментів 80-120. Пурпурова пігментація у вигляді широких поперечних смуг, розділених більш вузькими непігментованими ділянками покривів. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 4/5. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки 12 сегмента й в області паска на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені добре розвинутими залозистими полями. Пасок з 26-27 по 31-32 сегмент. Пубертатні валики з 28 (рідше з 29) по 30-31 сегмент, почасти можуть заходити на 27 сегмент. Подовжня мускулатура перехідного типу.
10. *Eisenia nordenskioldi nordenskioldi (Eisen, 1879)*. У степовій зоні цей вид на плакорях не знайдений, але звичайний у байраках і заплавах рік. Основний ареал виду займає азійську частину Росії. На півночі досягає Льодовитого океану. Є поліплоїдом, представлений щонайменше двома, а можливо, трьома поліплоїдними формами [5]. Довжина 60-150 мм, ширина 4-8 мм. Число сегментів 80-130. Пігментація темно-пурпурова, на бічних сторонах 9-11 сегментів не виражена, у результаті чого тут є характерні білі плями. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 4/5. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* в області паска на папілах. Чоловічі статеві отвори оточені слабо розвинутими залозистими полями, що не виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 27 по 33 сегмент. Пубертатні валики з 29 по 31 сегмент, попереду чітко відмежовані міжсегментною борозенкою 28/29, позаду поступово зовсім зникають, нерідко займаючи 31 сегмент не повністю, а лише до половини. Подовжня мускулатура пір'ястого типу.
11. *Eisenia gordejefi Michaelsen, 1899*. Ендемічний реліктовий вид, відомий по деяких знахідках, зроблених на південно-сході Російської рівнини. На території України відомий із Приазов'я [3]. У Харківській області зустрічається на неораних ділянках суходільного луку в долині ріки Орель

із середньою щільністю в місцях знахідок 51-64 екз./м<sup>2</sup> [7]. Довжина 70-125 мм, ширина 4,5-5,5 мм. Число сегментів 99-210. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки  $\frac{3}{4}$  або  $\frac{4}{5}$ . Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *cd* 11 і *ab* з 23 по 37, 38 сегмент на папілах. Чоловічі статеві отвори оточені слабо розвинутими залозистими полями, що не виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 23, 24 по 34, 35 сегмент. Пубертатні валики з 27, 28 по 31 сегмент. Подовжня мускулатура перехідного типу.

12. ***Eisenia balatonica* (Pop, 1943).** Розповсюджений у Східній Європі, на півдні Російської рівнини, на півдні Сибіру і Північному Казахстані. Крайня точка поширення виду на захід знаходиться в межах Угорщини, звідки цей вид був описаний по зборах з оз.Балатон. Довжина 40-102 мм, ширина 3-5 мм. Число сегментів 83-122. Пігментація бура, на бічних сторонах 9-11 сегментів світлі плями. Хвостовий кінець більш темний, іноді майже чорний. Тіло в передній частині циліндричне, за паском чотиригранне. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки  $\frac{4}{5}$ . Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки *ab* 16, 22, 23 і з 25, 26 по 29, 30 сегмент на папілах. Чоловічі статеві отвори оточені залозистими полями, що виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 24, 25 по 30 сегмент. Пубертатні валики займають 27 і 28 сегменти, частково можуть заходити на сусідні сегменти. Подовжня мускулатура перехідного типу. Амфібіотичний вид.
13. ***Eisenia intermedia* (Michaelsen, 1901).** Ендемік, що живе на Середньому і Південному Уралі й у Приураллі. Знайдено, крім того, у ряді пунктів, розташованих на південно-сході Російської рівнини. Маються виявлення в заплаві Сіверського Дінця. Довжина 70-130 мм, ширина 5-6 мм. Число сегментів 124-177. Пігментація жовтувато-бура. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки  $\frac{5}{6}$ , рідше  $\frac{4}{5}$ . Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки *ab* 8-12 сегментів або деякі з них на папілах. Папіли розвинені також в області пасака. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті без залозистих полів. Пасок з 22, 23 по 30 сегмент. Пубертатні валики з 25 по 29 сегменти. Подовжня мускулатура пір'ястого типу.
14. ***Eisenia uralensis* Malevič, 1950.** Вид уральського походження, крім Уралу і Приуралля зустрічається на сході Російської рівнини. На відміну від більшості інших дощових черв'яків, здатний населяти солонцюваті чорноземи з рН від 7,1 до 7,3. Довжина 50-110 мм, ширина 4-5 мм. Число сегментів 96-143. Пігментація відсутня. Тіло за паском злегка плоске. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки  $\frac{4}{5}$ . Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки *ab* і *cd* 9-11 і *ab* 26-34, 35 сегментів на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені добре розвинутими залозистими полями. Пасок з 26, 27 по 33, 34 сегмент. Пубертатні валики з 30 по 32 сегменти. Подовжня мускулатура перехідного типу.
15. ***Dendrobaena veneta* (Rosa, 1896).** Відноситься до числа видів, широкорозповсюджених у Середземномор'ї. Відомий із півдня Франції, із Північної Італії, країн Балканського півострова, Туреччині і Передній Азії. Звичайний на Україні на півдні Кримського півострова. Запропонований як агент для вермікомпостування. У цьому відношенні кращий для обробки вологих компостних мас. Зона оптимуму для дорослих черв'яків знаходиться в межах 67—84% вологості ґрунту при температурі 15°C. Максимальна швидкість продукції коконів відзначено при вологості 73—80%. Для ювенільних стадій найбільш сприятливі умови вологості 75%. Однак репродуктивний потенціал цього виду набагато нижче, ніж інших компостних черв'яків. Довжина 50-95 мм, ширина 4-7 мм. Число сегментів 125-140. Пігментація темно-пурпурова з фіолетовим відтінком у вигляді широких поперечних смуг, розділених вузькими ділянками покривів, позбавлених пігментації. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки  $\frac{5}{6}$ . Щетинки не зближені. Щетинки *a* і *b* 28-32 сегментів на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені добре розвинутими залозистими полями, що заходять на сусідні сегменти. Пасок з 26, 27 по 33 сегмент. Пубертатні валики на 30 і 31 сегментах. Подовжня мускулатура пучкового типу.
16. ***Dendrobaena octaedra* (Savigny, 1826).** Космополіт. Населяє лісову підстилку і є одним з деяких видів дощових черв'яків, що зустрічаються в тайгових лісах і тундрі. Є одним з найбільш холодостійких видів дощових черв'яків, кокони якого зберігають життєздатність при температурі —8°C протягом 3 місяців і при —13,5°C протягом 2 місяців [10]. На Російській рівнині зустрічається повсюдно. У лісостепу відноситься до числа видів, що населяють плакорні лісові ценози. У степовій зоні знайдений у байрачних лісах і заплавах рік. Довжина 25-40 мм, ширина 2-4 мм. Число сегментів 80-100. Пігментація від темно-червоної до фіолетової. Тіло за паском чотиригранне. Головна лопать епілобічна, відкрита. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки  $\frac{4}{5}$ . Щетинки не зближені. Залозисті поля навколо чоловічих статевих отворів не виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 29 по 33 (рідко по 34) сегмент. Пубертатні валики з 31 по 33 сегмент. Подовжня мускулатура пір'ястого типу.

17. *Dendrobaena schmidti tellermanica Perel, 1966*. Номінальна форма виду є кримсько-кавказьким ендеміком. На відміну від номінальної форми, цей підвид має розірваний ареал і розповсюджений у нагорних дібровах правобережжя Хопра, на Калачській височині і на південно-східних схилах Середньоруської височини. Довжина 40-69 мм, ширина 3-4 мм. Число сегментів 83-146. Покриви не пігментовані. Папіли розвинені на 16 сегменті навколо щетинок *a* і *b*, на 25-28, 29 сегментах навколо щетинок *a* і на 30, 31 сегментах невеликі круглі папіли навколо щетинок *b*. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 5/6. Щетинки не зближені. Залозисті поля навколо чоловічих статевих отворів виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 25 по 32 сегмент. Пубертатні валики на 30-31 сегментах, частково заходять на сусідні сегменти. Подовжня мускулатура пір'ястого типу.
18. *Dendrobaena mariupolienis mariupolienis (Wyssotzky, 1893)*. Кримсько-кавказький ендемік. Відомий з рівнинних районів Передкавказзя і Приазов'я. Довжина 75-170 мм, ширина 4-8 мм. Число сегментів 103-209. Забарвлення буре, іноді з червонуватим відтінком. Хвостовий кінець тіла сплющений. Папіли навколо щетинок *a* і *b* можуть бути розвинені на сегментах 25-27 і 33, а також навколо щетинок *b* на 15 сегменті. Головна лопать епілобічна, закрита. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 5/6. Щетинки не зближені. Залозисті поля навколо чоловічих статевих отворів виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 25 по 32 сегмент. Пубертатні валики на 30-32 сегментах, частково заходять на сусідні сегменти. Подовжня мускулатура пір'ястого типу.
19. *Dendrodrilus rubidus (Eisen, 1874)*. Широко розповсюджений космополітний вид. Представлений чотирма морфологічними формами: *rubidus*, *subrubicundus*, *tenuis* і *porvegicus*. Остання є ендеміком, розповсюдженим у Норвегії, тобто територія, що не піддалася заледенінню в останній гляціальний період [10]. Вид населяє гниючу деревину і лісову підстилку. Розмножується партеногенетично. Поліплоїд, представлений декількома поліплоїдними формами [12]. Довжина 15-55 мм, ширина 2-3 мм. Число сегментів 75-110. Пігментація блідо-червона. Форма тіла циліндрична. Головна лопать епілобічна, закрита. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 5/6. Щетинки слабо зближені попарно. Залозисті поля навколо чоловічих статевих отворів не виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 25, 26, 27 по 30, 31, 32 сегменти. Пубертатні валики слабо виражені, на 28, 29 і 30 сегментах або узагалі відсутні. *Dendrodrilus rubidus subrubicundus (Eisen, 1874)* - синантропна амфіміктична форма виду, що зустрічається в компостах, які перегнили, гної і в багатому перегноему ґрунті. Довжина 50-90 мм, ширина 3-4 мм. Число сегментів 60-125. Пігментація пурпурова, нерідко слабо виражена. Головна лопать епілобічна, закрита. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 5/6. Щетинки слабо зближені попарно. Залозисті поля навколо чоловічих статевих отворів не виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 25, 26 по 31, 32 сегменти. Пубертатні валики слабо виражені, на 28-30.
20. *Kritodrilus auriculatus (Rosa, 1897)*. Довжина 25-70 мм, ширина 1,5-2,5 мм. Число сегментів 122-140. Пігментація відсутня. Головна лопать епілобічна, відкрита. Спинні пори відсутні. Щетинки не зближені. Щетинки *a*, *b*, *c*, *d* 9 або 10 сегмента на залозистих папілах. Папіли навколо щетинок *a* і *b* або тільки навколо *b* мають також на 30-33 сегментах. Залозисті поля навколо чоловічих статевих отворів не виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 21, 22, 23, 24 по 34 сегмент. Пубертатні валики з 31 по 33 сегмент, сильно видаються в боки.
21. *Octolasion lacteum (Oerley, 1885)*. Надає перевагу ґрунту, який багатий органікою та має кислотність, близьку до нейтральної. Калькофіл. Найбільш висока чисельність відзначена в дібровах на сірих лісових ґрунтах. Космополіт, відомий далеко за межами Палеарктики. Успішне розселення пов'язане з партеногенетичним розмноженням і супутньою йому поліплоїдією [12]. Довжина 30-180 мм, ширина 2-8 мм. Число сегментів 90-173. Не пігментований, забарвлення блакитнувато-сіре, рідше є бурувате забарвлення на передніх 10-15 сегментах. Тіло за паском злегка плоске. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 8/9-11/12. Щетинки за паском слабо зближені попарно. В області 20-22 сегментів мають папіли. Залозисті поля навколо чоловічих статевих отворів виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 30 по 35 сегмент. Пубертатні валики вузькі, з 31 по 34 сегмент, можуть заходити на сусідні сегменти.
22. *Octolasion cyaneum (Savigny, 1826)*. У Західній Європі відноситься до числа видів, що часто зустрічаються, на схід – більш рідкий або узагалі відсутній. Належить до космополітним дощових черв'яків, що легко розселяються. Відомий з Північної і Південної Америки, Індії, Австралії. Довжина 65-140 мм, ширина 6-8 мм. Форма тіла циліндрична, за паском злегка сплющена. Число сегментів 100-160. Головна лопать епілобічна. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 9/10-11/12. Щетинки за паском слабо зближені попарно. Залозисті

поля навколо чоловічих статевих отворів виходять за межі 15 сегмента. Пасок з 29 по 34 сегмент. Пубертатні валики широкі, з 30 по 33 сегмент, можуть заходити на сусідні сегменти.

23. ***Octodrilus transpadanus (Rosa, 1884)***. Середземноморський вид. Довжина 80-205 мм, ширина 6-8 мм. Пігментація бура. Хвостовий кінець тіла злегка розширений і сплющений. Головна лопать епілобічна, закрита. Число сегментів 100-160. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 12/13, рідше 13/14. Щетинки не зближені. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті позбавлені залозистих полів. Пасок з 30, іноді з 29 по 37 сегмент. Пубертатні валики витягнуті уздовж усього паска, а також можуть заходити на 38 сегмент.
24. ***Helodrilus antipae tuberculatus (Cernovitov, 1935)***. Розповсюджений на півночі Балканського півострова й у Придунайських країнах, включаючи Молдавію, де досить звичайний. Довжина 40-60 мм, ширина 2,5-4 мм. Форма тіла циліндрична. Головна лопать епілобічна. Число сегментів 100-160. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 4/5. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab*, а іноді *i*, 10, 12 і в області паска – на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені залозистими полями, що заходять на сусідні сегменти. Пасок з 25-26 по 33 сегмент. Пубертатні валики у виді горбків пірамідальної форми з вершинами в міжсегментних борозенках 30/31 і 31/32, що стикаються підставами на середині 31 сегмента. Вони займають краї паска від середини 30 до середини 32 сегмента.
25. ***Lumbricus terrestris Linnaeus, 1758***. Космополіт, найбільш часто зустрічається в зоні змішаних і широколистяних лісів. У степовій і лісостеповій зонах характерний для азональних біогеоценозів. Більшої щільності (до 50 экз./м<sup>2</sup>) досягає в ґрунтах антропогенних біоценозів – у скверах, лісопарках, ботанічних садах (Попов, 1999). Довжина 90-300 мм, ширина 6-9 мм. Пігментація в частини тіла перед паском пурпурова, за паском має вигляд темно-червоної середньої смуги. Хвостовий кінець тіла сильно сплющений. Головна лопать танілобічна. Число сегментів 108-180. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 7/8 або 8/9. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* 24-27 сегментів на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті оточені залозистими полями, що заходять на сусідні сегменти. Пасок з 32 по 37 сегмент. Пубертатні валики з 33 по 36 сегмент.
26. ***Lumbricus rubellus Hoffmeister, 1843***. Космополіт. Один з найбільш розповсюджених у підзоні змішаних і широколистяних лісів видів дощових черв'яків. У лісостепу і степу зустрічається в заплавах рік і в лісових ярах. Довжина 50-150 мм, ширина 4-6 мм. Пігментація пурпурова. Хвостовий кінець тіла сильно сплющений. Головна лопать танілобічна. Число сегментів 108-180. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 7/8, рідше 5/6 або 6/7. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* 9-10 сегментів на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті без залозистих полів. Пасок з 27 по 32 сегмент. Пубертатні валики з 28 по 31 сегмент, але можуть заходити на сусідні сегменти.
27. ***Lumbricus castaneus (Savigny, 1826)***. Космополіт. Характерний для підзони змішаних і широколистяних лісів. Довжина 30-85 мм, ширина 3-5 мм. Пігментація пурпурова. Хвостовий кінець тіла сильно сплющений. Головна лопать танілобічна. Число сегментів 55-120. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 5/6 або 6/7. Щетинки сильно зближені попарно. Щетинки пучка *ab* 9-10 або 10-11 сегментів на папілах. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті без залозистих полів. Пасок з 28 по 33 сегмент. Пубертатні валики з 29 по 32 сегмент.
28. ***Lumbricus baicalensis Michaelsen, 1900***. Європейський вид. На Російській рівнині був відзначений у Вінницькій області, в околиці Києва і південніше Харкова [4]. Крім того, він виявлений на півночі Сумської області [7]. Є мешканцем лісової підстилки і мокрого піщано-мулистого ґрунту берегів лісових боліт. Може зустрічатися в глинистому ґрунті середньої вологості з домішкою наносного мулу [7]. Довжина 40-70 мм, ширина 4-6 мм. Пігментація пурпурова. Хвостовий кінець тіла сплющений. Головна лопать танілобічна. Число сегментів 70-145. Спинні пори починаються з міжсегментної борозенки 7/8, рідше 5/6 або 6/7. Щетинки сильно зближені попарно. Чоловічі статеві отвори на 15 сегменті без залозистих полів. Пасок з 28 по 32 сегмент. Пубертатні валики з 29 по 31 сегмент.

Таблиця 1 - Таблиця для визначення видів дощових черв'яків східної України

Ознаки	Назва	Довжина (мм)	Забарвлення	Щетинки	Пасок розташований	Пубертатні валики	Спинні пори	Чоловічі статеві отвори
<b>Щетинки попарно не зближені</b>								
Пубертатні валики займають більш трьох сегментів	<i>Octolasion cyaneum</i> (Savigny, 1826)	65-120	Пігментація відсутня	За паском слабо зближені попарно	29-34	30-33, заходять на сусідні сегменти	9/10, 11/12	15 заходять на сусідні сегменти
	<i>Octodrilus transpadanus</i> (Rosa, 1884)	80-210, до 400	Пігментація бура	На 30 сегменті є папіли навколо щетинок a, рідше a і b	(29),30-37	29,30-37, 38	12/13, 13/14	15 позбавлені залозистих полів
	<i>Octolasion lacteum</i> (Oerley, 1885)	30-180	Пігментація відсутня	За паском слабо зближені попарно, на 20-22 є папіли	30-35	½30,31-34,35	8/9 - 11/12	15 заходять на сусідні сегменти
Пубертатні валики займають менш трьох сегментів	<i>Dendrobaena octaedra</i> (Savigny, 1826)	25-40	Від темно червоного до фіолетового	Не зближені	27,28-33,34	(30),31-33	4/5	15 залозисті поля невеликі
	<i>Dendrobaena auriculatus</i> (Rosa, 1897)	25-30	Пігментація відсутня	Не зближені	21,22,23,24-34	31-33, сильно видаються в боки	Немає	15 не заходять на сусідні сегменти
	<i>Dendrobaena mariupolienis mariupolienis</i> Wyssotzky, 1893	90-170	Темно-буре, з червонуватим відтінком	Не зближені, папіли можуть бути навколо щетинок ab на 25-27 і 33, а також щетинок b на 15.	25-32	30-32	5/6	15 залозисті поля добре розвинені
	<i>Dendrobaena veneta</i> (Rosa, 1896)	50-90	Темно-пурпурове, у вигляді поперечних смуг	Не зближені, щетинки ab 28-32 сегментів на папілах	26,27-33	30, 31	5/6	15 залозисті поля великі
	<i>Dendrobaena schmidti tellermanica</i> Perel, 1966	40-69	Не пігментовані	Не зближені. Папіли на 16 навколо щетинок a і b, на 25-28, 29 навколо a, на 30, 31 невеликої плоскої папіли навколо щетинок b	25-32	30-31, частково заходять на сусідні сегменти	5/6	15, залозисті поля заходять на сусідні сегменти
	<i>Dendrodrilus rubidus rubidus</i> (Savigny, 1826)	50-60	Пурпурове, часто слабо виражене	Слабо зближені	26,27-31,32	29-30	5/6	15 залозисті поля великі

Продовження таблиці 1.

Ознаки	Назва	Довжина (мм)	Забарвлення	Щетинки	Пасок розташований	Пубертатні валики	Спинні пори	Чоловічі статеві отвори
	<i>Dendrodrilus rubidus tenuis</i> (Eisen, 1874)	15-55	Червонясто-коричневе	Слабко зближені	25,26,27-30,31,32	звичайно відсутні, якщо є-28,29,30	5/6	15 залозисті поля невеликі
	<i>Dendrodrilus rubidus subrubicundus</i> (Eisen, 1874)	50-60	Пурпурове, часто слабко виражене	Слабко зближені	25,26-31,32	28-30	5/6	15 залозисті поля великі
<b>Щетинки зближені попарно</b>								
Головна лопать епілобічна	<i>Eiseniella tetraedra tetraedra</i> (Savigny, 1826)	30-50	Коричневате, жовтувате	Попарно зближені	22,23-26,27	23-25,26	4/5	13
	<i>Eiseniella tetraedra intermedia</i> Chernosvitov, 1934	30-50	Коричневате, жовтувате	Попарно зближені	23-27	24-26	4/5	14
	<i>Eisenia fetida</i> (Savigny, 1826)	60-130	Зі спинної сторони темне, червоно-коричневе, кільчасте	Попарно зближені, щетинки 12 сегмента і паска на папілах	26,27-31, 32	28(29) - 30,31, можуть заходити на 27	4/5	15 залозисті поля великі
	<i>Eisenia nordenskioldi nordenskioldi</i> (Eisen, 1879)	30-200	Мінливе, звичайно червоно-коричневе, пурпурове, на бічних боках 9-11 сегментів не виражене, є плями	Попарно зближені, щетинки ab в області паска на папілах	26,27-33	29-31, ½ 31, попереду чітко відмежовані проміжсегментною смугою 28/29	4/5	15 залозисті поля невеликі
	<i>Eisenia gordejefi</i> (Michaelsen, 1899)	70-130	Відсутнє, рідше сліди пурпурової пігментації на передніх сегментах	Попарно зближені, щетинки пучка cd 11 і ab з 23, 24 по 37, 38 сегмент на папілах	23, 24-34, 35	27,28-31	3/4, 4/5	15 залозисті поля невеликі

Продовження таблиці 1.

Ознаки	Назва	Довжина (мм)	Забарвлення	Щетинки	Пасок розташований	Пубертатні валики	Спинні пори	Чоловічі статеві отвори
Головна лопать епілобична	<i>Eisenia balatonica</i> (Pop, 1943)	40-102	Пігментація бура, на бічних боках 9-11 сегментів світлі плями. Хвостовий кінець більш темний, майже чорний	Попарно зближені, щетинки аб в області 16, 22, 23, 25-29,30 - на папілах	24,25-30	27-28, частково можуть заходити на сусідні сегменти	4/5	15 залозисті поля заходять на сусідні сегменти
	<i>Eisenia intermedia</i> (Michaelson, 1901)	70-130	Пігментація жовтувато-бура	Попарно зближені, щетинки пучка аб 8-12 сегментів, або деякі з них на папілах.	22, 23-30	25-28, до половини можуть заходити на сусідні сегменти	5/6, 4/5	15 без залозистих полів
	<i>Eisenia uralensis</i> Malevič, 1950	50-110	Не пігментований	Попарно зближені. Щетинки аб і cd 9-11 і аб 26-34, 35 сегментів на папілах.	26, 27-33, 34	30-32, злегка можуть заходити на сусідні сегменти	4/5	15 оточені добре розвиненими залозистими полями
	<i>Aporrectodea caliginosa caliginosa</i> (Savigny, 1826)	60-160	Відсутнє, або буре	Попарно зближені	25, 26,27, 29-34,35	31-32, 32-33, горбки	9/10	15 залозисті поля добре виражені
	<i>Aporrectodea caliginosa trapezoides</i> (Duges, 1828)	60-160	Відсутнє, або є буре	Попарно зближені	26,27-34,35	31-33 валики	9/10	15 залозисті поля добре виражені
	<i>Aporrectodea rosea rosea</i> (Savigny, 1826)	35-150	Пігментація відсутня	Попарно зближені	24,25,26-31, 32,33	29-30, рідше 30-31	4/5	15 залозисті поля великі
	<i>Aporrectodea longa</i> Ude, 1885	120-180	Попелясто-сіре, покриви іризують	Попарно зближені	27,28-35	32-34	12/13	15 залозисті поля добре виражені
	<i>Allolobophora leoni</i> (Michaelson, 1891)	65-130	Непігментований	Попарно зближені, щетинки аб в області 11-13, 27-29 - на папілах	25,26-34	30, 32, основами стикаються на 31	4/5	15 залозисті поля не виходять за межі сегмента
	<i>Aporrectodea dubiosa</i> (Orley, 1880), амфибионт	92-240	Від зеленувато-бурого до зеленувато-чорного	Попарно зближені, щетинки аб в області 10, 11 сегментів і паска на папілах	36, 37,38-46, 47, 48	43,44-47, 48	4/5	15 виходять за межі сегмента

Продовження таблиці 1.

Ознаки	Назва	Довжина (мм)	Забарвлення	Щетинки	Пасок розташований	Пубертатні валики	Спинні пори	Чоловічі статеві отвори
Головна лопать епілобічна	<i>Aporrectodea jassyensis</i> (Michaelsen, 1891)	54-95	Пігментація відсутня	Попарно зближені, щетинки аб в області 10-13 сегментів і паска на папілах	29 (рідше 28)-35	32-34	4/5	15 залозисті поля добре виражені, виходять за межі сегмента
	<i>Allolobophora chlorotica</i> (Savigny, 1826)	30-90	Зелене, буре, або відсутнє	Попарно зближені	29,30-37	31,33,35 у вигляді присосків	5/6	15 залозисті поля добре виражені
	<i>Aporrectodea georgii</i> (Michaelsen, 1899)	24-61	Пігментація відсутня	Попарно зближені	28-, 29 по 35	31, 33, у вигляді присосків	4/5	15 залозисті поля не виходять на сусідні сегменти
	<i>Helodrilus oculatus</i> Hoffmeister, 1845	35-80	Пігментація відсутня	Попарно зближені	21,22-32	29-30, або 30-31	4/5	15 залозисті поля добре розвиті
	<i>Helodrilus antipae tuberculatus</i> (Cernosvitov, 1935)	35-40	Пігментація відсутня	Попарно зближені	25-33	1/2 30-33	4/5	15 залозисті поля добре розвиті
Головна лопать танілобічна. Пубертатні валики займають велику частину бічних країв паска	<i>Lumbricus terrestris</i> Linnaeus, 1758	90-300	До паска - пурпурове, за паском - з темною серединною лінією	Попарно зближені, щетинки пучка аб 24-27 на папілах	32-37	33-36	7/8, 8/9	15 заходять на сусідні сегменти
	<i>Lumbricus rubellus</i> Hoffmeister, 1843	50-150	Пігментація пурпурова	Попарно зближені, щетинки пучка аб 9-10 на папілах	26, 27-32	27,28-30,31,32, частіше 28-31	7/8, 5/6 або 6/7	15 позбавлені залозистих полів
	<i>Lumbricus castaneus</i> (Savigny, 1826)	30-90	Пігментація пурпурова, покриви іризують	Попарно зближені, щетинки пучка аб 9-10 або 10-11 на папілах	28-33	29-32	6/7	15 позбавлені залозистих полів
	<i>Lumbricus baicalensis</i> Michaelsen, 1900	40-70	Пігментація пурпурова	Попарно зближені, щетинки пучка аб 8-9 або 10-11 на папілах	28-32	29-31	5/6	15 залозисті поля заходять на сусідні сегменти

## ЛІТЕРАТУРА

1. Жуков А.В. Дождевые черви как компонент биогеоценоза и их роль в зооиндикации // Грунтознавство. - 2004. - Т. 5, №1-2. - С. 44-57.
2. Жуков А.В., Жукова В.В. Экоморфические спектры комплексов дождевых червей в зоологической диагностике почв // Вестник Днепропетровского государственного университета. Сер. Биология и экология. - Д.: ДДУ. - 1997. - Вып. 3. - С. 216-221.
3. Зражевский А.И. Дождевые черви как фактор плодородия почв. - К.: Изд-во АН УССР. 1957. - 272 с.
4. Перель Т.С. Распространение и закономерности распределения дождевых червей фауны СССР. - М.: Наука, 1979. - 272 с.
5. Перель Т.С. Географические особенности размножения дождевых червей сем. Lumbricidae (Oligochaeta). // Журнал Общей Биологии. - 1982. - Т. 43, №5. С. - С. 649-658.
6. Перель Т.С., Соколов Д.Ф. Количественная оценка участия дождевых червей Lumbricus terrestris Linne (Lumbricidae, Oligocheta) в переработке лесного опада // Зоологический журнал. - 1964. - Т. 43, №11. - С. 1618-1625.
7. Попов В.В. Эколого-фаунистический обзор дождевых червей родов Nicodrilus, Lumbricus и Eisenia (Oligochaeta, Lumbricidae) Харьковской области // Известия Харьковского энтомологического общества. - 1998. - Т. 6., Вып. 1. - С. 120-124.
8. Стриганова Б.Р. Питание почвенных сапрофагов. - М.: Наука, 1980. - 243 с.
9. Christian, E., A. Zicsi Ein synoptischer Bestimmungsschlüssel der Regenwürmer Österreichs (Oligochaeta: Lumbricidae) // Die Bodenkultur. - 1999. - №50. - S. 121 - 131.
10. Holmstrup M., Simonsen V. Genetic and physiological differences between two morphs of the lumbricid earthworm Dendrodrilus rubidus (Savigny, 1826) // Soil Biology and Biochemistry. - 1996. - V. 28, №8. - P. 1105-1107.
11. Lavelle Ch. Burrowing activity of Aporectodea rosea // Pedobiologia. - 1998. - V. 42, №2. - P. 97-101.
12. Perel-Vsevolodova T.S. The nature of eurytopy in polyploid earthworm species in relation to their in biological soil amelioration // Biology and Fertility of Soils. - 1987. - V. 3. - P. 103-105.

УДК 577.115:581.526.53 (477.6)

## ДИКОРОСЛІ ВИДИ ПІВДЕННО-СХІДНОЇ УКРАЇНИ ЯК ДЖЕРЕЛА ЖИРНИХ ОЛІЙ

Калініна О.Ю., магістрант, Лях В.О., д.б.н., професор

*Запорізький державний університет*

Досліджені олійність насіння, хімічні константи та жирнокислотний склад олій сухорібника Льозеля, сокирок польових, головатеня руського, чистотілу великого, нетреб каліфорнійської і звичайної. Встановлено, що найбільшим вмістом жирної олії (близько 42%) характеризується насіння чистотілу великого. В олії сокирок польових переважає олеїнова кислота, що може становити інтерес для харчової промисловості. Високим вмістом незамінних жирних кислот характеризується олія нетреби каліфорнійської, головатеня руського (понад 60% лінолевої кислоти) і чистотілу великого (близько 50% ліноленової).

*Ключові слова: дикорослі види, олії, жирні кислоти, хімічні константи.*

Калинина Е.Ю., Лях В.А. ДИКОРАСТУЩИЕ ВИДЫ ЮГО-ВОСТОКА УКРАИНЫ КАК ИСТОЧНИКИ ЖИРНЫХ МАСЕЛ / Запорожский государственный университет, Украина

Исследованы маслячность семян, химические константы и жирнокислотный состав масел гулявника Лёзеля, сокирок полевых, мордовника обыкновенного, чистотела обыкновенного, дурнишников калifornийского и обыкновенного. Установлено, что наибольшей маслячностью (около 42%) обладают семена чистотела. В масле сокирок полевых преобладает олеиновая кислота, что может представлять интерес для пищевой промышленности. Высоким содержанием незаменимых жирных кислот характеризуется масло дурнишника калifornийского, мордовника обыкновенного (более 60% линолевой кислоты) и чистотела обыкновенного (около 50% линоленовой).

*Ключевые слова: дикорастущие виды, масла, жирные кислоты, химические константы.*

Kalinina E.Y., Lyakh V.A. WILD-GROWING SPECIES OF SOUTHEAST OF UKRAINE AS SOURCES OF FATTY OILS / Zaporizhzhya State University, Ukraine

Oil content, its chemical constants and fatty acid composition in the seeds of *Sisymbrium loeselii*, *Echinops ritro*, *Chelidonium majus*, *Xanthium strumarium*, *Xanthium californicum* and *Consolida arvensis* was studied. It was established, that the seeds of *Chelidonium majus* contained the greatest quantity of oil (about 42%). The oleic acid predominates in oil of *Consolida arvensis*, that can be interest for a food-processing industry. The oils of *Xanthium californicum*, *Echinops ritro* (more than 60% of linoleic acid) and *Chelidonium majus* (about 50% of linolenic acid) are characterized by a high content of irreplaceable fatty acids.

*Key words: wild species, oil, fatty acid, chemical constant*

## 1. ВСТУП

Серед великого різноманіття сільськогосподарських рослин, вирощуваних на території України, особливе місце займає група олійних. Розмаїтість ґрунтово-кліматичних умов нашої країни дозволяє вирощувати значний асортимент олійних культур [1]. Великий інтерес для використання в даній галузі народного господарства представляють дикорослі рослини. Ще не визначені всі можливості практичного використання корисних властивостей багатьох рослин, у тому числі тих, що містять олії в насінні [2].

Дослідження в цьому напрямку проводилися Н. І. Шараповим у 1952 році, А. І. Барбаричем, О. Н. Дубовик, Д. В. Стрелко в 1973 році [3, 4] та іншими авторами [5, 6, 7]. Були запропоновані деякі перспективні дикорослі види для первинного випробування в культурі. Однак для визначення вмісту олії і її хімічних констант дослідники часто використовували зразки насіння, зібрані на території Росії, тобто в дещо інших кліматичних умовах, що могло відбитися на хімічних характеристиках олії.

Джерела корисної рослинної сировини на території України практично невичерпні, а зростаючі потреби промисловості і населення нашої країни в оліях рослинного походження обумовлюють необхідність продовження досліджень у цій області.

Метою даної роботи є визначення олійності насіння, жирнокислотного складу й основних хімічних констант олій ряду розповсюджених у південно-східному регіоні України дикорослих рослин.

## 2. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Об'єктами дослідження були олії 6 видів рослин: *Echinops ritro*, *Chelidonium majus*, *Xanthium strumarium*, *Xanthium californicum*, *Consolida arvensis* і *Sisymbrium loeselii*.

Насіння збирали в липні-вересні 2003 р. на степових ділянках о. Хортиця та Азовського узбережжя. Було обрано 5 пробних ділянок площею 20×20 м кожна. Зібране насіння перемішувалося для одержання середньої проби.

Олії отримували з подрібненого насіння екстракцією діетиловим ефіром. Олійність визначали за вагою знежиреного залишку, згідно з методикою, запропонованою С. В. Рушковським [8]. Визначення хімічних констант олії проводилося за загально визначеними методиками, що регламентуються держстандартами [9, 10]. Аналіз жирнокислотного складу екстрагованої олії здійснювався методом газорідинної хроматографії [11, 12, 13].

## 3. РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

Отримані результати свідчать про досить високий вміст жирної олії в насінні досліджуваних рослин (рис.1).

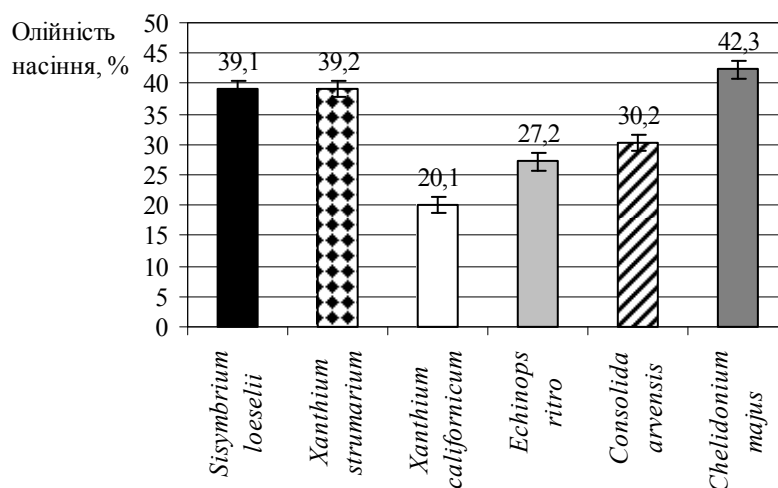


Рис.1 - Олійність насіння видів рослин, що вивчалися

Олійність усіх зразків за експериментальними даними складала понад 20%. Найбільша кількість олії виявлена в насінні *Chelidonium majus* (42,3% за масою). Високі показники олійності в *Sisymbrium loeselii* і *Xanthium strumarium*: 39,1% і 39,2%, відповідно. 30,2% жирної олії містили зразки насіння *Consolida arvensis*. Олійність *Echinops ritro* і *Xanthium californicum* - 27,2% і 20,1%, відповідно. Несуттєвою при 5% рівні значущості є різниця між показниками олійності насіння *Sisymbrium loeselii* та *Xanthium strumarium*, *Echinops ritro* та *Consolida arvensis* (рис.1).

Про вміст вільних жирних кислот в олії можна судити за кислотними числами (табл. 1). Досить високі кислотні числа мають олії *Sisymbrium loeselii* і *Xanthium strumarium*: 2,78 і 2,28, що знижує їх цінність для промислового використання, адже вільні жирні кислоти ускладнюють виробництво олій, викликаючи необхідність їх додаткової обробки.

Таблиця 1 – Хімічна характеристика складу олій дикорослих видів

Варіант	Кислотне число	Йодне число	Число омилення	Ефірне число	Вміст гліцерину, %
<i>Sisymbrium loeselii</i>	2,78±0,3	142,3±0,5	183±0,4	180,2±0,5	9,9
<i>Xanthium strumarium</i>	2,28±0,1	139,8±0,3	189±0,1	186,7±0,1	10,2
<i>Xanthium californicum</i>	0,47±0,1	139,7±0,3	186±0,6	185,5±0,6	10,1
<i>Echinops ritro</i>	0,80±0,1	138,2±0,4	186±0,3	185,2±0,3	10,1
<i>Consolida arvensis</i>	0,32±0,03	104,2±0,1	186±0,1	185,7±0,02	10,2
<i>Chelidonium majus</i>	0,49±0,06	130,5±0,5	197±0,4	196,5±0,4	10,8

Фактично рівним вмістом вільних жирних кислот характеризуються олії *Consolida arvensis*, *Xanthium californicum* і *Chelidonium majus* (різниця несуттєва при прийнятому рівні значущості 5%).

Йодні числа є показником вмісту ненасичених жирних кислот у досліджуваних зразках. Найменше йодне число має олія *Consolida arvensis* (104,2). За даними статистичної обробки несуттєво відрізняються за вмістом ненасичених жирних кислот олії *Sisymbrium loeselii*, *Xanthium strumarium*, *Echinops ritro* і *Chelidonium majus* (табл. 1)

Числа омилення склали для олії *Sisymbrium loeselii* 183, *Xanthium californicum* - 186, *Xanthium strumarium* - 189, *Echinops ritro* - 186, *Consolida arvensis* - 186, *Chelidonium majus* - 197. Таким чином, найбільшу загальну кількість жирних кислот (як вільних, так і зв'язаних у складі гліцеридів) містить олія *Chelidonium majus*, найменшу – олія *Sisymbrium loeselii* (табл. 1).

На підставі отриманих даних були розраховані ефірні числа олій і вміст гліцерину в досліджуваних зразках.

Найбільше ефірне число має олія *Chelidonium majus* (196,6), найменше - *Sisymbrium loeselii* - (180,2). За даними статистичної обробки несуттєвою є різниця між ефірними числами олій *Xanthium californicum* (ЕЧ дорівнює 185,5), *Echinops ritro* (185,3) і *Consolida arvensis* (185,7). Ефірне число олій *Xanthium strumarium* - 186,7. Отже, найбільшою кількістю жирних кислот, що входять до складу гліцеридів, характеризується олія *Chelidonium majus*, найменше зв'язаних жирних кислот містить олія *Sisymbrium loeselii* (табл. 1).

Відносний вміст гліцерину вище в олій *Chelidonium majus* (10,8%). Найменша кількість гліцерину в олій *Sisymbrium loeselii* (9,9%).

Відсоткове співвідношення жирних кислот наведено в таблиці 2.

В олій *Sisymbrium loeselii* переважає ліноленова кислота (46,1%), що обумовлює її швидке висихання при доступі повітря. Низький вміст олеїнової і лінолевої кислот (12,5 і 18%, відповідно), а також великий відсоток ерукової кислоти (15,2%) роблять олію малоприсадною для використання в їжу. Однак, можливе її використання в промисловості, у техніці, миловарінні, виготовленні фарб і оліфи. У слідовій кількості присутня пальмітолеїнова кислота (0,1%).

Аналіз компонентного складу олій насіння *Xanthium strumarium* показав досить високий вміст олеїнової і лінолевої кислот (38 і 37,9%, відповідно) і низький - ліноленової (6,3%), що може становити інтерес для харчової промисловості. Знижує цінність олій наявність ерукової кислоти (8,9%). Вміст пальмітинової кислоти складає 6,9%, пальмітолеїнової – 1,5%. У слідовій кількості присутня стеаринова кислота – 0,4%.

Таблиця 2 – Жирнокислотний склад олій дикорослих видів, %

Варіант	Пальмітинова	Пальміт-олеїнова	Стеаринова	Олеїнова	Лінолева	Ліноленова	Ерукова
<i>Sisymbrium loeselii</i>	7,1±0,01	0,1±0,001	1,1±0,02	12,5±0,02	18±0,1	46,1±0,1	15,2±0,1
<i>Xanthium strumarium</i>	6,9±0,1	1,5±0,01	0,4±0,006	38,1±0,1	37,9±0,1	6,3±0,02	8,9±0,01
<i>Xanthium californicum</i>	6,9±0,03	0,1±0,01	0,9±0,02	26,7±0,1	60,7±0,4	4,8±0,01	-
<i>Echinops ritro</i>	5,9±0,01	0,1±0,002	0,8±0,01	21,9±0,1	66,2±0,1	5,1±0,01	-
<i>Consolida arvensis</i>	9,2±0,1	-	3,2±0,01	53,9±0,2	18,2±0,1	15,6±0,1	-
<i>Chelidonium majus</i>	4,6±0,02	-	1,6±0,02	22±0,01	6,1±0,1	49,8±0,1	15,9±0,01

Олія насіння іншого виду роду *Xanthium* - *Xanthium californicum* - ерукової кислоти не містить. У ній переважає лінолева кислота (60,7%), що дозволяє вважати олію напіввисихаючою. Сумарний вміст олеїнової і лінолевої кислот 87,4%, ліноленової - 4,8%. У слідових кількостях олія містить стеаринову та пальмітинову кислоти: 0,9 та 0,1%, відповідно. Однак відносно невисокий вміст олеїнової кислоти (38,1%) знижує можливості використання олії в їжу.

У цілому те ж саме можна сказати про олію *Echinops ritro*. Переважає лінолева кислота (66,2%), отже, олія відноситься до напіввисихаючих. Олеїнової кислоти - 21,9%, ліноленової - 5,1%, стеаринової - 0,8%, пальмітинової - 5,9%. Присутня пальмітолеїнова кислота в слідових кількостях (0,1%).

Цінною у харчовому відношенні може виявитися олія *Consolida arvensis*. У її жирнокислотному складі переважає олеїнова кислота (53,9%), лінолевої кислоти - 18,2%, ліноленової - 15,6%, стеаринової - 3,1%, пальмітинової - 9,2%. Олія відноситься до невисихаючих і не містить високомолекулярних жирних кислот.

В олії насіння *Chelidonium majus* переважає ліноленова кислота (49,8%). Олеїнової кислоти - 22%, ліноленової - 6,1%, пальмітинової - 4,6%, стеаринової - 1,6%. Високий вміст ерукової кислоти - 16%. Олія може виявитись придатною для використання в техніці, можливо, у лакофарбовій промисловості за умови її переробки й очищення.

#### 4. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

Насіння *Consolida arvensis*, *Chelidonium majus*, *Xanthium strumarium*, *Xanthium californicum*, *Sisymbrium loeselii* і *Echinops ritro* накопичує достатню кількість жирної олії, що дозволяє розглядати ці види як перспективні олійні рослини. Найбільшою олійністю (близько 42%) характеризується насіння *Chelidonium majus*.

Олії *Sisymbrium loeselii* і *Xanthium strumarium* містять велику кількість вільних жирних кислот, що знижує їх цінність для виробництва олій, але може бути використане при отриманні вільних жирних кислот у промислових цілях.

Невисокі показники вмісту вільних і ненасичених жирних кислот має олія *Consolida arvensis*.

Найбільшу кількість вільних і зв'язаних у складі гліцеридів жирних кислот містить олія *Chelidonium majus*, найменшу – олія *Sisymbrium loeselii*.

Найбільшою кількістю зв'язаних жирних кислот характеризується олія *Chelidonium majus*, найменшою - *Sisymbrium loeselii*.

Олія *Chelidonium majus* характеризується найбільшим вмістом гліцерину, що може бути використане при його виробництві.

Високим вмістом незамінних жирних кислот характеризується олія *Xanthium californicum*, *Echinops ritro* (понад 60% лінолевої кислоти, близько 5% ліноленової) і *Chelidonium majus* (близько 50% ліноленової, 6% лінолевої).

В олії *Consolida arvensis* переважає олеїнова кислота, що може становити інтерес для харчової промисловості.

На основі отриманих даних можна рекомендувати *Sisymbrium loeselii*, *Echinops ritro*, *Chelidonium majus*, *Xanthium strumarium*, *Xanthium californicum* та *Consolida arvensis* для первинного випробування в культурі, а олії – для подальшого вивчення та більш детального дослідження.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Симон Б.Г., Шалаев М.С. Масличные культуры УССР. - Станислав: «Прикарпатская правда», 1949. – 360с.
2. Литвин С.Г. Олійні культури на Україні. – К.: Наукова думка, 1961. – 230с.
3. Шарапов Н.И. Новые масличные растения СССР. – М.-Л.: Сельхозгиз, 1952. – 104с.
4. Барбарич А.І., Дубовик О.М., Стрелко Д.В. Жироолійні рослини України. Довідник.– К.: Наукова думка, 1973. – 256с.
5. Николи Милан Б., Леповик Зик Д. Изучение жирных масел семян чистотела // РЖ Биология. Физиология и биохимия растений. – 2003. - №5. – С. 8.
6. Ульченко Н. Т., Глушенкова А. И. Липиды семян *Artemisia leucoides* // Химия природных соединений. – 1997, №1. – С. 52-56.
7. Хуанг Сэн, Ву Джун, Су Ли. Анализ жирных кислот в *Sitodiplosis mosellana* газовой хроматографией // РЖ Биология. Физиология и биохимия растений. – 2003. - №3. – С. 10.
8. Рушковский С.В. Методы исследования при селекции масличных растений на содержание масла и его качество. – М.: Пищепромиздат, 1957. – 420 с.
9. ГОСТ 5475-69. Масла растительные. Методы определения йодного числа. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 6с.
10. ГОСТ 5476-80. Масла растительные. Методы определения кислотного числа. – М.: Изд-во стандартов, 1987. – 6с.
11. Вяхирев Д.А., Шушунова А.Ф. Руководство по газовой хроматографии. – М.: Высшая школа, 1987. – 350с.
12. Гиошон Ж., Гийемен К. Количественная газовая хроматография. – М.: Мир, 1991. – 220с.
13. Кэц Э. Количественный анализ хроматографическими методами. – М.: Мир, 1990. – 400с.

УДК 630\*226:[502.55:628.5]

## ОСОБЕННОСТИ ВИДОВОГО СОСТАВА ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В ЗОНЕ ДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ГАЗООБРАЗНЫХ ВЫБРОСОВ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Комаров А.В., аспирант

*Запорожский государственный университет*

В ходе работы проведен сравнительный анализ видового состава древесной растительности, выявлены виды, которые проявили сходную устойчивость к различным газам: SO<sub>2</sub>, CL<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>.

*Ключевые слова:* газообразные выбросы, промышленная зона, ассортимент деревьев и кустарников, устойчивые виды.

Комаров А.В. ОСОБЛИВОСТІ ВИДОВОГО СКЛАДУ РОСЛИННОСТІ В ЗОНІ ДІЇ РІЗНИХ ГАЗОПОДІБНИХ ВИКИДІВ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ / Запорізький державний університет, Україна.

У ході роботи проведений порівняльний аналіз видового складу деревної рослинності, виявлені види, що виявили подібну стійкість до різних газів: SO<sub>2</sub>, CL<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>.

*Ключові слова:* газоподібні викиди, промислова зона, асортимент дерев та кустарників, стійкі види.

Komarov A.V. PECULIARITIES OF WOODY VEGETATION SPECIES WHICH GROW IN THE AREAS OF DIFFERENT GAS EMISSION OF INDUSTRIAL ENTERPRISES /Zaporizhzhya State University, Ukraine.

The comparative analysis of species of woody and bushy vegetation was made and some species that I hewed a similar tolerance to: SO<sub>2</sub>, CL<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, and NO<sub>2</sub> gases were revealed.

*Key words:* gas emissions, industrial zone, assortment of trees and bushes, stable kinds.

Различные стадии любого промышленного производства сопровождаются рассеянием самых разнообразных загрязнителей. Поэтому вблизи промышленных предприятий, несмотря на систему очистных сооружений, периодически образуются высокие концентрации токсических веществ [1].

Украина является одной из неблагоприятных в экологическом отношении стран. Так, в 1986-1991 гг. в Украине, всеми источниками загрязнения в атмосферу было выброшено более 1000 млн. тонн вредных веществ. При этом процент улавливания твердых веществ из стационарных источников составил 93,2%, а улавливание газообразных - только 29,9% [2].

Наряду с техническими методами очистки атмосферы от загрязнений, которым отводится ведущее место, значительная роль принадлежит растениям. Они выступают как универсальные природные фильтры в доочистке атмосферы, воды и почвы от промышленных загрязнений, выполняют важную функцию в оптимизации окружающей среды в промышленных регионах, несут большую фитомелиоративную, рекреационно-эстетическую нагрузку. Растительные организмы накапливают большие количества токсикантов, и наряду со способностью сопротивляться техногенному прогрессу используются для насаждений санитарно-гигиенического назначения [1].

Древесные являются хорошими поглотителями загрязнителей атмосферного воздуха, что связано с высоким листовым индексом и другими характеристиками. Поглощающая способность древесных во много раз выше, чем у травянистых растений [3].

Для древесных растений характерна и высокая пылезадерживающая способность листьев. Так, в условиях металлургического предприятия наибольшая запыленность листьев наблюдается у *Aesculus hippocastanum* L. - 13,4 г/м<sup>2</sup>, *Quercus robur* L. - 9,4 г/м<sup>2</sup>, несколько меньше задерживают пыль *Tilia cordata* Mill. - 5,4 г/м<sup>2</sup>, *Acer platanoides* L. - 4,5 г/м<sup>2</sup>, *Robinia pseudoacacia* L. - 4,4 г/м<sup>2</sup> [4].

Жесткие условия промышленной среды предъявляют высокие требования к ассортименту деревьев и кустарников, создающих основу зеленых устройств. Они должны отличаться высокой емкостью поглощения и нейтрализации газообразных токсикантов, устойчивостью к природным неблагоприятным факторам и загрязнителям атмосферы. В силу анатомо-морфологических и физиолого-биохимических особенностей одни виды могут переносить без заметного ущерба для себя в 5—50 раз большую концентрацию вредных газов по сравнению с другими видами.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа видового состава древесной и кустарниковой растительности по устойчивости её к воздействию различных газообразных факторов загрязнения окружающей среды, характерных для промышленной зоны Запорожской области.

В ходе выполнения работы был проведен сравнительный анализ растительности в зонах, загрязненных промышленными газами (SO<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>), и выделены виды, которые могут произрастать в этих зонах.

В таблице представлены суммарные данные ряда авторов о степени устойчивости древесных пород и кустарников к различным газообразным выбросам.

По степени близости к стационарному источнику вредных выбросов выделяют две или три зоны. В первой зоне (обычно радиус от стационарного источника выбросов – 100 - 500 м) вследствие постоянного действия газов высоких концентраций не могут расти многие древесные и кустарниковые растения [5]. В этой зоне, по мнению ряда авторов [5], необходимо высаживать максимально устойчивые виды. Здесь рекомендуют создавать мертвые газоны из битого кирпича, гранита и других материалов с высадкой декоративных растений в горшках, сосудах, ящиках или в вазах, а по мере повреждения и гибели растений заменять их свежими.

Вместе с тем, ряд видов деревьев и кустарников способны произрастать в радиусе 500 метров от источника эмиссии различных газов. К ним следует отнести клены – остролистный и ясенелистный. Многие авторы отмечают и высокую газоустойчивость боярышника кроваво-красного, а также жимолости татарской и барбариса обыкновенного (таблица) [1;5;8]

Весьма перспективна для создания санитарно-защитных зон ива белая [6], особенно ее желтая и плакучая формы. Не менее успешно произрастает в условиях задымления ряд видов тополя. Многие исследователи относят к наиболее устойчивым из них тополь канадский и бальзамический. Они хорошо переносят загрязнение воздуха не только SO<sub>2</sub>, но и другими газами, в силу чего считают возможным их размещение в первой зоне. По данным И. А. Добровольского [7], в Криворожье, возле доменных печей, тополь канадский выпадает из насаждений в последнюю очередь. Отмечено, что присутствие в воздухе SO<sub>2</sub> в концентрации 1,3—2,5 мг/м<sup>3</sup> оказывает слабое повреждающее действие на его листья.

В свою очередь, высокой чувствительностью к действию газообразных сернистых токсикантов отличается тополь дрожащий. Сильное его повреждение наблюдалось на территории Полоцкого нефтеперерабатывающего завода Белоруссии [6].

Таблица

Видовой состав древесных пород и кустарников, произрастающих в различных зонах загрязнения некоторыми газами промышленных выбросов

Зоны загрязнения	Сернистый газ	Хлор	Аммиак	Оксиды азота
Радиус 100-500 м	Вяз обыкновенный Жимолость татарская Бересклет европейский Клен ясенелистный Лох серебристый	Кизильник блестящий Черемуха обыкновенная Вишня Клен остролистный Боярышник кроваво-красный	Барбарис Тунберга Барбарис обыкновенный Клен татарский Лиственница сибирская Дуб черешчатый Клен остролистный Клен ясенелистный Боярышник кроваво-красный Груша уссурийская	Кизильник блестящий Лиственница сибирская Дуб черешчатый Жимолость татарская Клен татарский Клен остролистный Клен ясенелистный
Радиус 500-1000 м	Сирень обыкновенная Черемуха обыкновенная Вишня Кизильник черный Тополь черный Тополь бальзамический Дерен белый Ива козья	Калина обыкновенная Тополь серебристый Кизильник черный Дерен белый Вяз обыкновенный Береза пушистая Барбарис обыкновенный Тополь бальзамический Лиственница сибирская Слива	Сирень обыкновенная Вишня Кизильник черный Береза пушистая Арония черноплодная Черемуха обыкновенная Акация желтая Тополь черный Тополь серебристый Тополь бальзамический	Акация желтая Вяз гладкий Калина обыкновенная Береза пушистая Арония черноплодная Кизильник черный Ива белая Тополь черный Тополь бальзамический Тополь серебристый
Радиус 1-2 км и более	Рябина обыкновенная Акация желтая Ива белая Береза бородавчатая Липа мелколистная Осина Лещина обыкновенная	Акация желтая Береза бородавчатая Сирень обыкновенная Липа мелколистная Тополь черный Ива козья Рябина обыкновенная	Рябина обыкновенная Сирень мохнатая Бирючина обыкновенная Осина Ясень пенсильванский Жимолость татарская Груша лесная	Чубушник венечный Липа мелколистная Смородина золотистая Черемуха обыкновенная

Во второй зоне (радиус 500—1000 м) обычно наблюдается периодическое загрязнение воздуха газами слабыми и сильными концентрациями в силу удаленности от источника выбросов. Ассортимент древесных и кустарниковых пород, как видно из таблицы, в этой зоне значительно шире. Появляется возможность разнообразить видовой состав. Из древесных растений рекомендуют высаживать кизильник черный, дерен белый, березу пушистую, черемуху обыкновенную, которые проявляют умеренную стойкость к основным газообразным загрязнителям ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ). В эту группу попало даже такое плодородное растение, как вишня, оказавшееся относительно устойчивым к  $\text{SO}_2$ , хлору и аммиаку.

Весьма декоративным растением здесь может быть орех маньчжурский. Он удовлетворительно переносит загрязнение воздуха  $\text{SO}_2$  в концентрации 0,2—0,3 мг/м<sup>3</sup> и относительно устойчив к действию других газообразных выбросов.

В третьей зоне (радиус 1—2 км и более), вследствие непостоянного загрязнения воздуха слабыми концентрациями газов, могут использоваться не только устойчивые виды, но и различные декоративные растения из группы среднеустойчивых. В этой зоне рекомендуют выращивать ряд декоративных видов, таких как рябина обыкновенная, липа мелколистная, сирень обыкновенная, груша лесная, которые показали удовлетворительную устойчивость к сернистому газу, хлору и аммиаку. К среднеустойчивым следует отнести, по мнению ряда авторов, черемуху обыкновенную, дерен белый, иву белую. В этой зоне необходимо высаживать неоднородные виды древесных и кустарниковых, с целью увеличения «охвата» поглощения различных газообразных эмиссий.

Обобщая вышесказанное, видно, что целый ряд видов (клен ясенелистный, кизильник черный, лох серебристый и др.) проявляет сходную повышенную устойчивость к различным кислым газам ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ) в различных физико-географических условиях. Отмечают также повышенную стойкость к различным газам робинии, вяза обыкновенного, поэтому можно говорить об универсальности этих видов.

Выделение зон и разных подход к озеленению территории в их пределах совершенно необходим для повышения эффективности озеленительных мероприятий. При незначительном загрязнении воздуха число зон может уменьшаться до двух или одной. Повреждаемость газом зависит от его концентрации и времени действия, т. е. практически от степени близости растений к источникам выброса вредных веществ. Обычно, хотя и не всегда прямолинейно, концентрация газов уменьшается по мере удаления от предприятия или цеха. Это легко обнаруживается в изменении состава и внешнего вида растений, находящихся на различных расстояниях от места выбросов [8].

Атмосферный воздух на промышленных предприятиях и в крупных городах, как правило, загрязняется сложным «букетом» газов. Неравномерность загрязнения воздуха часто наблюдается как в течение суток, так и в течение вегетационного периода. Конкретный состав и концентрации газов нередко меняются из-за погодно-климатических условий, специфики технологического процесса и т. д. Поэтому важно иметь представление об ассортименте растений, способных произрастать в местах со сложным и часто меняющимся набором газов.

## ВЫВОДЫ

1. В результате проведения сравнительного анализа видовой состава древесной растительности выявлены виды, которые проявили сходную устойчивость к различным газам ( $\text{SO}_2$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ): клен – остролистный и ясенелистный, боярышник кроваво-красный, жимолость татарская, барбарис обыкновенный.
2. Выявлены виды, которые по-разному реагируют на действия различных газов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонова В.П. Цитофизиологические эффекты воздействия тяжелых металлов на рост и развитие растений. – Запорожье: Запорожский государственный университет, 1999. – 208 с.
2. Окружающая среда и развитие. Национальный доклад Украины. Конференция ООН // Ойкумена. – 1992. - № 3. – С. 26-48.
3. Алексеев А.С. Экологическое нормирование атмосферного загрязнения  $\text{SO}_2$  и  $\text{NF}$  по состоянию древостоев ели европейской // Лесоведение и лесоводство. – 1994. - № 4. – С. 82-86.
4. Бессонова В.П., Юсыпова Т.И. Семенное возобновление древесных растений и промышленные поллютанты ( $\text{SO}_2$  и  $\text{NO}_2$ ). – Запорожье: Запорожский государственный университет, 2001. – 193 с.
5. Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. – Новосибирск: Наука, 1979. – 280 с.
6. Гетко Н.В. Растения в техногенной среде. – Минск: Наука и техника, 1989. – 208 с.

7. Добровольский И.А. Газоустойчивость древесно-кустарниковых пород // Лесное хозяйство. - 1952. - № 4. - С. 27-29.
8. Сергейчик С.А. Древесные растения и оптимизация промышленной среды. - Минск: Наука и техника, 1984. - 168 с.

УДК [612.112 : 616.25 - 003.217] : 57.083.3

## **ФУНКЦІОНАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛІМФОЦИТІВ КРОВІ ТА ПЛЕВРАЛЬНОГО ЕКСУДАТУ ХВОРИХ НА ЕКСУДАТИВНИЙ ПЛЕВРИТ**

Копійка В. В., асистент

*Запорізький державний університет*

У крові хворих на метастатичний плеврит частота цитогенетичних (КЛ 0+2 ААХ) класів циркулюючих лімфоцитів була вищою, ніж у хворих на запальний ексудативний плеврит, що підкреслює більш сильну напругу імунітету в групі хворих із метастатичними плевритами. У плевральному ексудаті частоти активованих лімфоцитів у порівнянні з периферичною кров'ю були різко підвищені (цитогенетичні - у середньому в 1,5 рази, цитоморфометричні - у 2 рази). Таке підвищення підтверджує нашу концепцію про перерозподіл і депонування активованих лімфоцитів у патологічних осередках. Частоти Е-РУК і високоавідних розеткових класів лімфоцитів ( $КЛ \geq 8$  ЕБ) у крові та плевральному ексудаті були однаково високими і статистично не відрізнялися між собою. Цей факт свідчить про тимчасову наявність підвищеної щільності CD2 структур на активованих лімфоцитах, яка обмежується передмітотичною фазою імуногенезу, у порівнянні з іншими активаційними показниками (цитоморфометричними та цитогенетичними).

*Ключові слова: імунітет, активовані лімфоцити, кров, плевральний ексудат, цитогенетичний метод, цитоморфометричний метод, авідний розетковий метод*

Копейка В. В. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛИМФОЦИТОВ КРОВИ И ПЛЕВРАЛЬНОГО ЭКССУДАТА БОЛЬНЫХ С ЭКССУДАТИВНЫМ ПЛЕВРИТОМ / Запорожский государственный университет, Украина

В крови больных с метастатическим плевритом частота цитогенетических (КЛ 0+2 ААХ) классов циркулирующих лимфоцитов была выше, чем у больных с воспалительным экссудативным плевритом, что подчеркивает более сильное напряжение иммунитета в группе больных с метастатическими плевритами. В плевральном экссудате частоты активированных лимфоцитов по сравнению с периферической кровью были резко повышенными (цитогенетические - в среднем в 1,5 раза, цитоморфометрические - в 2 раза). Такое повышение подтверждает нашу концепцию о перераспределении и депонировании активированных лимфоцитов в патологических очагах. Частоты Е-РОК и высокоавидных розеточных классов лимфоцитов ( $КЛ \geq 8$  ЭБ) в крови и плевральном экссудате были одинаково высокими и статистически не отличались друг от друга. Данный факт свидетельствует о временном наличии повышенной плотности CD2 структур на активированных лимфоцитах, которое ограничивается премитотической фазой иммуногенеза, в сравнении с другими активационными показателями (цитоморфометрическими и цитогенетическими).

*Ключевые слова: иммунитет, активированные лимфоциты, кровь, плевральный экссудат, цитогенетический метод, цитоморфометрический метод, авидный розеточный метод.*

Kopeika V. V. FUNCTIONAL CHARACTERISTIC OF LYMPHOCYTES OF BLOOD AND PLEURITIC EXUDATE OF THE PATIENTS WITH EXUDATIVE PLEURISY / Zaporizhzhya State University, Ukraine

In the blood of the patients with metastatic pleurisy the frequency of cytogenetic (CL 0+2 AACHr.) classes of circling lymphocytes was higher than in those with inflammatory exudative pleurisy. This fact emphasizes a stronger effort of immunity in the patients with metastatic pleurisy. In pleuritic exudate frequencies of activated lymphocytes, as compared with peripheral blood, were sharply heghtened (cytogenetic CL 0+2 AACHr. - on average 1,5 times; cytomorphometric  $CL \leq 6,0$  mcm - 2 times). This increase proves our conception as for redistribution and deposition of activated lymphocytes in pathological focuses. The frequencies of E-RFC and high-avid rosette classes of lymphocytes ( $CL \geq 8$  E.Sh.) in the blood and pleuritic exudate were equally high and didn't differ statistically from each other. The present fact indicates of a temporary avail ability of the hightened density in CD2-structures on activated lymphocytes, which is limited by the premitotic phase of immunogenesis in comparison with other activative indexes (cytomorphometric and cytogenetic).

*Key words: immunity, activated lymphocytes, blood, pleuritic exudate, cytogenetic method, cytomorphometric method, avid rosette method.*

Не зважаючи на основну роль імунної системи в контролі за антигенструктурним гомеостазом організму, лабораторні імунологічні показники ще не стали визначальними при характеристиці здоров'я. Це пов'язано з недостатньою інформативністю доступних для клінічної практики й експериментальної біології імунологічних методів. Так, імунологами України на національних імунологічних конгресах і науково-практичних конференціях вказувалось на відсутність (у більшості випадків) зв'язку між індивідуальними лабораторними імунологічними показниками та клінічним станом хворого [1]. У цьому зв'язку були запропоновані рекомендації для доповнення загальноклінічних імунологічних методів фенотипуванням імунокомпетентних клітин моноклональними антитілами та їхніми активаційними маркерами (CD25, CD71, CD95, HLA-DR та ін.) [2]. Однак використання моноклональних антитіл не може докорінно змінити клінічну й експериментальну імунологічну практику, тому що таке тестування залишається кількісним. Крім того, більшість активаційних ознак відноситься до ранніх стадій реакції лімфоцитів на антигени та мітогени в лімфоїдних органах і не зберігаються або подані низькою щільністю на циркулюючих лімфоцитах. Тому патогенетичну значимість активаційних мембранних антигенів на циркулюючих лімфоцитах ще необхідно вивчати і встановлювати їх зв'язок з іншими клітинними ознаками активації.

Отже, у зв'язку з поставленою в клінічній імунології проблемою переходу від емпіричного до патогенетичного підходу в аналізі стану імунної системи нами в дослідах з пролонгованою культурою лімфоцитів, яка є моделлю імуногенезу, що проходить в організмі [3], виявлені ознаки попередньої активації циркулюючих у внутрішньому середовищі лімфоцитів, на основі яких розроблені відповідні методи (цитогенетичний, цитоморфометричний, авідний розетковий, люмінесцентний із використанням акридинового оранжевого). Зазначені імуногенетичні методи складають новий патогенетичний напрямок оцінки стану імунної системи - аналіз новоутворення та міграції активованих лімфоцитів у внутрішньому середовищі організму [4].

Метою нашого дослідження стала клінічна апробація виявлених активаційних ознак лімфоцитів. Зручною патогенетичною групою для вирішення методичних питань є обстежувані з ексудативним плевритом, оскільки у таких хворих можна одержати лімфоцити безпосередньо з патологічного осередку (із плеврального ексудату), більшість із яких є імунологічно активними. Ступінь активності лімфоцитів крові визначається шляхом порівняння функціональних характеристик лімфоцитів крові та плеврального ексудату (ПЕ).

## МАТЕРІАЛИ Й МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Серед обстежених із ексудативним плевритом виділяли такі групи: хворі на ексудативний плеврит запального характеру (3 жінки і 5 чоловіків віком від 25 до 74 років); хворі на ексудативний плеврит метастатичного характеру з первинною локалізацією пухлини в молочних залозах (8 жінок віком від 46 до 66 років). Контрольну групу склали 22 особи (19 чоловіків і 3 жінки) віком від 24 до 57 років. Матеріалом для досліджень була венозна гепаринізована кров (0,2 мг/мл, "Sporpha" без консервантів). У хворих, крім зразків венозної крові, досліджували лімфоцити плеврального ексудату. При аналізі імунітету у хворих та здорових осіб вивчали такі показники: 1) загальний аналіз крові; 2) абсолютну кількість лейкоцитів; 3) асоціації акроцентричних хромосом; 4) частоту цитоморфометричних класів лімфоцитів; 4) авідність Т-лімфоцитів до еритроцитів барана (ЕБ).

Із лімфоцитами проводили постановку цитогенетичного тесту макрометодом [5] та авідного розеткового методу. Відбір 100 метафаз та аналіз асоціацій акроцентричних хромосом (ААХ) проводили відповідно до стандартних критеріїв [6]. У кожній метафазній пластинці визначали кількість акроцентричних хромосом, які асоціюють між собою короткими плечами. Залежно від кількості асоціюючих акроцентриків складали варіаційний ряд класів лімфоцитів (КЛ) від КЛ 0 до КЛ 10, визначали відносний вміст класів лімфоцитів без асоціацій та з двома асоціюючими акроцентричними хромосомами (КЛ 0+2 ААХ), які є ранніми новоутвореними активованими клітинами.

Проведення авідного розеткового методу збігається з постановкою реакції спонтанного розеткоутворення з еритроцитами барана (Е-РУК) за стандартним методом [7] із дотриманням таких умов: суспензію лімфоцитів змішували з ЕБ у співвідношенні 1:50, культивували в середовищі 199 з 20% ембріональної телячої сироватки, теплову інкубацію проводили (+37<sup>0</sup>С) 15 хвилин, наступну, холододу, (+6<sup>0</sup>С) - 12-16 годин, фіксацію - 0,6% розчином нейтрального глутарового альдегіду - 20 хвилин, фарбували за Романовським-Гімза. Розеткоутворюючу здатність Т-лімфоцитів оцінювали через загальний показник Е-РУК, а також через авідність Т-лімфоцитів до ЕБ. Для цього лімфоцити, які утворили розетки, класифікували: низькоавідні, які приєднали 3-4 ЕБ (КЛ 3-4 ЕБ), середньоавідні, які приєднали 5-7 ЕБ (КЛ 5-7 ЕБ), високоавідні - 8 і більше ЕБ (КЛ≥8 ЕБ). Співвідношення вказаних класів оцінювали через індекс авідності (ІА) - відносний (ІА<sub>в</sub>) та абсолютний (ІА<sub>а</sub>). ІА<sub>в</sub> розраховували за формулою:  $ІА_в = (1а + 2б + 4в) / (а + б + в)$ , де а - частота КЛ 3-4 ЕБ, б - КЛ 5-7 ЕБ, в - КЛ≥8 ЕБ у відсотках. ІА<sub>а</sub> отримували шляхом перемноження ІА<sub>в</sub> на кількість Е-РУК в Г/л.

Цитоморфометричні дослідження проводили у 200 лімфоцитах [8]. Розмірні класи лімфоцитів (КЛ) об'єднували в 3 групи: малі, які мають діаметр клітини до 6,0 мкм (КЛ≤6,0 мкм), середні, які мають

діаметр клітини 7-9 мкм (КЛ 7-9 мкм) і великі з діаметром 10 і більше мкм (КЛ $\geq$ 10,0 мкм). Для вираження співвідношення розмірних класів лімфоцитів застосовували запропонований нами відносний та абсолютний індекси розмірності (ІРв та ІРа). ІРв розраховували за формулою:  $ІРв = (1a + 2b + 4v) / (a + b + v)$ , где а – частота КЛ $\leq$ 6,0 мкм; б – КЛ 7-9 мкм; в – КЛ $\geq$ 10 мкм у відсотках. З урахуванням важливості в імунітеті кількісних зрушень клітин розраховували ІРа за формулою:  $ІРа = ІРв \times \text{кількість лімфоцитів у Г/л}$ .

## ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Аналіз лейкоцитарної формули крові хворих на ексудативний плеврит різної етіології (таблиця 1) виявив, що у хворих на ексудативний плеврит відзначалася тенденція до підвищення кількості лейкоцитів, зумовлена лейкоцитозом у групі із запальними плевритами (7,04 $\pm$ 0,92 Г/л при 4,90 $\pm$ 0,17 Г/л у здорових осіб). У хворих також спостерігалась тенденція до відносної та абсолютної лімфопенії, яка досягла статистично достовірних границь у відносних одиницях лише в групі хворих із запальними плевритами (20,1 $\pm$ 3,23% при 30,66 $\pm$ 0,69% у контрольній групі) і компенсувалась підвищенням вмісту сегментоядерних нейтрофілів. З інших показників лейкоцитарної формули крові в усіх хворих виявлений підвищений вміст паличкоядерних нейтрофілів, особливо в групі осіб із запальними плевритами, що узгоджується з патогенезом цієї патології.

Більш інформативними були запропоновані патогенетичні методи, які були використані для порівняння функціональної активності лімфоцитів крові та плеврального ексудату (ПЕ): цитоморфометричний, авідний розетковий та цитогенетичний методи.

Таблиця 1 - Кількісні та функціональні (цитогенетичні, цитоморфометричні) показники лімфоцитів хворих на ексудативний плеврит різної етіології

Показники			Донори, n=22	Хворі на ексудативний плеврит, n=10		Хворі на ексудативний плеврит			
						Запальної етіології, n=5		Метастатичної етіології, n=5	
						Кров	Кров	ПЕ	Кров
Гематологічні показники	Кількість лейкоцитів	Г/л	4,90 $\pm$ 0,17	5,73 $\pm$ 0,65	-	7,04 $\pm$ 0,92*	-	4,41 $\pm$ 0,44	-
		Кількість лімфоцитів	%	30,66 $\pm$ 0,69	22,65 $\pm$ 2,26*	-	20,1 $\pm$ 3,23*	-	25,2 $\pm$ 3,06
	Г/л		1,50 $\pm$ 0,06	1,26 $\pm$ 0,15	-	1,38 $\pm$ 0,21	-	1,14 $\pm$ 0,22	-
	Сегментоядерні нейтрофіли	%	61,30 $\pm$ 0,94	67,25 $\pm$ 2,44*	-	68,5 $\pm$ 2,96*	-	66,0 $\pm$ 4,16	-
	Паличкоядерні нейтрофіли	%	0,82 $\pm$ 0,10	2,75 $\pm$ 0,49*	-	3,9 $\pm$ 0,62*	-	1,6 $\pm$ 0,19*	-
Цитогенетичний показник КЛ 0+2 ААХ		%	25,2 $\pm$ 1,12	27,3 $\pm$ 2,7	44,7 $\pm$ 1,59*	22,8 $\pm$ 4,65	43,8 $\pm$ 2,37*	31,8 $\pm$ 1,02*	45,6 $\pm$ 2,32*
Цитоморфометричні показники	КЛ $\leq$ 6,0 мкм	%	14,39 $\pm$ 1,56	26,05 $\pm$ 1,74*	53,4 $\pm$ 3,83*	25,1 $\pm$ 3,40*	52,1 $\pm$ 7,77*	27,0 $\pm$ 1,25*	54,7 $\pm$ 2,21*
		Г/л	0,22 $\pm$ 0,02	0,32 $\pm$ 0,04*	-	0,34 $\pm$ 0,06	-	0,30 $\pm$ 0,06	-
	КЛ 7-9 мкм	%	72,02 $\pm$ 1,73	70,0 $\pm$ 2,23	41,65 $\pm$ 4,23*	70,9 $\pm$ 4,42	41,3 $\pm$ 8,55*	69,1 $\pm$ 1,58	42,0 $\pm$ 2,70*
		Г/л	1,08 $\pm$ 0,09	0,90 $\pm$ 0,12	-	1,00 $\pm$ 0,18	-	0,79 $\pm$ 0,16	-
	КЛ $\geq$ 10,0 мкм	%	13,59 $\pm$ 1,86	3,95 $\pm$ 0,80*	4,95 $\pm$ 0,86*	4,0 $\pm$ 1,38*	6,6 $\pm$ 0,80*	3,9 $\pm$ 0,99*	3,3 $\pm$ 1,15*
		Г/л	0,20 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,01*	-	0,05 $\pm$ 0,01*	-	0,04 $\pm$ 0,01*	-
	ІР	%	2,13 $\pm$ 0,05	1,82 $\pm$ 0,02*	1,57 $\pm$ 0,04*	1,83 $\pm$ 0,03*	1,61 $\pm$ 0,06*	1,81 $\pm$ 0,02*	1,52 $\pm$ 0,03*
		Г/л	3,22 $\pm$ 0,16	2,28 $\pm$ 0,26*	-	2,52 $\pm$ 0,37	-	2,05 $\pm$ 0,37*	-

Примітка: \* - показники хворих, які достовірно відрізняються від значень донорів.

У інтенсивно проліферуючих лімфоцитах частота ААХ знижується за рахунок їх руйнування при русі хромосом під час мітозу, тому утворені ранні постпроліферативні лімфоцити відносяться до КЛ 0+2 ААХ [9]. Частота КЛ 0+2 ААХ у плевральному ексудаті у всіх групах обстежених хворих (таблиця 1) була значно вищою, ніж у периферичній крові й варіювала у вузьких межах (43-46%). Такі відмінності у

вмісті КЛ 0+2 ААХ у крові та ПЕ пояснюються перерозподілом новоутворених постпроліферативних активованих лімфоцитів, оскільки наявність у легенях при ексудативних плевритах масивного антигенного осередку змінює шляхи міграції активованих лімфоцитів, що призводить до їх накопичення в лімфоїдній тканині легень і в подальшому в ПЕ, про що свідчать дані й інших авторів [10]. При цьому було відмічено, що цитогенетичний показник лімфоцитів крові хворих із первинною локалізацією пухлини в молочній залозі був значно вищим, ніж значення донорів ( $31,8 \pm 1,02\%$  при  $25,2 \pm 1,12\%$  у здорових), що відбиває поширеність метастазування первинної пухлини, їх міграцію до нових патологічних осередків, так як метастатичний плеврит у цих хворих вказує на імовірність метастазів і в інших органах.

Незважаючи на високу інформативність і об'єктивність, цитогенетичний тест у виконанні досить працемісткий і тривалий, тому для клінічних умов необхідні більш оперативні методи. Таким методом, який відповідає умовам оперативності, інформативності, об'єктивності та точності, є цитоморфометричний метод, заснований на вивченні динаміки розмірних класів лімфоцитів, які розрізняються за діаметром клітини. Результати цитоморфометричного аналізу лімфоцитів обстежуваних (таблиця 1) показали, що в крові всіх хворих у розподілі частот розмірних класів відзначалося зрушення вліво, у бік збільшення частки розмірних класів лімфоцитів із діаметром клітини до  $6,0$  мкм ( $KL \leq 6,0$  мкм). Причому кількість  $KL \leq 6,0$  мкм у загальній кількості лімфоцитів ПЕ досягала  $52-55\%$ , що в середньому в 2 рази перевищує їх вміст у периферичній крові. При цитоморфометричному аналізі частот розмірних класів лімфоцитів крові у відносних одиницях по групах хворих статистично значимих відмінностей не виявлено. Однак у ПЕ хворих на рак молочної залози відзначена тенденція до зниження відносного вмісту  $KL \geq 10$  мкм, що може бути пов'язано з посиленою витратою як великих лімфоцитів, що вступають у серію послідовних мітозів з утворенням великої кількості малих лімфоцитів ( $KL \leq 6,0$  мкм), так і з посиленою витратою великих гранулярних лімфоцитів (NK), які відіграють основну роль у протипухлинному імунітеті.

Показники хворих також характеризувалися зниженим стосовно донорів ІР відн.: у крові на  $0,31$ , у ПЕ - на  $0,56$ , що свідчить про зрушення в співвідношенні розмірних класів лімфоцитів вліво у бік збільшення частки малих розмірних класів ( $KL \leq 6,0$  мкм). При цьому в ПЕ цей показник є більш низьким, що підтверджує виявлену цитогенетичним методом посилену міграцію малих розмірних класів лімфоцитів у вторинний антигенний осередок (ПЕ). ІР крові в абсолютних одиницях у донорів і хворих розрізнявся на  $0,94$ , що є наслідком зниженого абсолютного вмісту лімфоцитів у крові хворих на ексудативні плеврити. Причому найбільша тенденція до зниження ІР відмічена для групи хворих із раком молочної залози, пов'язана з посиленою витратою імунокомпетентних клітин на усунення первинного та вторинного (ПЕ) антигенних осередків.

Для характеристики стану імунної системи хворих на ексудативні плеврити різної етіології як функціональний критерій використовували також авідний розетковий метод (таблиця 2).

Таблиця 2 - Авідні розеткові показники лімфоцитів хворих на ексудативний плеврит різної етіології

Показники			Донори, n=22		Хворі на ексудативний плеврит, n=10		Хворі на ексудативний плеврит			
							Запальної етіології, n=5		Метастатичної етіології, n=5	
			Кров	ПЕ	Кров	ПЕ	Кров	ПЕ	Кров	ПЕ
Авідні розеткові показники	КЛ 3-4 ЕБ	%	17,16 ±0,33	10,5 ±0,71*	12,11 ±1,76*	11,38 ±0,31*	14,25 ±0,60*	9,8 ±1,21*	10,4 ±3,05*	
		Г/л	0,25 ±0,02	0,12 ±0,02*	-	0,14 ±0,02*	-	0,11 ±0,02*	-	
	КЛ 5-7 ЕБ	%	14,14 ±0,47	15,83 ±1,77	14,61 ±2,06	15,88 ±3,25	16,0 ±1,94	15,8 ±2,21	13,5 ±3,52	
		Г/л	0,21 ±0,02	0,2 ±0,04	-	0,21 ±0,07	-	0,19 ±0,05	-	
	КЛ ≥8 ЕБ	%	37,16 ±0,70	44,28 ±2,45*	47,94 ±4,47*	42,13 ±5,15	46,0 ±4,64	46,0 ±1,99*	49,5 ±7,59	
		Г/л	0,55 ±0,06	0,51 ±0,06	-	0,51 ±0,08	-	0,52 ±0,10	-	
	Е-РУК	%	68,69 ±0,66	70,61 ±1,37	74,67 ±2,94	69,38 ±2,63	76,25 ±6,48	71,6 ±1,44	73,4 ±2,24	
		Г/л	1,02 ±0,04	0,84 ±0,10	-	0,86 ±0,13	-	0,82 ±0,16	-	
	ІА	%	2,84 ±0,02	3,10 ±0,07*	3,11 ±0,13*	3,04 ±0,11	3,01 ±0,04*	3,15 ±0,08*	3,20 ±0,24	
		Г/л	2,89 ±0,12	2,57 ±0,31	-	2,58 ±0,39	-	2,56 ±0,50	-	

Примітка: \* - показники хворих, які достовірно відрізняються від значень донорів.

У донорів станції переливання крові сумарні абсолютні показники розеткоутворюючої здатності Т-лімфоцитів крові до ЕБ відповідали значенням, отриманим іншими авторами для цієї промислової зони [11], тоді як відносні показники були вище наведених джерел, що було зумовлено лабораторною модифікацією методу Е-РУК (додаванням до середовища 199 20% ембріональної телячої сироватки).

Сумарні відносні та абсолютні показники частот Е-РУК у периферичній крові та ПЕ як усіх хворих, так і по групах обстежуваних, були подібними до показників здорових осіб.

Більш інформативним був аналіз частот авідних класів лімфоцитів, що розрізняються за кількістю ЕБ, які прикріпилися до Т-лімфоцита. У всіх обстежених хворих у цілому у відносному вмісті високоавідних класів Т-лімфоцитів крові ( $KL \geq 8$  ЕБ) спостерігається достовірне збільшення їх числа стосовно даних донорів ( $44,28 \pm 2,45\%$  при  $37,16 \pm 0,70\%$  у донорів). При цьому підвищення рівня  $KL \geq 8$  ЕБ, в основному, йде за рахунок достовірного зниження числа низькоавідних класів Т-лімфоцитів ( $10,5 \pm 0,71\%$  та  $0,12 \pm 0,02$  Г/л при  $17,16 \pm 0,33\%$  і  $0,25 \pm 0,02$  Г/л у групі контролю) при подібному до донорів рівні середньоавідних класів ( $KL$  5-7 ЕБ). Подібна тенденція у кількості авідних розеткових класів лімфоцитів спостерігалась і за групами хворих, однак відносний показник  $KL \geq 8$  ЕБ статистично достовірних границь досягає лише в групі з ексудативними плевритами метастатичної етіології ( $46,0 \pm 1,99\%$  і  $37,16 \pm 0,70\%$  у донорів відповідно). Аналогічні, достовірно високі відносні показники  $KL \geq 8$  ЕБ спостерігаються й у ПЕ хворих ( $47,94 \pm 4,47\%$ ), які однак не досягли значимих меж за групами обстежуваних хворих. Крім того, відсутність значимих відмінностей між групами хворих у кількості активованих класів Т-лімфоцитів ( $KL \geq 8$  ЕБ) як у периферичній крові, так і в ПЕ свідчить про те, що активовані лімфоцити при імуногенезі мають подібні характеристики авідності до ЕБ поза залежністю від їх антигенної специфічності, а також є менш тривалою ознакою активованості Т-лімфоцитів у порівнянні з розміром клітини та обмежується передмітотичною фазою клітинного циклу.

Абсолютна кількість високоавідних класів Т-лімфоцитів у хворих осіб у сумі та за групами не досягала статистично достовірних границь через високу частоту зазначеного показника в донорів та лімфопенії хворих.

В авідному розетковому тесті інформативними показниками також є ІА відн. та ІА абс., які характеризують співвідношення авідних класів Т-лімфоцитів у досліджуваному біологічному зразку. У периферичній крові підвищений ІА відн. спостерігався як у хворих осіб у сумі ( $3,10 \pm 0,07$  при  $2,84 \pm 0,02$  у здорових), так і в групі з метастатичними плевритами ( $3,15 \pm 0,08$ ), відтворюючи динаміку відносного вмісту  $KL \geq 8$  ЕБ. Достовірно підвищене значення ІА відн. у ПЕ виявлене у всіх хворих в сумі ( $3,11 \pm 0,13$ ) та в групі хворих із запальними ексудативними плевритами ( $3,01 \pm 0,04$ ). Недостовірність підвищення рівня ІА відн. в ПЕ узгоджується з даними цитогенетичного дослідження про наявність метастазів у інших органах у таких хворих, внаслідок чого відмінності у кількості активованих лімфоцитів між периферичною кров'ю та ПЕ будуть менш різкі, ніж при запальних плевритах. Підвищення ІА відн. свідчить про переважну кількість у досліджуваному зразку високоавідних активованих Т-лімфоцитів ( $KL \geq 8$  ЕБ), що може відбуватися при підвищеній активації, інтенсивному новоутворенні клітин, а також внаслідок їх перерозподілу. Таким чином, у всіх хворих осіб підвищені значення ІА відн. свідчать про наявність активаційних процесів в організмі обстежуваних, інтенсивну проліферацію, яка підтверджується цитоморфометричним тестом, а також про наявність перерозподілу активованих Т-лімфоцитів із  $KL \geq 8$  ЕБ з первинного антигенного осередку у вторинний (ПЕ).

ІА абс. у всіх хворих у сумі та за групами виявив тенденцію до зниження, повторюючи динаміку показників абсолютного вмісту лімфоцитів у крові, тому при обстеженні хворих підвищення ІА абс. з одночасним зниженням ІА відн. відноситься до позитивних прогностичних характеристик.

Для встановлення ступеня зв'язку виявлених однонаправлених змін показників напруженості імунітету у хворих ( $KL$  0+2 ААХ,  $KL \leq 6,0$  мкм та  $KL \geq 8$  ЕБ) у периферичній крові й ПЕ був проведений кореляційний аналіз, у результаті якого було виявлено, що коефіцієнти кореляції, які відбивають взаємозв'язок між  $KL$  0+2 ААХ та цитоморфометричними, авідними розетковими показниками, в периферичній крові, досягли достовірних значень лише для  $KL \geq 8$  ЕБ в обох групах хворих ( $+0,975$  із запальними плевритами і  $+0,885$  із раком молочної залози) та Е-РУК у хворих із запальними плевритами ( $+0,956$ ); а у ПЕ - у групі хворих із запальними плевритами для  $KL \geq 8$  ЕБ ( $+0,970$ ) і додатково з усіма цитоморфометричними класами лімфоцитів ( $+0,883$  із малими,  $-0,889$  із середніми і  $+0,941$  із великими розмірними класами).

Виявлені незначні відмінності в рівні коефіцієнтів кореляції між групами хворих мають не діагностичне значення, а відбивають лише ступінь патологічного процесу. Тому зазначені показники крові хворих ексудативним плевритом запальної та метастатичної етіології для наступного етапу кореляційного аналізу були об'єднані ( $n=9$ ). Функціональні показники ПЕ хворих обох груп також були об'єднані ( $n=9$ ). У результаті проведеної кореляції виявлено, що і для периферичної крові хворих, і для ПЕ характерні позитивні достовірні коефіцієнти кореляції  $KL$  0+2 ААХ із  $KL \geq 8$  ЕБ ( $+0,930$  у крові та  $+0,589$  у ПЕ) та Е-РУК ( $+0,768$  у крові та  $+0,689$  у ПЕ). Однак у ПЕ відзначений додатково позитивний достовірний зв'язок цитогенетичного показника  $KL$  0+2 ААХ із  $KL \leq 6,0$  мкм ( $+0,706$ ), що узгоджується з процесом

інтенсивної проліферації імункомпетентних клітин у масивному антигенному осередку (ПЕ) та з процесами активної міграції активованих малих лімфоцитів, які мають високу міграційну активність із периферичної крові в ПЕ.

Виявивши однонаправлені зміни в останніх отриманих значеннях коефіцієнтів кореляції між всіма досліджуваними імуногенетичними (патогенетичними) активаційними ознаками, показники всіх обстежених хворих периферичної крові й ПЕ були також об'єднані (n=18), у результаті чого отримано достовірний позитивний зв'язок КЛ 0+2 ААХ із малими (+0,838), великими (+0,463) розмірними класами лімфоцитів та з високоавідними Т-лімфоцитами (+0,540), загальним числом Е-РУК (+0,603). Отримані коефіцієнти кореляції свідчать про те, що до пулу активованих постпроліферативних лімфоцитів, які недавно утворилися в периферичних лімфоїдних органах при імуногенезі (КЛ 0+2 ААХ), входить частина лімфоцитів з  $KL \leq 6,0$  мкм, частина - з  $KL \geq 10$  мкм, які мають характеристики  $KL \geq 8$  ЕБ, складаючи при цьому основну частину Е-РУК у хворих на ексудативний плеврит різної етіології.

Патогноматичне значення цитоморфометричних і авідних розеткових показників при оцінці імуногенезу істотно відрізняються. Перші характеризують проліферативні етапи, другі - етапи активації, а в сумі - рівень диференціювання та міграції клітин, тому виявлення кореляційних залежностей між зазначеними показниками представляло істотний інтерес. З огляду на відсутність значимих відмінностей в імунній відповіді при ексудативних плевритах запальної та канцерозної етіології, показники зазначених груп хворих для проведення кореляційного аналізу між відносними показниками авідного розеткового та цитоморфометричного методів були об'єднані (n=9). У результаті виявлена однонаправленість коефіцієнтів кореляції в крові та ПЕ, що характеризують взаємозв'язок КЛ 3-4 ЕБ,  $KL \geq 8$  ЕБ, Е-РУК із цитоморфометричними показниками, які, однак, у більшості випадків не досягли статистично значимих меж, тому додатково був проведений кореляційний аналіз згрупованих цитоморфометричних та авідних розеткових показників периферичної крові та ПЕ усіх хворих осіб (n=18), який виявив такі достовірні позитивні зв'язки: між  $KL \leq 6,0$  мкм та  $KL \geq 8$  ЕБ ( $r=+0,464$ ), Е-РУК ( $r=+0,598$ ); для  $KL \geq 10$  мкм із  $KL \geq 8$  ЕБ ( $r=+0,466$ ) та Е-РУК ( $r=+0,492$ ). Отримані дані кореляційного аналізу свідчать про те, що активовані лімфоцити крові й ПЕ хворих на ексудативні плеврити різної етіології відносяться до високоавідних фракцій, складаючи основну частину Т-лімфоцитів, й одночасно є малими або великими лімфоцитами; останні - це бластні незрілі клітини, які з'являються у хворих як наслідок підвищеної напруженості імунітету.

Таким чином, три ознаки лімфоцитів: низьке число асоціюючих акроцентричних хромосом (КЛ 0+2 ААХ), малий діаметр ( $KL \leq 6,0$  мкм) або додатково при високій напруженості імунітету хворих великий діаметр ( $KL \geq 10$  мкм), висока авідність до еритроцитів барана ( $KL \geq 8$  ЕБ) – функціонально тісно пов'язані один з одним і характеризують однаковий функціональний тип циркулюючих лімфоцитів – недавно утворений постпроліферативний пул.

## ВИСНОВКИ

1. У плевральному ексудаті частоти активованих лімфоцитів (КЛ 0+2 ААХ,  $KL \leq 6,0$  мкм) у порівнянні з периферичною кров'ю були різко підвищені (цитогенетичні - у середньому в 1,5 рази, цитоморфометричні – у 2 рази), що свідчить про перерозподіл і депонування активованих лімфоцитів у патологічних осередках.
2. Частоти Е-РУК і високоавідних розеткових класів лімфоцитів ( $KL \geq 8$  ЕБ) у крові та плевральному ексудаті були однаково високими і статистично не відрізнялися один від одного, що характеризує наявність підвищеної щільності CD2 структур на активованих лімфоцитах як тимчасову, яка обмежується передмітотичною фазою імуногенезу і є менш пролонгованою ознакою активації лімфоцитів у порівнянні з іншими активаційними показниками (цитоморфометричними та цитогенетичними).
3. Невелика кількість асоціюючих акроцентричних хромосом (КЛ 0+2 ААХ), малий діаметр ( $KL \leq 6,0$  мкм) або додатково при високій напруженості імунітету хворих великий діаметр ( $KL \geq 10$  мкм), висока авідність до еритроцитів барана ( $KL \geq 8$  ЕБ) є функціонально тісно пов'язаними між собою ознаками і характеризують однаковий функціональний тип циркулюючих лімфоцитів – недавно утворений постпроліферативний пул.
4. Імуногенетичні (патогенетичні) методи (цитогенетичний, цитоморфометричний, авідний розетковий), які ґрунтуються на виявленні ознак попередньої активації в циркулюючих у внутрішньому середовищі лімфоцитів і входять до нового патогенетичного напрямку оцінки стану імунної системи - аналіз новоутворення та міграції активованих лімфоцитів у внутрішньому середовищі організму, є інформативними.
5. Імуногенетичні (патогенетичні) методи (цитогенетичний, цитоморфометричний, авідний розетковий) при оцінці стану імунітету доцільно включати до загальноприйнятого комплексу імунологічних методів.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Бережная Н. М. Стратегия выбора методов иммунологических исследований в клинике и подходы к иммунореабилитации системы иммунитета // Иммунологія та алергологія. - 1998. - №1. - С. 35-46.
2. Сидоренко С. П. Поверхностные антигены клеток человека, систематизированные международными рабочими совещаниями по дифференцировочным антигенам лейкоцитов человека // Иммунологія та алергологія. - 1998. - №3. - С. 16-35.
3. Фролов О.К., Федотов Є.Р., Лупиніс О.В., Копійка В. В., Лагрон В.А. Динаміка активованих лімфоцитів в пролонгованих культурах лімфоцитів, стимульованих мітогенами та антигенами // Вісник Запорізького державного університету. Фізико-математичні науки. Біологічні науки - 1999. - №2. - С. 248-254.
4. Фролов О.К., Омелянчик Л. О., Новосад Н. В., Федотов Є.Р., Грицаєнко Ю. М., Лупиніс О.В., Копійка В. В. Новий напрямок патогенетичного аналізу імунної системи ссавців // Вісник Запорізького державного університету. Фізико-математичні науки. Біологічні науки - 1999. - №2. - С. 242-248.
5. Методические рекомендации по определению клеточной иммунореактивности цитогенетическим методом /Составили А. А. Сохин, А. К. Фролов. - М., 1984. - 16 с.
6. Хромосомы человека (Атлас) АМН СССР / А. Ф. Захаров, В. А. Бенюш, Н. П. Кулешов, Л. И. Барановская. - М.: Медицина, 1982. - 264 с.
7. Лимфоциты: выделение, фракционирование и характеристика /Под ред. Дж. Б. Натвига и др. - М.: Медицина, 1980. - 341 с.
8. Фролов А.К. Патогенетический анализ состояния иммунной системы по динамике новообразования и миграции активированных лимфоцитов во внутренней среде организма: Методические рекомендации.- Запорожье, ЗГУ.-1999.-32с.
9. Фролов А. К. Цитогенетическая характеристика иммунного процесса у человека: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. - М., 1985. - 32 с.
10. Cellular and noncellular components of bronchoalveolar lavage fluid in HIV-1-infected children with radiological evidence of interstitial lung damage / Midulla Fabio, Strappini Pier Michele, Sandstrom Thomas, Bjermer Leif, Falasca Carlo, Capocaccia Paolo, Catania Salvatore, Soldi Elisabetta, Villa Maria Pia, Ronchetti Roberto // Pedial.Pulmonol. - 2001. - 31, N3. - С. 205-213.
11. Баранник Н. Г., Башкина Н. Ф., Колесник Н. В., Кривохацкая Ю. А., Маломуд М. С. Характеристика нормальных показателей иммунной системы у населения промышленного региона степной зоны Украины // Иммунология. - 1990. - №6. - С. 69-71.

УДК 631.46.579

## СТРУКТУРА ГРИБНОГО ЦЕНОЗА ПРИКОРНЕВОЙ ЗОНЫ НЕКОТОРЫХ МАСЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

Костюченко Н.И., аспирант, Лях В.А., д.б.н., профессор

*Запорожский государственный университет*

Изучена динамика численности микромицетов и соотношение основных систематических групп сапрофитного комплекса прикорневой зоны льна масличного, подсолнечника, клещевины и сои. Наибольшая численность микромицетов выявлена в прикорневой зоне льна и подсолнечника в конце вегетации этих культур. Сапрофитные комплексы ризосферы масличных культур в конце вегетации характеризовались более широким спектром морфолого-культуральных типов, чем почва под паром и в степном биоценозе. Представители рода *Penicillium* были доминирующей группой во всех ценозах.

*Ключевые слова:* прикорневая зона, сапрофитный комплекс, масличные культуры, лен, подсолнечник, клещевина, соя.

Костюченко Н.І., Лях В.О. СТРУКТУРА ГРИБНОГО ЦЕНОЗУ ПРИКОРНЕВОЇ ЗОНИ ДЕЯКИХ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР / Запорізький державний університет, Україна

Вивчена динаміка чисельності мікроміцетів та співвідношення основних таксономічних груп сапрофітного комплексу прикорневої зони льону олійного, соняшника, ріцини та сої. Найбільша кількість мікроміцетів була виявлена в прикорневої зоні льону та соняшника наприкінці вегетації

цих культур. Сапрофітні комплекси ризосфери олійних культур наприкінці вегетації характеризувалися більш широким спектром морфолого-культуральних типів, ніж ґрунт під паром та в степовому біоценозі. Представники роду *Penicillium* домінували в усіх ценозах.

*Ключові слова:* прикоренева зона, сапрофітний комплекс, олійні культури, льон, соняшник, ріцина, соя.

Kostyuchenko N., Lyakh V. STRUCTURE OF THE FUNGIC CENOSIS OF THE ROOTBALL ZONE OF SOME OIL CROPS / Zaporizhzhya State University, Ukraine

The dynamics of number of micromycetes and the ratio of main systematic groups of the saprophytic complex in the rootball zone of oil flax, sunflower, castor and soya, has been studied. The biggest numbers of micromycetes was detected in the end of these crops' vegetation. Saprophytic complexes of rhizosphere of the oil crops in the end of their vegetation were characterized by a wider spectrum of morphological and cultural types, than the fallow and the steppe biocenosis.

The representatives of *Penicillium* genus were a dominant group in all cenoses.

*Key words:* rootball, oil crops, flax, sunflower, castor, soya.

## 1. ВВЕДЕНИЕ

Общеизвестно, что характер и интенсивность антропогенной нагрузки влияют на большинство характеристик изученных почв [1,2]. Одной из важнейших характеристик является состав микробной биомассы и характер ее распределения по почвенному профилю различных агроценозов [3,4]. Однако, если о влиянии антропогенной нагрузки на видовой состав и разнообразии почвенных микроорганизмов, в особенности грибов, в ризосфере основных сельскохозяйственных культур имеются сведения, то данные об основных количественных характеристиках в ризосфере масличных культур (кроме подсолнечника и сои) практически отсутствуют.

Особенно перспективным представляется сопоставление микробных комплексов различных сельскохозяйственных угодий с таковыми в относительно сохранных почвах природных биотопов. Подобное сопоставление позволяет выйти на количественную оценку последствий окультуривания почв под различными культурами, в том числе и масличными [5]. Для оценки структуры микромицетных комплексов важно знать не только количественный и качественный (видовой) состав микроорганизмов в ризосфере растений, но и соотношение основных систематических групп, определяющих структуру сообщества.

Исходя из вышеизложенного, целью нашей работы было изучение динамики численности микромицетов и соотношение основных систематических групп сапрофитного комплекса, составляющих грибной ценоз, в почвах естественного степного биоценоза и почвах, находящихся в сельскохозяйственном использовании, в частности под масличными культурами.

## 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа проводилась на опытных полях Института масличных культур УААН в мае – сентябре 2003 года. Пробы отбирались 3-4 раза за сезон: перед началом вегетации сельскохозяйственных культур, в период начала и массового цветения, и в конце вегетации перед уборкой урожая. Исследовалась почва прикорневой зоны льна масличного, подсолнечника, клещевины, сои и почва, находящаяся под паром в севообороте. Контролем служила почва целинных участков лугового биоценоза.

Эксперимент проводился в условиях довольно сухого лета, что характерно для юга Украины. На полях института не осуществляется дополнительный полив, что сказывалось на численности и видовом составе микромицетов. Почвы характеризуются как чернозем обыкновенный, тяжелосуглинистый, с непромываемым типом водного режима, с мощным гумусированным слоем. В пахотном слое участков, занятых под масличными культурами, довольно низкое содержание гумуса, а также свободного фосфора и азота [5,6].

Численность и таксономический состав грибов определяли методом посева почвенной суспензии на чашки Петри по общепринятым методикам [7,8]. Навески подготовленной почвы различных вариантов (10 г) вносили в колбы со 100 мл стерильной водопроводной воды и подвергали встряхиванию на лабораторном встряхивателе в течение 20 минут. Затем из исходной суспензии готовили разведения 1:1000; 1:10000; 1:100000. Посев суспензии почвенных образцов для учета грибов производили из соответствующего разведения на среду Чапека (с добавлением 50 мг полимиксина на 0,5 л среды для ингибирования роста бактерий) в 10-кратной повторности образцов каждого варианта. Посевы инкубировали в термостате при 24°C в течение 7- 14 дней, далее при комнатной температуре. Учет появившихся колоний производили через 2-4 недели в колониеобразующих единицах на 1г субстрата (КОЕ/г). Идентификацию выделенных штаммов грибов проводили на основании изучения макро- и микроморфологических, физиологических признаков, руководствуясь определителями [9,10,11].

Структуру комплекса сапрофитных грибов описывали на основании обилия (%), частоты встречаемости видов (% образцов, где данный вид обнаружен), частоты доминирования (доля образцов, в которых таксономическая группа составляла более 30%), а также показателя видового разнообразия (индекс

Шеннона). Для характеристики сходства сапрофитных комплексов подсчитывали коэффициент Серенсена-Чекановского [7,12]. Данные обрабатывались с помощью персонального компьютера с использованием программы Excel.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Погодные условия, сложившиеся в 2003 году, были экстремальными, особенно в начальный период вегетации, что выражалось в полном отсутствии осадков с апреля до середины июня, а также в августе и сентябре. Кроме того, среднесуточная температура мая превышала среднюю многолетнюю на 6°С (табл. 1). Это, безусловно, не могло не отразиться на численности и структуре сапрофитного комплекса.

Таблица 1 - Погодные условия вегетационного периода масличных культур в 2003 году

Декады	Май		Июнь		Июль		Август		Сентябрь	
	Среднесут. t, °С	Осадки, мм	Среднесут. t, °С	Осадки, мм	Среднесут. t, °С	Осадки, мм	Среднесут. t, °С	Осадки, мм	Среднесут. t, °С	Осадки, мм
I	21,9		20,5		22,2	18,5	21,5		15,0	
II	23,5		22,5	38,0	22,2	58,0	20,0		10,7	
III	22,6		19,7	21,0	25,3		22,3		12,7	
Сумма осадков, мм				59,0		76,5				
Средняя t, °С	22,6	-	20,9	-	23,2	-	21,3	-	12,8	-
Средн. многолет. показат.	16,7	42,0	20,7	52,0	22,4	50,0	21,6	41,0	16,3	23,0

В результате проведенных исследований выявили сезонную динамику изменения численности грибов в ризосфере льна масличного, подсолнечника, клещевины, сои, а также на пару и в естественном биоценозе (табл. 2). В целом численность микромицетов была максимальной в конце вегетации и минимальной в летний период. Резкое снижение численности микромицетов в летний период коррелирует со снижением полевой влажности почвы, которая составляла 6-16%: Максимальную численность грибов отмечали в прикорневой зоне льна и подсолнечника в конце вегетации этих культур. Значительно меньше количество грибов в прикорневой зоне сои и клещевины, а также в почве под паром и в степном биоценозе.

Как видно из табл. 2, в конце вегетации, по сравнению с началом, численность микромицетов в прикорневой зоне льна возросла в 2 раза, под подсолнечником и соей – в 4 раза, в то время как под паром и в контроле она практически не изменялась. Численность грибов в прикорневой зоне клещевины несколько снижается к концу вегетации, что можно объяснить накоплением корневых выделений этой культуры в почве, ингибирующих развитие почвенных микроорганизмов.

Прослеживается динамика и в структуре грибного ценоза. Наибольшее разнообразие морфолого-культуральных типов наблюдалось в конце вегетации и минимальное в начале, причем в ризосфере масличных культур оно было выше, чем в почве под паром и контроле (рис. 1). Индекс видового богатства выше в ризосфере льна (12,2) и клещевины (12,0). Довольно высоким он был и в почве под паром (11,96). В целом же, индексы видового богатства выше в почвах под культурами в севооборотах.

Таблица 2 – Численность микромицетов в прикорневой зоне масличных культур

Вариант	Численность микромицетов, тыс. КОЕ/г			
	<i>26.05.03</i>	<i>11.06.03</i>	<i>11.07.03</i>	<i>02.10.03</i>
Контроль	53,2 ± 0,51	45,3 ± 0,50	26,3 ± 7,80	58,1 ± 5,73
Пар	26,7 ± 0,51	4,97 ± 0,34	75,9 ± 8,49	52,3 ± 5,92
Лен	57,3 ± 0,91	18,69 ± 0,49	105,9 ± 10,30	106,4 ± 9,89*
Подсолнечник	32,9 ± 0,49	90,7 ± 0,76	51,9 ± 6,72	124,6 ± 12,62
Клещевина	-	86,96 ± 1,09	83,5 ± 9,53	58,7 ± 5,42
Соя	21,5 ± 0,50	6,95 ± 0,52	60,6 ± 7,60	82,4 ± 11,3

Пробы отбирались 08.09.2003г.

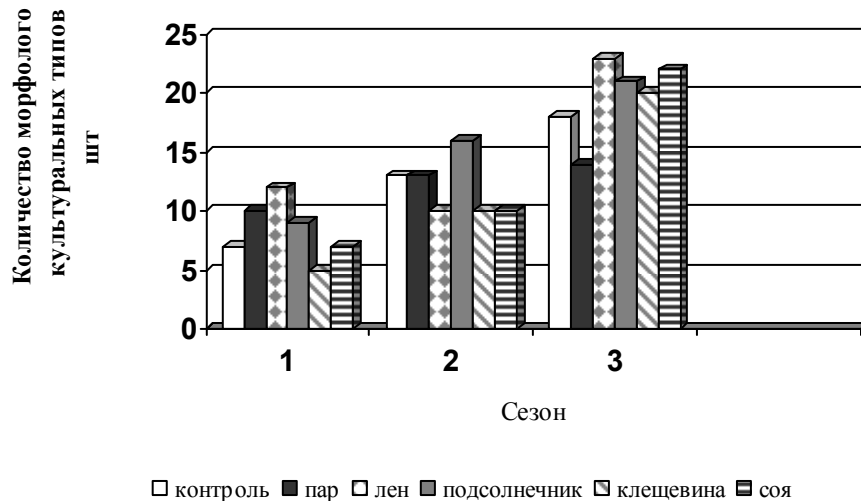
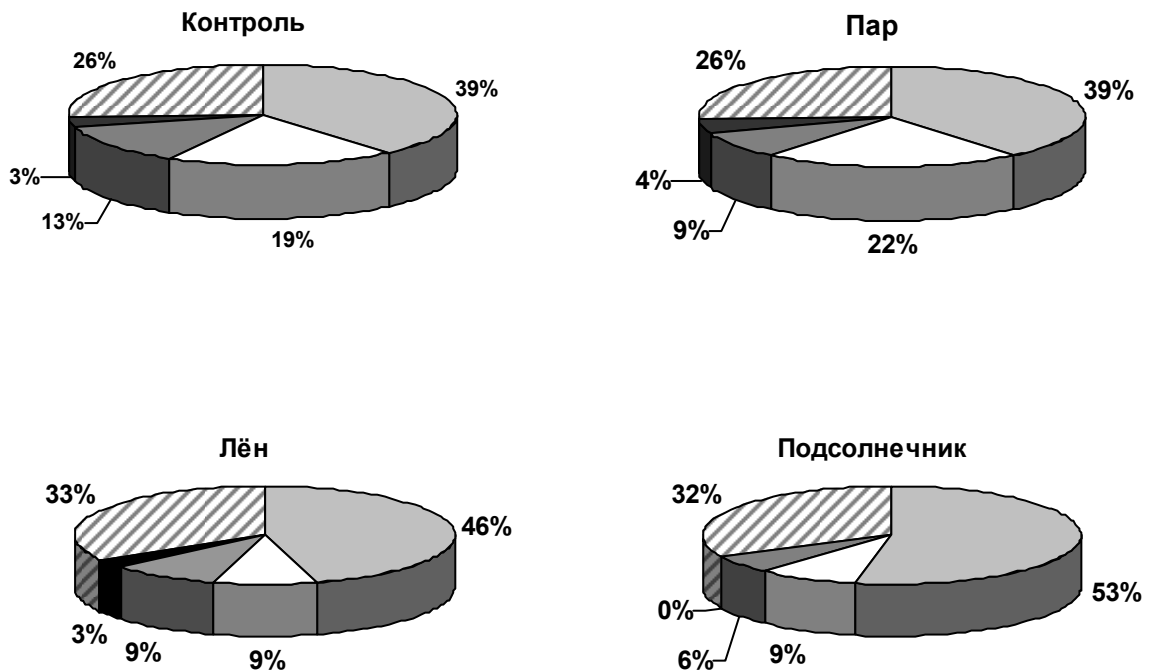


Рис. 1. Сезонная динамика количества морфолого-культуральных типов микромицетов в ризосфере некоторых масличных культур (шт.); 1 - начало вегетации; 2 - середина вегетации; 3 - конец вегетации.

Анализируя видовой состав микромицетного комплекса изучаемых почв (рис.2), необходимо отметить, что его структуру образуют представители родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Fusarium*, *Alternaria*. Доминирующими во всех ценозах являются пенициллы, доля которых составляет 40% в контроле и почти столько же под паром. В прикорневой зоне масличных культур доля представителей этого рода значительно возрастает - от 46% подо льном до 59% под клещевинной и 55% под соей.

Доля аспергиллов в почве под паром 22%, несколько меньше – в степном биоценозе (19%) Под масличными культурами она была меньше и составляла от 7% под клещевинной до 12% у сои. Доля видов рода *Fusarium* в ризосфере культур в севообороте была аналогичной доле аспергиллов. Наиболее богата видами этого рода ризосфера клещевинной (11%). Род *Alternaria* представлен в основном одним видом *Alternaria alternata* и составляет 3-4% от общего числа. Доля других видов и родов в структуре грибного биоценоза составила 18 - 33%.



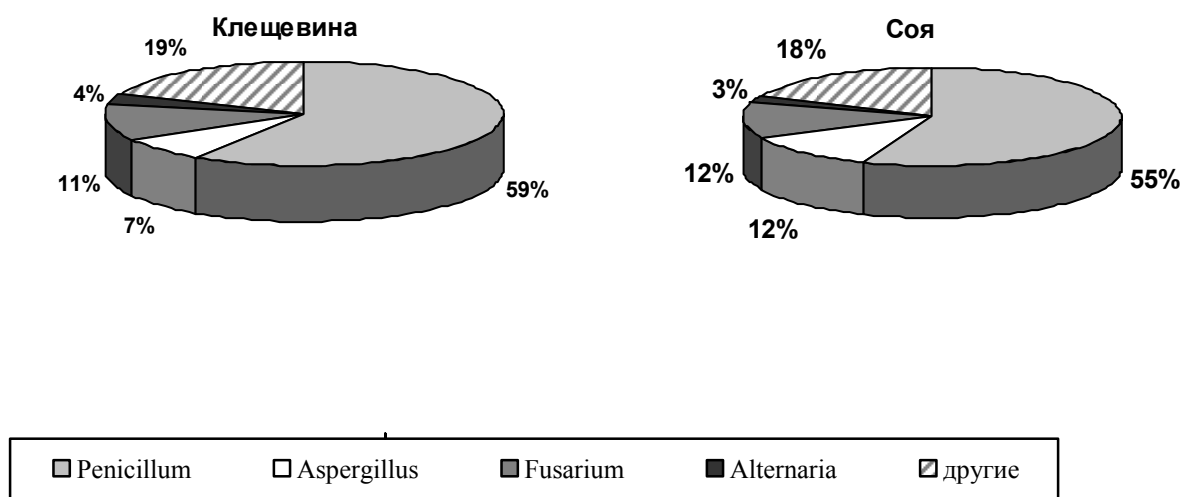


Рис. 2. Структура грибного ценоза и доля потенциальных доминантов в прикорневой зоне некоторых масличных культур.

#### 4. ВЫВОДЫ

1. Наибольшая численность микромицетов выявлена в прикорневой зоне льна и подсолнечника в конце вегетации этих культур, в то время как под паром и в естественном степном биоценозе она практически не изменялась.
2. Сапрофитные комплексы микромицетов ризосферы масличных культур характеризовались в конце вегетации более широким спектром морфолого-культуральных типов, чем в почве под паром и в почве, не подвергавшейся антропогенной нагрузке.
3. Доминирующими во всех ценозах являются представители рода *Penicillium*.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. – М.: Изд-во МГУ, 1987.- 255с.
2. Звягинцев Д.Г., Полянская Л.М., Гончиков Г.Г. Биомасса микроорганизмов в почвах Забайкалья // Почвоведение. – 1999.- №9.- С. 1132 – 1139.
3. Марфенина О.Е, Каравайко Н.М., Иванова А.Е. Особенности комплексов микроскопических грибов урбанизованных территорий // Микробиология. – 1996.- Т.65, №1.- С. 119 – 124.
4. Марфенина О.Е Изменение комплекса грибов рода *Penicillium* в почвах подзолистой зоны при антропогенных воздействиях // Микология и фитопатология. – 2000. – Т.34, вып. 4. – С. 38 – 42.
5. Рыльский А.Ф., Костюченко Н.И., Шевчук И.А. Структура грибного ценоза в ризосфере культурных растений, возделываемых на черноземных почвах / Біологічні науки і проблеми рослинництва // Зб. наук. праць Уманського держ. аграр. ун-ту. – Умань, 2003. - С.259 – 262.
6. Лабутова Н.М., Лях В.А., Аксенов И.В., Шевченко О.В., Гордон В.Л. Влияние двойной инокуляции биопрепаратами на основе азотфиксирующих и фосфатмобилизирующих микроорганизмов на продуктивность сои и содержание подвижных форм азота и фосфора в почве ризосферы /Біологічні науки і проблеми рослинництва // Зб. наук. праць Уманського держ. аграр. ун-ту. – Умань, 2003. - С.262 – 266.
7. Мирчинк Т.Г. Почвенная микология.- М.: МГУ, 1988.- 220 с.
8. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 303 с.
9. Пидопличко Н.М. Пеницилли (ключ для определения видов). – К.: Наукова думка, 1972.- 150 с.
10. Литвинов М.А. Определитель микроскопических почвенных грибов. – Л.: Наука, 1967.- 303 с.
11. Билай В.И. Фузари. Изд. 2-е доп. и перераб. - К.: Наук. думка, 1977.- 442 с.
12. Мегарран Э. Экологическое разнообразие и его измерение /Под ред. Ю.И. Чернова.: Пер. с англ.- М.: Мир, 1992. - 181с.

## ЕПІЛЕПТИФОРМНІ СУДОМИ І ЗМІНИ ВМІСТУ ЦИНКУ В ГІПОКАМПІ ТА ПАНКРЕАТИЧНИХ ОСТРІВЦЯХ ПРИ ВВЕДЕННІ КОНВУЛЬСАНТУ СТРЕСОВАНИМ МИШАМ

Кучковський О. М., ст. лаборант, Єщенко Ю. В., аспірант, Григорова Н. В., к. б. н., доцент, Бовт В. Д., д.б.н., професор, Єщенко В. А., д.м.н., професор, Омелянчик В. М., к. м. н., доцент

*Запорізький державний університет*

Уведення мишам конвульсанту 8-(бензолсульфаніламіно)-хіноліну обумовлювало розвиток епілептиформних судом та дефіциту цинку в клітинах гіпокампа і панкреатичних острівців, що визначається цитохімічно. Ці зміни більш виражені у випадках попереднього стресування тварин.

*Ключові слова: епілептиформні судоми, гіпокамп, конвульсант, панкреатичні острівці, стресові впливи, цинк.*

Кучковский О.Н., Ещенко Ю.В., Григорова Н.В., Бовт В.Д., Ещенко В.А., Омелянчик В.Н. ЭПИЛЕПТИФОРМНЫЕ СУДОРОГИ И ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЦИНКА В ГИПОКАМПЕ И ПАНКРЕАТИЧЕСКИХ ОСТРОВКАХ ПРИ ВВЕДЕНИИ КОНВУЛЬСАНТА СТРЕССОВАННЫМ МЫШАМ / Запорожский государственный университет, Украина

Введение мышам конвульсанта 8-(бензолсульфонилиамино)-хинолина вызывало развитие эпилептиформных судорог и дефицита цитохимически выявляемого цинка в клетках гиппокампа и панкреатических островков. Эти изменения были более выражены в случае предварительного стрессирования животных.

*Ключевые слова: эпилептиформные судороги, гиппокамп, конвульсант, панкреатические островки, стрессовые воздействия, цинк.*

Kuchkovsky O.N., Eshchenko J.V., Grigороva N.V., Bovt V.D., Eshchenko V.A., Omelyanchik V.N. EPILEPTIFORMIC CRAMPS AND ZINC CONTENT CHANGES IN HIPPOCAMPUS AND PANCREATIC ISLETS UNDER CONVULSANT INJECTION TO STRESSED MICE / Zaporizhzhya State University, Ukraine

Injection to mice of convulsant 8-(benzylsulfonylamino)-quinoline induced the development of epileptiformic cramps and cytochemically revealing zinc deficit in the cells of hippocampus and pancreatic islets. These changes were more expressed in the cases of preliminary animal stressing.

*Key words: convulsant, epileptiformic cramps, hippocampus, pancreatic islets, stress influences, zinc.*

У гіпокампі та панкреатичних острівцях міститься цинк, що визначається цитохімічно [2, 3, 5-7,11]. Відомо, що шість молекул інсуліну можуть бути зв'язані двома атомами цинку [10, 12]. Припускають, що гексамер, який утворюється при цьому, є депо-формою гормону в секреторних гранулах В-інсулоцитів [1, 2, 10]. Цинк, що виявляється цитохімічно, також накопичується в синаптичних пухирцях нейронів гіпокампа [11]. Існує думка, що в цих структурах цинк акумулюється в комплексі зі збуджуючим нейромедіатором глутаміновою кислотою подібно до цинкінулінового комплексу в секреторних гранулах панкреатичних клітин [2, 4-7, 11].

Уведення в організм агента 8-(бензолсульфоніламіно)-хіноліну (8-БСХ), який зв'язує цинк, викликало розвиток його інтравітальної реакції з цим металом, дефіциту цинку в нейронах гіпокампа і В-інсулоцитах і виникнення епілептиформних судом [5, 6]. Ця дія 8-БСХ підсилювалась у випадку попередньої іммобілізації тварин [6]. У розвитку таких досліджень нами вивчався вплив попереднього фізичного навантаження, алкоголізації, охолодження тварин.

У дослідях було використано 127 мишей, з яких 18 тварин були контрольними інтактними. 109 мишей отримали внутрішньочеревні ін'єкції 400 мг/кг 8-БСХ у вигляді 0,5%-ного розчину на 0,1 н розчині їдкого натру. 25 мишей піддавалися попередньому фізичному навантаженню, 23 – алкоголізації, 29 – охолодженню.

У дослідях із фізичним навантаженням мишей поміщали в акваріум із температурою води 32°C, в якому вони плавали протягом 1 год. Алкоголізували тварин призначенням їм через шлунковий зонд 2 мл/кг спирту у вигляді 20%-ного розчину. У дослідях з охолодженням мишей поміщали на 30 хв у холодну ванну з температурою води 21°C.

Із головного мозку і підшлункової залози, виїнятих через 30 хв після введення 8-БСХ, готували заморожені зрізи товщиною 30-60 мкм. Зрізи заключали в гліцерин і розглядали під люмінесцентним мікроскопом. Для збудження люмінесценції використовували світлофільтр ФС-1, захисний (окулярний) використовували світлофільтр із скла ЖС-18.

На препаратах жовто-зелена люмінесценція виявлялася в зубчастій фасції і полях СА2 – СА4 гіпокампа, а також у панкреатичних острівцях.

У мишей, забитих через 1 добу після введення 8-БСХ, головний мозок використовували для приготування заморожених зрізів, а шматочки підшлункової залози фіксували в холодному (4°C) ацетоні, проводили через ксилоли, суміш ксилолу і парафіну та заливали в парафін. Депарафінували зрізи витримуванням у ксилолах, спиртах міцності, що зменшується.

Для отримання цитохімічної реакції на цинк зрізи головного мозку і підшлункової залози обробляли 0,1%-ним ацетоновим розчином 8-ТСХ, через 1 хв. їх промивали дистильованою водою, замикали в гліцерин і розглядали під люмінесцентним мікроскопом, як описано вище. Жовто-зелена люмінесценція виявлялась у нейронах гіпокампа і В-інсулоцитах підшлункової залози.

Інтенсивність люмінесцентної реакції в клітинах оцінювали за трибальною системою [8, 9].

У мишей, що отримали 8-БСХ, виникали клоніко-тонічні судоми. Інтенсивність конвульсій була значно сильнішою у випадку попереднього стресування організму. У тварин, що отримали 8-БСХ, судоми продовжувалися  $15 \pm 2,8$  с (табл. 1). Тривалість конвульсій була на 93% більшою ( $p < 0,01$ ) у випадку попереднього фізичного навантаження, 86% ( $p < 0,01$ ) – алкоголізації, 73% ( $p < 0,05$ ) – охолодження. Отже, стресування організму підвищує його чутливість до судомної дії 8-БСХ.

Таблиця 1 – Тривалість судом, що викликаються ін'єкцією 400 мг/кг 8-БСХ

Група тварин	Кількість тварин	Тривалість судом	
		$\bar{X} \pm m$	p
8-БСХ (контроль)	15	$15 \pm 2,8$	
Фізичне навантаження + 8-БСХ	12	$29 \pm 4,2$	$< 0,01$
Алкоголізація + 8-БСХ	11	$28 \pm 3,5$	$< 0,01$
Охолодження + 8-БСХ	14	$26 \pm 3,1$	$< 0,05$

Інтенсивність інтравітальної реакції 8-БСХ у гіпокампі і панкреатичних острівцях була підвищена у випадку попереднього стресування тварин. Можна думати, що виникнення судом обумовлено зв'язуванням цинку у гіпокампі. Підтвердженням цього можуть служити результати цитохімічного дослідження цинку в головному мозку і панкреатичних острівцях (табл. 2).

Таблиця 2 – Інтенсивність цитохімічної реакції 8-ТСХ в гіпокампі і панкреатичних острівцях у стресованих мишей після введення 8-БСХ

Група тварин	Кількість тварин	Інтенсивність реакції			
		гіпокамп		острівці	
		$\bar{X} \pm m$	p	$\bar{X} \pm m$	p
Контроль (інтактні)	18	$1,9 \pm 0,15$		$2,0 \pm 0,16$	
8-БСХ	16	$1,2 \pm 0,08$	$< 0,001$	$1,4 \pm 0,12$	$< 0,01$
Фізичне навантаження + 8-БСХ	13	$0,8 \pm 0,06$	$< 0,001$	$1,0 \pm 0,07$	$< 0,001$
Алкоголь + 8-БСХ	12	$0,8 \pm 0,05$	$< 0,001$	$0,9 \pm 0,06$	$< 0,001$
Охолодження + 8-БСХ	15	$1,0 \pm 0,08$	$< 0,001$	$1,1 \pm 0,09$	$< 0,001$

У контрольних інтактних мишей вміст цинку в гіпокампі складав  $1,9 \pm 0,15$  (табл. 2). Через 1 добу після введення 8-БСХ цього металу знаходилось у ньому на 27% менше за норму ( $p < 0,001$ ). У випадку попереднього фізичного навантаження, алкоголізації, охолодження отримувались цифри відповідно 58% ( $p < 0,001$ ), 58% ( $p < 0,001$ ), 53% ( $p < 0,001$ ). Ці дані вказують на те, що 8-БСХ викликає зниження вмісту цинку в гіпокампі. Цей дефіцит стає сильнішим у випадку попереднього стресування організму і відповідає інтенсивності інтравітальної реакції 8-БСХ у гіпокампі та тривалості судом.

Як видно з даних, наведених у таблиці 2, у контрольних інтактних мишей середня інтенсивність 8-ТСХ-реакції в інсулоцитах складала  $2,0 \pm 0,16$ . Через 1 добу після введення 8-БСХ цинку в острівцях знаходилось на 70% менше ( $p < 0,01$ ). У випадку попереднього фізичного навантаження, алкоголізації, охолодження отримувались цифри відповідно 50% ( $p < 0,001$ ), 45% ( $p < 0,001$ ), 55% ( $p < 0,001$ ). Ці дані вказують на те, що, як і у випадку з дослідженням гіпокампа, вміст цинку в панкреатичних клітинах В знижується при введенні мишам 8-БСХ. Попереднє стресування тварин збільшує ступінь виразності дефіциту цинку в острівцевих клітинах.

Отримані дані підкріплюють положення про те, що в основі розвитку епілептиформних судом, що викликаються 8-БСХ, лежить зв'язування цинку в нейронах гіпокампа. Мабуть, збуджуючий нейромедіатор глутамінова кислота, що звільняється в результаті відщеплення цинку від комплексу, проявляє свою конвульсивну дію. Схожість змін вмісту цинку в гіпокампі і панкреатичних острівцях вказує на можливий їх функціональний зв'язок.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Балаболкин М. И. Диабетология. – М.: Медицина, 2000. – 671 с.
2. Григорова Н. В. Вплив екстремальних факторів на вміст цинку в клітинах: Автореф. дис... канд. біол. наук: 03.00.13 – Сімферополь, 2002. – 20 с.
3. Ещенко В. А. Гистохимическое исследование цинка //Цитология. – 1978. - № 8. – С. 927-933.
4. Кузнецов В. И. Глутамат и цинк в передаче нервных импульсов в гигантских синапсах мшистых волокон гиппокамповой формации //Нейрохимия и физиология синаптических процессов. – Пушино-на-Оке, 1976. – С. 26-27.
5. Кучковський О. М. Про роль цинку в нейромедіаторній функції гіпокампа. //Вісник ЗДУ. – 1999. - № 1. – С. 187-189.
6. Кучковський О. М., Єщенко Ю. В. Вплив конвульсанту на вміст цинку в інсулоцитах і нейронах гіпокампа в мишей //Вісник ЗДУ. – 2001. - № 1. – С. 176-177.
7. Малько М. М. Вплив гострого та хронічного стресу на вміст цинку в клітинах: Автореф. дис...канд. біол. наук: 03.00.13. – К., 2000. – 20 с.
8. Соколовский В. В. Гистохимические исследования в токсикологии. – Л.: Медицина, 1971. – 172 с.
9. Хейхоу Ф., Кваглино Д. Гематологическая гистохимия. – М.: Медицина, 1983. – 320 с.
10. Chausmer A. B. Zinc, insulin, and diabetes //Am. Coll. Nutr. – 1998. – Vol. 17, N 2. – P. 109-115.
11. De Biasi S., Brendotti C. A. Simplified procedure for the physical development of the sulfide silver method to reveal of the zinc in combination with immunocytochemistry at light electron microscopy //J. Neurosci Methods. – 1998. – Vol. 79. – P. 87-96.
12. Rahuel-Clermont S., French C. A., Kaarsholm N. C. et al. Mechanisms of stabilization of the insulin hexamer allosteric ligand interactions //Biochemistry. – 1997. – Vol. 36, N 19. – P. 5837-5845.

УДК 616.1:502.313:62

## ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СТРЕССОРНЫХ ФАКТОРОВ

Лашко Н.П., к.х.н., доцент, Чаусовский Г.А., к.т.н, доцент,  
\*Мельникова О.З., к.б.н., ст. преподаватель., Солдатенко Д.А., студент

*Запорожский государственный университет, \*Запорожский государственный медицинский университет*

Экспериментально подтверждена возможность косвенного контроля экологических стрессорных факторов методом вариационной пульсометрии. Показано, что предложенный метод электронно-цифровой вариационной пульсометрии наиболее приемлем для мониторинга экологических стресс-факторов по показателям информативности и общедоступности аппаратурной реализации.

*Ключевые слова: экология, стресс, электронно-цифровая вариационная пульсометрия.*

Лашко Н.П., Чаусовський Г.О., \*Мельнікова О.З., Солдатенко Д.О. ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЬ ЕКОЛОГІЧНИХ СТРЕСОРНИХ ФАКТОРІВ /Запорізький державний університет, \*Запорізький державний медичний університет, Україна.

Експериментально підтверджена можливість посереднього контролю екологічних стресорних факторів методом варіаційної пульсометрії. Показано, що запропонований метод електронно-цифрової варіаційної пульсометрії є найбільш придатним для моніторингу екологічних стрес-факторів за показниками інформативності та загальнодоступності апаратурної реалізації.

*Ключові слова: екологія, стрес, електронно-цифрова варіаційна пульсометрія.*

Lashko N.P., Chausovsky G. A., \*Melnikova O.Z., Soldatenko. D.A. EXPRESS-KONTROL THE ECOLOGICAL STRESS-FACTORS / Zaporizhzhya State University, \*Zaporizhzhya State Medical University, Ukraine.

Experimental is confirmed capacity of the indirect checking ecological stress-factors by method variational pulsemetry. It is shown that offered method electronic-digital variational pulsemetry most acceptance for monitoring ecological stress-factors on factors of the receptions to information and general accessibility equipment realization.

*Key words: ecology, stress, electronic-digital variational pulsemetry.*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для мониторинга экологических стресс-факторов используют физиологические (электромиографические, гемодинамические и т.д.), биохимические, психологические методы измерений [1-3]. Основными их недостатками являются отсутствие возможности контроля предстрессовых состояний организма непосредственно в реальном режиме времени и сложность аппаратурного оформления методов.

Известно, что в условиях стресса выраженным биохимическим и гормональным сдвигам предшествуют изменения, вызванные действием внешних факторов на структуры нервной системы, обеспечивающей наиболее быстрые реакции организма на те или иные воздействия [4, 5]. Среди таких реакций – изменения частоты и ритма сердечных сокращений [4, 5].

Регистрация кардиоритмологических показателей, таким образом, может способствовать выявлению предстрессовых состояний организма. Однако её применение для прикладных задач мониторинга экологических стрессорных факторов сдерживается отсутствием общедоступных инструментальных методов.

Целью нашей работы было создание инструментального метода, который реализовал бы следующие функциональные возможности применительно к поставленной задаче экспресс-контроля экологических стрессорных факторов:

- регистрацию предстрессовых состояний на основе кардиоритмологических показателей вариационной пульсометрии;
- полную автоматизацию получения данных вариационной пульсометрии в реальном режиме времени;
- общедоступность реализации метода в различных сферах прикладной экологии, спортивной медицины, клинической практики.

## УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования кардиоритмологических показателей проводили в условиях лаборатории "Безопасность жизнедеятельности" Запорожского государственного университета на 27 испытуемых – лицах обоих полов в возрасте от 18 до 25 лет, давших согласие на участие в эксперименте.

Для оценки кардиоритмологических показателей испытуемых регистрировали вариационную пульсограмму с помощью разработанной нами портативной установки, блок-схема которой приведена на рис. 1.

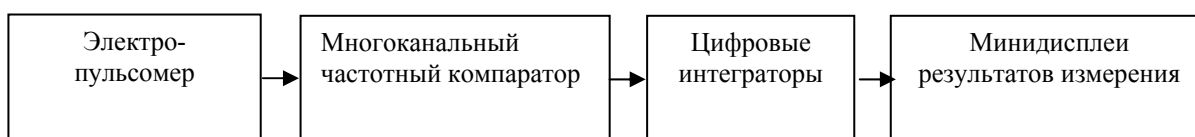


Рис. 1. Блок-схема установки для автоматизированной регистрации показателей вариационной пульсограммы

Установка позволяла в реальном режиме времени автоматически получать цифровую информацию,

установка позволяет автоматически регистрировать цифровую пульсограмму, косвенно отражающую вариацию длительности последовательных интервалов R-R электрокардиограммы на протяжении исследования и их распределение. Состояние вегетативной нервной системы (ВНС) оценивали по показателю моды интервалов. Колебания интервала в пределах от 0,7 до 0,9 сек. характеризовали норматическое состояние ВНС, мода интервала от 0,5 до 0,7 сек. – симпатотоническое, а мода интервала от 1 до 1,2 сек. - ваготоническое состояние ВНС [4].

Поскольку первичной реакцией организма на действие стрессорных факторов является симпатотония [1-5], нами был проанализирован диапазон мод интервалов от 0,6 до 0,95 сек.

Разработанную установку применили для экспресс-контроля влияния различных неблагоприятных для здоровья человека физических факторов в системе "человек – жизненная среда": уровень шума более 70дБ; напряжённость внешнего электромагнитного поля более 0,5кВ/м; вибрационные воздействия амплитудой более 0,015мм, которое создавали с помощью общепринятых методик. Время экспозиции в каждой из указанных экспериментальных ситуаций составляло 80 мин.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По данным вариационной пульсометрии, на момент начала исследований состояние ВНС испытуемых было норматическим: колебания моды интервала составляли от 0,72 до 0,90 сек.

В табл. 1-3 приведены экспериментальные данные, отражающие влияние различных неблагоприятных экологических факторов (шум, внешнее электромагнитное поле, вибрация) на показатели автоматически регистрируемой вариационной пульсограммы.

Таблица 1 - Влияние шума на показатели вариационной пульсограммы (N=129)

Мода интервала, сек	0,60–0,65	0,66–0,71	0,72-0,77	0,78-0,83	0,84-0,89	0,90-0,95
Число интервалов	21	72	14	10	7	5

При воздействии шума в 93 исследованиях из 129 мода интервалов длительности последовательных интервалов R-R принимала значения, характеризующие симпатотоническое состояние ВНС – от 0,6 до 0,71сек. Это указывало на развитие стресса при действии указанного фактора. В диапазоне мод интервалов, характеризующих норматическое состояние ВНС, достаточно равномерно были представлены все выбранные для исследования поддиапазоны: 0,72-0,77сек, 0,78-0,83сек, 0,84-0,89сек.

Таблица 2 - Влияние вибрации амплитудой – более 0,015мм на показатели вариационной пульсограммы (N=106)

Мода интервала, сек	0,60–0,65	0,66–0,71	0,72-0,77	0,78-0,83	0,84-0,89	0,90-0,95
Число интервалов	3	10	66	15	5	7

В условиях действия на организм человека вибрации амплитудой более 0,015мм только в 13 случаях из 106 было зарегистрировано изменение моды интервалов до значений, характеризующих симпатотоническое состояние ВНС. Однако в диапазоне мод, характеризующих норматическое состояние ВНС, величина анализируемого показателя в большинстве опытов (в 66 из 93) принимала значения 0,72-0,77сек. Это указывало на изменение при действии вибрации распределения моды интервалов норматического состояния в сторону пограничных с симпатотоническими значениями величин.

Таблица 3 - Влияние внешнего электромагнитного поля напряжённостью более 0,5кВ/м на показатели вариационной пульсограммы (N=101)

Мода интервала, сек	0,60–0,65	0,66–0,71	0,72-0,77	0,78-0,83	0,84-0,89	0,90-0,95
Число интервалов	6	4	7	16	58	10

Менее существенное влияние на организм человека оказывало электромагнитное поле напряжённостью более 0,5кВ/м. Лишь в 10 опытах значения моды интервалов характеризовали симпатотоническое состояние ВНС, тогда как в диапазоне значений анализируемого параметра, отражающих норматическое состояние, большинство их находилось в среднем поддиапазоне (0,84-0,89сек).

Как видно из приведённых в табл. 1-3 экспериментальных данных, шумовой фактор оказывал наиболее значимое стресс – влияние. В таких условиях наблюдались чётко выраженные признаки симпатотонии.

Вибрация и внешнее электромагнитное поле оказывали меньшее влияние на вегетативный статус человека. Однако известно, что негативное влияние этих факторов носит кумулятивный характер. Возможно, для обнаружения с помощью предложенного метода более значимых изменений индивидуального вегетативного статуса человека при действии указанных факторов необходимо их более продолжительное экспозиционное воздействие, чем осуществлённое нами в исследованиях.

Таким образом, характерные для начальных стадий развития стресса изменения показателей вариационной пульсограммы позволяют использовать предложенный инструментальный метод в качестве мониторингового для прикладных задач изучения влияния экологических факторов внешней среды на индивидуальный психоэмоциональный профиль человека, в частности на его стресс-устойчивость.

Обобщённые потенциальные возможности использования предложенного метода представлены на рис. 2.

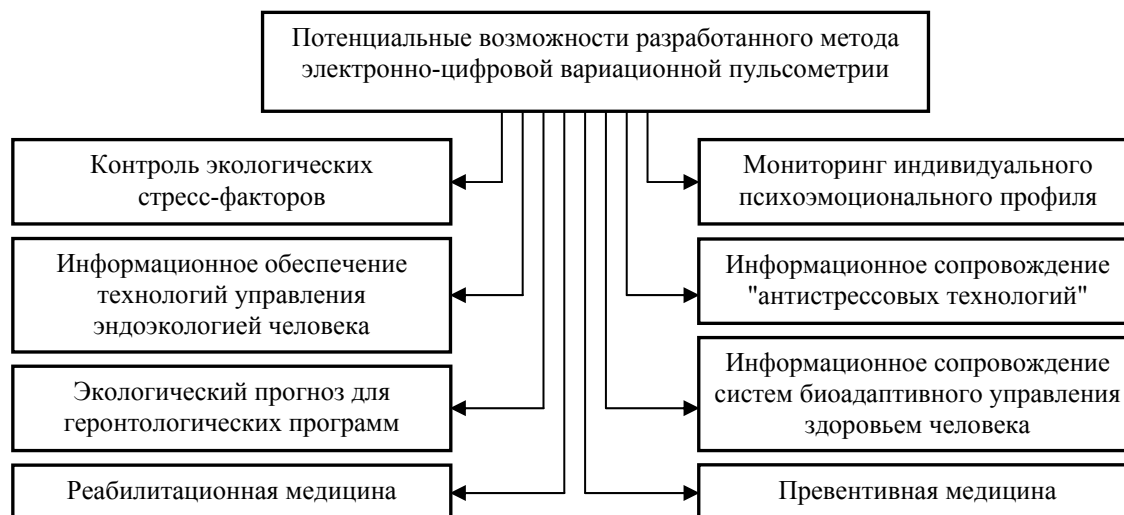


Рис. 2. Потенциальные возможности применения метода электронно-цифровой вариационной пульсометрии для контроля и оценки вегетативного статуса человека

## ВЫВОДЫ

1. Экспериментально подтверждён факт целесообразности использования разработанного метода электронно-цифровой вариационной пульсометрии для экспресс-оценки стрессорного влияния экологических факторов в системе "человек – жизненная среда".
2. Наиболее выраженные изменения показателей электронно-цифровой вариационной пульсометрии получены при действии на организм человека шума, уровень интенсивности которого составлял 70дБ.
3. Метод электронно-цифровой вариационной пульсометрии может быть положен в основу общедоступного мониторинга различных технологий коррекции психоэмоционального профиля и индивидуального вегетативного статуса человека, оптимизации систем биоадаптивной нейтрализации стресс-факторов в системах "человек - жизненная среда", "человек - окружающая среда", "человек – производственная среда".

## ЛИТЕРАТУРА

1. Неумывакин И.П., Неумывакина Л.С. Эндозкология здоровья. – СПб.: ДИЛЯ, 2001. – 544с.
2. Шапошникова В.И., Барабаш Н.А. Оцени своё здоровье сам. – СПб.: Питер, 2003. – 256с.
3. Тигранян Р.А. Стресс и его значение для организма. – М.: Наука, 1988. – 176с.
4. Рябькина Г.В., Соболев А.В. Вариабельность ритма сердца. – М.: Стар' Ко, 1998.- 200с.
5. Вегетативные расстройства: Клиника, лечение, диагностика /Под. ред. А.М. Вейна – М.: Мед. информац. агентство, 1998. – 732с.

## СКРЕЩИВАЕМОСТЬ МЕЖДУ НЕКОТОРЫМИ ГЕТЕРОСТИЛЬНЫМИ ВИДАМИ ЛЬНА

Лях В.А., д.б.н., профессор, \* Полякова И.А., к.б.н., ст. науч. сотрудник

*Запорожский государственный университет,  
\*Институт масличных культур УААН, г. Запорожье.*

Изучалась степень самофертильности у длинно- и короткостолбиковых форм гетеростильных видов льна *L. lewisii*, *L. narbonense* и *L. austriacum*, а также скрещиваемость между этими видами. Выявлена самостерильность как длинно-, так и короткостолбиковых форм у *L. narbonense* и частичная самофертильность таких же форм у одного из образцов *L. austriacum*. Результаты гибридизации между гетеростильными видами существенно зависели от особенностей форм, используемых в скрещивании. Получены гибриды между *L. austriacum* и *L. narbonense*, и между *L. narbonense* и *L. lewisii*.

*Ключевые слова: дикие виды льна, гетеростилия, самостерильность, самофертильность, скрещиваемость.*

Лях В.О., \*Полякова І.О. СХРЕЩУВАНІСТЬ МІЖ ДЕЯКИМИ ГЕТЕРОСТИЛЬНИМИ ВИДАМИ ЛЬОНУ / Запорізький державний університет, \*Інститут олійних культур УААН, Україна

Вивчався ступінь самофертильності в довго- та короткостовпчикових форм гетеростильних видів льону *L. lewisii*, *L. narbonense* та *L. austriacum*, а також схрещуваність між цими видами. Встановлена самостерильність як довго-, так і короткостовпчикових форм у *L. narbonense* та часткова самофертильність таких же форм в одного із зразків *L. austriacum*. Результати гібридизації між гетеростильними видами суттєво залежали від особливостей форм, які використовувались у схрещуваннях. Одержані гібриди між *L. austriacum* і *L. narbonense* та між *L. narbonense* і *L. lewisii*.

*Ключові слова: дикі види льону, гетеростилия, самостерильність, самофертильність, схрещуваність.*

Lyakh V.A., \*Polyakova I.A. CROSSING ABILITY BETWEEN SOME HETEROSTYLIC SPECIES OF FLAX / Zaporizhzhya State University, \*Institute of Oilseed Crops UAAS, Ukraine

The extent of self-fertility in long- and short-styled plants of heterostylic species of flax for *L. lewisii*, *L. narbonense* and *L. austriacum* as well as crossing ability between these species were studied. Self-sterility of both long- and short-styled plants in *L. narbonense* and partial self-fertility of the same plants in one of the samples of *L. austriacum* was established. The results of hybridization between heterostylic species depended essentially on the peculiarities of plants used in crosses. The hybrids between *L. austriacum* and *L. narbonense* and between *L. narbonense* and *L. lewisii* were obtained.

*Key words: wild species of flax, heterostyly, self-sterility, self-fertility, crossing ability.*

### ВВЕДЕНИЕ

Многие дикие виды льна (*Linum*) являются перекрестноопыляющимися растениями. Приспособления к перекрестному опылению у них различны. Одно из них - диморфная гетеростилия. Гетеростильные виды рода *Linum* имеют две формы цветков: длинностолбиковые на одних растениях и короткостолбиковые - на других. Пыльцевые зерна гетеростильных льнов, также как и гетеростильные представители других семейств, обладают диморфизмом. Но они различаются не по размеру, как у первоцвета, а по скульптуре эскины [1,2].

Впервые гетеростилия была замечена у льна многолетнего (*L. perenne*). Ч. Дарвин, детально изучавший гетеростильные виды из разных семейств, установил, что у льна многолетнего при опылении рылец и длинностолбиковых и короткостолбиковых форм пыльцой того же самого цветка семян не образуется, то есть эти формы являются самостерильными. Позднее этот вывод был подтвержден и на некоторых других видах льна [1].

В настоящее время утвердилось мнение, что самостерильность свойственна всем гетеростильным видам льна, хотя экспериментальных данных на этот счет крайне недостаточно. Вместе с тем у некоторых гетеростильных видов из других родов и семейств, как, например, у первоцветов, наблюдается частичная самосовместимость (самофертильность), когда небольшое количество семян все же завязывается при опылении цветков своей пыльцой [1]. Учитывая большой полиморфизм, присущий роду *Linum*, можно ожидать, что некоторые гетеростильные виды льна также обладают частичной самосовместимостью, подобной первоцвету.

Род *Linum* исключительно гетерогенен как по числу, так и по размерам хромосом и их строению. Поэтому гибридизация различных видов льна между собой затруднена и не всегда удается даже в пределах групп с равным числом хромосом. Иногда пыльцевые трубки не прорастают в тканях столбика других видов либо не достигают завязи. Описаны случаи, когда пыльцевые трубки нормально прорастают, растут, достигают завязи, и даже участвуют в оплодотворении, но при этом не происходит нормального развития зародыша и, как следствие, не образуется жизнеспособных семян. В ряде случаев,

как, например, при скрещивании *L. perenne* и *L. austriacum*, гибриды F<sub>1</sub> удалось получить лишь с помощью доращивания изолированных зародышей семян на питательной среде [2,3,4].

Известно, что у гетероморфных (гетеростильных) видов при опылении разных морф между собой наблюдается нормальное прорастание пыльцы и рост пыльцевых трубок, тогда как внутриморфное опыление ведет к ингибированию их роста [4]. Вполне возможно, что скрещивания между разными видами льна были бы более удачными, если бы принималась во внимание вышеупомянутая особенность.

В связи с вышеизложенным целью настоящей работы являлось выяснение степени самофертильности различных морф некоторых гетеростильных видов льна, а также скрещиваемости между видами с учетом разноморфности родительских компонентов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве материала использовали гетеростильные многолетние дикие виды льна *L. austriacum*, *L. lewisii* и *L. narbonense*, семена которых были получены из Всероссийского института растениеводства им. Н.И. Вавилова. Кроме этого в работу был включен образец *L. austriacum*, собранный в Запорожской области (*L. austriacum* Зап.). Виды *L. narbonense* и *L. austriacum* Зап. были представлены длинностолбиковой и короткостолбиковой формами, а *L. austriacum* из коллекции ВИР (*L. austriacum* ВИР) и *L. lewisii* - только длинностолбиковой формой.

Работу проводили в условиях фитотрона. Кастрацию осуществляли в фазу окрашенного конуса бутона. Опыление проводили свежесобранной пыльцой в день кастрации. Для выяснения степени самофертильности вышеуказанных видов проводили следующие варианты опыления: опыление длинностолбиковых и короткостолбиковых цветков собственной пыльцой, а также (при наличии обеих форм) переопыление длинно- и короткостолбиковых цветков между собой в обоих направлениях. Для определения скрещиваемости между видами опыления проводили с учетом длинностолбчатости или короткостолбчатости цветков.

Впоследствии учитывали количество завязавшихся коробочек и семян в них. Процент завязавшихся семян определяли как долю от теоретически возможных в образовавшихся 10-гнездных коробочках. Всхожесть семян определяли в чашках Петри при постоянной температуре 25°C в термостате.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как видно из данных таблицы 1, принудительное (в пределах цветка) самоопыление у длинностолбикового образца *L. austriacum* из коллекции ВИР и обеих форм *L. narbonense* не привело к успеху. И у *L. lewisii* получено лишь 3 % коробочек и всего одно семя, которое оказалось не всхожим. Лишь при самоопылении *L. austriacum* Зап. и длинностолбиковая и короткостолбиковая формы завязали около 10% коробочек, в которых содержались всхожие семена.

Таблица 1. – Степень самофертильности длинно- и короткостолбиковых форм у некоторых гетеростильных видов льна

Количество опылений	Получено коробочек		Получено семян		Всхожих семян	
	Количество	%	Количество	%	Количество	%
1. <i>L. austriacum</i> Зап., ♀ д.с. Ч ♂ к.с.						
40	26	65.0 ± 7.54	212	53.0 ± 3.42	203	95.7 ± 1.39
2. <i>L. austriacum</i> Зап., ♀ к.с. Ч ♂ д.с.						
30	13	43.0 ± 9.04	77	25.7 ± 4.98	73	94.8 ± 2.53
3. <i>L. austriacum</i> Зап., д.с.⊗						
30	4	13.3 ± 6.20	26	8.7 ± 4.90	15	57.7 ± 9.67
4. <i>L. austriacum</i> Зап., к.с.⊗						
37	4	10.8 ± 5.10	11	3.0 ± 5.14	11	100
5. <i>L. narbonense</i> , ♀ д.с. Ч ♂ к.с.						
11	5	45.5 ± 15.0	23	20.9 ± 8.48	21	91.3 ± 5.88
6. <i>L. narbonense</i> , ♀ к.с. Ч ♂ д.с.						
10	9	90.0 ± 9.49	35	35.0 ± 8.06	13	37.1 ± 8.17
7. <i>L. narbonense</i> , д.с.⊗						
30	0	0	0	0	0	0
8. <i>L. narbonense</i> , к.с.⊗						
38	0	0	0	0	0	0

9. <i>L. austriacum</i> ВИР, д.с.⊗						
179	0	0	0	0	0	0
10. <i>L. lewisii</i> , д.с.⊗						
130	4	3.1 ± 1.52	1	0.8 ± 8.91	0	0

Примечание: д.с. – длинностолбиковая форма; к.с. – короткостолбиковая форма.

Результаты опылений внутри изученных видов были более успешными при скрещивании между собой коротко- и длинностолбиковых форм как в прямом, так и в обратном направлениях. В этом случае и у *L. austriacum* Зап. и у *L. narbonense* завязывалось более 40 % коробочек, в которых формировалось до 35 % семян у *L. narbonense* и до 53 % - у *L. austriacum* Зап.

Полученные данные позволяют предположить, что не у всех гетеростильных видов льна длинно- и короткостолбиковые формы являются самостерильными. Вероятно, среди них имеются и частично самофертильные виды подобно *L. austriacum* Зап., у которого завязывались жизнеспособные семена при строгом (в пределах цветка) самоопылении как длинно-, так и короткостолбиковых форм.

Результаты гибридизации между дикими видами существенно зависели от особенности форм, используемых в скрещивании (табл. 2). Как в прямых, так и обратных скрещиваниях *L. austriacum* ВИР с *L. narbonense* и *L. lewisii* с *L. narbonense* лишь при использовании в одной комбинации короткой и длинностолбиковой форм наблюдали формирование жизнеспособных гибридных семян. При скрещивании длинностолбиковых родителей в данных гибридных комбинациях ни в одном случае не образовались не только семена, но и коробочки.

Скрещивания в пределах вида *L. austriacum* были более удачными, что, по-видимому, объясняется частичной самофертильностью одного из двух образцов. Гибриды между *L. austriacum* Зап. и *L. austriacum* ВИР были получены не только при использовании в скрещивании разных форм этих образцов, но и при скрещивании длинностолбиковых форм этих образцов. Лишь в случае использования длинностолбиковой формы *L. austriacum* ВИР в качестве материнского компонента гибридные семена не образовывались.

Таблица 2. – Скрещиваемость между некоторыми дикими видами льна с учетом гетеростилии

Количество опылений	Получено коробочек		Получено семян		Всхожих семян	
	Количество	%	Количество	%	Количество	%
1. <i>L. austriacum</i> Зап. Ч <i>L. austriacum</i> ВИР, ♀ д.с. Ч ♂ д.с.						
45	6	13.3 ± 5.06	20	4.4 ± 4.59	19	95.5 ± 1.03
2. <i>L. austriacum</i> Зап. Ч <i>L. austriacum</i> ВИР, ♀ к.с. Ч ♂ д.с.						
40	15	37.5 ± 2.42	88	22.0 ± 4.16	12	13.4 ± 1.70
3. <i>L. austriacum</i> ВИР Ч <i>L. austriacum</i> Зап., ♀ д.с. Ч ♂ к.с.						
23	9	39.1 ± 10.17	10	4.4 ± 6.49	10	100
4. <i>L. austriacum</i> ВИР Ч <i>L. austriacum</i> Зап., ♀ д.с. Ч ♂ д.с.						
22	0	0	0	0	0	0
5. <i>L. austriacum</i> ВИР Ч <i>L. narbonense</i> , ♀ д.с. Ч ♂ к.с.						
53	21	39.6 ± 6.72	132	24.9 ± 3.76	126	95.5 ± 0.90
6. <i>L. austriacum</i> ВИР Ч <i>L. narbonense</i> , ♀ д.с. Ч ♂ д.с.						
18	0	0	0	0	0	0
7. <i>L. narbonense</i> Ч <i>L. austriacum</i> ВИР, ♀ к.с. Ч ♂ д.с.						
9	3	33.3 ± 15.70	11	12.2 ± 9.87	11	100
8. <i>L. narbonense</i> Ч <i>L. austriacum</i> ВИР, ♀ д.с. Ч ♂ д.с.						
6	0	0	0	0	0	0
9. <i>L. narbonense</i> Ч <i>L. lewisii</i> , ♀ д.с. Ч ♂ д.с.						
5	1	20.0 ± 17.85	0	0	0	0
10. <i>L. narbonense</i> Ч <i>L. lewisii</i> , ♀ к.с. Ч ♂ д.с.						
8	2	25.0 ± 15.31	9	11.3 ± 10.55	2	22.2 ± 4.65
11. <i>L. lewisii</i> Ч <i>L. narbonense</i> , ♀ д.с. Ч ♂ к.с.						

74	4	5.4 ± 2.60	20	2.7 ± 3.62	19	95.0 ± 0.80
12. <i>L. lewisii</i> Ч <i>L. narbonense</i> , ♀ д.с. Ч ♂ д.с.						
4	0	0	0	0	0	0
13. <i>L. lewisii</i> Ч <i>L. austriacum</i> ВИР, ♀ д.с. Ч ♂ д.с.						
31	0	0	0	0	0	0
14. <i>L. austriacum</i> ВИР Ч <i>L. lewisii</i> , ♀ д.с. Ч ♂ д.с.						
46	0	0	0	0	0	0

Примечание: д.с. – длинностолбиковая форма; к.с. – короткостолбиковая форма.

Многолетние дикие виды льна *L. lewisii*, *L. austriacum* и *L. narbonense* входят в группу видов с  $n = 9$ . Лишь недавно последний вид стали относить к группе с  $n = 10$ . Несмотря на близость в количестве хромосом, получение гибридов между этими видами затруднено [2]. Вместе с тем полученные нами данные в некоторых случаях позволяют надеяться на результативность гибридизации между гетеростильными видами при учете формы родительских компонентов скрещивания.

### ВЫВОДЫ

1. Установлена самостерильность длинно- и короткостолбиковых форм у вида *L. narbonense* и частичная самофертильность таких же форм у образца *L. austriacum*, собранного в Запорожской области. Выявлена также самостерильность длинностолбиковых форм у видов *L. lewisii* и образца *L. austriacum* из коллекции ВИР.
2. Результаты гибридизации между гетеростильными дикими видами льна существенно зависели от особенности форм, используемых в скрещивании. Скрещивания были успешными, когда в них использовали разные формы видов, и неудачными при использовании только длинностолбиковых форм.
3. Получены гибриды между *L. austriacum* и *L. narbonense*, и между *L. narbonense* и *L. lewisii* в прямом и обратном направлениях.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Жизнь растений. – М.: Просвещение, 1981. – Т.5 (2). – С. 113 – 274.
2. Кутузова С.Н. Генетика льна // Генетика культурных растений. – Санкт-Петербург, 1998. – С. 6 – 52.
3. Рыжеева О.И. Селекция льна масличного: дис. ... Докт. с.-х. наук. - Краснодар, 1968. – 327с.
4. Ghosh Sunanda, Shivanna K.R. Interspecific incompatibility in *Linum* // Phytomorphology. - 1984. – 34, N 1-4. – P. 128-135.

УДК 582.26

## ГРУНТОВІ ВОДОРСТІ АЗОВСЬКОГО ЛІСОВОГО МАСИВУ (ДОНЕЦЬКА ОБЛАСТЬ, УКРАЇНА)

Мальцева І.А., к.б.н., доцент

*Мелітопольський державний педагогічний університет*

Вивчали водорості ґрунтів дубового і ясеневих насаджень Азовського лісового масиву. Встановлені видовий склад, систематична структура, домінуючі види, вертикальний розподіл кількості видів і клітин водоростей. Показано, що на якісні і кількісні показники альгоугруповань значно впливає світлова структура насаджень. Серед насаджень тіньової структури переважають зелені водорості, вони складають основу комплексу домінуючих видів. Напівосвітлена структура ясеневих насаджень сприяла більш інтенсивному розвитку синьо-зелених водоростей, які склали більшість із домінуючих видів.

*Ключові слова:* ґрунтові водорості, альгоугруповання, лісові насадження, світлова структура насаджень.

Мальцева И.А. ПОЧВЕННЫЕ ВОДОРΟΣЛИ АЗОВСКОГО ЛЕСНОГО МАССИВА (ДОНЕЦКАЯ ОБЛАСТЬ, УКРАИНА) / Мелітопольський державний педагогічний університет, Україна  
Изучали водоросли почв дубового и ясеневых насаждений Азовского лесного массива. Установлены видовой состав, систематическая структура, доминирующие виды, вертикальное распределение

количества видов и клеток водорослей. Показано, что на качественные и количественные показатели альгогруппировок оказывает значительное влияние световая структура насаждений. Среди насаждений теневой структуры преобладают зеленые водоросли, они составляют основу комплекса доминирующих видов. Полуосветленная структура ясеневых насаждений способствовала более интенсивному развитию синезеленых водорослей, которые составляли большинство из доминирующих видов.

*Ключевые слова:* почвенные водоросли, альгогруппировка, лесные насаждения, световая структура насаждений.

Maltseva I.A. SOIL ALGAE OF THE AZOV FORESTRY (DONETSC REGION, UKRAINE) / Melitopol State Pedagogical University, Ukraine

The soil algae of oak and ashen plantations of Azov forest were studied. The species composition, taxonomic structure, dominating species, vertical disposition of quantity of the soil profile species and cells of algae were determined. It was figured out light structure of plantations influenced qualitative and quantitative indices of algogrouping are show. The green algae in plantation of shady structure are prevailing and then are the basis of complex of dominating species. Semi light structure of ashen plantations provides intensive development of blue-green algae, majority of them are dominating species.

*Key words:* soil algae, algogrouping, forest plantations, light structure of plantations.

Ґрунтові водорості лісових фітоценозів різних фізико-географічних зон України вивчені нерівномірно. Найбільша кількість відомостей є для Лісостепу і Українського Полісся [1]. Ґрунтова альгофлора природних і штучних лісів степової зони України залишається мало дослідженою. Вивчення ґрунтових водоростей степових лісів розпочате З.С. Гаухман [2-4] і продовжене пізніше С.П. Черевко [5-16]. Більша частина наведених робіт присвячена ґрунтовим водоростям лісових масивів Присамарського біогеоценологічного стаціонара (Дніпропетровська обл.) і частково Старо-Бердянського і Алтагирського (Запорізька обл.). Окремі відомості про синьозелені водорості лісових фітоценозів степової зони України є в монографії Л.П. Приходькової [17]. Ґрунтові водорості лісових фітоценозів Донецької області не досліджені. До теперішнього часу відомо про знаходження в лісозмузі 2 видів водоростей: *Phormidium autumnale* (Ag.) Gom. і *Microcoleus vaginatus* (Vauch.) Gom. [17].

Метою нашої роботи було вивчення видового складу, систематичної і екологічної структури, показників чисельності угруповань ґрунтових водоростей різних деревних насаджень Азовського лісового масиву. Робота проводилась у рамках наукового проекту № 06.07/190 "Теоретичні принципи управління лісовими біогеоценозами в степу в режимі збереження та відновлення їх біорізноманіття, активного використання з метою перетворюючого впливу на степове середовище в природних еталонних та деструктивних умовах" Державного фонду фундаментальних досліджень.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Нами в період 1997, 2000-2001рр. вивчалися альгогруповання різних за типом світлової структури насаджень (дубового і ясеневих) Азовського лісового масиву, розташованого на південних схилах Приазовської височини. Приазовська височина розчленована багатьма долинами, балками, глибина яких поступово зменшується в напрямку до узбережжя моря, де простягається плоска рівнина Приазовської низовини. У минулому тут, на чорноземах звичайних малогумусних, які в низовинній частині заміщаються приазовськими, панували різнотравно-типчакково-ковиліві степи, основу рослинного покриву яких складали злаки, а також досить різноманітні бобові та різнотрав'я. Формування рослинності відбувалось у посушливих кліматичних умовах. Кількість опадів становить 425-450 мм на рік [18]. Лісова рослинність природного походження зустрічається лише по балках та долинах річок. Із 1843 року на півдні Донецької області В.С. Граффом були розпочаті, а згодом продовжені Л.Г. Барком перші дослідження по залісенню степу. У ці роки були закладені Велико-Анадольський, а згодом у 1876 р. і Азовський лісовий масив біля с. Володарське в 18 км від м. Маріуполя, який зараз має площу 1574 га. Це самий південний форпост лісового розведення в області.

Зразки ґрунту для дослідження альгофлори були відібрані в найстарішому дубовому насажденні тіньової структури, де збереглися вікові екземпляри і в ясеневому напівосвітленому, відновленому в післявоєнні роки. Проби відбирались із підстилки, а також із ґрунту пошарово до глибини 150 см спеціальним буром. Кожна проба складалась із 5-10 індивідуальних зразків площею 25 см<sup>2</sup>. Для визначення видового складу водоростевих угруповань використовували культуральні методи. Видову належність синьозелених, частини евстигматофітових, зелених і жовтозелених водоростей, а також після відповідної обробки [19] діатомових водоростей встановлювали за допомогою ґрунтових культур із скельцями обростання. На основі цих культур, які вважаються найбільш наближеними до природних умов [20], визначали домінуючі. Для водоростей, визначення яких можливе тільки при детальному дослідженні життєвого циклу, використовували культури на агаризованому середовищі Брістоль у модифікації М.М. Голлербаха і Болда з нормальною і потроєною кількістю азоту (1N BBM, 3N BBM) [20, 21]. У роботі використана система класифікації діатомових водоростей Ф. Раунда, Р. Крауворда, Д. Манна [22], з доповненнями Л.М. Бухтиярової [23]. *Cyanophyta* представлені по системі, наведеній у монографії «Водоросли. Справочник» [24]. Для розподілу *Chlorophyta*, *Xanthophyta* та *Eustigmatophyta* використовували систему вищих таксонів Х. Еттла і Г. Гертнера в "Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtalgen" [25].

Визначення кількості клітин водоростей проводили методом прямого рахунку [20]. Враховували окремо клітини синьозелених, діатомових і зелених разом із жовтозеленими і евстигматофітовими. Усі розрахунки кількості клітин проводились на абсолютно сухий ґрунт (підстилку) для отримання порівнювальних результатів [20]. Відбір проб ґрунту для кількісного аналізу проводився 12 квітня і 14 жовтня 2000 р. і 5 жовтня 2001 р. Польова вологість ґрунту різних горизонтів коливалась від 7,9 до 28,2%, підстилки від 4,7 до 14,6%.

## РЕЗУЛЬТАТИ І ОБГОВОРЕННЯ

Усього в ґрунтах Азовського лісового масиву нами знайдено 66 видів водоростей із 5 відділів: *Cyanophyta* – 11 (16,7%), *Eustigmatophyta* – 2 (3,0%), *Xanthophyta* – 14 (21,2%), *Bacillariophyta* – 3 (4,5%), *Chlorophyta* – 36 (54,6%). Найбільш різноманітно представлені зелені водорості, які складають більш половини знайдених видів. Друге і третє місця займають жовтозелені і синьозелені водорості відповідно. Видове різноманіття діатомових і евстигматофітових незначне. Систематичну структуру списку визначають 9 родин (табл. 1). Найрізноманітніші види *Chlorococcaceae* та *Pleurochloridaceae*. Особливістю родової структури альгофлори лісових насаджень є висока видова різноманітність *Chlamydomonas* Ehr., *Monodus* Chod., *Nostoc* Adanson, *Phormidium* Kutz (по 4 види), *Chlorella* Beijer., *Stichococcus* Nag., *Chlorococcum* Menegh., *Ellipsoidion* Pasch., *Plectonema* Thur. (по 3).

У ґрунті дубового насаджень, яке має тінюву структуру, знайдено 50 видів водоростей: *Cyanophyta* – 7 (14%), *Eustigmatophyta* – 2 (4%), *Xanthophyta* – 11 (22%), *Bacillariophyta* – 1 (2%), *Chlorophyta* – 29 (58%). З зелених найбільш різноманітно представлені *Chlorococcaceae*, *Klebsormidiaceae* (по 6 видів), *Chlorellaceae* (5), *Chlamydomonadaceae* (3), із жовтозелених - *Pleurochloridaceae* (6), із синьозелених - *Nostocaceae* (3). Відмінною особливістю флористичного складу альгоугруповання дубового насаджень є повна відсутність видів *Oscillatoriaceae* і відносно висока різноманітність вологолюбивих і тінювитривалих видів з *Chlorophyta* і *Xanthophyta*. Не характерні для цього альгоугруповання діатомові водорості. Був знайдений лише один вид - *Hantzschia amphioxys* (Ehr.) Grunow in Cleve et Grunow в горизонті ґрунту 30-60см.

Таблиця 1 - Провідні родини ґрунтової альгофлори Азовського лісового масиву

Родини	Число видів, од. (%)		
	Дубове насадження	Ясеневе насадження	Разом
<i>Chlorococcaceae</i>	6 (12,0)	3 (7,7)	8 (12,1)
<i>Pleurochloridaceae</i>	6 (12,0)	4 (10,3)	8 (12,1)
<i>Klebsormidiaceae</i>	6 (12,0)	3 (7,7)	6 (9,1)
<i>Chlorellaceae</i>	5 (10,0)	3 (7,7)	5 (7,6)
<i>Chlamydomonadaceae</i>	3 (6,0)	-	5 (7,6)
<i>Nostocaceae</i>	3 (6,0)	4 (10,3)	4 (6,1)
<i>Oscillatoriaceae</i>	-	4 (10,3)	4 (6,1)
<i>Neochloridaceae</i>	-	3 (7,7)	4 (6,1)
<i>Plectonemataceae</i>	-	3 (7,7)	3 (4,4)
Усього видів у провідних родин	29 (58,0)	27 (69,4)	47 (71,2)

Примітка: для родин, які не увійшли до провідних, число видів не вказано.

Видове різноманіття альгоугруповання ясенєвого насадження менше – 39 видів: *Cyanophyta* – 11 (28,2%), *Eustigmatophyta* – 1 (2,6%), *Xanthophyta* – 7 (17,9%), *Bacillariophyta* – 3 (7,7%), *Chlorophyta* – 17 (43,6%). Порядок розташування провідних за кількістю видів родин істотно відрізняється від встановленого для альгоугруповання дубового насадження (табл. 1). Напівосвітлена світлова структура насадження сприяє розвитку світлолюбивих видів із родини *Oscillatoriaceae*. Одночасно спостерігається скорочення видового різноманіття вологолюбних представників *Klebsormidiaceae* і *Chlamydomonadaceae*.

Альгоугруповання дубового і ясенєвого насаджень відрізняються складом домінуючих видів. Комплекс домінуючих у дубовому насажденні сформований видами: *Spongiochloris* sp., *Chlorococcum minutum* Starr, *Tetracystis aggregata* Brown et Bold, *Choricystis minor* (Skuja) Fott, *Neospongiococcum* sp., *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) Hibberd. В ясеневому насажденні домінували: *Phormidium autumnale*, *Plectonema notatum* Schmidle, *Chlorella vulgaris* Beijer., *Hantzschia amphioxys*, *Luticola mutica* (Kutz.) Mann in Round et al., *Nostoc punctiforme* (Kutz.) Hariot, *N. paludosum* Kutz. Спільними домінуваннями були: *Stichococcus minor* Nag., *Klebsormidium flaccidum* (Kutz.) Silva, Mattox et Blackwell.

Водорості переважно фототрофні організми і, як правило, інтенсивно розвиваються в поверхневому горизонті ґрунту [20]. Іноді, залежно від вологості ґрунту, наявності рослинного опаду, перерозподілу солей максимум водоростей спостерігається не на самій поверхні, а дещо глибше, але в межах кількох сантиметрів [20]. Із глибиною зменшується не тільки кількість видів, що розвивається в культурах, але й кількість клітин, які встановлюються підрахунком [20]. Зниження різноманіття і кількості клітин

водоростей із глибиною відмічена нами і в ґрунтах досліджених насаджень (табл. 2, 3). Проте на максимальній глибині (120-150 см) знайдена достатньо велика кількість видів у порівнянні з даними, наведеними Т.І. Алексахіною і Е.А. Штиной [26] для різних типів лісу на сильнопідзолистих, дерново-середньо- і слабопідзолистих, темно-сірих лісових ґрунтах, де на глибині 120-150 см фіксувався один вид, або, взагалі, починаючи з глибини 70–115 см культуральними методами водорості не виявлялись. Нами в дубовому насадженні найбільше різноманіття видів зафіксовано в горизонті 0-5 см. У підстилці відмічена дещо менша кількість видів. Деяке збільшення видового різноманіття встановлено на глибині 15-30 см, цей же горизонт характеризувався найбільшими показниками польової вологості ґрунту (22,9-28,2%) в порівнянні з іншими. На глибині 30-60 см був відмічений єдиний представник діатомових водоростей - *Hantzschia amphioxys*, а на глибині 120-150 см єдиний представник кон'югатів - *Cylindrocystis brebissonii* Menegh. В ясеневому насадженні найбільш різноманітні види водоростей в підстилці. Це передусім зелені, а також синьозелені водорості, розвитку яких сприяла значна кількість світла, що потрапляє під полог ясеневому насадженню.

Таблиця 2 - Розподіл водоростей в ґрунтового профілі

Насадження	Горизонт, см	Число видів					Разом
		<i>Cyanophyta</i>	<i>Eustigmatophyta</i>	<i>Xanthophyta</i>	<i>Bacillariophyta</i> <sup>a</sup>	<i>Chlorophyta</i>	
Дубове	Підстилка	4	2	3	-	13	17
	0-5	5	1	5	-	11	22
	5-10	1	-	1	-	12	14
	10-15	2	-	2	-	9	13
	15-30	3	1	3	-	9	16
	30-60	1	-	1	1	5	8
	60-90	-	-	4	-	6	10
	90-120	1	-	1	-	4	6
Ясеневе	120-150	-	-	2	-	9	11
	Підстилка	9	1	4	3	12	29
	0-5	6	-	2	2	8	18
	5-10	6	-	3	1	6	16
	10-15	4	-	2	1	3	10

Методом прямого підрахунку кількості клітин водоростей встановлено, що переважають зелені разом із жовтозеленими і евстигматофітовими (табл. 3). Синьозелені і діатомові зафіксовані тільки в окремих випадках і більш властиві ясеневому насадженню. У цілому чисельність водоростей у ґрунтах досліджених насаджень невелика. У підстилці вона не підіймається вище 14,4 тис. клітин на 1 г, а у ґрунті не перевищує 15,2 тис. на 1 г (табл. 3).

Таблиця 3 - Кількість клітин водоростей (тис. на 1 г абсолютно сухого ґрунту (підстилки)) у дубовому та ясеневому насадженнях Азовського лісового масиву

Насадження	Горизонт, см	Польова вологість, %	Кількість клітин (тис./1 г)			
			Синьозелені	Зелені і жовтозелені разом із евстигматофітовими	Діатомові	Разом
Дубове	Підстилка	4,7-14,6	0-3,1	3,1-9,3	-	3,1-9,3
	0-5	12,0-17,5	-	7,6-15,2	-	7,6-15,2
	5-10	11,7-18,8	-	0-9,3	-	0-9,3
	10-15	9,8-12,3	-	0-11,6	-	0-11,6
	15-30	22,9-28,2	0-6,2	0-3,1	-	0-6,2
	30-60	18,6-26,4	-	-	0-2,9	0-2,9
	60-90	8,3-10,5	-	-	-	-
	90-120	9,4-10,1	-	-	-	-
Ясеневе	120-150	10,2-12,3	-	0-3,1-	-	0-3,1
	Підстилка	4,9-5,9	3,6-7,2	3,6-7,2	0-3,6	7,2-14,4
	0-5	7,5-8,5	0-3,2	0-6,4	-	0-9,6
	5-10	15,4-21,2	-	0-10,8	0-3,6	0-10,8
	10-15	8,2-10,5	-	0-3,6	-	0-3,6

Таким чином, для альгоугруповань деревних насаджень Азовського лісового масиву характерно переважання у видовому та кількісному відношенні зелених водоростей, що є типовим для лісових фітоценозів більш північних фізико-географічних зон [26]. Специфічною ознакою систематичної структури є відносно більший ступінь участі синьозелених водоростей у порівнянні з ґрунтовою альгофлорою лісових фітоценозів Полісся і Лісостепу.

На якісні і кількісні показники альгоугруповань значно впливає світлова структура насаджень. Роль синьозелених водоростей, які є найбільш різноманітно представленими в степових фітоценозах [20], збільшується в насадженнях напівосвітленої структури. Отримані дані підтверджують той факт, що лісова рослинність є міцним середоперетворюючим фактором у степових умовах і разом із ґрунтовими умовами справляє вирішальний вплив на формування водоростевих угруповань в ґрунтах під лісовими фітоценозами в степу.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори) / Костіков І.Ю., Романенко П.О., Демченко Е.М., Дарієнко Т.М., Михайлюк Т.І., Рибчинський О.В., Солоненко А.М.– К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 300с.
2. Гаухман З.С. Некоторые данные о почвенных водорослях Кочережского лесничества // Вопросы степного лесоведения и охраны природы: Тр. комплекс. экспед. ДДУ. – 1968. – Вып.1. – С.70-76.
3. Альбицкая М.А., Гаухман З.С., Долгова Л.Г., Мороз О.Б. К характеристике фитомассы подземных органов трав и микроадафона белоакациевых насаждений Присамарья // Вопросы степного лесоведения и охраны природы: Тр. комплекс. экспед. ДДУ. – 1973. – Вып.4. – С.53-67.
4. Альбицкая М.А., Гаухман З.С., Долгова Л.Г., Дубина А.А., Травлеев Л.П. Материалы к микроструктуре ольшанника (Присамарье) // Вопросы степного лесоведения и охраны природы: Тр. комплекс. экспед. ДДУ. – 1975. – Вып.5. – С.86-99.
5. Черевко С.П. К состоянию альгофлоры почв как компонента лесного биогеоценоза Присамарья // Кадастровые исследования степных биогеоценозов Присамарья Днепропетровского, их антропогенная динамика и охрана. Межвуз. сборн. научн. тр. – ДГУ, 1991. – С.207-213.
6. Черевко С.П. Почвенные водоросли в подстилке основных лесных биогеоценозов Присамарья // Биомониторинг лесных экосистем степной зоны. Межвуз. сборн. научн. тр. – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1992. – С.142-146.
7. Черевко С.П. Альгофлора почв как элемент лесного биогеоценоза в степи // Промышленная ботаника: состояние и перспективы развития. Тез. докл. междунар. научн. конф. (май 1993г., Кривой Рог). – Донецк, 1993. – С.197-198.
8. Черевко С.П. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов подзоны настоящих степей Украины // Альгология. – 1993. – 3, №2. – С.49-52.
9. Черевко С.П. Почвенные водоросли Старо-Бердянского леса (Запорожская обл., Украина) // Альгология. – 1996. – 6, №3. – С.265-271
10. Черевко С.П. Почвенные водоросли искусственных лесных насаждений Приазовья и их индикационная роль // Питання біоіндикації і екології. Тези міжнар. конф. (21-24 вересня 1998р., Запоріжжя). – Запоріжжя, 1998. – С.39.
11. Черевко С.П. Водоросли почв под древесной растительностью в степной зоне Украины // Альгология. – 1999. – 9, №2. – С.155.
12. Черевко С.П. Ґрунтові водорості Алтагирського лісу (Україна, Запорізька обл.) // Проблеми сучасної екології: Тез. докл. міжнар. конф. – Запоріжжя, 2002. – С.58.
13. Черевко С.П., Мальцева И.А. Значение почвенных водорослей при кадастровой оценке степных лесов // Лесная типология в кадастровой оценке лесных ресурсов: Материалы Всесоюзн. конф. (21-25 октября 1991г., Днепропетровск). – Днепропетровск: Изд-во ДГУ, 1991. – С.150-151.
14. Черевко С.П., Мальцева И.А. Ґрунтові водорості рекультивованих земель Присамар'я Дніпровського (Україна) // Укр. ботан. журн. – 1994. – 51, №2-3. – С.144-148.
15. Черевко С.П., Мальцева И.А. Состояние почвенных водорослей в естественных и искусственных древесных насаждениях // Охрана генофонду растений в Украине. Тези допов. наук.конф. (травень 1994р., Кривий Ріг). – Кривий Ріг, 1994. - С.102.
16. Черевко С.П., Мальцева И.А. Водоросли почв лесных биогеоценозов Присамарья Днепропетровского и древесных насаждений Западного Донбасса // Мониторинговые исследования

- биогеоценологических катен степной зоны. Межвузовский сборник научных трудов. – Днепропетровск, 1995. – С. 67-74.
17. Приходькова Л.П. Синезеленые водоросли почв степной зоны Украины. – Киев: Наук. думка, 1992. – 218с.
  18. Фізична географія Української РСР / Маринич О.М., Ланько А.І., Щербань М.І., Шищенко П.Г. / Під ред. Маринича О.М. – К.: Вища школа, 1982. – 208с.
  19. Топачевский А.В., Масюк Н.П. Пресноводные водоросли Украинской ССР. - К.: Вища школа, 1984. - 334 с.
  20. Голлербах М.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. – Л.: Наука, 1969. – 143с.
  21. Arce G., Bold H.C. Some Chlorophyceae from cuban soils // Amer. J. Bot. - 1958. - 45. - P.492-503.
  22. Round F.E., Crawford R.M., Mann D.G. The Diatoms. Biology & Morphology of the Genera. – Cambridge: Cambridge Univ. Pres, 1990. – 747 p.
  23. Bukhtiyarova L. Diatoms of Ukraine. Inland waters. – Kyiv: Nat. Acad. Sci. Ukr., 1999. – 133 p.
  24. Водоросли: Справочник / Вассер С.П., Кондратьева Н.В., Масюк Н.П., Паламарь-Мордвинцева Г.М., Ветрова З.И. и др. / Под ред. С.П. Вассера. - К.: Наук. думка, 1989. – 606с.
  25. Ettl H., Gartner G. Syllabus der Boden-, Luft und Flechtenalgen. – Stuttgart-Jena-New York: G. Fischer, 1995. – 721 s.
  26. Алексахина Т.И., Штина Э.А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. – М.: Наука, 1984. – 150с.

УДК 612.08:591.182

## **МОДУЛЯЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОМІОГРАМИ ЩУРІВ ЗА УМОВ ЗООКОНФЛІКТНОЇ СИТУАЦІЇ ТА ЗАСТОСУВАННЯ НІФЕДИПІНУ**

Мельнікова О. З., к.б.н., ст. викладач, \*Ляшенко В. П., к.б.н., доцент

*Запорізький державний медичний університет,  
\*Дніпропетровський національний університет,*

У результаті роботи було виявлено, що тривала зооконфліктна ситуація призводила до суттєвих змін амплітудно-частотних характеристик ЕМГ щурів і модуляції нейроміогенних зв'язків. Це проявлялось у збільшенні амплітуди і потужності хвиль ЕМГ та показника peak ratio. Застосування на цьому фоні ніфедипіну коректувало означені показники ЕМГ майже до значень тварин контрольної групи.

*Ключові слова: електроміограма, амплітуда, потужність хвиль, ніфедипін.*

Мельникова О.З., \*Ляшенко В.П. МОДУЛЯЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМИОГРАММЫ КРЫС В УСЛОВИЯХ ЗООКОНФЛИКТНОЙ СИТУАЦИИ И ПРИМЕНЕНИЯ НИФЕДИПИНА / Запорожский государственный медицинский университет, \*Днепропетровский национальный университет, Украина  
В результате работы было выявлено, что длительная зооконфликтная ситуация приводила к существенным изменениям амплитудно-частотных характеристик ЭМГ крыс и модуляции нейромиогенных связей. Это проявлялось в увеличении амплитуды и мощности волн ЭМГ и показателя peak ratio. Применение на этом фоне нифедипина корректировало указанные показатели ЭМГ практически до значений животных контрольной группы.

*Ключевые слова: электромиограмма, амплитуда, мощность волн, нифедипин.*

Melnikova O.Z., \*Lyashenko V.P. MODULATION THE PARAMETERS OF ELECTROMYOGRAM RATS IN CONDITION ZOOCONFLICTNY SITUATION AND APPLICATION BY NIFEDIPINUM / Zaporizhzhya medical University, \*Dnepropetrovskiy national university, Ukraine

As a result of work was revealed that long-lived zooconflictny situation brought about essential changes the amplitude -frequency features of EMG rats and inflexions the neuro- myogenetic connections. This revealed itself in increase the amplitude and capacities of the waves EMG and factor peak ratio. The application on this background of Nifedipincorrected the indicated parameters EMG practically up to values of animal monitoring group.

*Key words: electromyography, amplitude, capacities of the waves, Nifedipinum.*

## ВСТУП

Добре відомо, що навіть у стані відносного фізіологічного спокою м'язи проявляють незначну електричну активність, пов'язану з асинхронним напруженням невеликої кількості тонічних рухових одиниць. Оскільки вказана активність має нейрогенну природу, то вона може змінюватись за будь-яких умов [1, 2, 3]. Тому електроміографічне дослідження може дати характеристику розвитку не тільки нервово-м'язових, а й сомато-вісцеральних порушень. Однак вивчення цього питання тепер проводиться досить рідко, оскільки потребує розкриття та аналізу цілого комплексу взаємозалежних механізмів.

Особливу роль у нейроендокринній модуляції і в реалізації тонічного м'язового напруження відіграють іони кальцію [4, 5]. Застосування препаратів, що певним чином торкаються підтримання кальцієвого гомеостазу, може надати цінну інформацію стосовно механізмів змін ЕМГ активності в тих або інших умовах.

Метою нашої роботи було дослідження модуляції параметрів ЕМГ щурів за умов зооконфліктної ситуації та з'ясування за допомогою ніфедипіну, який використовують як блокатор потенціалзалежних кальцієвих каналів L-типу в клітинах збудливих тканин, механізмів такої модуляції.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Досліди були проведені на безпородних білих щурах-самцях, вага яких на початок експерименту становила 125-140 г. Усі експерименти були проведені відповідно до існуючих міжнародних вимог і норм гуманного ставлення до тварин.

Протягом всього експерименту, який тривав 21 тиждень, дослідження проводили в один і той же час зранку, натще, паралельно в трьох групах тварин.

У першу групу ввійшли контрольні тварини (n=58). Друга група (n=76) складалась зі щурів, яким утворювали зооконфліктну ситуацію шляхом обмеження життєвого простору до 80-100 см<sup>3</sup> на одну тварину. Одночасно з цим ці тварини, поряд зі звичайним раціоном харчування як зумовлюючий фактор отримували кухонну сіль із розрахунку 2 г на кг маси тіла. Тварини третьої групи (n=38) на фоні моделювання зооконфліктної ситуації отримували ніфедипін 2 мг/кг/добу [4, 5], який є похідним дигідропіридину і блокує потенціалзалежні кальцієві канали L-типу.

У тварин усіх груп реєстрували локальну ЕМГ за допомогою біполярних гольчатих електродів [1]. Відведення ЕМГ проводили з м. biceps femoris за допомогою поліграфа Пбч-01 (Україна). Епоха реєстрації складала 60с. Тестування кожної тварини проводилось три рази. Запам'ятовування, зберігання та подальша обробка результатів експериментальних досліджень проводилась на ЕОМ за допомогою програми "Eksperiment" (Інститут фізіології ім. О. О. Богомольця, м. Київ) та "Mathcad 2000".

За допомогою програмного забезпечення в усіх записах ЕМГ аналізували середню амплітуду (мкВ) [6]; потужність хвиль ЕМГ (мкВ<sup>2</sup>); кількість турнів на відрізках ЕМГ тривалістю 1с і максимальне відношення кількості турнів ЕМГ до середньої амплітуди за 1с (peak ratio) [2]. Під турном мали на увазі коливання потенціалу ЕМГ з амплітудою більше 100мкВ [3].

Значення peak ratio, яке відображає співвідношення кількості активних мотонейронів і функціонуючих м'язових волокон, використовували для з'ясування генезу порушень функції рухового апарату. При нейрогенних порушеннях функції рухового апарату відзначається зменшення величини peak ratio і перехід його в область менших значень середньої амплітуди ЕМГ. При міогенних порушеннях функції рухового апарату реєструються протилежні зміни - збільшення peak ratio і зсув його значень в область більших значень середньої амплітуди ЕМГ. Така ситуація спостерігається в результаті відносної переваги кількості турнів над середньою амплітудою [2].

Статистичну обробку по тваринах усіх груп проводили за допомогою програми Origin 6.0 Professional. Розраховували середню арифметичну та її помилку для кожної експериментальної групи по тижнях. Достовірність різниць між двома середніми величинами визначали за t-критерієм Стьюдента [7].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Аналізуючи дані, що отримані нами в попередніх дослідженнях [8, 9], ми дійшли висновку, що певні тижні експерименту характеризувались найбільш суттєвими змінами показників, що вивчались у роботі. Такими тижнями були: 3-й тиждень як перша точка змін з початку експерименту; 15-й тиждень як "переломний" у формуванні і протіканні всіх явищ, що викликані зооконфліктною ситуацією, і формуванні адаптаційно-трофічної реакції, та 21-й тиждень - заключний у дослідженнях.

Вказані тижні були обрані нами для аналізу електроміографічних показників (табл. 1).

Таблиця 1 - Електроміографічні показники *m. biceps femoris* тварин досліджуваних груп ( $M \pm m$ ,  $N=97$ ).

Групи	Середня амплітуда ЕМГ, <i>мкВ</i>			Peak ratio		
	Тижні дослідження			Тижні дослідження		
	3	15	21	3	15	21
1	186,62±7,19	190,73±4,15	180,90±3,47	0,82±0,01	0,86±0,03	0,84±0,020
2	191,00±4,13	366,95±15,61*	196,66±5,03*	0,83±0,02	0,95±0,03*	0,89±0,020*
3	175,73±5,14	181,20±4,10***	189,23±4,17*	0,77±0,02***	0,82±0,020**	0,88±0,020

Примітки:

\* - достовірні зміни по відношенню до значень групи 1;

\*\* - достовірні зміни по відношенню до значень групи 2.

У тварин контрольної групи середня амплітуда хвиль ЕМГ протягом усього часу експерименту не мала достовірної різниці по тижнях експерименту. Така сама картина у тварин цієї групи спостерігалась і при дослідженні максимального відношення кількості турнів ЕМГ до середньої амплітуди хвиль за 1с.

За умов моделювання зооконфліктної ситуації (тварини другої групи) середня амплітуда хвиль ЕМГ зростала в порівнянні з даними тварин першої, контрольної групи. Особливо яскравим у цьому відношенні був 15-й тиждень від початку моделювання: в цей час середня амплітуда хвиль ЕМГ становила  $366,95 \pm 15,61 \text{ мкВ}$  і була майже в 2 рази вища за показники тварин контрольної групи ( $p < 0,05$ ).

Показник peak ratio змінювався аналогічним чином: він був вищий за значення тварин контрольної групи. Достовірне збільшення цього показника на 15-му і 21-му тижнях від початку експерименту та одночасне підвищення середньої амплітуди ЕМГ у тварин другої групи може свідчити про активне включення у формування тонічної ЕМГ певної кількості функціонуючих м'язових волокон [1-3].

На 3-ий тиждень від початку експерименту у тварин третьої групи, які на фоні зооконфліктної ситуації приймали ніфедипін, не спостерігалось достовірної різниці середньої амплітуди ЕМГ в порівнянні з першою і другою групами. Така різниця між цими групами існувала на 15-му тижні досліджень, коли цей показник у тварин 3-ої групи був нижчим за значення тварин першої і другої групи. На 21-ому тижні динаміка змінювалась: показник середньої амплітуди ЕМГ у тварин цієї групі дорівнював  $189,23 \pm 4,17 \text{ мкВ}$ , що нижче за значення тварин 2 групи і достовірно вище - тварин 1 групи.

Аналіз максимального відношення кількості турнів ЕМГ до середньої амплітуди ЕМГ за 1с показав, що цей показник у тварин, які на фоні стресу приймали ніфедипін, зростав протягом всього часу експерименту. Порівнюючи ці зміни значення peak ratio з відповідними значеннями тварин 1 і 2 груп, можна відмітити, що вони були аналогічні змінам середньої амплітуди, але достовірних значень набували лише на 3-му і 15-му тижнях від початку дослідження.

Враховуючи вищевикладене, аналіз нейроміогенних зв'язків та їх модуляції на 3-му і 21-му тижнях зробити досить важко, оскільки достовірність отриманих результатів була високою лише на 15-му тижні досліджень. На цьому часовому інтервалі механізми змін ЕМГ за умов застосування ніфедипіну на фоні зооконфліктної ситуації пов'язані з нейрогенними впливами, оскільки показник peak ratio зменшувався, а середня амплітуда ЕМГ зміщувалась в область менших значень [3, 6].

Для отримання більш детальної картини змін показників ЕМГ ми провели аналіз динаміки потужності хвиль ЕМГ. На 3-му тижні дослідження вивчення цього параметру показало, що у тварин контрольної групи найбільшу потужність мали високо- і низькочастотні хвилі з частотою  $500-1000 \text{ Гц}$  і  $0-10 \text{ Гц}$  відповідно (таблиця 2).

Таблиця 2 - Потужність хвиль ЕМГ різних частотних діапазонів тварин досліджуваних груп на 3-му тижні експерименту,  $\text{мкВ}^2$  ( $M \pm m$ ,  $N=32$ )

Групи	Потужність хвиль ЕМГ у різних частотних діапазонах, $\text{мкВ}^2$ :				
	0-10Гц	10-50Гц	50-100Гц	100-500Гц	500-1000Гц
1	62,124	24,235	4,850	17,565	97,445
2	109,750	64,607	7,677	17,449	188,126
3	39,907	12,690	3,064	12,166	55,644

У тварин другої групи така картина не змінювалась, але поряд із цим спостерігалось зростання потужності хвиль усіх частотних діапазонів приблизно у 2-3 рази. Застосування ніфедипіну призводило до зниження потужності хвиль всіх частотних діапазонів навіть нижче значень тварин контрольної групи.

Аналогічний аналіз потужності ми провели і через 15 тижнів експерименту. Дані цього аналізу представлені в таблиці 3.

Таблиця 3 - Потужність хвиль ЕМГ різних частотних діапазонів тварин досліджуваних груп на 15-му тижні експерименту,  $мкВ^2$  ( $M \pm m$ ,  $N=35$ ).

Групи	Потужність хвиль ЕМГ у різних частотних діапазонах, $мкВ^2$ :				
	0-10Гц	10-50Гц	50-100Гц	100-500Гц	500-1000Гц
1	20,823	25,582	4,481	13,801	55,427
2	73,812	110,345	58,107	261,338	347,660
3	58,468	22,356	3,720	13,031	88,518

За фізіологічних умов на 15-му тижні спостерігалось зменшення потужності хвиль ЕМГ в порівнянні з аналогічними показниками на 3 тижні експерименту. Тенденція розподілу потужності зберігалась. Найбільшу потужність мали хвилі високочастотного діапазону.

За умов моделювання зооконфліктної ситуації на 15-му тижні експерименту потужність хвиль частотного діапазону 10-1000Гц зростала, а низькочастотного діапазону 0-10Гц - зменшувалась в порівнянні з даними, отриманими в цій групі тварин на 3-му тижні. Зростання потужності високочастотних хвиль може свідчити, як зазначалось вище, про превалювання нейрогенних механізмів у модуляції електроміографічної активності [2, 3, 10].

Застосування ніфедипіну протягом 15-ти тижнів зооконфліктної ситуації в порівнянні з 3-ім тижнем підвищувало у 1,5 разу потужність низькочастотних і високочастотних хвиль ЕМГ. Потужність хвиль з іншими частотними діапазонами не змінювалась. Найбільша потужність  $58,468мкВ^2$  і  $88,518мкВ^2$  була зафіксована в діапазоні 0-10Гц і 500-1000Гц відповідно.

Аналіз потужностей хвиль ЕМГ на 21-му тижні показав таке (таблиця 4). За фізіологічних умов продовжувалось зниження потужностей хвиль ЕМГ, особливо в частотному діапазоні 0-10Гц і 500-1000Гц.

Таблиця 4 - Потужність хвиль ЕМГ різних частотних діапазонів тварин досліджуваних груп на 21-му тижні експерименту,  $мкВ^2$  ( $M \pm m$ ,  $N=30$ ).

Групи	Потужність хвиль ЕМГ у різних частотних діапазонах, $мкВ^2$ :				
	0-10Гц	10-50Гц	50-100Гц	100-500Гц	500-1000Гц
1	7,542	27,481	3,408	14,129	42,493
2	175,253	33,987	6,592	18,001	221,646
3	60,572	34,108	5,806	15,718	105,688

У тварин другої групи за умов моделювання зооконфліктної ситуації на 21-му тижні в порівнянні з 3-ім і 15-ім тижнями дослідження спостерігалось зниження потужності хвиль в частотному діапазоні 10-1000Гц і зростання потужності низькочастотних хвиль ЕМГ (діапазон 0-10Гц). Така ситуація може свідчити, що умови, створені тваринам другої групи на 21-му тижні, призводять до зменшення активності рухових одиниць і кількості функціонуючих м'язових волокон [2, 3].

У потужності хвиль ЕМГ тварин третьої групи на 21-му тижні дослідження з попередніми часовими інтервалами різниці майже не було. Ці значення були, в основному, дещо нижчими за показники тварин в умовах моделювання зооконфліктної ситуації, але вищими за показники тварин контрольної групи.

Аналізуючи дані, можна сказати, що застосування ніфедипіну суттєво модулювало значення електроміографічних показників. Це може свідчити про певну залежність ЕМГ-активності від рівня тканинного кальцію. Особливо яскравим у цьому відношенні був 15-й тиждень з початку експерименту. Саме на цьому часовому інтервалі спостерігались максимальні зміни середньої амплітуди ЕМГ, потужності її хвиль і показника  $peak\ ratio$  з високим ступенем достовірності.

За умов моделювання зооконфліктної ситуації спостерігалось збільшення середньої амплітуди хвиль ЕМГ і показника  $peak\ ratio$ , що може бути результатом емоційного навантаження і свідчити про активне включення в цей процес кількості функціонуючих м'язових волокон [10]. Зміни параметрів фонові ЕМГ за умов застосування ніфедипіну на фоні зооконфліктної ситуації пов'язані, значною мірою, з нейрогенними впливами [4, 5]. Це підтверджувалось змінами показників середньої амплітуди ЕМГ і показника  $peak\ ratio$ .

Своєрідним доказом викладених тверджень може бути динаміка потужності хвиль ЕМГ протягом експерименту. Ніфедипін знижував цей показник, що зростав за умов зооконфліктної ситуації, в усіх частотних діапазонах. Це може бути пов'язане з впливом цього препарату на електрофізіологічні властивості клітин головного мозку і скелетного м'яза [4, 5, 10].

## ВИСНОВКИ

1. Тривала зооконфліктна ситуація призводила до суттєвих змін амплітудно-частотних характеристик ЕМГ щурів і модуляції нейроміогенних зв'язків.

2. Застосування ніфедипіну на фоні зооконфліктної ситуації моделювало значення досліджуваних ЕМГ показників майже до контрольних значень.
3. Характер змін показника *reak ratio* та середньої амплітуди ЕМГ, а також динаміка потужності хвиль ЕМГ протягом експерименту при застосуванні ніфедипіну на фоні зооконфліктної ситуації вказують на нейрогенний механізм їх виникнення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Гехт Б. М., Коломенская Е. А., Строков И. А. Электромиографические характеристики нервно-мышечной передачи у человека. -М.: Наука, 1974. -154 с.
2. Мейгал А.Ю., Ивуков А.Ю., Герасимова Л.И. Влияние общего охлаждения на электромиографические характеристики мышечного утомления, вызванного динамической нагрузкой // Физиология человека. -2000. -Т.26, №2. -С.80.
3. Антонен Е.Г., Мейгал А.Ю., Лупандин Ю.В. Электромиографические параметры мышечного утомления у больных паркинсонизмом // Физиология человека. -2002. -Т.28, № 4. -С.74-79.
4. Гарбузова В. Ю. Вплив ніфедипіну, вітіміну Е та бісфосфонатів на інтенсивність процесів перекисного окиснення ліпідів в артеріальній і венозній стінках за умов гіпервітамінозу D // Фізіол. журн. -2002. -Т. 48, №6. -С. 70-73.
5. Hu W.Y., Fukuda N., Su J. Z., Kanmatsuse K. Effects of the L- and N-type calcium blocker cilnidipine on growth of vascular smooth muscle cells from spontaneously hypertensive rats // J. Cardiovasc. Pharmacol. - 2001. - Vol.38, N3. - P. 450-459.
6. Персон Р.С. Электромиография в исследованиях человека. -М.: Наука, 1969. -231 с.
7. Лакин Г.В. Биометрия. - М.: Высшая школа, 1990. -352 с.
8. Ляшенко В.П., Мірошніченко А.О., Никифорова О.А. Характеристика змін вмісту кальцію у головному мозку та аорті щурів за умов іммобілізаційного стресу // Фізіол. журн. -2002. -Т.48, №2. -С.72.
9. Мірошніченко А.О., Ляшенко В.П., Лукашов С.М., Майкова Т.М. Порівняльне дослідження накопичення кальцію у тканинах головного мозку та печінки за умов аліментарної гіперхолестеринемії // Фізіол. журн. -2002. -Т.48, №4. -С.28-32.
10. Пшенникова М.Г. Феномен стресса. Эмоциональный стресс и его роль в патологии // Пат. физиол. и эксперим. терапия. -2000. -№3. - С. 20-26.

УДК 574.4:595.7

## ДОЩОВІ ЧЕРВ'ЯКИ В УМОВАХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ НІКЕЛЕМ ТА СВИНЦЕМ В ПРИСУТНОСТІ ПШЕНИЦІ

Пахомов О.Є., д.б.н., професор, Кунах О.М., аспірант

*Дніпропетровський національний університет*

Проведено експериментальне вивчення впливу важких металів - нікелю і свинцю на ріст і смертність дощового черв'яка *Eisenia fetida*. Особливий інтерес у роботі становить аналіз впливу пшениці на токсичне навантаження. Показано залежність смертності і зросту дощових черв'яків від концентрації важких металів у ґрунті. Біомаса пшениці є ефективним протектором дощових черв'яків. У більш забрудненому середовищі спостерігається зростання захисного впливу рослин.

*Ключові слова:* токсичний вплив, нікель, свинець, дощові черв'яки

Пахомов А.Е., Кунах О.Н. ДОЖДЕВЫЕ ЧЕРВИ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЫ НИКЕЛЕМ И СВИНЦОМ В ПРИСУТСТВИИ ПШЕНИЦЫ / Днепропетровский национальный университет, Украина

Проведено експериментальне вивчення впливу важких металів нікеля і свинцю на ріст і смертність дощового черв'яка *Eisenia fetida*. Особливий інтерес у роботі представляє аналіз впливу пшениці на токсичне навантаження. Показано залежність смертності і зросту дощових черв'яків від концентрації важких металів у ґрунті. Біомаса пшениці є ефективним протектором дощових черв'яків.

дождевых червей. В более загрязненной среде наблюдается увеличение защитного воздействия растений.

*Ключевые слова:* токсическое воздействие, никель, свинец, дождевые черви

Pachomov A.Y., Kunach O.N. EARTHWORMS UNDER NICKEL AND LEAD SOIL CONTAMINATION IN WHEAT PRESENCE / Dnepropetrovsk National University, Ukraine

The experimental research of heavy metals nickel and lead impact on growth and mortality of earthworm *Eisenia fetida* has been carried out. The analysis of wheat effect on toxic impact is especially interesting in present article. The dependence of earthworm mortality and growth on heavy metal concentration in soil has been shown. The wheat biomass is effective earthworm protector. We have observed that plant defend effect increased in more contaminated environment.

*Key words:* toxic impact, nickel, lead, earthworm

Більшість екоотоксикологічних робіт спрямовано на вивчення впливу токсичних речовин на окремі види живих організмів, або їх угруповання в цілому. При вивченні впливу токсикантів на окремий вид можна дізнатися про реакцію біологічної системи на токсичний вплив на рівні організму. При вивченні впливу на екосистему в цілому виникає проблема інтерпретації результатів, тому що кожна екосистема є дуже складною і простежити функціональні зв'язки, які змінюються в забрудненому середовищі, дуже важко. Дана робота має на меті вивчення реакції гетеротрофного організму *Eisenia fetida* на забруднення ґрунту важкими металами - нікелем та свинцем в присутності автотрофа – пшениці.

Існуючий рівень досліджень дозволяє визначити особливості впливу важких металів на дощових черв'яків і надати кількісну характеристику реагування цих ґрунтових тварин на токсиканти. Так, у роботі [1] було вивчено ефект свинцю на дощового черв'яка *Dendrobaena rubida* в умовах різної кислотності ґрунту. Після 4 місяців експозиції при рН 4.5 число коконів, яке з'явилося від однієї особини, число виводків з одного кокону, процент коконів, який дав виводки, було зменшено на 75, 100 і 100% відповідно при концентрації свинцю в ґрунті 500 мкг/г, у той час як при концентрації 100 мкг/г не спостерігалось ніякого ефекту. При рН 5.5 і 6.5 свинець не впливав в досліджуваних концентраціях на параметри, які були виміряні в дощових черв'ях. Spurgeon та Norpin [6] вивчали вплив свинцю (в формі нітрату) на виживання, зростання, продукцію коконів та життєздатність коконів дощового черв'яка *Eisenia fetida* в штучному OECD ґрунті (OECD - Organization for Economic Cooperation and Development – організація, під егідою якої встановлено стандарт проведення екоотоксикологічних досліджень). Мінімальне значення  $EC_{50}$  в 1629 мкг/г було зазначено для продукції коконів. У дослідженні [7] дорослі дощові черв'яки *Eisenia fetida* знаходилися в забрудненому штучному ґрунті (рН 6.3) протягом 8 тижнів з метою вивчення впливу свинцю (в формі нітрату) на виживання та зростання дощових черв'яків. Обчислене значення  $LC_{50}$  склало 3760 мкг/г, а  $EC_{50}$  для продукції коконів - 1940 мкг/г. В експерименті, який було проведено протягом 14 днів,  $LC_{50}$  нітрату свинцю було встановлено 5941 мкг/г [5]. При вивченні впливу свинцю (в формі ацетату) на дощового черв'яка *Eisenia fetida* було встановлено, що найбільш вразливим параметром була продукція коконів. В експерименті, який відбувався протягом 8 тижнів, концентрація свинцю 4000 мкг/г призводила до скорочення на 50% продукції коконів, у той час як концентрація 2000 мкг/г не мала ефекту. У тесті протягом 20 тижнів концентрація свинцю 5000 мкг/г призвела до зниження продукції коконів до 28%, у той час як концентрація 1000 мкг/г не мала ефекту [4].

Вплив нікелю (доданий до кінського навозу в формі ацетату) на дощового черв'яка *Eisenia fetida* було вивчено в роботі [4]. Встановлено, що найбільш чутливим параметром є продукція коконів. В експерименті, який відбувався протягом 8 тижнів, концентрація нікелю 300 мкг/г призвела до зниження на 41% продукції коконів, в той час при концентрації 200 мкг/г впливу не відбулося. Після експозиції 20 тижнів, концентрація нікелю 200 мкг/г призвела до зниження продукції коконів на 23%, а при концентрації 100 мкг/г черв'яки не зазнали впливу. Показник  $LC_{50}$  для нікелю для дощового черв'яка *Eisenia fetida* після експозиції 14 діб визначений 757 мкг/г [5]. У дослідженні для визначення ефекту нікелю на дощового черв'яка *Lumbricus tubellus* був використаний піщаний ґрунт (рН 7.3, 8% органічної речовини). Після 12 діб експозиції концентрація нікелю 1000 мкг/г призвела до зниження виживання тварин на 31%, а концентрація 150 мкг/г не вплинула на черв'яків [3].

На підставі вивчення впливу важких металів на дощових черв'яків екологічно значуща концентрація нікелю встановлена в 200 мкг/г, а для свинцю – 500 мкг/г [2].

Для вивчення впливу важких металів – нікелю і свинцю – на дощового черв'яка *Eisenia fetida* був проведений лабораторний експеримент. У місткості по 0.5 л кожна був внесений ґрунт (чорнозем звичайний). У місткості були внесені статевозрілі особини дощового черв'яка *Eisenia fetida* у кількості 6 екземплярів на кожен місткість. У половину місткостей внесені насіння пшениці. У ґрунт внесені важкі метали – нікель і свинець. Контролем служили місткості без забруднення з пшеницею і без пшениці. Нікель внесений у ґрунт у формі нітрату з розрахунку для досягнення концентрації 46 і 115 мкг/г, що еквівалентно 2 і 5 ГПК цього елемента в ґрунті. Свинець внесений у концентрації 40 і 100 мкг/г, що також відповідає 2 і 5 ГПК цього металу в ґрунті. Через 2, 4, 8 і 24 тижні був зроблений вимір ваги дощових черв'яків, їхньої кількості, числа проростків пшениці і її біомаси.

У табл. 1 представлена динаміка зміни ваги *Eisenia fetida* дощових черв'яків в умовах забруднення ґрунту нікелем і свинцем. У контрольних умовах у присутності пшениці швидкість росту дощових черв'яків трохи нижче (у середньому 15,24% на місяць), ніж без пшениці (середній приріст 18,15% на місяць). Розбіжності у швидкості росту в присутності пшениці починають виникати через 2 місяці від моменту початку експерименту. При концентрації в ґрунті нікелю 2 ГПК швидкість росту дощових черв'яків знижується. У середньому вона складає 11,72 і 14,38% приросту на місяць у присутності пшениці і без неї відповідно. При наростанні токсичного впливу нікелю до рівня 5 ГПК відбувається вже не приріст ваги, а його втрата. У середньому втрата ваги складає 22,63 і 10,34% на місяць у присутності пшениці і без неї відповідно. Однак зниження ваги протягом експерименту не є монотонним. У перший період тривалістю 1 місяць відбувається різке зниження ваги на 32-76%, а потім вага поступово росте, але загальний підсумок за період експерименту є негативним. Таким чином, у присутності пшениці при забрудненні ґрунту нікелем зниження швидкості росту підсилюється.

Таблиця 1 - Динаміка зміни ваги *Eisenia fetida* при забрудненні ґрунту нікелем і свинцем. Вага тварин наведена в міліграмах.

Забруднення	Пшениця	Початок	2 тижні	4 тижні	8 тижнів	24 тижні	Середній приріст, у % на місяць
Контроль	Відсутня	296	339	358	396	481	18,15
	Присутня	297	333	343	376	455	15,24
Ni 2 ГПК	Відсутня	297	331	343	392	444	14,38
	Присутня	280	325	314	321	383	11,72
Ni 5 ГПК	Відсутня	364	305	256	277	319	-10,34
	Присутня	386	285	177	203	249	-22,63
Pb 2 ГПК	Відсутня	331	335	335	346	426	7,23
	Присутня	350	376	399	429	491	12,25
Pb 5 ГПК	Відсутня	324	304	253	246	298	-6,95
	Присутня	329	321	303	316	402	3,81

При забрудненні ґрунту свинцем у концентрації 2 ГПК швидкість приросту ваги дощових черв'яків складає 12,25 і 7,23% у присутності і без пшениці відповідно. Без пшениці в цих умовах забруднення істотний приріст ваги відзначений тільки в останній місяць експерименту і він склав 23%. Протягом двох місяців перебування в забрудненому ґрунті без пшениці ріст тварин практично не відбувався. При концентрації свинцю в ґрунті 5 ГПК у присутності пшениці відбувається приріст ваги черв'яків на 3,81%, а без пшениці відбувається зниження ваги на 6,95%. У присутності пшениці зниження ваги відбувається в перший місяць, потім у другий місяць зміни ваги практично не відбувається, а протягом третього місяця відбувається різкий компенсаторний ріст. За останній місяць експерименту приріст ваги складає 27%. Під час відсутності пшениці процес трохи розтягнутіший у часі. Період зниження ваги займає два місяці, а потім відбувається менш сильний, але досить істотний ріст тварин у 21% за третій місяць. Таким чином, у присутності пшениці при забрудненні ґрунту свинцем швидкість росту дощових черв'яків вища, ніж без пшениці.

Значення параметра  $EC_{50}$  для росту дощового черв'яка *Eisenia fetida* під впливом нікелю без присутності пшениці знаходиться на рівні 53 мкг/г і на рівні 35 мкг/г у присутності пшениці. Для свинцю ці показники складають 69 і 169 мкг/г відповідно.

Таблиця 2 - Динаміка зміни числа *Eisenia fetida* при забрудненні ґрунту нікелем і свинцем.

Забруднення	Пшениця	Початок	2 тижні	4 тижні	8 тижнів	24 тижні
Контроль	Відсутня	6	6	5	4	4
	Присутня	6	6	5	4	4
Ni 2 ГПК	Відсутня	6	6	4	3	3
	Присутня	6	6	4	3	3
Ni 5 ГПК	Відсутня	6	6	5	5	4
	Присутня	6	6	6	3	2
Pb 2 ГПК	Відсутня	6	6	5	5	4
	Присутня	6	6	6	6	5
Pb 5 ГПК	Відсутня	6	6	5	3	2
	Присутня	6	6	5	5	3

Крім зміни ваги тварин, у процесі експерименту відбувалася зміна числа тварин як результат процесу смертності. У більш екстремальних умовах збільшується ріст смертності. У таблиці 2 наведені дані по числу тварин, що вижили на різних етапах експерименту.

Для виявлення взаємозв'язків, що визначають інтенсивність процесів смертності при забрудненні ґрунту важкими металами в присутності пшениці, нами був проведений регресійний аналіз. Як змінні, котрі впливають на число дощових черв'яків, обраний рівень забруднення, біомаса пшениці, час експозиції і взаємодія рівня забруднення і часу експозиції. Регресійний аналіз проведений окремо для умов забруднення ґрунту нікелем і свинцем. Результати представлені в табл. 3 і 4. Регресійна модель для забруднення ґрунту нікелем описує 98% мінливості числа екземплярів дощових черв'яків у процесі експерименту і статистично достовірна. Статистично достовірними є коефіцієнти моделі, що відбивають вплив на кількість черв'яків рівня забруднення, біомаси пшениці і взаємодії забруднення і часу експозиції. Вплив часу як фактора смертності не вірогідний.

Таблиця 3 - Регресійний аналіз впливу забруднення ґрунту нікелем, біомаси пшениці і часу експозиції на число дощових черв'яків в експерименті (R-квадрат=0.98, F=124.77, p=0.000)

Змінні	Коефіцієнти	Стандартна помилка	t-статистика	P-значення
Y-перетинання	15,89	9,24	1,72	0,12
Рівень забруднення	-2,33	0,75	-3,10	0,01
Пшениця	9,67	2,48	3,90	0,00
Час	0,22	0,21	1,01	0,34
Рівень*Час	-0,16	0,07	-2,47	0,03

Забруднення ґрунту сприяє росту смертності черв'яків, у той час як пшениця виступає в ролі протектора, що зм'якшує негативний вплив токсиканта. У процесі експерименту смертність зумовлена не часом, тому що час проведення експерименту менше часу життя цього виду дощових черв'яків. Фактор часу переломлюється через рівень забруднення ґрунту. Смертність тим вища, чим більш тривалою є експозиція в більш агресивному середовищі існування.

Таблиця 4 - Регресійний аналіз впливу забруднення ґрунту свинцем, біомаси пшениці і часу експозиції на число дощових черв'яків в експерименті (R-квадрат=0.97, F=90.71, p=0.000)

Змінні	Коефіцієнти	Стандартна помилка	t-статистика	P-значення
Y-перетинання	5,13	1,04	4,95	0,00
Рівень забруднення	-0,33	0,11	-3,01	0,01
Пшениця	0,30	0,29	1,03	0,33
Час	0,06	0,03	2,10	0,06
Рівень*Час	-0,04	0,01	-4,71	0,00

Регресійна модель при забрудненні ґрунту свинцем описує 97% мінливості числа дощових черв'яків в експерименті і є статистично достовірною. При забрудненні ґрунту свинцем захисна функція рослини виражена статистично не вірогідно і виявляється у формі тенденції. Крім того, інтенсивність токсичного впливу свинцю в обраному діапазоні концентрацій нижча, ніж токсичного впливу нікелю. Ця розбіжність спостерігається при порівнянні відповідних коефіцієнтів регресійних моделей.

У таблиці 5 наведена динаміка зміни біомаси дощових черв'яків в умовах експерименту. Біомаса тварин є істотним екологічним показником, що відбиває інтенсивність участі тварин у функціонуванні екосистеми. При аналізі токсичного впливу важких металів на екосистемному рівні функціональний аспект дуже важливий. Результати регресійного аналізу, що дозволив розкрити характер впливу ряду факторів на біомасу дощових черв'яків, представлені в табл. 6 і 7. Як фактори, що впливають на біомасу дощових черв'яків, нами розглянуті рівень забруднення ґрунту важкими металами, біомаса пшениці, час експозиції, взаємодія рівня забруднення з біомасою пшениці і часом, а також взаємодія рівня забруднення, біомаси пшениці і часу експозиції.

В умовах забруднення ґрунту нікелем на біомасу дощових черв'яків статистично вірогідно впливають рівень забруднення, взаємодія рівня забруднення і біомаси пшениці, рівня забруднення і часу експозиції і потрійна взаємодія «Рівень\*Пшениця\*Час». Закономірно, забруднення приводить до зниження біомаси дощових черв'яків. Цікавий характер впливу пшениці на біомасу черв'яків. Позитивний вплив пшениці виявляється тим більше, ніж вищий рівень забруднення, тому що достовірним є коефіцієнт моделі, що відбиває вплив фактора «Рівень\*Пшениця», а вплив фактора однієї біомаси пшениці «Пшениця» не є

достовірним. Як чітко виражену тенденцію можна розглядати позитивний вплив пшениці з часом (фактор «Пшениця\*Час», рівень значимості 0.13).

Таблиця 5 - Динаміка зміни біомаси дощових черв'яків при забрудненні ґрунту нікелем і свинцем. Біомаса наведена в міліграмах.

Забруднення	Пшениця	Початок	2 тижні	4 тижні	8 тижнів	24 тижні
Контроль	Відсутня	49,31	46,11	52,00	60,00	52,50
	Присутня	49,54	48,33	50,00	60,00	52,50
Ni 2 ГПК	Відсутня	49,54	43,89	40,00	40,00	31,67
	Присутня	46,62	43,89	42,50	31,67	31,67
Ni 5 ГПК	Відсутня	51,67	36,67	36,00	24,00	19,00
	Присутня	48,33	32,50	22,78	25,00	22,50
Pb 2 ГПК	Відсутня	55,14	43,89	44,00	35,00	36,25
	Присутня	58,33	49,44	41,67	32,78	32,00
Pb 5 ГПК	Відсутня	54,07	38,33	31,60	31,67	32,50
	Присутня	54,91	41,67	40,80	31,60	33,33

Таблиця 6 - Регресійний аналіз впливу забруднення ґрунту нікелем, біомаси пшениці і часу експозиції на біомасу дощових черв'яків в експерименті (R-квадрат=0.98, F=109.37, p=0.000)

Змінні	Коефіцієнти	Стандартна помилка	t-статистика	P-значення
Y-перетинання	34,15	11,82	2,89	0,02
Рівень забруднення	-12,01	4,55	-2,64	0,03
Пшениця	3,40	3,45	0,99	0,36
Час	-1,85	2,24	-0,83	0,44
Рівень*Пшениця	3,55	1,79	1,98	0,09
Рівень*Час	2,19	0,97	2,25	0,06
Пшениця*Час	0,93	0,55	1,69	0,13
Рівень*Пшениця*Час	-0,93	0,43	-2,18	0,07

Окремо фактори забруднення і часу експозиції негативно впливають на біомасу дощових черв'яків. Однак взаємодія «Рівень\*Час» має позитивний знак впливу на біомасу. Як видно, цей фактор відбиває адаптивні процеси, що відбуваються в організмі дощових черв'яків у відповідь на забруднення з часом. Очевидно, що реакція організму тим вища, чим вищий рівень забруднення й адаптивна реакція наростає з часом.

Таблиця 7 - Регресійний аналіз впливу забруднення ґрунту свинцем, присутності проростків пшениці і часу експозиції на біомасу дощових черв'яків в експерименті (R-квадрат=0.98, F=47.54, p=0.000)

Змінні	Коефіцієнти	Стандартна помилка	t-статистика	P-значення
Y-перетинання	30,99	9,19	3,37	0,01
Рівень забруднення	1,10	1,65	0,67	0,53
Пшениця	5,37	2,52	2,13	0,07
Час	0,36	1,22	0,30	0,77
Рівень*Пшениця	-1,15	0,79	-1,45	0,19
Рівень*Час	-0,04	0,21	-0,19	0,85
Пшениця*Час	-0,07	0,31	-0,22	0,83
Рівень*Пшениця*Час	-0,01	0,12	-0,12	0,91

При забрудненні ґрунту свинцем вплив токсичного фактора на біомасу дощових черв'яків виявляється тільки у вигляді тенденції – рівні значимості відповідних коефіцієнтів не високі. Це цілком відповідає літературним даним, де екологічно значимий рівень забруднення ґрунту свинцем для дощових черв'яків визначений у 500 мкг/г [2], що істотно вище ніж максимально випробувана в експерименті концентрація. Статистично достовірним є позитивний вплив біомаси пшениці на біомасу дощових черв'яків в умовах забруднення ґрунту свинцем. Інші фактори не є такими, що статистично вірогідно впливають на біомасу черв'яків.

Таким чином, проведений експеримент показав, що на особливості реакції дощових черв'яків на забруднення ґрунту нікелем і свинцем істотно впливає екологічне оточення тварин у вигляді автотрофного блоку. Експериментальна модель у найпростішому виді представляє мінливість чутливості тварин до забруднення при зміні розмаїтості екосистеми. Варіант експерименту без рослини - це екосистема, що складається з трьох блоків - ґрунт-мікроорганізм-тварина. Ускладнення екосистеми автотрофним блоком значно зм'якшує гостроту токсичного впливу як нікелю, так і свинцю.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Bengtsson G., T. Gunnarsson, S. Rundgren. Effects of metal pollution on the earthworm *Dendrobaena rubida* (Sav.) in acidified soils // *Water Soil Air Pollution*. - 1986. - №28. - P. 361-383.
2. Efronymson R. A., M. E. Will, G. W. Suter II Toxicological Benchmarks for Contaminants of Potential Concern for Effects on Soil and Litter Invertebrates and Heterotrophic Process: 1997 Revision. - U.S. Department of Energy, 1997. - 151 p.
3. Ma W.C. The influence of soil properties and worm-related factors on the concentration of heavy metals in earthworms // *Pedobiologia*. - 1982. - Bd. 24. - S. 109-119.
4. Malecki, M.R., E.F. Neuhauser, R.C. Loehr The effect of metals on the growth and reproduction of *Eisenia foetida* (Oligochaeta, Lumbricidae) // *Pedobiologia*. - 1982. - Bd. 24. - S. 129-137.
5. Neuhauser, E.F., R.C. Loehr, D.L. Milligan, M.R. Malecki Toxicity of metals to the earthworm *Eisenia foetida* // *Biology and Fertility of Soils*. - 1985. - №1. - P. 149-152.
6. Spurgeon, D. J., S. P. Hopkin Extrapolation of the laboratory-based OECD earthworm toxicity test to metal-contaminated field sites // *Ecotoxicology*. - 1995. - №4. - P. 190-205.
7. Spurgeon, D.J., S.P. Hopkin, D.T. Jones Effects of Cadmium, Copper, Lead, and Zinc on Growth, Reproduction, and Survival of the Earthworm *Eisenia foetida* (Savigny): Assessing the Environmental Impact of Point-source Metal Contamination in Terrestrial Ecosystems // *Environment Pollution*. - 1994. - №84. - P. 123-130.

УДК 581.4 546.72

## ВПЛИВ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ І КИСЛИХ ГАЗІВ НА РІСТ ТА РОЗВИТОК *ROBINIA PSEUDOACACIA L.*

Пересипкіна Т.М., к.б.н., доцент, Лічман О.С., студент

*Запорізький державний університет*

Встановлено, що  $Fe^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ , HCL,  $Fe^{2+} + HCL$ ,  $Cr^{6+} + HCL$  прискорюють скарифікацію насіння і цим підвищують енергію проростання та схожість насіння. Встановлено збільшення розмірів первинної кори, ендодерми головного кореня, зменшення розмірів трахей первинної ксилеми, що є проявом компенсаторних механізмів захисту від токсикантів.

*Ключові слова: важкі метали, кислі гази, скарифікація, ріст, розвиток, ендодерма, трахея.*

Пересыпкина Т.Н., Личман Е.С. ВЛИЯНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И КИСЛЫХ ГАЗОВ НА РОСТ И РАЗВИТИЕ *ROBINIA PSEUDOACACIA L.* / Запорожский государственный университет, Украина

Установлено, что  $Fe^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ , HCL,  $Fe^{2+} + HCL$ ,  $Cr^{6+} + HCL$  ускоряют скарификацию семян и этим повышают прорастание и всхожесть семян. Установлено увеличение размеров первичной коры, эндодермы главного корня, уменьшение размеров трахей первичной ксилемы, что является проявлением компенсаторных механизмов защиты от токсикантов.

*Ключевые слова: тяжелые металлы, кислые газы, скарификация, рост, развитие, эндодерма, трахеи.*

Peresyphkina T.N., Ligman O.C. INFLUENCE OF HEAVY METALS AND ACIDIC GASES ON GROWTH AND DEVELOPMENT OF ROBINIA PSEUDOACACIA L. / Zaporizhzhya State University, Ukraine

It was discovered that  $Fe^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ , HCL,  $Fe^{2+} + HCL$ ,  $Cr^{6+} + HCL$  accelerate scarification of seeds. The increasing of sises of primary bark of the endoderm of the main route, the decreasing of sises of tracheas of the primary xilema, that is considered to be the appearance of compensatory mechanisms of defence of toxic substances.

*Key words: heavy metals, acidic gases, scarification, growth, development, endoderma, trachea.*

## ВСТУП

Вагомим джерелом забруднення навколишнього середовища є підприємства металургійної промисловості. Це Запорізький титано-магнієвий комбінат, заводи “Дніпроспецсталь” та “Запоріжсталь”, від яких із димовими газами, аспіраційним повітрям і через інші джерела надходять такі шкідливі речовини, як хлор, залізо, хлороводень, які негативно впливають на здоров'я людей, тварин та рослин [1,2,3].

На превеликий жаль, залишається слабким дослідження питання впливу хрому, заліза та хлороводню на ріст та розвиток деревних рослин.

Мета роботи – дослідити вплив токсичних речовин ( $Fe^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ , HCl) на динаміку проростання насіння, ріст та розвиток проростків *Robinia pseudoacacia*, зміни анатомічної будови кореня, гіпокотилля, сім'ядолей в умовах дії забруднювачів.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкт дослідження – насіння та проростки робінії лжеакації (*Robinia pseudoacacia* L.), родини бобових (Fabaceae Lindl.). Насіння відбиралося в умовно чистому районі м.Марганця в штучному фітоценозі. Вік насаджень - 30-35 років.

Для дослідження дії важких металів на рослини використовували водні розчини заліза ( $Fe^{2+}$ ) з концентрацією 40 мг/л та хрому ( $Cr^{6+}$ ) в концентрації 7 мг/л. Джерелом для заліза використовували семиводний сульфат заліза  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ , а джерелом хрому – біхромат калію ( $K_2Cr_2O_7$ ). Із метою вивчення дії кислого газу на рослини було вибрано хлористий водень, який утворювався при взаємодії хлористого натрію (NaCl) з концентрованою сірчаною кислотою ( $H_2SO_4$ ). Для проведення досліджень було відібрано 540 насінин *Robinia pseudoacacia*, які були поділені на 6 варіантів (по 90 насінин у кожному). Насіння пророщували в чашках Петрі при постійній температурі + 22°C, в умовах природного освітлення. Насіння контрольного варіанта пророщували в поживному розчині Кнопа (1:4). Насіння варіанта II пророщували в розчині, який містить залізо ( $Fe^{2+}$ ), а насіння варіанта III – у розчині з хромом ( $Cr^{6+}$ ). Проростки варіантів IV і V знаходилися під впливом подвійної дії забруднюючих речовин. Окрім того, що вони знаходилися в розчинах, які вміщували важкі метали, із першого дня проростання їх окурювали хлористим воднем у концентрації 300 мг/м<sup>3</sup> протягом 7 годин кожного дня. Насіння VI варіанта пророщувалося в дистильованій воді і підлягало окурюванню хлористим воднем, так само, як і у варіантах IV і V.

На 3, 6, 12 добу проростання замірювалася довжина корінців проростків, на 6 і 12 добу замірювалася довжина гіпокотиллю, а на 12 добу замірювалася площа сім'ядолей.

Енергія проростання насіння визначалася дружністю появи сходів протягом перших 3-6 діб. Насіння, яке проросло за 12 днів, дало відсоток схожості, тобто відношення кількості пророслого насіння до загального їх числа.

Для вимірювання мікроскопічних об'єктів використовували метод вимірювання об'єктів під мікроскопом за допомогою шкали окуляр-мікрометра.

Результати дослідження математично оброблені.

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вивчення впливу токсичних речовин на динаміку та енергію проростання насіння показало, що насіння всіх варіантів почало проростати на третю добу після замочування (табл. 1).

Спостереження за динамікою проростання насіння показало, що на третю добу найбільша енергія проростання насіння була у варіантах із додаванням заліза та хрому.

Залізо в концентрації 40 мг/л та хром у концентрації 7 мг/л стимулюють енергію проростання насіння робінії. Спільний вплив цих важких металів разом із хлористим воднем та окремий вплив хлористого водню в концентрації 200 мг/м<sup>3</sup> виявляють інгібуючу дію енергії проростання насіння.

Таблиця 1 – Вплив важких металів та кислих газів на динаміку та енергію проростання насіння *Robinia pseudoacacia* L.

Доба пророщування насіння	Варіанти											
	контроль		Fe <sup>2+</sup>		Cr <sup>6+</sup>		Fe <sup>2+</sup> + HCL		Cr <sup>6+</sup> + HCL		HCL	
	кількість пророслих насінин	%	кількість пророслих насінин	%	кількість пророслих насінин	%	кількість пророслих насінин	%	кількість пророслих насінин	%	кількість пророслих насінин	%
3	19	21,1	25	27,7	23	25,5	16	17,9	9	10,0	16	17,7
4	8	8,8	16	17,7	10	11,1	9	10,0	26	28,8	15	16,6
5	4	4,4	44	4,4	12	13,3	3	3,3	15	16,6	11	12,2
6	0	0	8	8,8	11	11,1	4	4,4	10	11,1	5	5,5
7	5	5,5	2	2,2	3	3,3	4	4,4	5	5,5	4	4,4
8	9	10,0	1	1,1	0	0	1	1,1	3	3,3	2	2,2
9	5	5,5	1	1,1	1	1,1	1	1,1	2	2,2	2	2,2
10	1	1,1	1	1,1	1	1,1	1	1,1	1	1,1	1	1,1
11	2	2,2	2	2,2	0	0	1	1,1	1	1,1	0	0
12	1	1,1	2	2,2	0	0	1	1,1	0	0	0	0
13	0	0	2	2,2	0	0	2	2,2	0	0	1	1,1
14	0	0	0	0	0	0	1	1,1	0	0	0	0

Вивчення впливу токсикантів на схожість насіння показало, що вони стимулюють схожість насіння. Пригнічує схожість насіння лише сумісна дія Fe<sup>2+</sup> + HCL, де спостерігалось зниження схожості порівняно з контролем (табл. 2).

Порівняння дослідних зразків із контролем показало, що у варіанті з Fe<sup>2+</sup> схожість насіння була – 22%, у варіанті з Cr<sup>6+</sup> - на 11% вище, спільний вплив Cr<sup>6+</sup> і HCL дав вищий результат на 33%. І тільки у варіанті Fe<sup>2+</sup> і HCL спостерігали зниження схожості насіння на 19%.

Підвищення схожості насіння під впливом токсикантів пояснюється тим, що токсичні речовини активно руйнують шкірку насіння (явище скарифікації), а це дає змогу насінню проростати інтенсивніше, ніж у контролі.

Таблиця 2 – Вплив заліза, хрому та хлористого водню на схожість насіння *Robinia pseudoacacia* L.

№	Варіант	Схожість насіння, %	У % порівняно з контролем
1	контроль	18 ± 0,4	100
2	Fe <sup>2+</sup>	22 ± 0,6	122
3	Cr <sup>6+</sup>	20 ± 1,2	111
4	Fe <sup>2+</sup> + HCL	15 ± 0,9	83
5	Cr <sup>6+</sup> + HCL	24 ± 1,2	133
6	HCL	19 ± 0,8	105

Результати замірів довжини головного кореня на 3, 8, 12 добу росту представлені в таблицях 3, 4, 5.

Аналіз даних табл. 3 свідчить про те, що у варіанті з Fe<sup>2+</sup> помічено збільшення довжини головного кореня, а у варіантах з Cr<sup>6+</sup>, Cr<sup>6+</sup> + HCL та HCL - спостерігається затримка росту кореня.

Таблиця 3 – Вплив токсикантів на довжину головного кореня проростків *Robinia pseudoacacia* L. на 3 добу проростання

№	Варіант	Доба	Довжина головного кореня	
			у см	у % порівняно з контролем
1	контроль	3	0,80 ± 0,06	100
2	Fe <sup>2+</sup>	3	0,94 ± 0,05	117,5
3	Cr <sup>6+</sup>	3	0,55 ± 0,03	68,7
4	Fe <sup>2+</sup> + HCL	3	0,75 ± 0,005	97,5
5	Cr <sup>6+</sup> + HCL	3	0,67 ± 0,03	83,7
6	HCL	3	0,67 ± 0,03	83,7

Таблиця 4 – Вплив токсикантів на довжину головного кореня проростків *Robinia pseudoacacia* L. на 8 добу проростання

№	Варіант	Доба	Довжина головного кореня	
			у см	у % порівняно з контролем
1	контроль	8	4,5 ± 0,17	100
2	Fe <sup>2+</sup>	8	3,3 ± 0,09	73,3
3	Cr <sup>6+</sup>	8	1,7 ± 0,07	38,0
4	Fe <sup>2+</sup> + HCL	8	1,7 ± 0,11	38,0
5	Cr <sup>6+</sup> + HCL	8	1,4 ± 0,07	31,1
6	HCL	8	2,1 ± 0,09	46,6

На 8 добу проростання спостерігалось відставання росту головного кореня у всіх дослідних варіантах порівняно з контролем. Найменший негативний вплив на ріст головного кореня спостерігався у варіанті Fe<sup>2+</sup>.

Таблиця 5 – Вплив токсикантів на довжину головного кореня проростків *Robinia pseudoacacia* L. на 12 добу проростання

№	Варіант	Доба	Довжина головного кореня	
			у см	у % порівняно з контролем
1	контроль	12	4,7 ± 0,15	100
2	Fe <sup>2+</sup>	12	3,4 ± 0,09	72,3
3	Cr <sup>6+</sup>	12	1,8 ± 0,06	38,3
4	Fe <sup>2+</sup> + HCL	12	1,7 ± 0,05	36,0
5	Cr <sup>6+</sup> + HCL	12	1,4 ± 0,04	36,2
6	HCL	12	2,2 ± 0,08	46,8

Аналогічний вплив токсикантів на ріст головного кореня спостерігався на 12 добу.

Встановлену інтенсивність росту головного кореня можна пояснити тим, що важкі метали і хлористий водень не одразу проявили на проростки свою токсичну дію, тому що насіння має запас поживних речовин, які несуть енергетичну функцію, завдяки чому рослина захищається від негативного впливу. Цю особливість помітно на третю добу досліду. Якщо продовжувати вплив негативними агентами, рослина втрачає можливість захищатися. Про це свідчать показники росту, отримані на восьму та дванадцятю добу досліду.

Заміри довжини гіпокотилі показали, що на восьму добу проростання насіння, значних відхилень росту гіпокотилі відносно контролю не відбулося. Так, проростки, які знаходилися під впливом Fe<sup>2+</sup>, мали довжину гіпокотилі відносно контролю 93,0%, у варіантах із використанням Cr<sup>6+</sup>, Fe<sup>2+</sup> + HCL, Cr<sup>6+</sup> + HCL вона складала 90,7%, 88,4%, 86,0% відповідно (табл. 6).

Аналіз результатів, отриманих на 12 добу проростання насіння, показав, що довжина гіпокотилі досліджуваних варіантів має тенденцію до зменшення відносно контролю.

У проростків, які знаходилися під впливом Fe<sup>2+</sup>, довжина гіпокотилі склала 89,1% від норми. У проростків, на які діяли Cr<sup>6+</sup>, Fe<sup>2+</sup> + HCL, цей показник має значення 80,0%, несуттєво відрізняються ці результати і у варіанті з хлористим воднем – 81,0%. Найменший показник мають проростки, які знаходилися під впливом Cr<sup>6+</sup> + HCL, вони склали 74,5% від контролю.

Таблиця 6 – Вплив токсикантів на довжину гіпокотилі проростків *Robinia pseudoacacia* L.

№	Варіант	Довжина гіпокотилі			
		8 доба		12 доба	
		у см	у % порівняно з контролем	у см	у % порівняно з контролем
1	контроль	4,3 ± 0,11	100	5,5 ± 0,09	100
2	Fe <sup>2+</sup>	4,0 ± 0,06	93,0	4,9 ± 0,05	89,1
3	Cr <sup>6+</sup>	3,9 ± 0,06	90,7	4,4 ± 0,07	80,0
4	Fe <sup>2+</sup> + HCL	3,8 ± 0,06	88,4	4,4 ± 0,08	80,0
5	Cr <sup>6+</sup> + HCL	3,7 ± 0,04	86,0	4,1 ± 0,06	74,5
6	HCL	4,0 ± 0,08	93,0	4,5 ± 0,06	81,0

Порівняння даних вимірів довжини головного кореня та довжини гіпокотилі в умовах впливу токсикантів дає підставу стверджувати, що корінь більш чутливий ніж гіпокотиль до токсикантів. Це, імовірно, пов'язано з виконанням коренем функції бар'єра, яка полягає в іммобілізації та накопиченні елементів (у тому числі важких металів).

Вивчення впливу заліза, хрому та хлористого водню на площу сім'ядолей проростків показало, що площа сім'ядолей контрольного варіанта перевищує всі інші варіанти (табл. 7).

Таблиця 7 – Вплив заліза, хрому та хлористого водню на площу сім'ядолей *Robinia pseudoacacia* L. на 12 добу проростання насіння

№	Варіант	Доба	Площа сім'ядолей	
			у см <sup>2</sup>	у % порівняно з контролем
1	контроль	12	1,00 ± 0,01	100
2	Fe <sup>2+</sup>	12	0,99 ± 0,03	99,0
3	Cr <sup>6+</sup>	12	0,99 ± 0,02	99,0
4	Fe <sup>2+</sup> + HCL	12	0,90 ± 0,03	90,0
5	Cr <sup>6+</sup> + HCL	12	0,80 ± 0,02	80,0
6	HCL	12	0,88 ± 0,02	88,0

Тенденція до зниження сім'ядолей у варіантах із використанням токсикантів свідчить про те, що токсиканти негативно впливають на ріст розтягуванням. Стійкість сім'ядолей до токсикантів пояснюється відсутністю в них меристематичних тканин, які чутливі до забруднення.

Вивчення впливу токсикантів на анатомічну будову головного кореня показало, що під впливом токсикантів зменшується розмір провідних елементів ксилеми, що пояснюється пригніченням активності меристем. Потовщення первинної кори кореня у варіантах з токсикантами пояснюється як захисна реакція, як посилення захисного бар'єра, який перешкоджає надходженню шкідливих речовин в організм рослини.

Під впливом токсичних речовин у гіпокотилі спостерігали зменшення розмірів клітин ситовидних трубок.

Найбільш суттєві зміни відбулися в анатомічній будові палисадної паренхіми. Як наслідок цього можна припустити, що під впливом спільної дії хрому та хлористого водню пригнічується процес фотосинтезу.

### ВИСНОВКИ

1. Fe<sup>2+</sup> у концентрації 40 мг/л, Cr<sup>6+</sup> у концентрації 7 мг/л, хлористий водень у концентрації 300 мг/м<sup>3</sup> прискорюють скарифікацію насіння і цим підвищують схожість. Проростання та схожість насіння.
2. Найбільш чутливим до впливу важких металів (Fe<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup>) та кислих газів є головний корінь, оскільки він триваліше за інші органи рослин знаходиться в агресивному середовищі.
3. Під впливом Fe<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Fe<sup>2+</sup> + HCL, Cr<sup>6+</sup> + HCL, HCL у головного кореня спостерігається потовщення первинної кори кореня, потовщення ендодерми, збільшення розмірів клітин первинної флоєми та зменшення розмірів первинної ксилеми, що є проявом компенсаторних механізмів захисту від токсикантів.
4. Зменшення анатомічних елементів стовбчастої паренхіми в сім'ядолях є проявом негативного впливу токсикантів на фотосинтез.
5. Досліджені забруднювачі можна ранжувати таким чином: Cr<sup>6+</sup> + HCL > Cr<sup>6+</sup> > Fe<sup>2+</sup> + HCL > HCL > Fe<sup>2+</sup>. Ця послідовність показує, що хром є найбільш сильним токсикантом, тим більше при спільній дії з хлористим воднем. У заліза найменший токсичний вплив на рослини.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Никитин Д.П., Новиков Ю.В. Окружающая среда и человек. – М.: Высшая школа, 1989. – 415с.
2. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почве и растениях. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142с.
3. Шуберт Р. Биоиндикация загрязнения наземных экосистем. – М.: Мир, 1988. – С. 241-248. – 421 с.

## ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ КАРТИРОВАННЫХ ГЕНОВ *AP1* И *BP1* ПО ПРИЗНАКУ «ЧИСЛО ЛИСТЬЕВ НА СТЕБЛЕ» У РЕЗУШКИ ТАЛЯ

Сыч Е.И., к.б.н., доцент

*Луганский национальный аграрный университет*

Мутантные аллели резушки Таля *ap1-1* и *bp1* являются минус-аллелями по признаку «число листьев на стебле». При совместном действии генов *AP1* и *BP1* наблюдали достоверный положительный эпистаз. Абсолютная оценка эпистаза  $i^{ab} = 0.50 \pm 0.20$  листьев, относительная -  $I = 0.2025 = 20.25\%$ . Обнаруженное в эксперименте взаимодействие генов можно трактовать как совместное действие двух комплементарных генов (расщепление в  $F_2$  9 : 7).

*Ключевые слова – арабидопсис Таля, мутантные аллели, взаимодействие генов, эпистаз*

Сич О.І. ВЗАЄМОДІЯ КАРТОВАНИХ ГЕНІВ *AP1* І *BP1* ЗА ОЗНАКОЮ «ЧИСЛО ЛИСТКІВ НА СТЕБЛІ» В РІЗУШКИ ТАЛЯ / Луганський національний аграрний університет, Україна

Мутантні алелі *ap1-1* і *bp1* – мінус-алелі за ознакою «число листків на стеблі». При спільному впливі генів *AP1* і *BP1* спостерігали їх достовірний позитивний епістаз. Абсолютна оцінка епістазу  $i^{ab} = 0.50 \pm 0.20$  листків, відносна  $I = 0.2025 = 20.25\%$ . Знайдену в експерименті взаємодію генів можна трактувати як спільну дію двох комплементарних генів (розщеплення в  $F_2$  9 : 7).

*Ключові слова - арабидопсис Таля, мутантні алелі, взаємодія генів, епістаз*

Sych E.I. INTERACTION OF MAPPED GENES *AP1* AND *BP1* ACCORDING TO THE TRAIT «THE QUANTITATY OF STEM LEAVES» IN ARABIDOPSIS THALIANA / Lugansk National Agrarian University, Ukraine

Mutant alleles *ap1-1* and *bp1* are minus-alleles according to the trait «the quantity of stem leaves». At joint action of genes *AP1* and *BP1* we watched an authentic positive epistas. An absolute evaluation of epistas is  $i^{ab} = 0.50 \pm 0.20$  leaves, relative evaluation is  $I = 0.2025 = 20.25\%$ . Found in experiment genes interaction, can be treated as joint action of two complementary genes ( $F_2$  9:7).

*Key words - Arabidopsis thaliana, mutant alleles, genes interaction, epistas*

Резушка Таля (арабидопсис Таля, *Arabidopsis thaliana* (L.) Heynh., далее – арабидопсис) – небольшое самоопыляющееся растение семейства капустные. Арабидопсис является идеальным генетическим объектом, так как наряду с коротким жизненным циклом и малым числом хромосом, обладает высокой плодовитостью и миниатюрностью, которая позволяет выращивать это растение в лабораторных условиях круглый год. Арабидопсис стал первым организмом, у которого полностью секвенирован геном. Теперь стоит задача выяснения функций всех генов данного вида (на молекулярном, клеточном, тканевом, организменном и более высоких уровнях). Это новое направление исследований получило название «функциональной геномики» (functional genomics). Однако имеющихся сведений о влиянии генов на количественные признаки недостаточно для решения на арабидопсисе проблем функциональной геномики. Необходимы данные об индивидуальном и совместном влиянии всех, но, прежде всего, картированных генов на количественные хозяйственно ценные признаки, без чего трудно решать вопрос о целесообразности или нецелесообразности использования тех или иных генов арабидопсиса в практической селекции культурных растений. Настоящая статья посвящена анализу влияния мутантных аллелей *ap1-1* и *bp1* картированных генов *AP1* и *BP1* на число листьев на стебле у арабидопсиса.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходной линией была гомозиготная линия арабидопсиса *Landsberg erecta* (*Ler*). На ее генетической основе получены мутантные чистые линии *ap1-1* (генотип *ap1-lap1-1*) и *bp1* (генотип *bp1bp1*) [1]. Ген *AP1* расположен в хромосоме 1, локус 99. У мутантной линии *ap1-1* лепестки отсутствуют или они рудиментарны. Ген *BP1* расположен в хромосоме 4, локус 15. В отличие от исходной линии, у которой стручки направлены косо вверх, у линии *bp1* стручки направлены вниз. Семена данных линий получены нами из Ноттингемского центра по сохранению генетической коллекции арабидопсиса (Nottingham Arabidopsis stock centre, NASC).

В лаборатории светокультуры Луганского национального аграрного университета путем искусственного скрещивания и последующего отбора в  $F_2$  была получена димутантная линия *ap1-1, bp1* (генотип *ap1-lap1-lbp1bp1*). В результате мы располагали всеми четырьмя возможными гомозиготными генотипами, образующимися при комбинации аллелей *AP1-1*, *ap1-1*, *BP1* и *bp1* (линии *Ler*, *ap1-1*, *bp1* и *ap1-1, bp1*).

Растения всех четырех линий выращивали одновременно в одном ящике в почвенной культуре при полной рендомизации. Растения были посажены квадратным способом на расстояниях, исключающих конкуренцию между ними. Освещение было круглосуточным. Число листьев на стебле подсчитывали в момент начала цветения. При такой организации эксперимента мы могли оценить только так называемые

гомозиготно-гомозиготные взаимодействия, которые и представляют интерес в синтетической селекции самоопылителей [2]. Выращивая растения чистых линий в соотношении 1 *API-1API-1BP1BP1* (*Landsberg erecta*) : 1 *apl-1apl-1BP1BP1* (первый мутант): 1 *API-1API-1bplbpl* (второй мутант): 1 *apl-1apl-1bplbpl* (двойной рецессив) моделировали анализирующее скрещивание  $F_A$ . Объективно сравнивая эти гомозиготные линии в рамках менделевского подхода, делали заключения о количестве фенотипических классов, характере расщепления в  $F_A$  и  $F_2$ , наличии взаимодействия генов.

При обработке результатов использовали как обычные математико-статистические методы, так и недавно предложенный метод количественной оценки эпистаза [3, 4]. Обработку производили на персональном компьютере по программам, разработанным в Луганском национальном аграрном университете [5].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл. 1 приведены параметры сравниваемых совокупностей по признаку «число листьев на стебле».

Таблица 1 - Элементарные статистики гомозиготных линий *Ler*, *apl-1*, *bpl* и *apl-1,bpl* по признаку «число листьев на стебле»

Линии	Объем выборки	Среднее фенотипическое значение	Ошибка среднего значения	Дисперсия	Коэффициент вариации, %
<i>Ler</i>	47	2.45	0.11	0.56	30.5
<i>apl-1</i>	47	1.79	0.09	0.35	32.9
<i>bpl</i>	50	1.96	0.11	0.57	38.5
<i>apl-1,bpl</i>	49	1.80	0.11	0.54	40.9

Как видно из табл. 1, выборки были большие (47 и больше растений каждой линии), что позволяет достоверно оценить параметры совокупностей [6]. Изменчивость в чистых линиях, а в таких линиях она исключительно средняя, была сильной во всех исследованных линиях (коэффициент вариации более 25 %) [3] (табл. 1).

Разности средних арифметических значений признака, являющихся средними фенотипическими [7], оценивали по t-критерию Стьюдента. Эффекты замены аллелей *API-1* на *apl-1* и *BP1* на *bpl* представлены в табл.2.

Таблица 2 - Эффекты замены аллелей *API-1* на *apl-1* и *BP1* на *bpl*

	Генотипы		Разность, шт	Разность, %	t-критерий Стьюдента
	<i>BP1BP1</i>	<i>bplbpl</i>			
Генотип <i>API-1API-1</i>	2.45 ± 0.11	1.96 ± 0.11	-0.49 ± 0.15	-20.0	3.19**
Генотип <i>apl-1apl-1</i>	1.79 ± 0.09	1.80 ± 0.11	0.01 ± 0.14	0.5	0.06
Разность, шт	-0.66 ± 0.14	-0.16 ± 0.15			
Разность, %	-27.0	-8.4			
t-критерий Стьюдента	4.76***	1.10			

Примечание. \*\* -  $0.99 < P < 0.999$ , \*\*\* -  $0.999 > P$ .

Аллели *apl-1* и *bpl* являются минус-аллелями по изучаемому признаку, то есть значения линий *apl-1* и *bpl* меньше, чем среднее фенотипическое значение исходной линии *Ler* (табл. 1, 2). Линии *apl-1*, *bpl* и *apl-1,bpl* достоверно отличаются от *Ler*. Различия между линиями *apl-1*, *bpl* и двойного рецессива *apl-1,bpl* были недостоверными (табл. 2, 3). Можно принять нулевую гипотезу и считать, что линии *apl-1*, *bpl* и *apl-1,bpl* имеют одинаковое фенотипическое значение, образуют один фенотипический класс.

Растения линии *Ler* (генотип *API-1API-1BP1BP1*) достоверно отличаются от всех остальных линий и образуют второй фенотипический класс.

Таблица 3 - Значения t-критерия Стьюдента, полученные при сравнении средних арифметических значений изучаемых линий

	<i>Ler</i>	<i>apl-1</i>	<i>bpl</i>
<i>apl-1</i>	4.76***		
<i>bpl</i>	3.19**	1.26	
<i>apl-1,bpl</i>	4.30***	0.06	1.10

Примечание:  $t_{st} 2 - 2.6 - 3.4$ .

Таким образом, аддитивная модель наследования неадекватна. Имеет место взаимодействие генов, при котором в  $F_A$  расщепление происходит в соотношении 1 : 3, в  $F_2$  – 9 : 7 { 9 *AP1-1- BPI-*: 7 (*ap1-1ap1-1BPI-*, *AP1-1- bp1bp1*, *ap1-1ap1-1bp1bp1*) }. В понятиях классической генетики подобное взаимодействие можно трактовать как комплементарное действие генов. Расщепление в  $F_2$  в отношении 9 : 7 хорошо иллюстрирует тот факт, что одно и то же расщепление можно понимать по-разному – и как результат действия двух комплементарных генов, и как двойной рецессивный эпистаз [8].

Анализ средних фенотипических значений при помощи t-критерия Стьюдента позволяет решить вопрос о наличии или отсутствии взаимодействия генов, привести формулу ожидаемого расщепления в  $F_A$  и  $F_2$ , но направление и сила эпистаза, являющиеся существенной частью описания взаимодействия, при этом не оцениваются. Дать ответ на главный вопрос – насколько и в каком направлении будет отличаться двойной рецессив от ожидаемого значения (оценить эпистатическое отклонение), позволяет предложенный недавно новый метод оценки эпистаза, доложенный на VII съезде Украинского общества генетиков и селекционеров им. Н.И. Вавилова (Крым, 2002) и описанный в работе [4]. Он основывается на вычислении эпистатического отклонения  $i^{ab}$  и его статистической ошибки  $s_i^{ab}$ .

Эпистатическое отклонение значения признака димутантной линии от того значения, которое ожидается при аддитивном действии генов, можно определить по формуле [4]:  $i^{ab} = AABb + aabb - aaBB - AAbb$ . В нашем случае  $i^{ab} = 0.4955 \pm 0.2040$  листьев. Достоверность эпистаза устанавливается с использованием упрощенного t-критерия, равного частному от деления генетического параметра, взятого по модулю, на его ошибку репрезентативности [4] ( $t = 0.4955 / 0.2040 \approx 2.43$ ). Если значение t больше или равно двум, то параметр, как у нас, считается значимым. Знак  $i^{ab}$  указывает на направление эпистаза. В нашем случае имеет место положительный эпистаз. Относительная оценка силы эпистаза  $I = i^{ab} / AABb$  ( $I = 0.4955 / 2.4468 = 0.2025 = 20.25\%$ ).

Расположение средних фенотипических значений иллюстрирует приводимый ниже рис. 1.

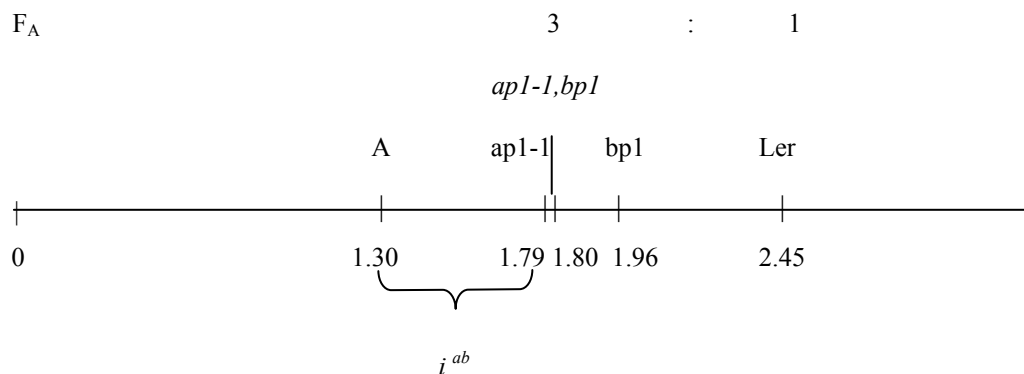


Рис. 1. Расположение на числовой оси средних фенотипических значений гомозиготных линий

Примечание. *A* – теоретическое значение у димутантной линии *ap1-1, bp1* при аддитивном действии генов *AP1* и *BPI*.

Очевидно, что полученные нашим методом результаты не противоречат тем, которые получены при сравнении средних фенотипических значений с помощью t-критерия Стьюдента, а дают дополнительную информацию о взаимодействии генов. Продолжение исследований в этом направлении позволит оценить степень распространенности и особенности проявления взаимодействия генов по количественным признакам.

## ВЫВОДЫ

1. Аллели *ap1-1* и *bp1* являются минус-аллелями по признаку “число листьев на стебле”.
2. При совместном действии генов *AP1* и *BPI* на число листьев на стебле наблюдали достоверный положительный эпистаз. Абсолютная оценка эпистаза  $i^{ab} = 0.50 \pm 0.20$  листьев, относительная  $I = 0.2025 = 20.25\%$ .
3. Обнаруженное в эксперименте взаимодействие генов можно трактовать как совместное действие двух комплементарных генов (расщепление в  $F_2$  9 : 7).

Выражаю благодарность сотрудникам *NASC* за предоставление семян исходных линий.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Seed List. The Nottingham Arabidopsis stock centre. – Nottingham: The Univer. of Notting., 1994. – 147 p.
2. Мазер К., Джинкс Д. Биометрическая генетика. – М.: Мир, 1985. – 486 с.
3. Лакин Г.Ф. Биометрия. – М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
4. Сыч Е.И. Новый метод оценки взаимодействия генов в количественной генетике растений // Збірн. наук. праць ЛНАУ. – 2003. - № 22 (34). – С. 65-71.
5. Соколов И.Д., Шелихов П.В., Наумов С.Ю., Сыч Е.И. Компьютеризация агрономических и биологических расчетов. – Луганск: Элтон-2, 2001. – 133 с.
6. Бейли Н. Математика в биологии и медицине: Пер. с англ. Е.Г. Коваленко. – М.: Мир, 1970. – 326 с.
7. Фолкнер Д.С. Введение в генетику количественных признаков. – М.: Агропромиздат, 1985. – 485 с.
8. Лобашев М.Е. Генетика. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1967. – 751 с.

УДК 616-008.61:[546.172.6:616-008.9]:557.164.2

## МЕТАБОЛИЗМ ОКСИДА АЗОТА И СОСТОЯНИЕ ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЕНИЯ ЛИПИДОВ У ЛИЦ С ПОВЫШЕННЫМ АРТЕРИАЛЬНЫМ ДАВЛЕНИЕМ

Тищенко М.В., соискатель, \*Мхитарян Л.С., д.мед.н., профессор

*Запорожский государственный медицинский университет,  
\*Институт кардиологии им. акад. Н.Д. Стражеско АМН Украины*

Изучали метаболизм оксида азота и состояние перекисного окисления липидов в условиях оксидативного стресса у лиц с повышенным артериальным давлением. Анализ результатов исследования показал, что при повышении артериального давления у исследуемых лиц происходит увеличение перекисного окисления липидов, нарушение процессов образования оксида азота и повышенная его инактивация в реакциях со свободными радикалами.

*Ключевые слова: оксид азота, NO-синтаза, оксидативный стресс, аскорбиновая кислота, перекисное окисление липидов.*

Тищенко М.В., \*Мхитарян Л.С. МЕТАБОЛИЗМ ОКСИДУ АЗОТУ ТА СТАН ПЕРЕКИСНОГО ОКИСЛЮВАННЯ ЛІПІДІВ В ОСІБ З ПІДВИЩЕНИМ АРТЕРІАЛЬНИМ ТИСКОМ / Запорізький державний медичний університет, \*Інститут кардіології ім. акад. М.Д. Стражеско АМН України, Київ.

Вивчали метаболізм оксиду азоту та стан перекисного окислювання ліпідів в умовах оксидативного стресу у осіб з підвищеним артеріальним тиском. Аналіз результатів дослідження показав, що у досліджуваних осіб при підвищенні артеріального тиску відбувається збільшення перекисного окислювання ліпідів, порушення процесів утворення оксиду азоту та підвищена його інактивация в реакціях з вільними радикалами.

*Ключові слова: оксид азоту, NO-синтаза, оксидативний стрес, аскорбінова кислота, перекисне окислювання ліпідів.*

Tischenko M.V., \*Mhitarian L.S. NITRIC OXIDE METABOLISM AND STATE PEROXIDE OXIDATION OF LIPIDS IN THE HUMAN WITH HIGH ARTERIAL PRESSURE IN CONDITIONS OF OXIDATIVE STRESS / Zaporozhye State Medical University, M.D. Strazhesko Institute of cardiology, \*Academy of Medical Sciences of Ukraine, Kiev.

Nitric oxide metabolism and a state peroxide oxidation of lipids in conditions of oxidative stress in the human with high arterial pressure were studied. The analysis of this research has shown, augmentation of peroxide oxidation of lipids, violation of formation nitric oxide and inactivation of nitric oxide increases in reactions with free radicals occurs in the human with rising arterial pressure.

*Key words: nitric oxide, NO - synthase, oxidative stress, ascorbic acid, peroxide oxidation of lipids.*

В организме человека, как и в любом другом живом организме, существует сложный баланс между прооксидантными и антиоксидантными системами. Изменение баланса между ними в сторону

интенсификации прооксидантных процессов и неспособность антиоксидантных систем защиты предотвратить эти явления, служит основным механизмом развития такого состояния, как “оксидативный стресс” (ОС) [1]. Избыточная генерация свободных радикалов при оксидативном стрессе приводит не только к повреждению биомолекул в организме, но и к инактивации ряда сигнальных молекул, к которым и относится оксид азота [1]. Показательной реакцией служит образование высокорективного соединения – пероксинитрита, в результате реакции оксида азота с супероксидным анион радикалом. Повышенное образование пероксинитрита может привести к значительным повреждениям основных биополимеров и клеточных структур [2].

Другой важной мишенью в организме для атак свободных радикалов и пероксинитрита являются липиды. В условиях оксидативного стресса повышается интенсивность процессов перекисного окисления липидов, вследствие этого значительная часть оксида азота может расходоваться на реакции с образующимися липидными радикалами, что в свою очередь может способствовать обрыванию цепи свободно-радикального окисления липидов. Это характеризует оксид азота как соединение, обладающее антиоксидантными свойствами. [3].

В организме человека образование оксида азота осуществляется ферментом NO-синтазой (EC 1.14.13.39), которая представлена тремя изоформами: nNOS, iNOS, eNOS [4]. В физиологических условиях уровень оксида азота относительно стабилен, причем основной вклад в образование оксида азота принадлежит eNOS, локализованной в эндотелиальных клетках [4]. Высокий уровень генерации свободных радикалов, продуктов перекисного окисления липидов и высокорективных метаболитов оксида азота, образующихся в условиях оксидативного стресса, является одним из основных механизмов, негативно влияющих не только на кинетическую активность NO-синтазы, но и приводящий к непосредственному повреждению молекулы этого фермента [4].

Для исследования процессов метаболизма оксида азота в условиях оксидативного стресса у человека удобной моделью являются лица с повышенным артериальным давлением. Показано что, при постоянном повышенном артериальном давлении происходит интенсификация свободнорадикальных реакций и развитие состояния оксидативного стресса, выраженность которого находится в прямой зависимости от степени повышения артериального давления [5].

Целью данной работы было исследование влияния оксидативного стресса на процессы метаболизма оксида азота и перекисного окисления липидов в организме человека.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование было включено 65 практически здоровых лиц (контрольная группа), из них: мужчин - 35 человек, женщин - 30 человек, средний возраст составил  $39,78 \pm 1,87$  года.

Лица с повышенным артериальным давлением были распределены на три группы согласно классификации World Health Organization. [7]. В каждой группе было 15 мужчин и 12 женщин. В I группу вошли лица с систолическим артериальным давлением (АДс) 140-159 мм рт.ст., диастолическим артериальным давлением (АДд) 90-99 мм рт.ст. Средний возраст в группе составил  $43,58 \pm 2,87$  лет. Во II группу вошли лица с АДс 160-179 мм рт.ст., АДд 100-109 мм рт.ст. Средний возраст в группе составил  $46,87 \pm 1,97$  лет. В III группе были лица с АДс 180 мм рт.ст. и более, АДд 110 мм рт.ст. и более. Средний возраст в группе составил  $48,94 \pm 1,96$  лет. Критерием невключения пациентов в группу обследования являлось наличие острого либо хронического воспалительного процесса в организме.

Для снижения процессов оксидативного стресса обследуемые лица принимали аскорбиновую кислоту (АК) в дозе 1 г в сутки, так как известно, что аскорбиновая кислота обладает широким спектром антиоксидантного действия. Аскорбиновая кислота обезвреживает активные формы кислорода, органические пероксиды, способна восстанавливать токоферильный, тиольный и тиопероксильный радикалы, а также она является мощным ингибитором перекисного окисления липидов плазмы крови [8].

Материалом для исследования служили тромбоциты, плазма и сыворотка, полученная из венозной крови обследуемых лиц. Получение тромбоцитов, плазмы и сыворотки крови осуществляли стандартными описанными в литературе способами, принятыми при исследовании процессов гемостаза. В качестве антикоагулянта для получения плазмы применяли натриевую соль ЭДТА.

Способ определения активности конститутивной NO-синтазы в тромбоцитах основан на данных, что NO-синтаза обладает НАДФН-диафоразной активностью [9], а обработка 4% раствором параформальдегида исследуемого материала приводит к инактивации всех НАДФН-диафораз, за исключением конститутивной NO-синтазы [9]. Одним из распространенных методов определения НАДФН-диафоразы основан на реакции, в результате которой происходит восстановление бесцветной соли нитросинего тетразолия с образованием окрашенного соединения - диформаза. Используя эти данные, активность NO-синтазы в тромбоцитах можно оценить количественно по уровню образовавшегося диформаза [10].

Для оценки НАДФН-диафоразной активности NO-синтазы получали суспензию тромбоцитов, с конечной концентрацией  $2 \times 10^5$  в 1 мкл. Из полученной суспензии отбирали 0,1 мл и смешивали с 0,1 мл холодного ( $4^\circ\text{C}$ ) 4% раствора параформальдегида. Полученную смесь инкубировали 15 мин при температуре  $4^\circ\text{C}$ . После инкубации к 0,2 мл суспензии прибавляли 0,1 мл 0,2% раствора нитросинего нитрозолия на Трис-НCl буфере (pH 7,6), содержащего 6,48 мМоль KCl, 2,16 мМоль  $\text{CaCl}_2$ , 1,2 мМоль  $\text{MgCl}_2$ , 1,728 мМоль NADPH, перемешивали и инкубировали 30 минут при  $37^\circ\text{C}$ . К 0,3 мл смеси прибавляли 3 мл физиологического раствора, центрифугировали 10 минут при 400 g, затем удаляли надосадочную жидкость. Полученный осадок растворяли в щелочном растворе димексида (1,5 мл 2M KOH + 1,5 мл димексида). Оптическую плотность полученного раствора регистрировали на спектрофотометре в кювете с длиной оптического пути 1 см при длине волны 550 нм. Активность NO-синтазы тромбоцитов выражали как количество образовавшегося диаформаза за 1 мин в перерасчете на  $10^8$  тромбоцитов.

Об образовании NO судили по уровню его конечных стабильных метаболитов (NOx), которые определяли как сумму нитритов и нитратов в плазме крови, предварительно проводя конверсию нитратов в нитриты с последующим определением нитритов с помощью реактива Griess спектрофотометрическим методом [11]. Об уровне пероксинитрита судили по содержанию 3-нитротирозина. Определение 3-нитротирозина проводили в сыворотке крови иммуноферментным методом с использованием стандартного набора "Nitrotyrosine" фирмы "HyCult biotechnology b.v." (Голландия).

Определение общей антиокислительной активности (ОАА) сыворотки крови основано на способности гасить хемилуминесценцию модельной системы при добавлении сыворотки крови, за счет наличия различного спектра антиоксидантов в сыворотке, способных инактивировать свободные радикалы [12]. Процессы липопероксидации исследовали в сыворотке крови. Содержание диеновых конъюгатов (ДК) определяли по поглощению в области 232 нм, кетодиенов (КД) и сопряженных триенов (СТ) по поглощению в области 278 нм, содержание изолированных двойных связей (ДС) определяли по поглощению в области 220 нм, в изопропанольной фазе согласно методике [13]. Также исследовали продукты перекисного окисления липидов, которые реагируют с 2-тиобарбитуровой кислотой (ТБК - продукты) [13].

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием пакета статистического анализа программы Microsoft Excel 97. Данные представлены в таком виде: выборочное среднее значение  $\pm$  стандартная ошибка среднего значения. Достоверность результатов оценивали с помощью критерия Стьюдента. При проверке статистических гипотез нулевую гипотезу отвергали при уровне значимости менее 0,05.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты, приведенные в табл.1, характеризуют перекисное окисление липидов и состояние антиоксидантной системы защиты у исследуемых лиц.

Таблица 1. - Показатели, характеризующие перекисное окисление липидов и состояние антиоксидантной системы защиты в исследуемых группах

Показатель	Здоровые лица		1 группа		2 группа		3 группа	
		+ АК		+ АК		+ АК		+ АК
ДС, у.е	2,97 $\pm$ 0,10	3,06 $\pm$ 0,11	2,85 $\pm$ 0,16	3,05 $\pm$ 0,17	2,41 $\pm$ 0,17*	2,59 $\pm$ 0,16	2,28 $\pm$ 0,14*	2,37 $\pm$ 0,12
ДК, у.е	0,99 $\pm$ 0,04	0,96 $\pm$ 0,04	1,14 $\pm$ 0,09	1,06 $\pm$ 0,08	1,26 $\pm$ 0,10*	1,15 $\pm$ 0,09#	1,41 $\pm$ 0,07*	1,33 $\pm$ 0,07
КД и СТ, у.е	0,71 $\pm$ 0,03	0,75 $\pm$ 0,03	0,78 $\pm$ 0,05	0,73 $\pm$ 0,06	0,95 $\pm$ 0,06*	0,87 $\pm$ 0,05#	0,99 $\pm$ 0,07*	0,84 $\pm$ 0,07
ТБК-продукты, нМоль/мл	3,08 $\pm$ 0,12	3,04 $\pm$ 0,12	3,64 $\pm$ 0,19*	3,35 $\pm$ 0,20	3,92 $\pm$ 0,24*	3,47 $\pm$ 0,22	4,58 $\pm$ 0,37*	4,36 $\pm$ 0,35
ОАА, у.е	67,08 $\pm$ 2,30	71,46 $\pm$ 2,49	53,11 $\pm$ 2,86*	61,97 $\pm$ 3,07#	49,65 $\pm$ 3,45*	57,43 $\pm$ 3,60#	46,61 $\pm$ 3,60*	55,79 $\pm$ 3,68#

Примечание

\* достоверность различий ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контролем

# достоверность различий ( $p < 0,05$ ) при сравнении группы до приема аскорбиновой кислоты с аналогичной группой после приема аскорбиновой кислоты

+ АК – данные, характеризующие исследуемые показатели после введения аскорбиновой кислоты.

Исследование содержания ДЖ в липидах сыворотки крови у лиц с повышенным артериальным давлением выявило, что в I группе происходит увеличение данного показателя на 15,5%. Также происходит возрастание уровня диеновых конъюгатов во II и III группах - соответственно на 27,3% и 42,4% по сравнению с группой контроля. Подобные изменения у лиц с повышенным артериальным давлением наблюдали и при исследовании уровня кетодиенов и сопряженных триенов. Возрастание исследуемого показателя в I группе составило 9,8 %, во II группе 33,8% и III группе 39,4% по сравнению с группой контроля. Показатель, характеризующий уровень изолированных двойных связей в липидах сыворотки крови в I группе, статистически достоверно не отличался от показателя контрольной группы, тогда как этот показатель был достоверно снижен во II и III группе, соответственно на 18,6% и 23,2%.

Анализ ТБК - продуктов выявил интенсификацию процессов перекисного окисления липидов в сыворотке крови в зависимости от степени артериального давления. Согласно полученным данным в I группе уровень ТБК - продуктов возрос на 18,8%, во II группе увеличение составило 27,3%, а в III группе повышение ТБК - продуктов в сравнении с контрольной группой составило 48,7%.

Исследование общей антиокислительной активности сыворотки крови у лиц с повышенным артериальным давлением показало снижение исследуемого показателя во всех группах, причем снижение в I группе составило 25,3%, во II группе показатель был снижен на 35,1%, а в III группе на 43,9% по сравнению со здоровыми лицами.

Из данных, показанных в таблице 2, видно, что по сравнению с контрольной группой уровень конечных метаболитов оксида азота и 3-нитротирозина подвергается значительным изменениям у лиц с повышенным артериальным давлением.

Таблица 2 - Показатели, характеризующие активность NO-синтазы и уровень основных метаболитов оксида азота у обследуемых лиц

Показатель	Здоровые лица.		1 группа		2 группа		3 группа	
		+ АК		+ АК		+ АК		+ АК
НАДФН – диафороза, нМоль\10 <sup>8</sup> тромбоцитов×мин	28,33± 0,89	27,47± 0,95	27,45± 1,68	27,15± 1,70	26,34± 1,82	26,03± 1,78	24,11± 1,70*	24,25± 1,61
NOx, мкМоль\л	23,82± 0,74	24,32± 0,83	19,51± 0,79*	20,17± 0,75	16,70± 0,67*	18,28± 0,58#	14,34± 0,70*	16,11± 0,63#
3-нитротирозин, нМоль\л	105,52± 10,69	103,62± 10,90	232,14± 25,47*	218,78± 22,38	316,56± 27,36*	307,39± 27,06	337,66± 28,42*	343,37± 29,14

Примечание:

\* достоверность различий ( $p < 0,05$ ) по сравнению с контролем

# достоверность различий ( $p < 0,05$ ) при сравнении группы до приема аскорбиновой кислоты с аналогичной группой после приема аскорбиновой кислоты

+ АК – данные, характеризующие исследуемые показатели после введения аскорбиновой кислоты.

Уровень конечных метаболитов оксида азота, свидетельствующий об уровне генерации оксида азота в организме был снижен во всех группах лиц с повышенным артериальным давлением по сравнению со здоровыми лицами. Причем наименьшее снижение уровня конечных метаболитов оксида азота зафиксировано у лиц с повышенным артериальным давлением в I группе, что составило 29,6%. Во II группе происходит дальнейшее снижение уровня конечных метаболитов оксида азота, которое в этой группе лиц составило 42,6%. Наибольшее снижение уровня конечных метаболитов оксида азота, было у лиц в III группе, в этой группе снижение составило 66,10% по сравнению с контрольной группой.

Одним из удобных объектов для оценки NO-синтазной активности у человека являются тромбоциты [14]. Известно что, в тромбоцитах и мегакариоцитах была найдена NO-синтаза, причем оксид азота образуемый NO-синтазой является мощным антиагрегационным соединением, препятствующий агрегации тромбоцитов. Таким образом, инкубация тромбоцитов с ингибиторами NO-синтазы приводило к повышению агрегации тромбоцитов, тогда как добавление субстрата для биосинтеза NO-синтазы - L-аргинина приводило к снижению агрегации тромбоцитов [15]. Эти данные показывают, что тромбоциты могут вносить вклад в общую генерацию оксида азота в организме человека [14, 15].

При исследовании НАДФН-диафоразной активности NO-синтазы в тромбоцитах были получены результаты (табл.2), которые свидетельствовали, что у лиц как в I группе, так и во II группе хоть и прослеживалась тенденция к снижению НАДФН-диафоразной активности NO-синтазы, однако статистически достоверных различий между здоровыми лицами и этими исследуемыми группами не было зафиксировано. Эти результаты хорошо согласуются с данными литературы про экспрессию NO-

синтазы у животных с высоким артериальным давлением, причем экспрессия NO-синтазы у них не изменяется, или наблюдается тенденция к увеличению экспрессии фермента [6].

Статистически достоверные различия были зафиксированы только между контрольной группой и III группой, где снижение НАДФН-диафоразной активности NO-синтазы составило 17,5%. Полученные данные свидетельствуют о том, что у этой категории лиц, по видимому, произошли глубокие функциональные изменения, которые привели к нарушению НАДФН-диафоразной активности NO-синтазы. В этой группе лиц было зафиксировано наиболее интенсивное протекание процессов оксидативного стресса. Вследствие этого, часть ферментов могла быть инактивирована в результате повреждающего действия свободных радикалов, а также из-за повреждения мембранных структур, на которых происходит связывание и закрепление фермента на мембране.

Показательны данные об инактивации оксида азота супероксидным анион радикалом (табл.2). Так, исследуя уровень 3-нитротирозина, можно судить о процессах образования пероксинитрита в организме человека. Наименьший уровень 3-нитротирозина в опытных группах был зафиксирован в I группе, где его уровень увеличился в 2,2 раза, тогда как уровень 3-нитротирозина во II группе увеличился в 3 раза по сравнению с контрольной группой. В III группе были зафиксированы максимальные значения 3 – нитротирозина, которые превышали уровень контрольной группы в 3,2 раза. Эти данные подтверждают, что при увеличении оксидативного стресса часть оксида азота в реакциях с активными формами кислорода будет переходить либо в стабильные соединения, такие как нитриты и нитраты, либо формировать высокореактивные соединения, такие как пероксинитрит, что будет приводить к дальнейшему увеличению интенсификации процессов оксидативного стресса в организме [2].

С целью воздействия на уровень свободных радикалов была использована аскорбиновая кислота. Однократное введение аскорбиновой кислоты оказывает различные эффекты как на уровень свободных радикалов, так и на уровень оксида азота в исследуемых группах. В группе здоровых лиц применение аскорбиновой кислоты не привело к достоверным изменениям исследуемых показателей. У лиц с повышенным артериальным давлением введение аскорбиновой кислоты позволило повысить уровень антиоксидантной защиты, однако достоверное снижение показателей, характеризующих перекисное окисление липидов было достоверно только во II группе лиц с повышенным артериальным давлением. Анализ НАДФН-диафоразной активности NO-синтазы не выявил достоверных изменений показателя в исследуемых группах после применения аскорбиновой кислоты. Исследование уровня NOx у лиц с повышенным артериальным давлением показало, что после введения аскорбиновой кислоты во II и III группе происходит достоверное увеличение уровня NOx, тогда как у лиц с повышенным артериальным давлением в I группе изменение уровня NOx было статистически недостоверным. По видимому, высокая концентрация аскорбиновой кислоты способствовала снижению уровня свободных радикалов, что позволило стабилизировать и предотвратить от разрушения необходимые для образования оксида азота NO-синтазой соединения. Это подтверждается данными о том, что один из путей нарушения в синтезе оксида азота происходит вследствие истощения и усиленной инактивации тетрагидро-L-биоптерина свободными радикалами [16]. Использование аскорбиновой кислоты у лиц с повышенным артериальным давлением, хоть и приводило к снижению уровня свободных радикалов, но оказалось неэффективным для снижения процессов перекисного окисления липидов. Также статистически недостоверным было изменение показателей, характеризующих уровень образования 3 - нитротирозина у лиц с повышенным артериальным давлением.

Таким образом, повышение уровня артериального давления в организме человека приводит к изменениям процессов, характеризующих перекисное окисление липидов и метаболизм оксида азота. Это выражается в интенсификации перекисного окисления липидов, нарушении образования оксида азота и его повышенной инактивации в свободнорадикальных реакциях. Применение аскорбиновой кислоты позволяет снизить уровень оксидативного стресса, что приводит к увеличению образования оксида азота и улучшению состояния антиоксидантной защиты у лиц с повышенным артериальным давлением.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Cai H., Harrison D.G. Endothelial dysfunction in cardiovascular diseases: The role of oxidant stress // *Circulation Research*.-2000.-Vol.87.-P.840-845.
2. Arteel G.E., Briviba K., Sies H. Protection against peroxynitrite // *FEBS Letters*.-1999.-Vol.445.-P.226-230.
3. O'Donnell V.B., Freeman B.A. Interactions Between Nitric Oxide and Lipid Oxidation Pathways // *Circ Res*.-2001.-Vol.88.-P.12-21.
4. Alderton W.K., Cooper C.E., Knowles R.G Nitric oxide synthases: structure, function and inhibition *Biochem. J*.-2001.-Vol.357.-P.593–615.
5. McIntyre M., Bohr D.F. Dominiczak A.F. Endothelial Function in Hypertension. The Role of Superoxide Anion // *Hypertension*.-1999.-Vol.34.P.539-545.

6. Рекомендації Українського товариства кардіологів з профілактики та лікування артеріальної гіпертензії. (2001) Київ, 54 с.
7. Gilgun-Sherki Y., Rosenbaum Z., Melamed E., Offen D. Antioxidant Therapy in Acute Central Nervous System Injury // *Pharm. Rev.* – 2002. – Vol.54. – P.271-284.
8. Poppa V., Miyashiro J.K., Corson M.A. et al. Endothelial NO Synthase Is Increased in Regenerating Endothelium After Denuding Injury of the Rat Aorta. *Arteriosclerosis // Thrombosis, and Vascular Biology.* – 1988. – Vol.18. – P.1312-1321.
9. Гордиенко С.М. сравнительная оценка результатов теста восстановления нитросинего тетразолия при микроскопическом и спектрофотометрическом вариантах метода с различными солями тетразолия. *Лабораторное дело.* – 1983. – №2. – С.21-24.
10. Поливода С.Н., Черепок О.О., Войтович О.В. Спосіб визначення оксиду азоту // *Промислова власність.* – 2001. – №7. – С.4.187.
11. Бурмистров С.О., Опарина Т.И., Прокопенко В.М., Арутюнян А.В. Антиоксидантная активность сыворотки крови беременных и небеременных женщин: сравнение разных методов определения // *Клиническая лабораторная диагностика.* – 1997. – № 11. – С.14-17.
12. Біохімічні та біофізичні методи оцінки порушень окислювального гомеостазу в осіб, що зазнали радіаційного впливу внаслідок аварії на ЧАЕС. Київ, 1999. – 17 с.
13. Sase K., Michel T. Expression of constitutive endothelial nitric oxide synthase in human blood platelets // *Life Sciences.* – 1995. – Vol.57. – P.2049-2055.
14. Freedman J.E., Ting B., Hankim B. et al. Impaired Platelet Production of Nitric Oxide Predicts Presence of Acute Coronary Syndromes // *Circulation.* – 1998. – Vol.98. – P.1481-1486.
15. Heller R., Unbehaun A., Schellenberg B. et al. L-Ascorbic Acid Potentiates Endothelial Nitric Oxide Synthesis via a Chemical Stabilization of Tetrahydrobiopterin // *Biol. Chem.* – 2001. – Vol.276. – P.40-47.

УДК 631.95

## АНАЛІЗ АРЕННИХ ФІТОЦЕНОЗІВ ОСТРОВА ХОРТИЦЯ

Фендюр Л.М., к.б.н., доцент, Охріменко С.Г., магістрант, Дубова О.В., к.б.н., доцент

*Запорізький державний університет*

В роботі вивчене флористичне різноманіття лісового та степового фітоценозів о.Хортиця. Виявлені їх домінуючі види, вивчено таксономічний склад, проведений флороценотичний та біоморфологічний аналіз рослинності. Встановлено антропогенний вплив на ці фітоценози.

*Ключові слова:* флора, рослинність, фітоценоз, острів Хортиця, таксономічний склад, видова структура

Фендюр Л.М., Охріменко С.Г., Дубова О.В. АНАЛИЗ АРЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ ОСТРОВА ХОРТИЦА / Запорожский государственный университет, Украина

В работе приведены данные по флористическому разнообразию лесного и степного фитоценозов о. Хортица. Виявлені їх доминирующие виды, изучен таксономический состав, проведен флористический и биоморфологический анализ растительности, Установлено антропогенное влияние на данные фитоценозы.

*Ключевые слова:* флора, растительность, фитоценоз, остров Хортица, таксономический состав, видовая структура

Fendur L.M., Ochrimenko S.G., Dubovaja E.V. THE ANALYSIS PHYTOCENOSIS OF ISLAND KHORTITSIA / Zaporizhzhya State University, Ukraine

In this investigation the vegetation wood and steppe phytocenosis of the national reserve “Khortitsa” were exploring during one years. The structure of species, the taxonomic variety, the dominating species had been investigated at this period. The analysis of vegetation specifies that the data phytocenosis are under anthropogenous influence.

*Key words:* flora, vegetation, phytocenosis, island Khortitsa, taxonomic variety, structure of species

## ВСТУП

Останнім часом багато уваги приділяється вивченню фіторізноманіття природно-заповідного фонду України. Так, у 2000-2003 роках було опубліковано багато праць по вивченню фітоценозів різних регіонів України [1,2,3,4]. Але о. Хортиця як ботанічному об'єкту до останнього часу приділяється мало уваги. Фахових публікацій, які б висвітлювали рослинний покрив острова до 1992 р. не було. У 1992-1993 роках було опубліковано дві статті [5,6].

Острів Хортиця, розташований у межах міста Запоріжжя, у степовій зоні у підзоні різнотравно-типчаково-ковилових степів із теплим сухим континентальним кліматом. Геологічною основою йому служить південний край Українського кристалічного щита. У рельєфі панують довгобалочні та заплавинні форми. Природна рослинність, що збереглася на 25 % території, подана зональними різнотравно-злаковими степами, байраками, плавневими лісами, луками та водно-болотними формаціями.

Хортиця знаходиться на перехресті двох інтрозональних геоморфологічних районів. Різноманітність природних комплексів стала причиною надзвичайно багатого різноманіття рослинного і тваринного світу. Флора і фауна Хортиці відрізняються значною видовою різноманітністю (21% від загальної кількості флори України).

Хортиця має величезний, поки ще не затребуваний потенціал для наукових, екологічних і історичних досліджень.

Мета роботи - дослідити видову різноманітність деревинної, чагарникової та трав'янистої рослинності фітоценозів острова Хортиця, розташованих по берегах озера Головківське; зробити таксономічний, флороценотичний та біоморфологічний аналіз рослинності; виділити синантропні, адвентивні види.

## МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилися в південній частині острова Хортиця – у зоні заплавлених лісів.

Матеріалом служили результати власних досліджень фітоценозів. Обліки проводилися в лютому-листопаді 2003 року. Для вивчення аренного лісового фітоценозу була обрана ділянка площею 0,5 га, на якій проводився облік деревних порід (суцільним методом) та трав'янистої рослинності (методом пробних ділянок). Для вивчення трав'янистого покриву було закладено 30 ділянок площею 1м<sup>2</sup> кожна, обліки рослин проводилися кожні 1-2 тижні.

Для вивчення степового фітоценозу була обрана ділянка площею 0,45 га прикордонна з вищевказаним лісовим фітоценозом. Обліки рослин проводилися на 30- ти пробних ділянках по 1 м<sup>2</sup> кожна з інтервалом у часі 1-2 тижні [7,8,9,10,11].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Вивчено видовий склад лісового та степового фітоценозів, зроблено їх таксономічний, флороценотичний та біоморфологічний аналіз.

Деревні і чагарникові породи подані майже всіма видами, що властиві дібровам цього класу. Домінуючими породами на прибережній території озера Головківського є *Quercus robur*, *Ulmus carpinifolia* і *Ulmus laevis* які складають верхній ярус. Супутніми породами є *Robinia pseudoacacia* і *Acer negundo*, *Gleditsia triacanthos*. Другий ярус складають *Rugus communis*, *Morus nigra*, *Acer campestre*, *Celtis occidentales*. Чагарникові породи складають третій ярус: *Caragana frutex*, *Crataegus sp.*, *Sambucus nigra*, *Evonymus europea* і *Amorpha fruticosa*. У трав'яному покриві переважають такі рослини як: *Conium maculatum*, *Geum urbanum*, *Clematis orientalis*.

Найважливішим кількісним показником кожного фітоценозу є його флористичний склад. У лісовому фітоценозі росте 74 види рослин. На досліджуваній ділянці лісового фітоценозу ростуть 23 види дерев і чагарників, та 51 вид трав'янистих рослин (табл. 1).

Таблиця 1– Видовий склад лісового фітоценозу

№	Видова назва	Порядок	Родина	Флороценотична група, підгрупа
ДЕРЕВА				
1	<i>Acer campestre</i>	Sapindales	Aceraceae	Лб, Ли, Ак
2	<i>Acer negundo</i>	Sapindales	Aceraceae	Лп, Ли, Ак
3	<i>Acer tataricum</i>	Sapindales	Aceraceae	Лб, Ли
4	<i>Americana vulgaris</i>	Rosales	Rosaceae	Ак
5	<i>Celtis occidentalis</i>	Urticales	Ulmaceae	Ак
6	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	Elaeagnales	Elaeagnaceae	Ак
7	<i>Fraxinus exelsior</i>	Oleales	Oleaceae	Лб, Ли, Ак
8	<i>Gleditsia triacanthos</i>	Fabales	Caesalpiniaceae	Ак, Ли

9	<i>Morus nigra</i>	Urticales	Moraceae	Ак, Ли
10	<i>Populus nigra</i>	Salicales	Salicaceae	Лп, Ак
11	<i>Pyrus communis</i>	Rosales	Rosaceae	Ак, Лб
12	<i>Quercus robur</i>	Fagales	Fagaceae	Лб, Ли
13	<i>Robinia pseudoacacia</i>	Fabales	Fabaceae	Ак
14	<i>Ulmus carpinifolia</i>	Urticales	Ulmaceae	Лб, Ли
15	<i>Ulmus laevis</i>	Urticales	Ulmaceae	Лп, Ли
КУЩІ				
16	<i>Amorpha fruticosa</i>	Fabales	Fabaceae	Ак,
17	<i>Caragana arborescens</i>	Fabales	Fabaceae	Ак
18	<i>Crataegus sp.</i>	Rosales	Rosaceae	Лб, Лус
19	<i>Euonymus europaea</i>	Cerasales	Cerasraceae	Лб, Лус, Ак
20	<i>Jasminum sp.</i>	Saxifragales	Hydrangeaceae	Ак
21	<i>Rosa sp.</i>	Rosales	Rosaceae	-
22	<i>Sambucus nigra</i>	Dipsacales	Caprifoliaceae	Лб, Лус, Ли, Ак
23	<i>Swida stolonifera</i>	Cornales	Cornaceae	Ак
БАГАТОРІЧНІ ТРАВИ				
24	<i>Achillea nobilis</i>	Asterales	Asteraceae	Лб, Сл, Лус, Пг
25	<i>Ajuga genevensis</i>	Lamiales	Lamiaceae	Лб, Лус
26	<i>Allium paczoskianum</i>	Liliales	Alliaceae	Сп, Спс, Ср
27	<i>Arctium lappa</i>	Asterales	Asteraceae	Ак, Ли
28	<i>Aristolochia clematitis</i>	Aristolochiales	Aristolochiaceae	
29	<i>Artemisia austriaca</i>	Asterales	Asteraceae	Лус
30	<i>Asparagus officinalis</i>	Liliales	Asparagaceae	Ср, Лус
31	<i>Astragalus austriacus</i>	Fabales	Fabaceae	Спс, Сл
32	<i>Calamagrostis</i>	Poales	Poaceae	Луп, Б
33	<i>Campanula persicifolia</i>	Companulales	Companulaceae	Лб, Лус
34	<i>Chelidonium majus</i>	Papaverales	Papaveraceae	Ли, Лус
35	<i>Clematis orientalis</i>	Ranunculales	Ranunculaceae	Лб, Лус, Ак
36	<i>Convallaria majalis</i>	Liliales	Liliaceae	Лб, Ак
37	<i>Corydalis cave</i>	Papaverales	Fumariaceae	Лб
38	<i>Corydalis solida</i>	Papaverales	Fumariaceae	Лб
39	<i>Dactylis glomerata</i>	Poales	Poaceae	Лб, Луп, Ли
40	<i>Dyanthus campestris</i>	Caryophyllales	Caryophyllaceae	Лб, Лус
41	<i>Euphorbia stepposa</i>	Euphorbiales	Euphorbiaceae	Сп, Спс, Ак
42	<i>Festuca sp.</i>	Poales	Poaceae	Спс
43	<i>Galium Ruthenicum</i>	Gentianales	Rubiaceae	Спс, Сп, Лус, Сл, Пг
44	<i>Geum urbanum</i>	Rosales	Rosaceae	Лус, Лб, Ли
45	<i>Glechoma hederacea</i>	Lamiales	Lamiaceae	Лб, Ли, Лу, Лп, Б
46	<i>Hypericum perforatum</i>	Theales	Hypericaceae	Лу, Сп, Лб, Ли

47	Leonurus cardiaca	Lamiales	Lamiaceae	Лус, Ак
48	Limonium	Plumbaginales	Limonaceae	Сп
49	Lysimachia	Primulales	Primulaceae	Лб, Лп, Луп
50	Melica transilvanica	Poales	Poaceae	Лб, Луп, Ли
51	Polygonatum	Liliales	Liliaceae	Лб, Ак
52	Potentilla argentea	Rosales	Rosaceae	Пл, Сл, Сп, Лус
53	Scabiosa ochroleuca	Dipsacales	Dipsacaceae	Лус, Лб, Сп, Спс
54	Sedum ruprechtii	Saxifragales	Crassulaceae	Сп, Спс, Лус, Лб
55	Sempervivum	Saxifragalis	Crassulaceae	Сп, Спс
56	Silaum silaus	Araliales	Apiaceae	Луп
57	Stipa sp.	Poales	Poaceae	С-
58	Tanacetum millefolium	Asterales	Asteraceae	Сл, Сп, Ли, Лус, Лу, Лб
59	Thalictrum flavum	Ranunculales	Ranunculaceae	Сл, Сп, Лус, Луп, Ли
60	Verbascum	Scrophulariales	Scrophulariaceae	Сл, Сп, Лус, Пг
61	Veronica longifolia	Scrophulariales	Scrophulariaceae	Луп, Лп
62	Vicia cracca	Fabales	Fabaceae	Лус, Лб, Сп
ДВОРІЧНІ ТРАВИ				
63	Conium maculatum	Araliales	Apiaceae	Лб, Ли
64	Medicago lupulina	Fabales	Fabaceae	Лу, Ак
65	Melandrium album	Caryophyllales	Caryophyllaceae	Ак
66	Plantago major	Scrophulariales	Plantaginaceae	Спс, Луп, Лус
67	Tragopogon major	Asterales	Asteraceae	Лус, Лб, Ли
68	Viola tricolor	Violales	Violaceae	Лб, Лус, Ли, Сп
ОДНОРІЧНІ ТРАВИ				
69	Atriplex sp.	Caryophyllales	Chenopodiaceae	Ак
70	Barbarea stricta	Capparales	Brassicaceae	Луп
71	Berteroa incana	Capparales	Brassicaceae	Ак
72	Cannabis ruderalis	Urticales	Cannabinaceae	Ак
73	Tripholium arvense	Fabales	Fadaceae	Лус, Луп
74	Polygonum	Polygonales	Polygonaceae	Ак

*Примітка.* Степова флороценотична група (С) складається з таких флороценотичних підгруп: різнотравно-типчково-ковиловостепова (Ср), псамофітностепова (Спс), петрофітностепова (Сп), лучностепова (Сл), галофітно-степова (Сг). Лучна флороценотична група (Лу) складається з таких флороценотичних підгруп: суходільно-лучна (Лус), заплавино-лучна (Луп). Гранітнопетрофільна група (Пг). Лісова флороценотична група (Л) має такі підгрупи: байрачно-лісова (Лб), заплавино-лісова (Лп), штучно-лісова (Ли). Болотна група (Б). Рудерально-сегетальна (Ак). Еврїбїонтні види, залежно від їх зустрічальності, відносили до декількох флороценотичних груп (підгруп)[6].

Складні взаємовідношення виду та умов середовища знаходять своє відображення в життєвій формі рослин. Аналіз життєвих форм за біологічними типами Раункієра лісового фітоценозу показує, що за кількістю видів у ньому переважають геофіти (45%), практично однаковою кількістю видів представлені фанерофіти (18%), нанофанерофіти (15%) та гемікриптофіти (14%). Це свідчить про те, що цей фітоценоз розташований у складних умовах зволоження та дії низьких зимових температур. Однорічні трави в основному зустрічаються на узбіччях фітоценозу (біля дороги) – це рудеральні види.

Біоморфологічна структура флори певної території значно залежить від ґрунтово-кліматичних, екологічних та ценотичних умов середовища. Аналіз фітоценозу за біоморфологічними ознаками показує, що за кількістю видів переважають рослини без кореневищ (80%), без розеток із прямостоячими стеблами (88%), зі стрижневою кореневою системою (86%).

Еколого-фітоценотична структура відображає кількісне співвідношення видів флори, приурочених до певних флороценотипів. Згідно з отриманими даними серед деревинно-чагарникових переважають рослини рудерально-сегетальної і лісової флороценотичної групи (байрачно-лісової, заплавно-лісової і штучно-лісової підгруп).

Серед трав'янистих рослин переважають рослини лугової та лісової флороценотичних груп, досить численні рослини рудерально-сегетальної та степової груп, що ростуть на узліссях. Цей фітоценоз можна віднести до свіжих мезофільних карагачевих дубняків з розхідником аренного класу, які ростуть на відносно бідних ґрунтах з ознаками засолення, на що вказує наявність у трав'янистому покриві таких галофітів, як *Silaum silaus*, *Clematis orientalis*, *Glechoma hederacea*.

Важливим показником флори є також її систематична структура, тобто розподіл видів між систематичними категоріями вищого рангу. Загалом у лісовому фітоценозі ростуть види, що належать до 31 порядку 41 сімейства та 68 родів. Переважають рослини таких порядків: Fabales (2 родини; 7 родів; 7 видів), Asterales (1; 5; 6); Poales (1; 5; 6), Rosales (1; 6; 6), Urticales (3; 4; 5).

Також досліджувався степовий фітоценоз, у якому росте 81 вид трав'янистих рослин (табл. 2). Таксономічний аналіз показує, що рослини цього угруповання належать до 21 порядку, 27 родин, та 68 родів. Найбільшим таксономічним різноманіттям характеризуються такі порядки: Asterales (1 родина; 14 родів; 15 видів); Poales (1; 10; 13); Fabales (1; 7; 9); Rosales (1; 2; 5); Caryophyllales (4; 5; 5). Найбільшим родовим та видовим багатством відрізняються родини Asteraceae, Poaceae, Fabaceae.

Таблиця 2 - Видовий склад степового фітоценозу

№	Видова назва (латинська)	Порядок	Родина	Флороценотична група, підгрупа
<b>БАГАТОРІЧНІ ТРАВИ</b>				
1	<i>Achillea nobilis</i>	Asterales	Asteraceae	Лб, Сл, Лус, Пг
2	<i>Achillea pannonica</i>	Asterales	Asteraceae	Сп
3	<i>Agropyron lavrenkoanum</i>	Poales	Poaceae	Спс
4	<i>Agropyron pectinatum</i>	Poales	Poaceae	С, Пг
5	<i>Ajuga genevensis</i>	Lamiales	Lamiaceae	Лб, Лус
6	<i>Allium paczoskianum</i>	Liliales	Alliaceae	Сп, Спс, Ср
7	<i>Arctium lappa</i>	Asterales	Asteraceae	Ак, Ли
8	<i>Artemisia absinthium</i>	Asterales	Asteraceae	Ак
9	<i>Artemisia austriaca</i>	Asterales	Asteraceae	Лус
10	<i>Astragalus austriacus</i>	Fabales	Fabaceae	Спс, Сл
11	<i>Astragalus suleatus</i>	Fabales	Fabaceae	Лус, Сп, Спс, Пг
12	<i>Calamagrostis canescens</i>	Poales	Poaceae	Луп, Б
13	<i>Calamagrostis epigeios</i>	Poales	Poaceae	Лу, Лб, Ли
14	<i>Cichorium intybus</i>	Asterales	Asteraceae	Ак
15	<i>Clematis orientalis</i>	Ranunculales	Ranunculaceae	Лб, Лус, Ак
16	<i>Convolvulus arvensis</i>	Polemoniales	Convolvulaceae	Ак
17	<i>Coronilla varia</i>	Fabales	Fabaceae	Лб, Лу, Сп, Сл
18	<i>Corydalis cave</i>	Papaverales	Fumariaceae	Лб
19	<i>Corydalis solida</i>	Papaverales	Fumariaceae	Лб
20	<i>Dactylis glomerata</i>	Poales	Poaceae	Лб, Луп, Ли
21	<i>Dyanthus campestris</i>	Caryophyllales	Caryophyllaceae	Лб, Лус

22	<i>Elitrigia intermedia</i>	Poales	Poaceae	Лус, Лб, Ли, Ср
23	<i>Eringium campestre</i>	Araliales	Apiaceae	Сл, Сп, Спс, Ли
24	<i>Euphorbia seguieriana</i>	Euphorbiales	Euphorbiaceae	Сп, Спс, Сл, Пг
25	<i>Euphorbia stepposa</i>	Euphorbiales	Euphorbiaceae	Сп, Спс, Ак
26	<i>Festuca sp.</i>	Poales	Poaceae	Спс
27	<i>Filipendula vulgaris</i>	Rosales	Rosaceae	Лус, Сл, Луп
28	<i>Gagea maotica</i>	Liliales	Liliaceae	Ср, Сп
29	<i>Galium Ruthenicum</i>	Gentianales	Rubiaceae	Спс, Сп, Лус, Сл, Пг
30	<i>Helychrisum arenarium</i>	Asterales	Asteraceae	Спс, Сп, Сл, Пг
31	<i>Hypericum perforatum</i>	Theales	Hypericaceae	Лу, Сп, Лб, Ли
32	<i>Iris germanica</i>	Liliales	Iridaceae	Ак
33	<i>Koeleria subuletorum</i>	Poales	Poaceae	Сп, Спс
34	<i>Lathyrus pratensis</i>	Fabales	Fabaceae	Лус, Лп
35	<i>Leonurus cardiaca</i>	Lamiales	Lamiaceae	Лус, Ак
36	<i>Limonium platyphyllum</i>	Plumbaginales	Limonaceae	Сп
37	<i>Linaria vulgaris</i>	Scrophulariales	Scrophulariaceae	Ли, Сл
38	<i>Medicago lupulina</i>	Fabales	Fabaceae	Лу, Сл, Сп, Пг
39	<i>Melica transilvanica</i>	Poales	Poaceae	Лб, Луп, Ли
40	<i>Phleum phleoides</i>	Poales	Poaceae	Лу, Лб
41	<i>Plantago lanceolata</i>	Scrophulariales	Plantaginaceae	Ак
42	<i>Poa pratensis</i>	Poales	Poaceae	Луп, Лп
43	<i>Potentilla alba</i>	Rosales	Rosaceae	Ак
44	<i>Potentilla anserina</i>	Rosales	Rosaceae	Лп, Луп, Лус
45	<i>Potentilla argentea</i>	Rosales	Rosaceae	Пл, Сл, Сп, Лус
46	<i>Potentilla canescens</i>	Rosales	Rosaceae	Пп, Сл, Сп, Лус
47	<i>Salvia nemorosa</i>	Lamiales	Lamiaceae	Лу, Лб, Сп, Пг
48	<i>Scabiosa ochroleuca</i>	Dipsacales	Dipsacaceae	Лус, Лб, Сп, Спс
49	<i>Sedum acre</i>	Saxifragales	Crassulaceae	Сп, Спс
50	<i>Sedum ruprechtii</i>	Saxifragales	Crassulaceae	Сп, Спс, Лус, Лб
51	<i>Sempervivum ruthenicum</i>	Saxifragalis	Crassulaceae	Сп, Спс
52	<i>Silaum silaus</i>	Araliales	Apiaceae	Луп
53	<i>Stipa sp.</i>	Poales	Poaceae	С
54	<i>Tanacetum millefolium</i>	Asterales	Asteraceae	Сл, Сп, Ли, Лус, Лу, Лб
55	<i>Taraxacum officinale</i>	Asterales	Asteraceae	Лу, Сл, Ак
56	<i>Thalictrum flavum</i>	Ranunculales	Ranunculaceae	Сл, Сп, Лус, Луп, Ли
57	<i>Thymus Borysthenticus</i>	Lamiales	Lamiaceae	Спс
58	<i>Verbascum phoeniceum</i>	Scrophulariales	Scrophulariaceae	Сл, Сп, Лус, Пг
59	<i>Veronica longifolia</i>	Scrophulariales	Scrophulariaceae	Луп, Лп
60	<i>Veronica steppacea</i>	Scrophulariales	Scrophulariaceae	Лус, Сп, Спс

61	<i>Vicia cracca</i>	Fabales	Fabaceae	Лус, Лб, Сп
<b>ДВОРІЧНІ ТРАВИ</b>				
62	<i>Carduus unicus</i>	Asterales	Asteraceae	Ср
63	<i>Centaurea diffusa</i>	Asterales	Asteraceae	Ак
64	<i>Falcaria vulgaris</i>	Araliales	Araliaceae	Лус, Лб, Ли
65	<i>Medicago lupulina</i>	Fabales	Fabaceae	Лу, Ак
66	<i>Melandrium album</i>	Caryophyllales	Caryophyllaceae	Ак
67	<i>Oenothera biennis</i>	Myrtales	Myrtaceae	-
68	<i>Plantago major</i>	Scrophulariales	Plantaginaceae	Спс, Луп, Лус
69	<i>Tragopogon major</i>	Asterales	Asteraceae	Лус, Лб, Ли
<b>ОДНОРІЧНІ ТРАВИ</b>				
70	<i>Amarantus sp.</i>	Caryophyllales	Amarantaceae	Ак
71	<i>Ambrosia artemisifolia</i>	Asterales	Asteraceae	Ак
72	<i>Anthemis arvensis</i>	Asterales	Asteraceae	-
73	<i>Atriplex sp.</i>	Caryophyllales	Chenopodiaceae	Ак
74	<i>Barbarea stricta</i>	Capparales	Brassicaceae	Луп
75	<i>Berteroa incana</i>	Capparales	Brassicaceae	Ак
76	<i>Capsella bursa-pastoris</i>	Capparales	Brassicaceae	Ак
77	<i>Crepis tenctorum</i>	Asterales	Asteraceae	Ак
78	<i>Digitaria pectiniiformes</i>	Poales	Poaceae	Ак, Ли
79	<i>Polygonum aviculare</i>	Polygonales	Polygonaceae	Ак
80	<i>Portulaca oleraceae</i>	Caryophyllales	Portulacaceae	Ак
81	<i>Sisymbrium loesel</i>	Capparales	Brassicaceae	Ак

Цей фітоценоз можна віднести до різнотравно-злакових степів, у ньому домінують *Galium ruthenicum*, *Veronica longifolia*, *Vicia cracca*, *Calamagrostis canescens*, *Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia intermedia*, *Agropyron pectinatum*.

Найбільш чисельною є степова флороценотична група. Досить чисельні рослини рудерально-сегетальної, лучної (лучно-степова підгрупа) груп, вони подані приблизно однаковим числом видів. Наявність рослин лучної флороценотичної групи викликана близьким розташуванням озера Голоківського; лісової групи – сусідством із лісовим фітоценозом; а рудерально-сегетальної групи – антропогенними змінами середовища, які викликані впливом атмосферних забруднювачів, а також дією рекреаційного фактора.

Також різноманіття флороценотичних груп вказує на строкатість ґрунтових умов, відмінності в мікрорельєфі, що є характерним для аренних фітоценозів.

У степовому фітоценозі переважають (за видовим різноманіттям) багаторічні трави (75%), дворічні трави складають 10%, а однорічні – 15%. Переважання багаторічних трав вказує, що цей фітоценоз знаходиться в умовах недостатнього зволоження. Однорічні – рудерально-сегетальні види зустрічалися лише на ділянках, розташованих біля ґрунтової дороги та краю обриву (біля стежини), це вказує на негативний вплив антропогенного фактора. Відсутність однорічних трав на ділянках, які менше відчувають вплив витогування вказує на посушливі умови року, у якому проводилися дослідження.

Співвідношення безкореневищних видів (58%) до кореневищних (39%) є типовим для різнотравно-злакових степів. Оскільки в цьому фітоценозі за біомасою переважає різнотрав'я, тому типовим є наявність великої кількості видів із стрижневою кореневою системою.

Наявність субасоціацій у межах фітоценозу вказує на різні ґрунтові умови та різні умови зволоження.

## ВИСНОВКИ

1. На дослідженій території площею 0,95 га зростає 118 видів вищих рослин, що складає 11% від загальної кількості видів вищих рослин о. Хортиця.

2. Лісовий фітоценоз представлений 74 видами вищих рослин. Переважають за кількістю видів представники порядків: Fabales, Asterales, Rosales, Poales, Urticales. Це мезофільний, карагачевий дубняк з розхідником ареного класу.
3. У степовому фітоценозі рослинність подана 81 видом рослин. Найбільшим видовим різноманіттям характеризуються такі порядки: Asterales, Poales, Fabales. Цей фітоценоз відноситься до полідомінантних різнотравно-злакових степів, з домінуванням *Galium ruthenicum*, *Veronica longifolia*, *Vicia cracca*, *Calamagrostis canescens*, *Calamagrostis epigeios*, *Elytrigia intermedia*, *Agropyron pectinatum*.
4. За біоморфологічною структурою в обох фітоценозах переважають геофіти зі стрижневою кореневою системою, без розеток з прямостоячими стеблами.
5. Наявність рослин рудерально-сеgetальної флороценотичної групи, таких як: *Ambrosia artemisifolia*, *Berteroa incana*, *Polygonum aviculare*, *Capsella bursa-pastoris*, *Portulaca oleraceae* вказує на те, що фітоценози знаходяться під значним антропогенним впливом, хоча і розташовані в південній найменш порушеній частині острова.
6. Наші дослідження виявили 1 вид деревинних (*Celtis occidentalis*) та 1 вид трав'янистих рослин (*Oenothera biennis*), що не внесені до систематичного списку вищих рослин острова Хортиця [6]. Видовий склад рослинності острова потребує більш детального вивчення.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Мельник В. И. Редкие виды флоры равнинных лесов Украины. – К.: Фитосоціоцентр, 2000. – 212с.
2. Конішук В.В. Рідкісні види рослин Черемського природного заповідника Державний комітет лісового господарства Укр // Український ботанічний журнал. – 2003. - 60, №3. – С. 264-272.
3. Дідух Я.П. та інші. Екофлора України. Том 1. К. Фітосоціоцентр, 2001. – 284с.
4. Дідух Я.П. та інші. Екофлора України. Том 3. К. Фітосоціоцентр, 2002. – 496с.
5. Попович С.Ю., Устименко П.М., Костильов О.В. Сучасний стан рослинного покриву острова Хортиця Укр.ботан.журн. - 1992. - 49, №1. – С.77-81.
6. Петроченко В.М. Природа острова Хортиця //Сборник научных трудов. - Запорожье, 1993. №1. - 162с.
7. Григора І.М., Соломаха В.А. Основи фітоценології. – К.: Фітосоціоцентр, 2000. – 240 с.
8. Миркин Б.М., Наумова Л.Г., Соломещ А.И. Современная наука о растительности: Учебник. – М.: Логос, 2001. – 264 с. с ил.
9. Нечитайло В.А., Кучерява Л.Ф., Погребенник В.П. Систематика вищих рослин: Лабораторний практикум.-К.: Фітосоціоцентр.–2001.– 456с.
10. Определитель высших растений Украины / Доброчаева Д.Н. и др. К.: Наукова думка, 1987. - 548с.
11. Крицька Л.І. Аналіз флори степів та вапнякових відсолень правобережного злакового степу // Український ботанічний журнал. - 1985. - 42, №2. - С.1-5.

УДК 576.8:620.193.81

## МЕТАБОЛІЗМ АЕРОБНИХ ТІОНОВИХ БАКТЕРІЙ ЯК ЧИННИК ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ВОДОВІДВЕДЕННЯ

Юрченко В.О., к.б.н., ст.н.с.

*ДержНДІ УкрВОДГЕО, м. Харків*

Досліджено кількісні характеристики дії різних видів тіобацил на активність мікробіологічної корозії бетонних трубопроводів водовідведення. Встановлено, що концентрація ацидофільних аеробних тіобацил пропорційна рН бетону. Розроблено метод оперативного визначення концентрації цих тіобацил в бетоні споруд водовідведення.

*Ключові слова:* ацидофільні тіобацили, мікробіологічна корозія бетону, оперативне визначення, екологічна безпека.

Юрченко В.А. МЕТАБОЛИЗМ АЭРОБНЫХ ТИОНОВЫХ БАКТЕРИЙ КАК ФАКТОР ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ВОДООТВЕДЕНИЯ / УГосНИИУкрВОДГЕО, Украина.

Исследованы количественные характеристики воздействия различных видов тиобацилл на активность микробиологической коррозии бетонных трубопроводов водоотведения. Установлено, что

концентрація ацидофильних аэробних тиобацилл пропорциональна рН бетону. Разработан метод оперативного определения концентрации этих тиобацилл в бетоне сооружений водоотведения.

*Ключевые слова: ацидофильные бациллы, микробиологическая коррозия, оперативное определение, экологическая безопасность.*

Yurchenko V.O. THE AEROBIC THIONIC BACTERIA METABOLISM AS A FACTOR OF THE ECOLOGICAL SECURITY / Kharkiv, UdndiUkrVODGEO, Ukraine.

Quantitative characteristics of the different species thiobacilli influence on microbiological corrosion process of the concrete sewerage have been researched. It has been determined the acidophilic thiobacilli concentration is proportional to the concrete pH. The method of the speed determination of these bacteria concentration in the sewerage concrete constructions has been elaborated.

*Key words: acidophilic thiobacilli, microbiological concrete corrosion, speed determination, ecological security.*

## ВСТУП

Метаболізм хемолітоавтотрофних тиобацил – аеробний хемосинтез сіркобактерій – є одним із найбільш активних чинників геологічної діяльності мікроорганізмів у біосфері, та не менш масштабним явищем в техносфері – мікробіологічної корозії, головним чином об'єктів неорганічної природи [1–5, 7]. Глибокому корозійному руйнуванню підлягають пористі будівельні матеріали, зокрема бетон. Така схильність бетону до мікробіологічної корозії обумовлена його хімічним складом, структурою і механічними властивостями.

Механізм впливу мікроорганізмів на бетон можна уявити в такий спосіб. При виготовленні бетон вкривається захисною плівкою, утвореною вуглекислим кальцієм, яка перешкоджає дифузії води усередину бетону і таким чином захищає бетонні споруди від руйнування. Тіонові бактерії, що розвиваються на поверхні шару  $\text{CaCO}_3$ , руйнують його в результаті дії сірчаної кислоти – головного метаболіту тиобацил. Крім того сірчана кислота при взаємодії з компонентами бетону утворює еtringіт, кристали якого механічно руйнують бетон [1, 6].

На сьогодні встановлено, що життєдіяльність тіонових бактерій, головним чином *Thiobacillus thiooxidans*, є причиною корозії бетону самопливних каналізаційних колекторів - однієї з найбільш гострих проблем експлуатаційної надійності водовідведення як в Україні, так і за кордоном [6,7].

Інтенсивність аварій на 1 км залізобетонних трубопроводів (які складають четверту частину каналізаційних мереж м. Харкова) у рік досягає 1,8, у той час як на 1 км керамічних – 0,09, а на 1 км цегельних – 0,009. До 74% аварій на бетонних колекторах, що пронизують увесь підземний простір міст, обумовлено корозією склепіння трубопроводу внаслідок впливу сірчаної кислоти біогенного походження [6].

Необхідно також відзначити, що аварії на бетонних трубопроводах, які відносяться, як правило, до першої категорії небезпеки, приводять до інтенсивного забруднення педосфери, атмосфери і гідросфери міських районів токсичними сполуками з довгостроковими екологічними наслідками. Забезпечення екологічної безпеки великомасштабних технічних об'єктів вимагає як знання причин техногенних аварій, так і володіння методами контролю і прогнозу екологічних ситуацій, що обумовлені техногенними і природними факторами. Метою наших досліджень було визначення кількісних характеристик впливу тіонових бактерій на стан бетону трубопроводів водовідведення і використання їх для оцінки експлуатаційної надійності споруд.

## ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень були зразки бетону каналізаційних колекторів м. Харкова, різною мірою вражені мікробіологічним корозійним процесом.

Динаміку мікробіологічних і хімічних характеристик у процесі корозії бетону контролювали шляхом зіставлення з показником, що кількісно відбиває розвиток у часі сульфатної агресії - значеннями рН водяних витяжок зі зразків.

Концентрацію *T. thiooxidans* встановлювали в усередненій пробі методом граничних розбавлень при висіві серійних розбавлень в 3-5 повторюванностях у рідке живильне середовище Ваксмана з індикатором. Облік проводили на 8-й день інкубації при 25°C, визначаючи ріст тиобацил за переходом кольору середовища. Концентрацію тиобацил обчислювали за допомогою таблиць Мак-Креді і співвідносили із сухою вагою усередненої проби, яку визначали гравіметричним методом [8].

Для проведення хімічного аналізу зразки бетону обробляли відповідно до вимог ДСТУ 5382–91, а також за методиками, що використовуються у хімічному аналізі ґрунтів і мінералів [9].

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

Зразки бетону склепіння колекторів візуально істотно відрізнялися від бетону, що не знаходився в експлуатації. Зразки, рН яких був нижче 4,5 (рН натівного бетону 12,3-12,5), являли собою не міцний

моноліт, а пухку сіру масу, що не має міцності, із практично зруйнованим цементним каменем і слідами іржі від арматури. Окремі зразки мали рН 1,27-1,45, що з урахуванням розведень, виконаних при визначенні цього показника в бетоні, відповідає рН плівкової порової рідини близько 0 - екстремальних умов для розвитку навіть такого ацидофільного виду тіонових бактерій як *T. thiooxidans*.

Як показали мікробіологічні дослідження бетону каналізаційних колекторів м. Харкова, спостерігалась стабільна кореляція між рН бетону і чисельністю *T. thiooxidans* (рис. 1). І при рН бетону 1,27-1,45 відзначена найбільш висока концентрація в ньому цих бактерій - більш  $10^8$  кл/г бетону. Концентрація інших тіобацил була значно нижчою (таблиця).

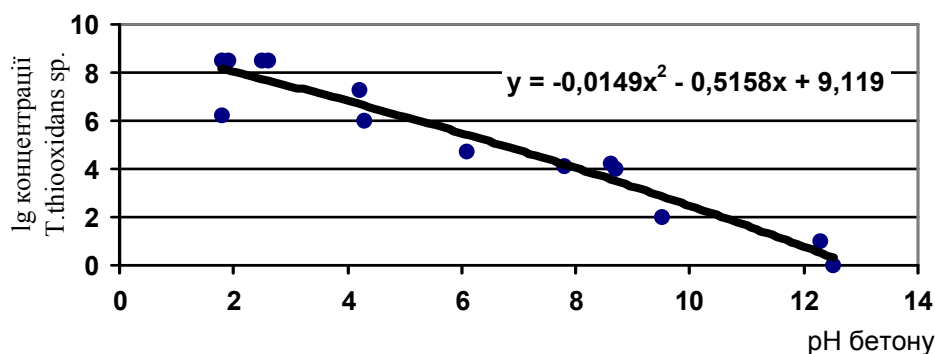


Рис. 1 - Вплив рН бетону на концентрацію в ньому *T. thiooxidans* sp.

Таблиця – Вплив корозійного процесу на концентрацію бактерій циклу сірки в бетоні

рН бетону	Концентрація бактерій, кл/г бетону			
	Тіонових, що окислюють сульфід до $S^0$	<i>T. denitrificans</i>	Сульфат-редуктуючих	Загальна чисельність бактерій, визначена методом прямого обліку
1,8	0	0	0	$2,0 \cdot 10^8$
2,9	0	0	$0,5 \cdot 10$	$1,7 \cdot 10^8$
4,2	0	$8,5 \cdot 10^2$	$0,9 \cdot 10^2$	$2,9 \cdot 10^8$
6,1	$1,2 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^5$	$0,3 \cdot 10$	$5,2 \cdot 10^8$
7,8	$2,1 \cdot 10^2$	$1,5 \cdot 10^2$	$0,4 \cdot 10$	$4,8 \cdot 10^8$
8,6	$4,3 \cdot 10^3$	$4,3 \cdot 10^2$	0	$2,1 \cdot 10^8$
12,3	10	0	10	$10^3$

Ці результати кореспондуються з даними мікробіологічних досліджень субстратів, утворених у корозійно-агресивній ситуації, що виникла при будівництві Київського метрополітену [1]. Ці дослідження виявили кореляції між рН середовища і концентрацією *Th. ferrooxidans*. Але в досліджених середовищах не відзначалися такі екстремально низькі значення рН середовища, як у досліджуваних нами зразках, а також такі високі концентрації тіонових бактерій.

При хімічному дослідженні зразків бетону, уражених корозією, встановлена залежність між рН зразків (глибиною корозійної поразки) і концентрацією в них загальної сірки і сірки сульфатів - головного продукту метаболізму *T. Thiooxidans* (рис.2). У нативному бетоні сірка виявляється в мінімальних концентраціях, обумовлених присутністю сульфатів у воді, що використовувалась при виробництві бетону. В динаміці корозійного процесу концентрація сірки сульфатів у бетоні зростає по експонентній кривій. Джерелом сірки в бетоні каналізаційних колекторів може бути сірководень, який виділяється зі стічних вод, що транспортуються. Однак, у продуктах корозії бетону сульфід практично не виявлялися [6]. І, як свідчать дані наших досліджень, сірка, що накопичується в бетоні трубопроводів водовідведення в процесі біогенної сірчаноокислотної корозії, представлена практично тільки сульфатами.

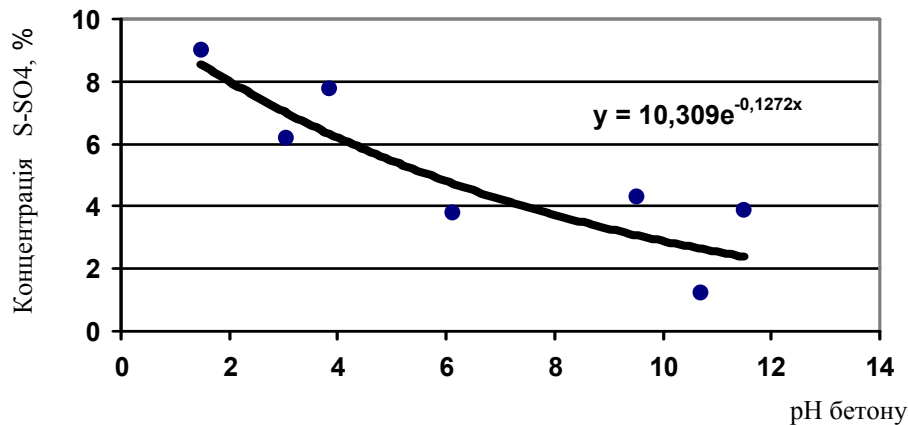


Рис. 2 - Вплив рН бетону на вміст в ньому сульфатів

Таким чином, корозійне руйнування бетону склепіння каналізаційних колекторів обумовлено розвитком і метаболізмом екстремально ацидофільних штамів *T. thiooxidans*, які утворюють сірчану кислоту, що взаємодіє з компонентами бетону і викликає корозію II виду за класифікацією Москвіна.

Встановлена нами кількісна кореляція між рН бетону і концентрацією в ньому *T. thiooxidans* має велике практичне значення для оцінки агресивності середовища на склепінні колекторів. У стандарті Німеччини концентрація тіонових бактерій використовується як критерій корозійної небезпеки середовища, що впливає на бетон трубопроводів водовідведення. Однак, стандарт має тільки 3 рівні градації середовища: сильно-агресивне ( $>10^4$  кл/см<sup>2</sup>), агресивне ( $10^4$ - $10^2$  кл/см<sup>2</sup>) і неагресивне ( $<10^2$  кл/см<sup>2</sup>). Крім того, тривалість визначення концентрації тіонових бактерій з урахуванням підготовки до аналізу складає біля тижня. Такі дослідження дуже трудомісткі і можуть виконуватися в спеціалізованій мікробіологічній лабораторії, що володіє специфічною для даної області інфраструктурою. Пропонована нами методика визначення концентрації тіобацил у спорудах водовідведення займає від години до декількох та може виконуватися у звичайній виробничій лабораторії, яка контролює роботу мереж водовідведення. З метою ще більшого прискорення терміну визначення концентрації тіобацил у бетоні та проведення аналізу без вилучення зразків бетону із споруди було застосовано спеціальний датчик, який дозволяє виконувати аналіз за 1–2 хв. Ця розробка одержала позитивне рішення про надання деклараційного патенту України.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Андреюк Е.И., Билай В.И., Коваль Э.З., Козлова И.А. и др. Микробная коррозия и ее возбудители. – К.: Наук. думка, 1980. – 287с.
2. Биоповреждения / Под ред. В. Д. Ильичева. – М.: Высшая школа, 1987. – 426с.
3. Биотехнология металлов: Практическое руководство. – М.: Центр международных проектов ГКНТ, 1989. – 374 с.
4. Кондратьева Е.Н. Литотрофные прокариоты. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – 312 с.
5. Заварзин Г.А. Литотрофные микроорганизмы. – М.: Наука, 1972. – 323 с.
6. Дрозд Г.Я. Повышение эксплуатационной долговечности и экологической безопасности канализационных сетей. Автореф. диссертации на соискание ученой степени докт.техн.наук. – Макеевка, 1998. – 36 с.
7. Normann K., Normann F.-J., Schmidt M. Stability of concrete against biogenic sulfuric acid corrosion - a new method for determination.//Proceedings of the 10th International Congress on the chemistry of cement. Gothenburg, Sweden, June 2-6, 1997. - Vol. 4 - 4iv038.
8. Кузнецов С.И., Дубинина Г.А. Методы изучения водных микроорганизмов.- М.:Наука, 1989.- 288 с.
9. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. - 2-е изд., перераб. и доп. –М.: Изд-во МГУ, 1970. - 491 с.

УДК .....

## ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ У “ВІСНИК ЗАПОРІЗЬКОГО ДЕРЖАВНОГО УНІВЕРСИТЕТУ” ЗА ФАХОМ “ФІЗИКО-МАТЕМАТИЧНІ НАУКИ. БІОЛОГІЧНІ НАУКИ”

Іваненко В.А., д. ф.-м.н., професор

*Запорізький державний університет*

До друку будуть прийматися лише наукові статті, де присутні такі необхідні елементи (п.3 Постанови президії ВАК України № 7 – 05 / 1 від 15 січня 2003 р.):

- **Постановка проблеми** у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями ;
- **Аналіз останніх досліджень і публікацій** , в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор ;
- **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми** , котрим присвячується дана стаття ;
- **Формулювання цілей** статті (постановка завдання) ;
- **Виклад основного матеріалу дослідження** з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів ;
- **Висновки з даного дослідження і перспективи** подальших розвідок у даному напрямку.

### 1. МАКЕТ СТОРІНКИ

Для оригінал-макета використовується формат А4 з такими полями:

Верхнє та нижнє поля – 2 см, ліве поле – 2 см, праве поле – 3 см.

Шрифт набору – Times New Roman.

У разі необхідності для шрифтових виділень у таблицях і рисунках дозволяється застосовувати шрифт Courier New (наприклад, для ілюстрації текстів програм для ЕОМ). Для стилістичного виділення фрагментів тексту слід вживати начертання *курсив*, **напівжирний**, *напівжирний курсив* зі збереженням гарнітури, розміру шрифту та інтервалу абзаца.

Гарнітури, розміри шрифтів та начертання:

- a) для заголовку статті: Times New Roman, – 14 пт, напівжирний, усі великі.
- b) для підзаголовків: Times New Roman, – 12 пт, напівжирний, усі великі.
- c) для основного тексту, УДК, авторів, виносок, посилань, підписів до рисунків та надписів над таблицями: Times New Roman, – 10 пт.,
- d) для анотацій, ключових слів -9 пт.

Інтервал між абзацами – 6 пт, міжрядковий інтервал – одинарний.

### 2. ТИПОГРАФСЬКІ ПОГОДЖЕННЯ ТА СТИЛІ

УДК набирається в першому рядкові сторінки і вирівнюється за лівим краєм. Заголовок статті набирається у наступному за УДК рядкові і вирівнюється посередині. Потім указують: прізвища, ініціали авторів, їх посади, учені ступені, звання, нижче - *місце роботи (курсивом)*. Далі розташовуються анотації українською, російською, англійською мовами і ключові слова (також трьома мовами). Анотації повинні також містити: прізвища, ініціали авторів, назву статті, місце їх роботи або навчання.

Початок абзаца основного тексту виділяється збільшеним інтервалом між абзацами і не виділяється відступом або пустим рядком.

Усі ілюстрації мають бути оригінальними рисунками або фотографіями. Фотографії скануються у 256 градациях сірого. Усі ілюстрації розташовуються у відповідних місцях тексту статті (по можливості угорі сторінки) і повинні бути послідовно пронумеровані: Рис. 1, Рис. 2,... (слід вживати арабську нумерацію).

Ілюстрації, так само як і підписи до них, вирівнюються на середину рядка (за виключенням невеликих рисунків – не більш 7 см, які можуть розташовуватися по декілька в ряд).

Усі таблиці розташовуються у відповідних місцях тексту (по можливості угорі сторінки) і повинні бути послідовно пронумеровані: Таблиця 1, Таблиця 2, ... (слід використовувати арабську нумерацію). Надписи розташовуються над таблицями.

Кожен рисунок та надписи до нього включаються до тексту публікації у вигляді одного графічного об'єкта з необхідним обтіканням і, при потребі, прив'язаним до тексту. Створення графічного об'єкта може здійснюватися будь-яким графічним редактором у форматі BMP файлів.

Виконання рисунків засобами Microsoft Word здійснюється через використання команд панелі "Рисование". Підписи здійснюються командою "Надпись". Усі графічні компоненти рисунка і надписи об'єднуються командою "Группировать" (меню "Действия" на панелі "Рисование") і повинні мати необхідне обтікання.

Посилання на літературні джерела подаються у квадратних дужках і послідовно нумеруються (слід використовувати арабську нумерацію) у порядку появи виноски в тексті статті. Перелік літературних джерел розташовується в порядку їх нумерації, в останньому розділі статті з підзаголовком **ЛІТЕРАТУРА**.

### 3. СТИЛІСТИЧНІ ПОГОДЖЕННЯ

- Не допускається закінчення сторінки одним або декількома пустими рядками, за винятком випадків, спричинених необхідністю дотримання попереднього пункту (висячі підзаголовки і початок абзаца) та кінця статті.
- Не допускається починати сторінку незакінченим рядком (переноси в останньому рядкові заборонені).
- Не дозволяється підкреслювання в заголовках, підписах і надписах.
- Слід дотримуватися правила про мінімальні зміни в шрифтовому та стильовому оформленні сторінки для того, щоб максимально уникнути різноманітності макета і зберегти єдиний стиль журналу.
- Не допускається часте використання виносок (виноска повинна розглядатися як виняток і вживатися тільки у випадку дійсної необхідності).
- Ілюстрації мають бути підготовані та масштабовані таким чином, щоб розміри букв тексту на ілюстраціях не перевищували розмір букв основного тексту статті більш ніж на 50%.
- Сторінки тексту статті слід пронумерувати.
- На етикетці дискети треба обов'язково вказувати прізвище, ініціали автора, імена файлів.
- На дискеті повинно бути **два файли**:
  - ✓ **перший** - із текстом статті та анотацій з ключовими словами,
  - ✓ **другий** - із відомостями про авторів (прізвище, ім'я, по батькові; посада; вчений ступінь; учене звання; місце роботи або навчання; адреса електронної пошти; дом. адреса; номери контактних телефонів).

### 4. ДЛЯ ОПУБЛІКУВАННЯ СТАТТІ АВТОРУ НЕОБХІДНО ПОДАТИ ДО РЕДАКЦІЙНО-ВИДАВНИЧОГО ВІДДІЛУ:

1. Роздрукований текст статті з анотацією та ключовими словами.
2. Відомості про авторів.
3. Витяг з протоколу засідання вченої ради факультету.
4. Зовнішню рецензію.
5. Експертний висновок.
6. Дискету з текстом статті, анотації, ключовими словами та відомостями про авторів.
7. Лист-клопотання (для співробітників сторонніх організацій) на ім'я ректора ЗДУ з проханням опублікувати статтю.

*Адреса редакції*: Україна, 69600, м. Запоріжжя, МСП-41, вул. Жуковського, 66

*Довідки за телефонами*: (0612) 64-47-23 – відповідальний редактор

(061) 289-12-26 – редакційно-видавничий відділ

(IV корпус, кімн. 323)

*Адреса електронної пошти*: [spes@zsu.zp.ua](mailto:spes@zsu.zp.ua)

## ДЛЯ ПОДАТОК

Збірник наукових статей.

*Вісник Запорізького державного університету*

*Фізико-математичні науки. Біологічні науки*

*№2, 2004*

Технічний редактор – Костенко Р.В.

Верстка, дизайн-проробка, оригінал-макет і друк виконані  
у лабораторії видавничих технологій та комп'ютерної графіки  
Запорізького державного університету  
тел. (061) 224-42-47



Підписано до друку 23.03.2005. Формат 60 x 90/8.

Папір Data Copy. Гарнітура "Таймс".

Умовн.-друк. арк. 27,5. Обл.-вид. арк. 36,05.

Замовлення № 147. Наклад 100 прим.

Запорізький державний університет  
69600, м. Запоріжжя, МСП-41  
вул. Жуковського, 66

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру  
ДК № 1884 від 28. 07. 2004 р.