



#9 (37), 2018 część 3

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**  
(Warszawa, Polska)

**Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce.** W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

**Zespół redakcyjny**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**Rada naukowa**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

#9 (37), 2018 part 3

**East European Scientific Journal**  
(Warsaw, Poland)

**The journal is registered and published in Poland.** The journal is registered and published in Poland.

Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

**Editorial**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**The scientific council**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College  
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia  
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Kehan Schreiner(Hebrew University)**

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet  
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia  
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut  
Stosunków Międzynarodowych)**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**Dawid Kowalik (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood(University College  
London)**

**Igor Dziedzic (Polska Akademia Nauk)**

**Alexander Klimek (Polska Akademia  
Nauk)**

**Alexander Rogowski (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Kehan Schreiner(Hebrew University)**

**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika  
Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**

**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet  
Warszawski)**

**Mateusz Marszałek (Uniwersytet  
Jagielloński)**

**Szymon Matysiak (Polska Akademia  
Nauk)**

**Michał Niewiadomski (Instytut  
Stosunków Międzynarodowych)**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**1000 kopii.**

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie  
85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo  
Naukowe**

**Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001  
Warszawa, Polska**

**E-mail: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,**

**<http://eesa-journal.com/>**

**1000 copies.**

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-  
001 Warsaw, Poland»**

**East European Scientific Journal**

**Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Po-  
land**

**E-mail: [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,**

**<http://eesa-journal.com/>**

# СОДЕРЖАНИЕ

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Веревкина М.Н.</b> БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ.....	4
<b>Казарян К.В., Чибухчян Р.Г., Мкртчян Э.Х.</b> РОЛЬ ГИСТАМИНА В РЕГУЛЯЦИИ СПОНТАННОГО РИТМОГЕНЕЗА МОЧЕТОЧНИКОВ И МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ У КРЫС .....	7
<b>Романенко А.С., Ломоватская Л.А.</b> АКЦЕССОРНЫЕ БЕЛКИ: ПРОТИВОРЕЧИВАЯ РОЛЬ В ЖИЗНИ ПРО- И ЭУКАРИОТОВ .....	14

## ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Маукин В.Р.</b> ТРАГЕДИЯ Ф. НИЦШЕ КАК ФИЛОСОФА В КОНТЕКСТЕ СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕМЕЦКОГО ОБЩЕСТВА XIX В.....	25
<b>Магдич О.</b> ФОРМУВАННЯ АДМІНІСТРАТИВНОЇ СТРУКТУРИ КАТОЛИЦЬКОЇ ЦЕРКВИ В СЕРЕДИНІ ХІ СТ.....	29

## ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Тригубчак О.В.</b> ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ШИПУЧИХ ТАБЛЕТОК АЦЕТИЛСАЛЦИЛОВОЇ КИСЛОТИ, ПАРАЦЕТАМОЛУ І АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ.....	34
--	----

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Zhukovskiy V.I., Sachkov S.N., Sachkova E.N.</b> NIENANS-SAVAGE RISK IN SOLUTION OF ONE-CRITERION PROBLEM .....	42
<b>Yaretska N. O., Gripinska N. V.</b> RESEARCH OF CONTACT INTERACTION OF PRELIMINABLY STRESSED Annular stamp AND HALF- SPACE WITH INITIAL (RESIDUAL) STRESSES (CASE OF EQUAL ROOTS).....	52

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Бахманова Ф.Н., Гаджиева С.Р., Алирзаева Э.Н., Шамилов Н.Т., Чырагов Ф.м.</b> ИЗВЛЕЧЕНИЕ УРАНА ИЗ ВОДЫ .....	63
<b>Рустамова Дж.Т., Эфенди А.Дж., Насири Ф.М., Байрамова С.А., Алиев С.А., Мамедов С.И., Мансурова К.А.</b> ЦЕОЛИТЫ – УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ В ПРИРОДЕ, СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ.....	67
<b>Ахмедов М.М., Халилова М.И., Халилов Я.Х., Гамидов Р.Г., Гаджиева К.И. Дж.А.Джамалов</b> ПОДГОТОВКА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНЫХ СЫРЬЕВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ЛИЦОВЫХ ПЛИТ .....	71
<b>Абдуллаева Э.А.</b> ПОЛИМЕРНЫЕ КРАУН-ЭФИРЫ - ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЕНСОРЫ ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.....	75

## **БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ**

**Веревкина Марина Николаевна,**

*канд. биол.наук, доцент кафедры*

*эпизоотологии и микробиологии, доцент*

*ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет»*

**Verevkina Marina Nikolaevna,**

*kand. Biol.Sciences, associate Professor of epidemiology*

*and Microbiology, associate Professor*

*Of the "Stavropol state agrarian University»*

### **БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ВЫРАЩИВАНИЯ СТИМУЛЯТОРА РОСТА**

### **BIOTECHNOLOGICAL CONDITIONS OF CULTIVATION GROWTH STIMULANT**

**Аннотация.** Наилучшей температурой для роста и размножения чайного гриба является температура 30°C. Биомасса чайного гриба увеличивается в питательной среде с применением 10—15 мг/мл и 5 — 10 мг/мл сахара максимально к 18 суткам культивирования. В процессе культивирования происходит снижение значения pH культуральной жидкости с 5,3 — 6,0 до 2,43 — 2,71 за счет накопления молочной, уксусной и других кислот. В опытах *in vitro* доказано бактериостатическое действие продуктов метаболизма ассоциации микроорганизмов чайного гриба на *E. coli*, *S. dublin*, *S. typhimurium* и спонтанную сапрофитную микрофлору.

**Annotation.** The best temperature for the growth and reproduction of Kombucha is 30°C. The biomass of the tea mushroom increases in the nutrient medium with the use of 10-15 mg/ml and 5 — 10 mg / ml of sugar to a maximum of 18 days of cultivation. In cultivation there is a decrease in the pH of the culture liquid from 5.3 — 6.0 to 2.43-2.71 due to the accumulation of lactic, acetic and other acids. In experiments *in vitro* proved the bacteriostatic effect of the products of the Association of microorganisms of the fungus on *E. coli*, *S. dublin*, *S. typhimurium* and the spontaneous microflora of saprophytes.

**Ключевые слова.** *Стимулятор роста, культивирование, чайный гриб, культуральная жидкость*

**Keyword.** *Stimulator of growth, the cultivation of tea fungus culture liquid*

Многие люди в домашних условиях выращивают так называемый чайный гриб. Культуральная жидкость этого гриба представляет собой приятный тонизирующий напиток, который обладает профилактическим и даже лечебным действием при желудочно-кишечных заболеваниях, ангинах, головных болях, сердечных неврозах, бессоннице, гипертонии, простудах и т. д. [1,2,4]. Такой напиток, особенно на меде, считают полезным для детей. Его рекомендуют вместо газированной воды, кваса, сидра. Доказано, что чайный гриб представляет собой сложный симбиоз дрожжевых грибов с уксусно-кислыми бактериями и некоторыми другими микроорганизмами [3].

В первые дни культивирования рост гриба проявляется в виде нежной пленки. Вначале наблюдается процесс ферментации дрожжевыми клетками сахара из питательной среды. При этом происходит образование этилового спирта и углекислого газа. Из-за обильного газообразования тело гриба, в виде постоянно утолщающейся пленки, удерживается на поверхности жидкости в течение всего срока культивирования. Затем бактерии превращают спирт в уксусную и другие органические кислоты (молочную, щавелевую, лимонную, глюконовую и другие). Считают, что микроорганизмы-симбионты чайного гриба кроме указанных веществ образуют некоторые витамины (аскорбиновую, никотиновую, пантотеновую кислоты, рибофлавин). В культуральной жидкости чайного гриба содержатся еще такие целебные вещества, как кофеин и катехины.

Задачи и методы исследований. В связи с отсутствием стандартных подходов к выращиванию чайного гриба и определения оптимальных доз продуктов его жизнедеятельности для задержки роста и размножения патогенных, условно патогенных и сапрофитных микроорганизмов мы задались целью разработать технологию выращивания гриба в лабораторных условиях. Для реализации этой цели мы поставили следующие задачи:

1. Определить оптимальные дозы чая и сахара для успешного выращивания ассоциации микроорганизмов чайного гриба.

2. Установить температурные режимы для успешного выращивания гриба.

3. Установить сохранение жизнеспособности гриба при различных условиях его хранения.

Для решения этих задач мы пользовались общепринятыми микробиологическими методами исследований. Выращивание чайного гриба проводили при температурах 20, 30, 37 градусов по Цельсию. В результате исследований установлено, что наилучшей температурой роста и размножения чайного гриба является температура 30°C, что свойственно большинству представителей типа Fungi. Изучение динамики роста чайного гриба мы проводили по накоплению его биологической массы, что определялось взвешиванием тела гриба на торсионных весах. Одновременно при этом определяли влияние на увеличение массы тела гриба различных доз чая и сахара. Опыты проводились в пробирках,

засев культуральной жидкости происходил из рас-  
чета 1:10. Пробы для взвешивания тела гриба брали  
через три и четыре дня в течение четырех недель.

Результаты исследований представлены в табл. 1 и  
рис. 1.

Таблица 1

Биомасса чайного гриба в среде с различным содержанием сахара											
Месяц	Январь					Февраль					
Число	13	17	20	23	27	31	3	7	10	14	17
мг/мл	Вес, мг										
50	—	50	214	268	688	1214	1250	1350	1290	1102	1009
100	—	20	100	522	634	1076	1100	1382	1301	1100	989
150	—	20	100	208	606	1046	1081	890	1180	1252	1159
200	—	—	50	172	306	686	916	1152	1204	1336	1306
250	—	—	50	208	220	496	718	1032	1028	1016	981

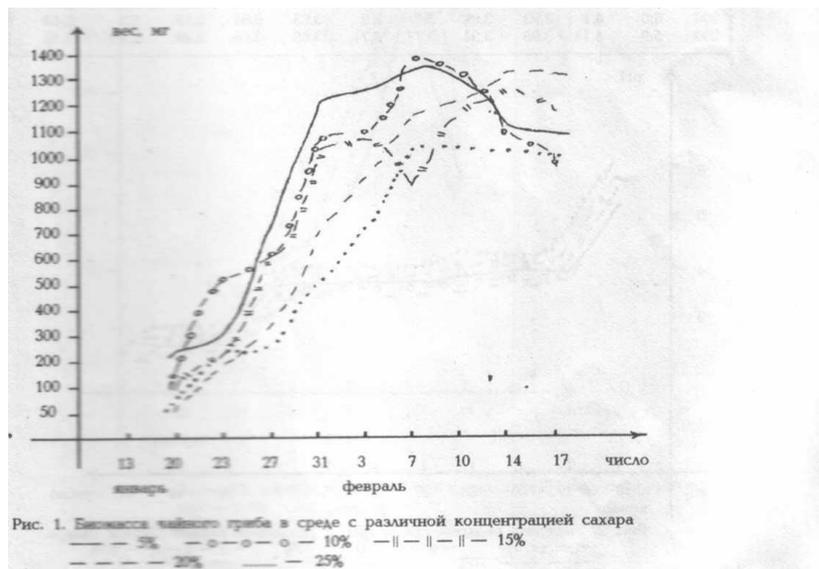


Рис. 1. Биомасса чайного гриба в среде с различной концентрацией сахара  
 — 5% — о — о — о — 10% — || — || — || — 15%  
 - - - - 20% — — — — 25%

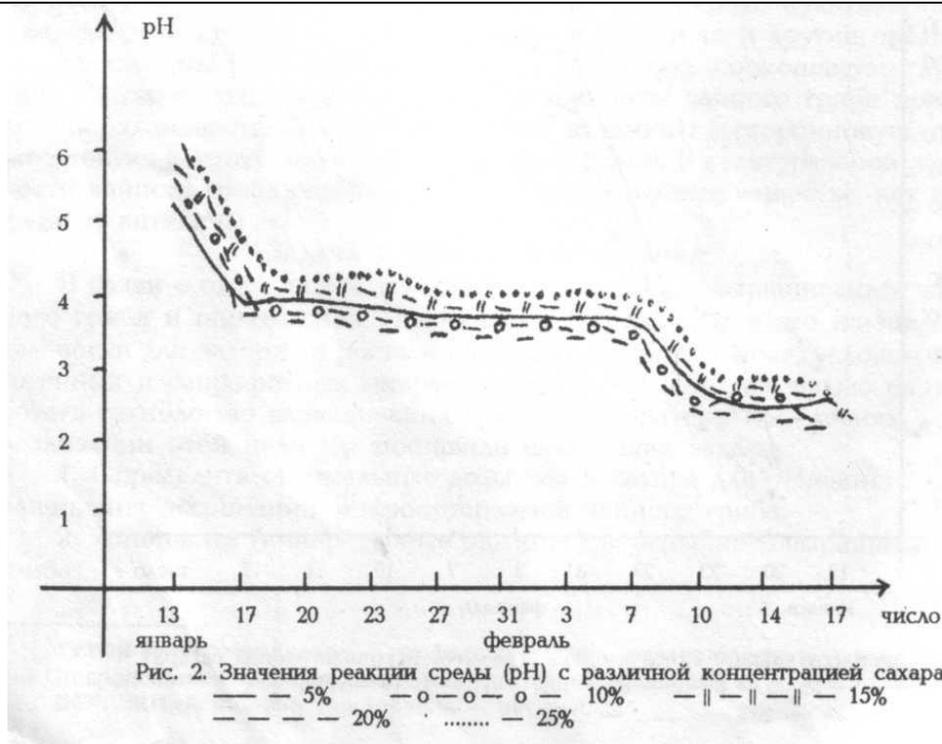
Данные таблицы и рисунка свидетельствуют, что биомасса чайного гриба в среде с различным содержанием сахара (50, 100, 150, 200, 250 мг/мл) в первые 3 суток роста гриба интенсивно увеличивалась в среде, содержащей 100 мг/мл сахара. В последующие четверо суток рост гриба в среде с содержанием сахара 50 мг/мл выравнивался с таковым при 100 мг/мл содержания сахара и в последующем даже превосходил его в промежутке от начала второй и до конца третьей недели. При содержании в среде сахара 150, 200, 250 мг/мл накопление биомассы было ниже, чем при его концентрации с 50 — 100 мг/мл, т. е. высокие концентрации сахара в чайном экстракте действуют ингибирующе на прирост биомассы чайного гриба.

Уменьшение биомассы чайного гриба наступает в среде без подкормки в емкостях с содержанием 50 — 100 мг/мл сахара с 18 суток его роста. Очевидно, этими сроками необходимо ограничивать технологию производства культуральной жидкости чайного гриба с последующим использованием его как пищевого напитка и как продукта, подавляющего жизнедеятельность различных микроорганизмов семейства энтеробактерий. Одновременно в эти же сроки мы определяли значение реакции среды (рН) при культивировании чайного гриба с различным содержанием сахара. Результаты представлены в табл. 2 и на рис. 2.

Таблица 2

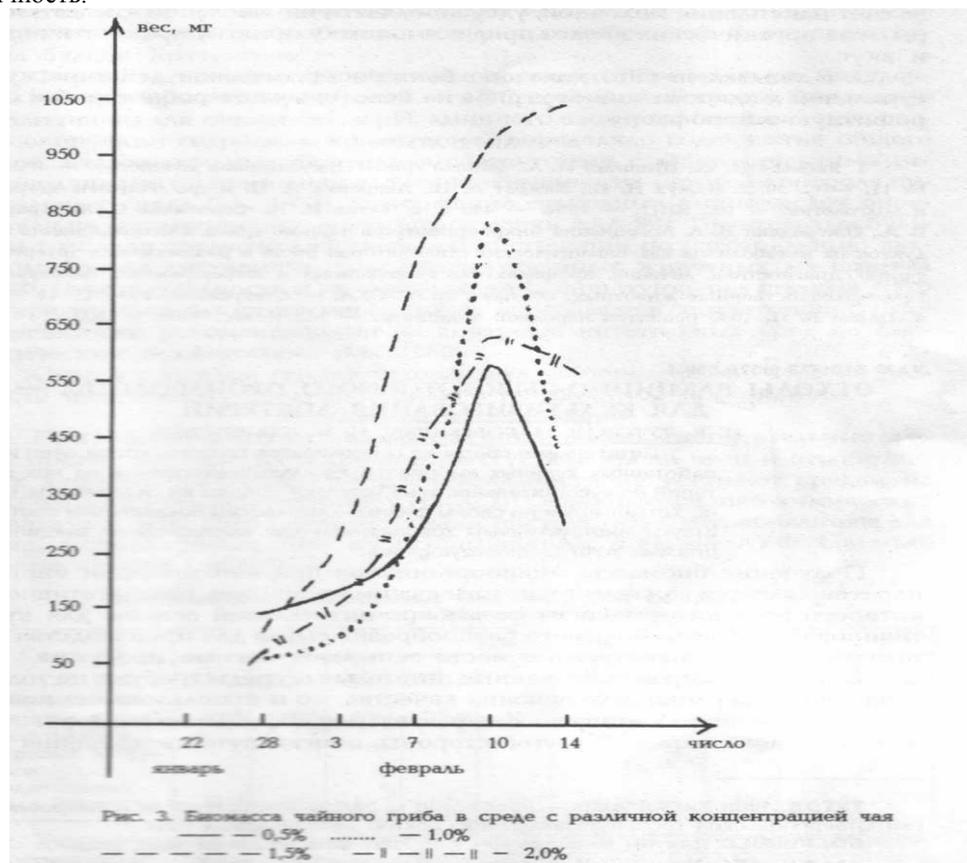
Значение реакции среды рН с различным содержанием сахара

Месяц	Январь					Февраль					
Число	13	17	20	23	27	31	3	7	10	14	17
	мг/мл										
50	5,3	4,04	4,12	4,0	3,82	3,85	3,83	3,86	2,79	2,78	2,69
100	5,6	4,13	3,91	3,87	3,86	3,86	3,81	3,75	2,6	2,62	2,48
150	5,6	4,15	4,15	4,2	3,92	3,88	3,84	3,84	2,67	2,65	2,71
200	6,0	4,1	3,93	3,86	3,8	3,8	3,65	3,65	2,55	2,5	2,43
250	5,9	4,13	3,88	3,94	3,77	3,71	3,68	3,66	2,48	2,43	2,48



Приведенные данные свидетельствуют, что в процессе роста чайного гриба рН закономерно снижается от 5,3 — 6,0 до значения 2,43 — 2,71. Снижение значения рН в основном происходит за счет наличия в культуральной жидкости молочной, уксусной, частично масляной кислот, которые, по нашему мнению, придают напитку приятный вкус и ароматичность.

В ходе исследований мы использовали различные дозы чая. Чай заваривался кипятком и настаивался в течение 30 минут. Результаты исследований, приведенные на рис. 3, свидетельствуют, что биомасса чайного гриба в среде с различным содержанием чая (5, 10, 15, 20 мг/мл) увеличивалась при содержании в среде 10 и 15 мг/мл чая.



В опытах *in vitro* нами установлено бактериостатическое действие продуктов метаболизма ассоциации микроорганизмов чайного гриба на *E. coli*, *S. dublin*, *S. typhimurium* и спонтанную сапрофитную микрофлору. Это дает основание считать, что культуральную жидкость чайного гриба можно рекомендовать для профилактики заболеваний кишечными инфекциями.

#### Выводы

1. Для хорошего роста чайного гриба в питательной среде оптимальным является содержание чая и сахара соответственно 10 — 15 мг/мл и 50 — 100 мг/мл.

2. Снижение значения рН с 5,3 — 6,0 до 2,43 — 2,71 происходит за счет накопления молочной, уксусной, частично масляной кислот. Эфиры этих органических кислот придают напитку приятную ароматичность и вкус.

3. В опытах *in vitro* доказано бактериостатическое действие культуральной жидкости чайного

гриба на некоторых энтеробактерий и сапрофитную микрофлору.

#### Список литературы

1. Бабьева И. П., Шишкин И. А. Чайный гриб//Приусадебное хозяйство. — 1994. — № 11. — С. 59.

2. Вожух Н. И., Камрат Л. П., Лавренко И. Н. и др.//Рецепты здоровья и долголетия. — М.: ВИП. — 1994. — 446 с.

3. Тугов И. К., Соловьева С. Я., Кравцов В. А., Ожередова Н. А. Ассоциация микроорганизмов чайного гриба и использование продуктов их метаболизма как биологических стимуляторов роста и размножения энтеробактерий//Диагностика, лечение, профилактика инвазионных и инфекционных заболеваний сельскохозяйственных животных: сб. науч. тр./СГСХА. — Ставрополь, 1994. С. 41 — 42.

4. Царев В. П. 1000 рецептов народной медицины. — М.: Колос, 1993. — 303 с.

**Kazaryan K. V.**

*Doctor of Sciences In Biology,  
LA Orbeli Institute of Physiology NAS RA*

**Chibukhchyan R. G.**

*Postgraduate student,  
LA Orbeli Institute of Physiology NAS RA*

**Mkrtychyan H. Kh.**

*Bachelor,  
LA Orbeli Institute of Physiology NAS RA*

**Казарян Кнарик Вагановна**

*доктор биологических наук, заведующая лабораторией физиологии гладких мышц,  
Институт физиологии им. Л.А.Орбели НАН РА*

**Чибухчян Роза Гарушевна**

*аспирант, младший научный сотрудник лаборатории физиологии гладких мышц,  
Институт физиологии им. Л.А.Орбели НАН РА*

**Мкртчян Эрмине Хачиковна**

*бакалавр, лаборантка лаборатории физиологии гладких мышц,  
Институт физиологии им. Л.А.Орбели НАН РА*

## THE ROLE OF HISTAMINE IN REGULATION OF SPONTANEOUS RHYTHMOGENESIS OF URETERS AND BLADDER IN RATS

## РОЛЬ ГИСТАМИНА В РЕГУЛЯЦИИ СПОНТАННОГО РИТМОГЕНЕЗА МОЧЕТОЧНИКОВ И МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ У КРЫС

**Summary:** The effect of histamine on the characteristics of spontaneous electrical activity of the ureters and bladder under conditions of complex interrelation of organs to each other as well as in the isolation of organs from each other was studied. A comparative analysis of the characteristics of pacemaker activity (amplitude of the action potential, average speed of its growth, duration of rise of the peak, peak half-width and frequency of rhythmogenesis) both in norm and upon exposure to histamine ( $10^{-4}$  mol / l) was conducted. Under histamine exposure the comparative analysis of the indicators of action potentials of the organs under study revealed a significant increase in the values of mainly such parameters of activity as amplitude, speed of its growth and frequency of rhythmogenesis, respectively: for the left ureter - by 31.7%; 37.7%; 25%; right ureter - by 42%; 39.23%; 32.5%; the bladder - by 49.27%; 26%; 49%. Clipping the left ureter brings to a slight oppression of values of the characteristics with activation of parameters of automatism of the right ureter. Activity of the bladder does not undergo to certain changes. Subsequent isolation of the right ureter leads to inhibition both of own characteristics to those observed before the cuts and of parameters of the activity of the bladder, somewhat approximating their values to those observed in the norm. The obtained results indicate the presence of a certain compensatory electrophysiological interrelation between the right ureter and the bladder.

**Key words:** *spontaneous activity, activity indicator, histamine, action potential, ureter, bladder.*

**Аннотация:** Исследовано влияние гистамина на характеристики спонтанной электрической активности мочеточников и мочевого пузыря в условиях комплексной взаимосвязи друг с другом а также при изоляции органов друг от друга. Проведен сравнительный анализ характеристик пейсмейкерной активности (амплитуда потенциала действия, средняя скорость нарастания пика, продолжительность нарастания пика, половина ширины, частота ритмогенеза) как в норме, так и при воздействии гистамина (10-4 моль/л). Сравнительный анализ показателей потенциалов действия исследуемых органов при воздействии гистамина выявил значительное повышение значений в основном таких параметров активности, как амплитуда, скорость ее нарастания и частота ритмогенеза соответственно: для левого мочеточника – на 31.7 %; 37.7 %; 25 %; правого мочеточника – на 42 %; 39.23 %; 32.5 %; мочевого пузыря – на 49.27%; 26 %; 49 %. При отсечении левого мочеточника наблюдается небольшое угнетение значений характеристик при активации показателей автоматизма правого мочеточника, в отношении же активности мочевого пузыря не обнаружено определенных изменений. Последующая же изоляция правого мочеточника влечет за собой угнетение как собственных характеристик до таковых, наблюдаемых до перерезок, так и параметров активности мочевого пузыря, несколько приближая их значения к наблюдаемым в норме.

Полученные результаты свидетельствуют о наличии определенной компенсаторной электрофизиологической взаимосвязи между правым мочеточником и мочевым пузырем.

**Ключевые слова:** спонтанная активность, показатель активности, гистамин, потенциал действия, мочеточник, мочевой пузырь.

**Постановка проблемы.** Основная функция гладкой мускулатуры мочеточника заключается в создании необходимой ритмичной перистальтики, обеспечивающей направленный транспорт мочи из почки в мочевой пузырь и далее в уретру [5,11,12,14,29]. Механизмы, регулирующие данный процесс в этих органах, имеют миогенную природу [18] и характеризуются автономностью [5,9,20,24]. Вместе с тем, обеспечиваемый эндогенными механизмами ритмогенез каждого из мочевых органов не исключает его зависимости от влияния активности приграничного с ним органа. Изучение данного вопроса поможет выявлению механизмов, обеспечивающих интегративную деятельность всех органов мочевого тракта. **Анализ последних исследований и публикаций.** Присущая каждому из органов мочевого тракта, в том числе, мочеточникам и мочевому пузырю, базовая спонтанная электрическая активность имеет различную природу возникновения в зависимости от реализуемой им физиологической функции [7,8,15,17,22]. Если электрический автоматизм мочеточников представлен в виде четко ритмичных высокоамплитудных потенциалов действия, то гладкомышечные слои стенок мочевого пузыря проявляют спонтанную активность, которая отличается по своим параметрам от потенциалов действия мочеточников и представлена как в виде единичных, так и объединенных в группы спайков [5,9]. Наряду с присущим мочеточникам характерного типа спонтанной электрической активности, отличной от таковой мочевого пузыря, в недавних исследованиях выявлены достаточно наглядные различия в электрической активности правого и левого мочеточников с более высокой амплитудой потенциалов действия и более высокой частотой в левом мочеточнике [4,13].

Известно, что гладкомышечная ткань мочевого тракта находится под воздействием высокоспецифичных рецепторных молекул, способных регулировать ионные каналы, и, таким образом, контролировать функции органов и, соответственно, базовую электрическую активность [6,27]. Из всего разнообразия физиологически активных соедине-

ний, изменяющих возбудимость мембраны гладкомышечных тканей органов мочевыводящих путей, определенный интерес вызывает гистамин в связи с присутствием в них большого количества mast-клеток, тесно взаимосвязанных с гладкомышечными клетками и способных выделять данный гормон [19,26,28].

**Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Показано, что гистамин увеличивает возбудимость и, как следствие, контрактуру стенок мочеточников и детрузор (мышечные слои мочевого пузыря) путем обогащения внутриклеточного содержимого ионами  $Ca^{++}$  через потенциалзависимые кальциевые каналы и, таким образом, влияет на активность и других ионных систем, участвующих в генезе базового электрического автоматизма [19,21,25]. Возбуждающее воздействие данного гормона способствует также синхронизации потенциалов действия, обеспечивая возникновение координированных волн контрактуры в органе [27]. Вместе с тем не сегодняшний день в литературе отсутствуют данные относительно влияния гистамина на взаимосвязь между собой органов мочевого тракта.

**Формулирование целей статьи.** Учитывая стимулирующее воздействие гистамина на базовую активность мочеточников и мочевого пузыря вызывает интерес изучение влияния гистамина как на процесс возбуждения спонтанной активности данных органов, так и их взаимосвязь. Исходя из вышеизложенного целью настоящей работы является выяснение данных вопросов.

**Изложение основного материала.** Регистрация электрической активности проводилась из областей мочеточников, расположенных на 3 – 4 мм дистальнее зоны их непосредственного соединения с почечной лоханкой и из проксимального отдела мочевого пузыря (рис.1, А 1,2,3). В соответствии с приведенным рисунком и данными литературы [1,20,24] спонтанная активность мочеточников представлена в виде ритмичных спайковых разрядов с начальным быстрым компонентом, инициирующим достаточно высокоамплитудные потенциалы действия. Автоматизм же мочевого пузыря

представляет собой скорее всего регулярные низко-амплитудные потенциалы действия, подобно описанным ранее результатам [5,9].

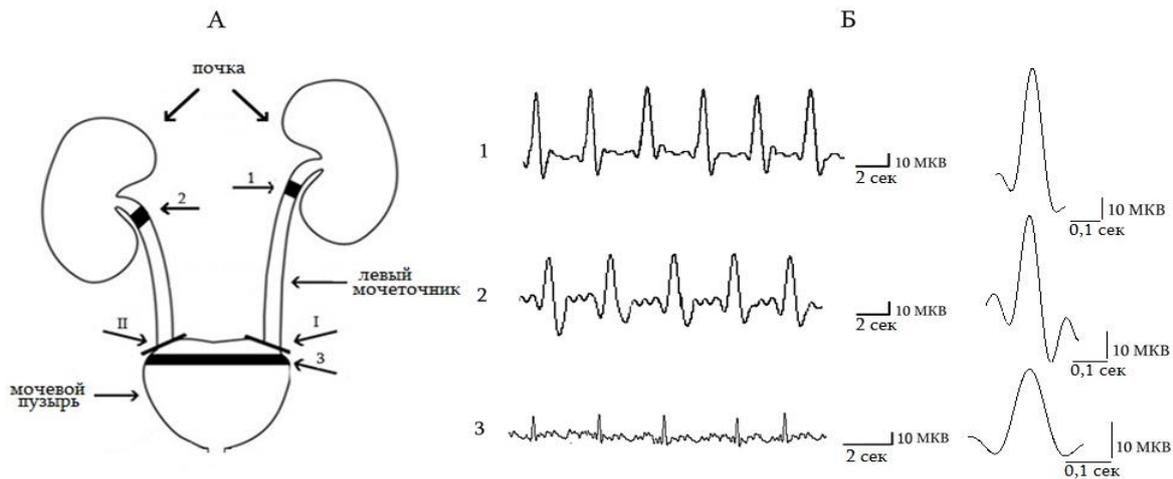


Рис. 1. А. Схематическое изображение мочеточников и мочевого пузыря. Б. Спонтанная активность данных органов. 1,2,3 – соответственно зоны регистрации; I и II – области перерезок мочеточников. Справа единичные развернутые формы потенциалов действия для каждой области регистрации.

В соответствии с вышеотмеченным мочеточники (рис. 1Б. 1,2), будучи парными органами и характеризуюсь идентичными физиологическими функциями, обнаруживают отличающиеся друг от друга показатели активности, которые в свою оче-

редь полностью отличны от таковых мочевого пузыря [4]. В представленной таблице приведены полученные нами значения параметров потенциалов действия в норме для исследуемых в работе трех органов.

Области регистрации и количество экспериментов, n	Амплитуда потенциалов действия (А), мкВ			Средняя скорость нарастания пика(V), мкВ/сек			Продолжительность нарастания пика(T/2), мсек			Половина ширины(t), мсек			Частота ритмогенеза (F) колеб/мин		
	(1-2)	(1-3)**	(2-3)*	(1-2)	(1-3)**	(2-3)	(1-2)	(1-3)	(2-3)	(1-2)*	(1-3)	(2-3)*	(1-2)	(1-3)	(2-3)
Проксимальная зона левого мочеточника (1), n =14	59,8±4,6			204,2±16,2			290±17			270±16			23,3±1,3		
Проксимальная зона правого мочеточника (2), n =14	40,81±2,5			166±10,6			240±6			210±10			17,3±2,1		
Мочевой пузырь(3) n =14	23,2±1,6			76,7±3,4			306±16,6			300±10			20±1,2		
Достоверность различия	(1-2)	(1-3)**	(2-3)*	(1-2)	(1-3)**	(2-3)	(1-2)	(1-3)	(2-3)	(1-2)*	(1-3)	(2-3)*	(1-2)	(1-3)	(2-3)

Примечание. В строке «Достоверность различия» приведены уровни значимостей отличия средних значений соответствующих показателей для проксимальных зон левого и правого мочеточников (1-2), левого мочеточника и мочевого пузыря (1-3), правого мочеточника и мочевого пузыря (2-3). \* -P<0.05,\*\*-P<0.01,\*\*\* -P<0.001.

Влияние гистамина на спонтанную активность каждого из вышеотмеченных органов проводилось при введении препарата в концентрации  $10^{-4}$  М в бедренную вену животного. Согласно полученным нами ранее результатам используемая нами доза гистамина является оптимальной для возбуждения мочеточников и мочевого пузыря [2]. Одновременная регистрация активности из соответствующей области каждого из мочеточников и мочевого пузыря (рис.1, 1,2,3) позволяет изучить изменения характера ритмогенеза при воздействии гистамина как в условиях комплексного подхода к

взаимосвязи всех трех органов, так и при изоляции их друг от друга.

На рис. 2 представлены результаты сравнительного анализа значений характеристик активности левого мочеточника при введении гистамина до и после его отсечения от мочевого пузыря. Перерезка органа сопровождается резким травмированием ткани и активность, как правило, стабилизируется через 10 – 15 мин. и регистрация активности начинается по истечении данного промежутка времени. Подобная процедура повторяется и со всеми регистрациями, предшествующими изоляции органов друг от друга.

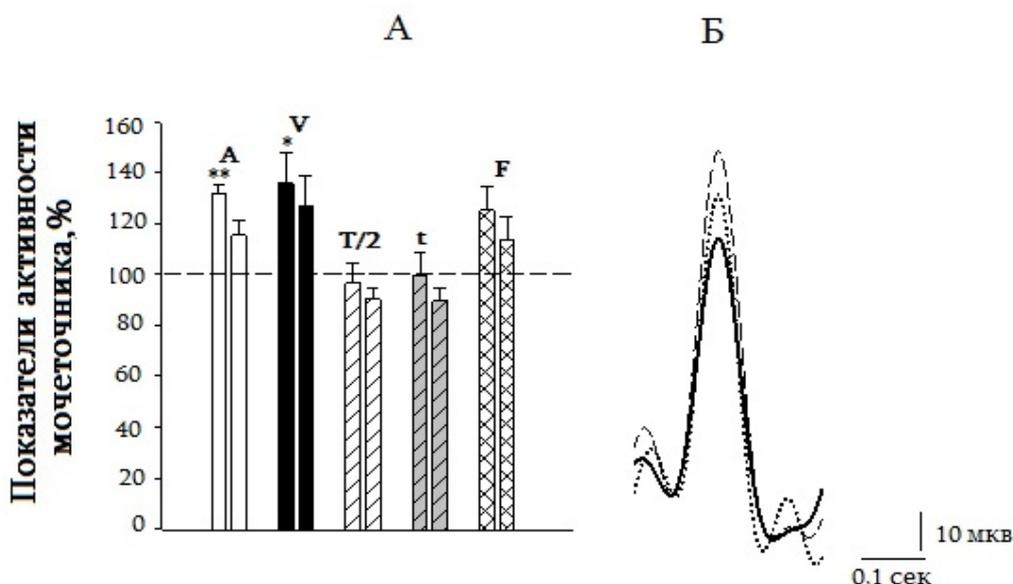


Рис.2. А. Процентное соотношение показателей потенциалов действия для левого мочеточника после введения гистамина (первые столбики соответственно для каждого показателя) и последующей перерезки (вторые столбики соответственно для каждого показателя) по отношению к норме. Штриховой линией показана норма. Б. Наложение друг на друга усредненных форм потенциалов действия в норме (сплошной контур), после введения гистамина (штриховой контур), после перерезки (точечный контур).  
\*\* $P \leq 0,01$ , \* $P \leq 0,1$ .

Для наглядности данный анализ проводился в процентах по отношению к норме (принимается за 100 %). Согласно рис. 2А гистамин способствует увеличению амплитуды потенциалов действия (на 31.7%), почти на подобную величину (37.7%) скорости ее нарастания, а также параметра частоты ритмогенеза (на 25%), оставляя без изменения продолжительность нарастания пика и половину ширины. Таким образом, наблюдается резкое повышение амплитуды спайка. При изоляции же данного мочеточника от мочевого пузыря (рис. 1А.1) регистрируется небольшое уменьшение амплитуды потенциала действия (на 16.2%). Возможно, данный факт связан с полученным ранее результатом, свидетельствующим о наличии аналогичной тенденции изменений амплитуды потенциала действия после отсечения того же левого мочеточника, однако, при нормальных условиях [4]. В отношении же всех остальных параметров также отмечается незначительная тенденция к уменьшению (в пределах 10%) их значений (рис. 2А). Справа на Рис.2Б

приведена суперпозиция усредненных форм потенциалов действия левого мочеточника соответственно для каждого экспериментального условия, которая свидетельствует о полученных изменениях значений их показателей.

Анализ результатов изменений характеристик потенциалов действия правого мочеточника при воздействии гистамина выполнялся при следующих, последовательно проводимых экспериментальных условиях: введение гистамина; отсечение левого мочеточника от мочевого пузыря; отсечение правого мочеточника от мочевого пузыря.

Аналогично левому мочеточнику введение гистамина способствует значительному резкому возрастанию значений таких показателей активности правого мочеточника как амплитуда, скорость ее нарастания и частота ритмогенеза (соответственно на 42%, 39.23% и 32.5% (рис. 3А). Хотя в норме значения все этих трех параметров меньше таковых левого мочеточника, гистамин способствует их

большему возрастианию (ср. Рис.2А и Рис.3А). Перерезка более активного, левого мочеточника сразу же влечет за собой дальнейшее повышение амплитуды и скорости ее нарастания исследуемого правого мочеточника соответственно на 29.13 % и 19 %, оставляя без изменений все остальные показатели потенциала действия (рис. 3А). После последующей изоляции правого мочеточника путем его отсечения от мочевого пузыря (рис. 1А.И) отмеча-

ется понижение величин измененных характеристик приблизительно до таковых, наблюдаемых до изоляции обоих мочеточников, лишь ритмогенез активности урезается на несколько большую величину (16 %). Представленные на Рис. 3Б суперпозиции развернутых типичных форм потенциалов действия свидетельствуют об изменениях величин их параметров. Исходя из вышеизложенного нельзя исключить наличия определенного влияния активности левого мочеточника на автоматизм правого.

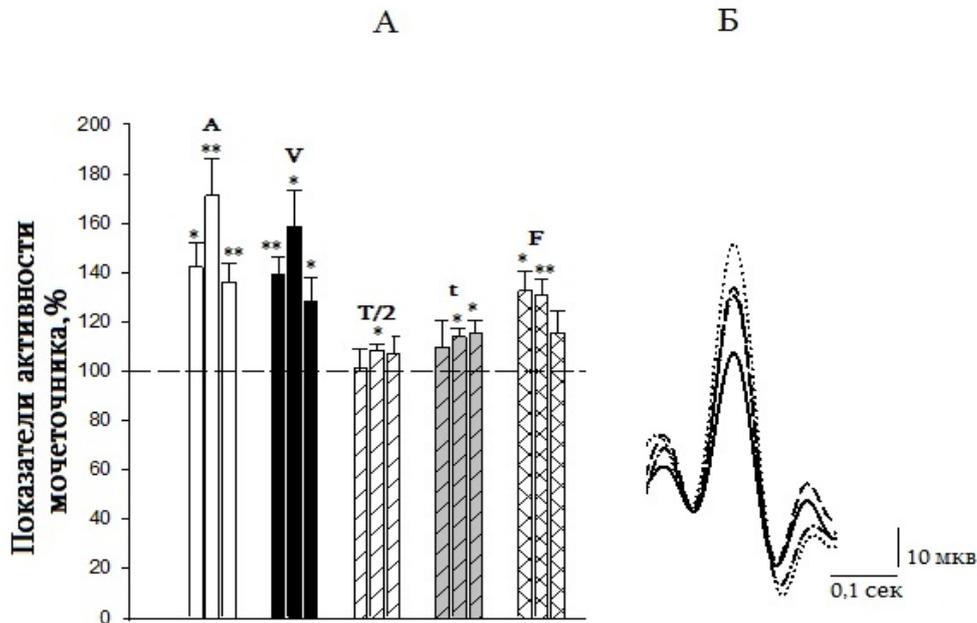


Рис.3. А. Процентное соотношение показателей потенциалов действия правого мочеточника после введения гистамина (первые столбики для каждого показателя), последующей перерезки левого мочеточника (вторые столбики соответственно для каждого показателя), перерезки правого мочеточника (третьи столбики соответственно для каждого показателя) по отношению к норме. Штриховой линией показана норма. Б. Наложение друг на друга усредненных форм потенциалов действия в норме (сплошной контур), после введения гистамина (штриховой контур), после перерезки левого мочеточника (точечный контур), после перерезки правого мочеточника (штрих-пунктирный контур).  
 \*\* $P \leq 0,01$ , \* $P \leq 0,1$ .

Подобно вышеизложенному анализу значений характеристик мочеточников в следующей серии экспериментов изучены изменения параметров активности мочевого пузыря при воздействии гистамина как в условиях комплексного функционирования всех трех органов, так и при их изоляции друг от друга. Введение данного медиатора проявляется значительным увеличением амплитуды потенциала действия (49,27%) и частоты их элетрогенеза (на 49 %) (Рис.4А). Скорость же нарастания пика потенциалов действия мочевого пузыря увеличивается лишь на 26 % в отличие от мочеточников, данные показатели активности которых при воздействии гистамина претерпевают аналогичные изменения (Рис.4). Последующее отсечение от мочевого пузыря левого мочеточника изменяет характеристики

потенциалов действия данного органа на незначительную величину и, тем самым, свидетельствует об отсутствии влияния ритмогенеза левого мочеточника на активность детрузор. Вместе с тем совершенно иная картина регистрируется после изоляции от мочевого пузыря правого мочеточника. Значения амплитуды потенциалов действия уменьшаются на 25%, частота же ритмогенеза урезается на 27% (Рис.4). И, тем самым, несмотря на некоторое подавление активности, характеристики автоматизма мочевого пузыря превосходят таковые, наблюдаемые в норме. Приведенные на данном рисунке 4Б наложения друг на друга усредненных форм потенциалов действия для всех четырех исследуемых условий свидетельствуют об этом факте.

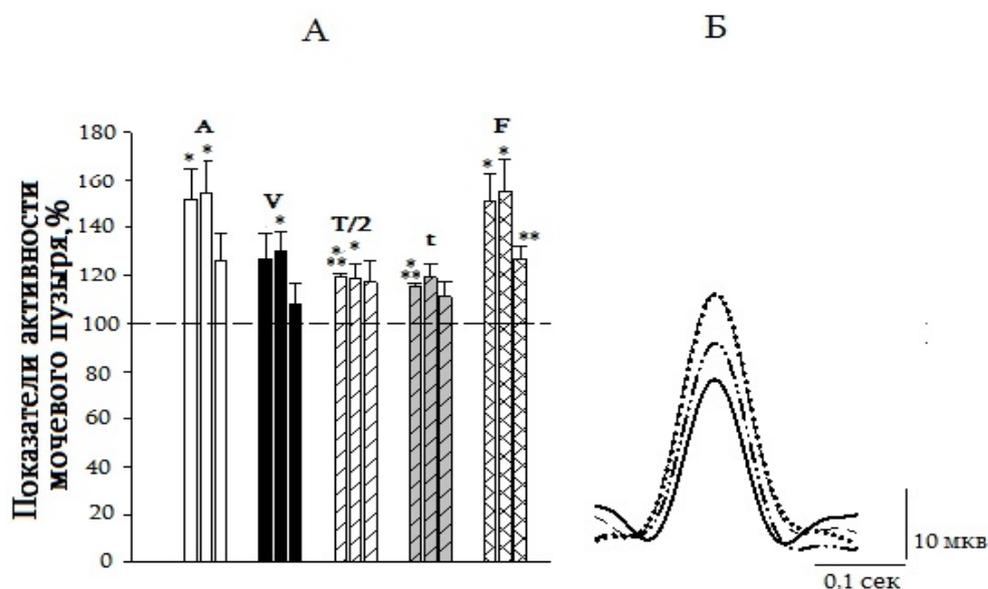


Рис.4. А. Процентное соотношение показателей протенциалов действия мочевого пузыря после введение гистамина (первые столбики соответственно для каждого показателя), перерезки левого мочеточника (вторые столбики соответственно для каждого показателя), перерезки правого мочеточника (третьи столбики соответственно для каждого показателя). Штриховой линией показана норма. Б. Наложение друг на друга усредненных форм потенциалов действия в норме (сплошной контур), после введения гистамина (штриховой контур), после перерезки левого мочеточника (точечный контур), после перерезки правого мочеточника (штрих-пунктирный контур). \*\*\* $P \leq 0,001$ , \*\* $P \leq 0,01$ , \* $P \leq 0,1$ .

Согласно полученным результатам, отсечение от мочевого пузыря правого мочеточника с достаточно высокими характеристиками активности, возможно, является причиной угнетения показателей автоматизма мочевого пузыря. В таком случае нельзя исключить наличие особой электрофизиологической взаимосвязи между правым мочеточником и мочевым пузырем.

Известно, что реализация основной функции мочевого тракта, способствующей продвижению мочи из почечной лоханки к мочевому пузырю и последующему ее выведению из данного резервуара обеспечивается активным процессом – сокращением мышц [17,20]. Во всех этих процессах важную роль играют недавно обнаруженные в мочевых путях интерстициальные клетки Кахаля.

Так, в мочеточниках данные образования представляют собой промежуточные клетки, которые создают потенциалы действия с относительно низкой частотой (3-4 мин<sup>-1</sup>) и способствуют проведению пейсмекерных сигналов от атипичных клеток к гладкомышечным клеткам [15,17]. В мочевом пузыре роль интерстициальных клеток достаточно многогранна: они могут быть как пейсмекерами, так и стимулировать генез активности в детрузор, выявлены также их интегративные функции, обеспечивающие координацию активности [5,9,16].

Физиологическая функция интерстициальных клеток Кахаля в данных органах и, в частности, их роль в возникновении пейсмекерной активности зависит от способности содействовать быстрому распространению кальциевых сигналов [10,16]. В то

же время известно, что гистамин, высвобождаемый из активированных тучных клеток посредством рецепторов, способствует увеличению внутриклеточного кальция [19]. Действительно, еще в ранних исследованиях было показано, что гистамин стимулирует контрактуру мышечных слоев мочеточников и мочевого пузыря [21,23].

Согласно полученным нами результатам данной работы введение в вену животного гистамина способствует значительной активации как обоих мочеточников, так и мочевого пузыря. При этом в основном увеличиваются значения таких параметров потенциалов действия, как амплитуда и скорость ее нарастания. В результате данных изменений увеличивается также характеристика активности, определяющая скорость формирования контура верхушки потенциала действия, соответствующей верхней половине амплитуды ( $A/2:t$ ) и, таким образом, обуславливает «остроту пика» [3]. Если в норме соотношения значений данного коэффициента для левого мочеточника, правого мочеточника и мочевого пузыря можно представить как 109.4:97:39.1, то в присутствии гистамина данные параметры соотносятся друг к другу как 147:125:50. Таким образом гистамин способствует формированию быстрых остроконечных потенциалов действия.

Проведение сравнительного анализа значений параметров активности левого мочеточника с правым в норме с таковыми после введения гистамина показало: при наличии более высоких значений характеристик левого мочеточника в норме (см. табл.)

возбуждающий эффект гистамина в основном более выражен для амплитуды правого мочеточника (ср. Рис. 2 и 3). Если при изоляции левого мочеточника в условиях влияния гистамина понижается значение его амплитуды приблизительно 16 %, то при этом одновременно отмечается увеличение величины этого параметра для правого мочеточника (на 29 %). Последующее же отсечение от мочевого пузыря правого мочеточника влечет за собой реверсирование величины амплитуды его потенциалов действия до значений, полученных до перерезки левого мочеточника. Возможно наличие некой особенности электрофизиологических характеристик правого мочеточника, допускающее компенсировать функциональную активность удаленного левого мочеточника содействует отмеченному повышению его активности. В пользу наличия определенных различий в свойствах электрической активности мочеточников могут свидетельствовать также отличающиеся друг от друга результаты, касающиеся реакции мочевого пузыря при отсечении от него того или другого мочеточника при воздействии гистамина.

**Выводы из данного исследования и перспективы.** Таким образом, хотя мочеточники являются парными органами и характеризуются одной и той же физиологической ролью, один из них, возможно, обладает большими резервными возможностями для реализации ее основной функции при патологических условиях. Данная особенность физиологических свойств мочеточников может принимать участие в процессе регуляции интегративной деятельности органов мочевого тракта для реализации его основной функции – мочевыделения.

#### Список литературы:

1. Казарян К.В., Ванцян В.Ц., Симонян Л.Г. 2010. "Влияние нифедипина на электро-физиологические свойства спонтанной активности мочеточника крыс." Журн. Эвол. Биохим. и Физиол., Сравнительная и онтогенетическая физиология. 46(5): 395-400 .
2. Казарян К.В., Ванцян В.Ц., Симонян Л.Г. 2011. "Роль гистамина в регуляции спонтанной электрической активности мочеточника крысы и приграничной к нему зоны мочевого пузыря ." Российский физиологический журнал. 12: 1319-1326 .
3. Казарян К.В., Унанян Н. Г. Саваян А. А., Пилипосян Т. А., Мкртчян А. В., Манукян А. М. 2015. "Идентификация характеристик спонтанной электрической активности ритмогенных областей миоэлектрической активности крысы." Журн. Эвол. Биохим. и Физиол. 51(5): 340-346 .
4. Казарян К.В., Чибухчян Р. Г., Мкртчян Э. Х . 2017. "Корреляция между пейсмейкерной активностью мочевого пузыря и ритмогенезом мочеточников у крыс." Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова. 103( 8):902-911.
5. Andersson K.E, Arner A. 2004. "Urinary bladder contraction and relaxation: physiology and pathophysiology." *Physiol Rev.* 84(3): 935-86.
6. Bolton TB. 1979 . "Mechanisms of action of transmitters and other substances on smooth muscle." *Physiol Rev.* 59(3):606-718.
7. Bradley JE, Anderson UA, Woolsey SM, Thornbury KD, McHale NG, Hollywood MA. 2004 May. "Characterization of T-type calcium current and its contribution to electrical activity in rabbit urethra." *Am J Physiol Cell Physiol.* 286(5):1078-88.
8. Davidson RA, McCloskey KD. 2005. "Morphology and localization of interstitial cells in the guinea pig bladder: structural relationships with smooth muscle and neurons." *J Urol.* 173(4): 1385-90.
9. Drake M. J., Harvey I. J., Gillespie J. I. 2003. "Autonomous activity in the isolated guinea pig bladder." *Exp. Physiology.* 88 : 19-30.
10. Drumm BT, Koh SD, Andersson KE, Ward SM. 2014. "Calcium signalling in Cajal-like interstitial cells of the lower urinary tract." *Nature Reviews Urology.* 11: 555–564.
11. Hammad F.T. 2015. "Electrical propagation in the renal pelvis, ureter and bladder." *Acta Physiol (Oxf).* 213(2) : 371-83.
12. Hashitani H., Fukuta H., Takano H., Klemm M.F., Suzuki H. 2001. "Origin and propagation of spontaneous excitation in smooth muscle of the guinea-pig urinary bladder." *J. Physiol.* 530( 2): 273-286.
13. Kazaryan K.V., Simonyan L.G., Chibukhchyan R.G. 2015. "Identification and the relationship of different types of spontaneous activity in the rat urinary tract: Ureter, Urinary Bladder." *Ross Fiziol Zh Im I. Sechenova.* 101(4) : 433-40.
14. Klemm MF, Exintaris B, Lang RJ. 1999 Sep 15. "Identification of the cells underlying pacemaker activity in the guinea-pig upper urinary tract." *J Physiol.* 519( Pt 3):867-84.
15. McCloskey KD. 2011. "Interstitial cells of Cajal in the urinary tract." *Handb Exp Pharmacol.* (202):233-54.
16. McCloskey KD and Gurney AM. 2002. "Kit positive cells in the guinea pig bladder." *J Urol .* 168: 832–836.
17. McHale NG, Hollywood MA, Sergeant GP, Shafei M, Thornbury KT, Ward SM. 2006. "Organization and function of ICC in the urinary tract" *J Physiol.* 576(Pt 3):689-94 .
18. Moore K., Agur A. 2007. "Essential Clinical anatomy. third edition. Philadelphia." Lippincott Williams and Wilkins. 227-228.
19. Neuhaus J, Weimann A, Stolzenburg JU, Dawood W, Schwalenberg T, Dorschner W. 2006 Jun. "Histamine receptors in human detrusor smooth muscle cells: physiological properties and immunohistochemical representation of subtypes." *World J Urol.* 24(2):202-9.
20. Osman F, Romics I, Nyirády P, Monos E, Nádasy GL. 2009. "Ureteral motility." *Acta Physiol Hung.* 96(4):407-26.
21. Poli E, Coruzzi G, Bertaccini G. 1988. "Pre- and postjunctional effects of histamine on the guinea pig urinary bladder: evidence for heterogeneity in the H1-receptor population?" *Agents Actions.* 23: 241–243.

22. Roosen A, Wu C, Sui G, Chowdhury RA, Patel PM, Fry CH. 2009 Aug. "Characteristics of spontaneous activity in the bladder trigone." *Eur Urol.* 56(2): 346-53.
23. Rubinstein R, Nissenkorn I, Cohen S. 1987. "Acetylcholine mediation of the contractile response to histamine in human bladder detrusor muscle." *Eur J Pharmacol.* 142:45-50.
24. Santicoli P, Maggi CA. 1998. "Myogenic and neurogenic factors in the control of pyeloureteral motility and ureteral peristalsis." *Pharmacol Rev.* 50(4):683-722.
25. Shuba MF. 1977 Jan. "The effect of sodium-free and potassium-free solutions, ionic current inhibitors and ouabain on electrophysiological properties of smooth muscle of guinea-pig ureter." *J Physiol.* 264(3):837-51.
26. Soll AH1, Toomey M, Culp D, Shanahan F, Beaven MA. 1988 Jan. "Modulation of histamine release from canine fundic mucosal mast cells." *Am J Physiol.* 254(1 Pt 1): G40-8.
27. Sudoh K, Inagaki O, Honda K. 1997 Apr. "Responsiveness of smooth muscle in the lower urinary tract of rabbits to various agonists." *Gen Pharmacol.* 28(4): 629-31.
28. Ugaily-Thulesius L, Thulesius O, Angelo-Khattar M, Sivanandasingham P, Sabha M. 1988. "Mast cells and histamine responses of the ureter, ultrastructural features of cell-to-cell associations and functional implications." *Urol Res.* 16(4): 287-93.
29. Weiss R. M. 1971. "Physiological organization of function with reference to a pacemaker." In: *Urodynamics*. Ed. S. Boyarsky. N. Y. Acad. Press. 399-410.

**Romanenko A.S.**

*doctor of biological sciences*

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry,  
Siberian Division of Russian Academy of Sciences*

**Lomovatskaya L.A.**

*doctor of biological sciences*

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry  
Siberian Division of Russian Academy of Sciences*

**Романенко А.С.**

*доктор биологических наук*

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений  
Сибирского отделения Российской Академии Наук*

**Ломоватская Л.А.**

*доктор биологических наук*

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений  
Сибирского отделения Российской Академии Наук*

## **АКЦЕССОРНЫЕ БЕЛКИ: ПРОТИВОРЕЧИВАЯ РОЛЬ В ЖИЗНИ ПРО- И ЭУКАРИОТОВ ACCESSORY PROTEINS: IMPORTANCE IN THE LIFE OF PRO- AND EUKARIOTES**

**Аннотация:** Акцессорные, или вспомогательные, белки присутствуют в организмах различного уровня сложности и относятся к особому классу полипептидов с разнообразными функциями. В их число входят контроль на посттранскрипционном уровне правильной укладки полипептидов различной природы, включая грузовые белки, для обеспечения их соответствующей конформации, специфичности и целевой доставки к внутриклеточным компартментам или к пограничной мембране. Акцессорные белки могут влиять на формирование и регулирование эффективности и специфичности трансдукции сигналов в системе рецептор – G белок – эффектор, участвовать в организации и динамике структур цитоскелета. В присутствии акцессорных белков происходит формирование и интернализация эндосом или встраивание в клеточную мембрану секреторных везикул, осуществляется репликация и репарация поврежденной ДНК. Кроме того, свой вклад акцессорные белки вносят в формирование и регуляцию защитных реакций организма. Таким образом, дальнейшее исследование тонких механизмов функционирования таких белков представляется весьма перспективным.

**Ключевые слова:** акцессорные белки, контроль фолдинга белков, передача сигналов, цитоскелет, эндоцитоз.

**Abstract:** Accessory (or auxiliary) proteins are present in organisms of different levels of complexity and belong to a special class of polypeptides with diverse functions that include monitoring of the correct stacking of various type polypeptides, including cargo proteins, at the posttranslational level, to ensure their appropriate conformation, specificity, and targeted delivery to the intracellular compartments or to the limiting membrane. Accessory proteins can influence the formation and regulation of the efficiency as well as specificity of signals transduction in the receptor – G protein - effector system, participate in the organization and dynamics of cytoskeleton structures. In the presence of accessory proteins, endosomes are formed and internalized, secretory vesicles are inserted into the cell membrane, replication and repair of the damaged DNA are performed. Moreover, accessory proteins contribute to the formation and regulation of organism protective reactions. Thus, despite a lot of diverse functions of these proteins are already known, their research in the future seems to be very promising.

**Key words:** accessory proteins, control of folding proteins, signaling, cytoskeleton, endocytosis.

**Введение.** Акцессорные, или вспомогательные, белки представляют собой широко распространенный особый класс протеинов, контролирующих в клетках организмов сохранность молекул, участвующих в большинстве, если не во всех ключевых реакциях метаболизма. Первые сведения о таких белках появились в начале 90-х годов прошлого столетия. Так, было установлено, что в мутантах дрожжей, дефицитных по белку SHR3, в норме локализованному в эндоплазматическом ретикулуме (ЭР), пермеазы, транспортирующие аминокислоты из внешней среды в клетку, не доставлялись к плазматической мембране, оставаясь и накапливаясь в цистернах ЭР [1]. Авторы пришли к выводу, что функция SHR3 заключается в фолдинге синтезируемых на ассоциированных с ЭР рибосомах молекул пермеаз для обеспечения их нормального функционирования, хотя термин «акцессорные белки» для соединений, контролирующих конформацию полипептидов, а также обладающих, как оказалось, и другими свойствами, появился позднее [2]. Со временем было выяснено, что акцессорные белки могут регулировать эффективность и специфичность переноса сигнала от рецептора к G-белку или от G-белка к эффектору, участвуя в формировании функционального комплекса передачи сигнала [3, 4]. Этими белками осуществляется контроль правильной укладки (фолдинга) синтезированных на связанных с эндоплазматическим ретикулумом (ЭР) рибосомах и входящих или пересекающих мембрану ЭР полипептидов различной природы, включающих растворимые и трансмембранные белки («грузовые белки») для обеспечения их соответствующей конформации, специфичности и целевой доставки. Тем самым предотвращается их деградация в ассоциированной с ЭР мембранной системе ERAD (endoplasmic reticulum-associated protein degradation), представляющей собой цитоплазматический убиквитин-протеасомный путь [5, 6]. Организация и динамика цитоскелетных структур – актиновых микрофиламентов и микротрубочек, осуществляющих транспорт пузырьков между различными органеллами, также как и промежуточных филаментов, обеспечивающих механическую прочность клеток, в значительной степени определяются сложным взаимодействием с многочисленными акцессорными белками, способными образовывать, разъединять, осуществлять поперечную связь, ослаблять или укреплять отдельные филаменты [7-9]. Полимерные спирали акцессорных белков, состоящих из мультидоменов серповидной формы, участвуют в инициации кривизны и затем в опоясывании перешейка инвагинирующей мембраны эукариотов, что способствует формированию и отделению эндодцитозных пузырьков, облегчает отпочкование от цистерн аппарата Гольджи или мембран ЭР пузырьков, осуществляющих целевой транспорт груза [10-13]. Репликация и репарация поврежденной ДНК также происходят в присутствии акцессорных белков [14, 15]. Есть сведения о том, что такие белки способствуют транспортировке эпидермального фактора роста в

комплексе с рецептором из плазматической мембраны непосредственно в ядро для активации транскрипции генов, стимулирующих рост клетки [16, 17].

Свой вклад акцессорные белки вносят в формирование и регуляцию защитных реакций организма. Например, биологические эффекты полипептидных медиаторов – цитокинов, опосредуются через специфические клеточные рецепторные комплексы, а поддержание конформации комплексов лиганд-рецептор осуществляется с помощью акцессорного белка [18, 19]. Так, для рецептора ключевого провоспалительного цитокина, именуемого интерлейкином-1 (IL-1), ответственного за активацию иммунокомпетентных клеток при острых и хронических воспалительных реакциях, обнаружен акцессорный белок AcP [18, 19]. Однако, при патогенезе, в частности, при инфицировании ретровирусами, активируется вирусный ген, кодирующий акцессорный белок, необходимый для поддержания репликации вируса при его взаимодействии с клеткой-хозяином [20, 21]. Продуцируемый бактерией *Clostridium botulinum* токсин ботулизма при попадании в организм с пищей становится опасен, поскольку он защищён продуцируемыми патогеном акцессорными белками от повреждающего воздействия ферментов и кислоты желудочного сока [22].

Недавно обнаружен интересный факт защиты эмбрионов человека одними видами вируса от других. Так, Высоцка и ее коллеги выяснили, что на ранней стадии развития эмбриона эндогенный ретровирус HERVK, вместе с синтезируемым в клетке-хозяине акцессорным белком HERVK Rec, защищают эти клетки от инфицирования другими вирусами [23]. Таким образом, в зависимости от того, в каком организме (хозяин или патоген) продуцируются акцессорные белки, они будут играть прямо противоположные роли: либо обеспечивать целостность и регуляцию собственных продуктов метаболизма (белки, нуклеиновые кислоты, элементы цитоскелета) и защиту от атаки патогеном, или способствовать инфицированию, предохраняя факторы вирулентности от разрушения клетками хозяина.

В последние годы акцессорным белкам посвящен ряд обзорных статей, но в них рассматриваются отдельные представители этих соединений, участвующие в конкретных событиях клеточного метаболизма [4, 8, 24-26]. Поэтому в нашем обзоре предпринята попытка более подробного обсуждения различных видов и функций акцессорных белков, синтезируемых высшими и низшими организмами.

**Акцессорные белки и трансдукция сигналов.** Обработка сигналов через рецепторы, сопряженные с G-белками (G-protein-coupled receptors, GPCRs), широко используется для передачи внешней информации через пограничную мембрану внутрь клетки. GPCRs активируют гетеротримерные G-белки, выполняющие роль посредников для трансляции сигналов на внутриклеточные эф-

факторные молекулы [27]. Комбинация трёх субъединиц гетеротримерных G-белков (*Gas* –  $\alpha$ -субъединицы активирующие, либо *Gai* –  $\alpha$ -субъединицы ингибирующие, а также  $G\beta$  и  $G\gamma$  в комплексе друг с другом) определяет прохождение или подавление сигнала, инициированного взаимодействием лиганда с рецептором. В данной системе были обнаружены и другие участники – акцессорные белки. Эти компоненты изменяют активацию/дезактивацию субъединиц *Ga* или образуют комплексы с *Ga* либо  $G\beta\gamma$ , отличающиеся от типичного гетеротримера  $Ga\beta\gamma$ . Такое регулирование активации G-белков может протекать в ассоциации с GPCRs, а также независимо от них. Тем самым обеспечивается дополнительное разнообразие входящих сигналов [3, 4, 24].

Один из основных классов акцессорных белков относится к семейству регуляторов передачи сигнала G белка - RGS (regulators of G-protein signaling), которые участвуют в повышении активности ГТФазы специфических субъединиц *Ga* и могут также функционировать в качестве эффекторов или скаффолдинговых (платформы для укладывания) белков [28, 29]. Первоначально существование таких регуляторных белков было обнаружено у дрожжей, а генетические исследования проводились на опосредованном через G белок контроле яйцекладки у нематоды *Caenorhabditis elegans* [30].

По действию на субъединицы G-белков акцессорные белки (АБ) были разделены на 4 класса [4, 24].

1. Факторы обмена нуклеотидов (Guanine exchange factors - GEFs). Этот класс АБ стимулирует обмен ГДФ/ГТФ субъединицей *Ga*, функционирующей как ГТФаза при восприятии сигнала от рецептора [24]. К таким АБ относятся активатор сигнала G-белка - AGS1 [24, 31] и презенилин-1 [32]. Оба белка функционируют независимо от рецептора. Презенилин-1, нарушение экспрессии гена которого способствует развитию синдрома Альцгеймера, преимущественно присутствует в цистернах транс-Гольджи и эндоплазматическом ретикулуме [32]. Кроме того, еще один АБ, радиксин, связываясь с комплексом 13-й изоформы *Ga* и ГТФ ( $Ga_{13}$ -ГТФ), способствует их конформационному изменению для связывания с F-актином [24]. Из 4-х членов семейства *Ga* белки GEF предпочтительно активируют *Ga*-ингибиторы (*Gai*), прерывающие сигнал после его прохождения [33].

2. Ингибиторы диссоциации гуанин нуклеотида (Guanine Nucleotide Dissociation Inhibitors - GDI) от субъединицы *Ga*. Большая часть этой группы АБ имеет общий структурный домен, называемый регулятором G-белка (GPR). Мотив GPR стабилизирует изменённую под влиянием ГДФ конформацию *Ga*, что приводит к ингибированию *Ga*-опосредованной сигнализации [32]. Мотив GPR найден в активаторах сигнала G белков, включающих AGS3, AGS5, AGS11 [24], и в активирующих ГТФазу белках RGS12, RGS14 и Rap1 [24, 34].

3. Белки, активирующие ГТФазу субъединицы *Ga* (GAPs). Большинство белков в этой группе яв-

ляются GAPs для *Gai/Gao* (субъединица *Gao* ответственна за поведенческие мотивы), но некоторые также обладают активностью по отношению к членам семейства *Gas* [35]. К акцессорным белкам GAPs относятся регуляторы сигналинга G-белков (RGS): RGS2, RGS4, RGS5, RGS7 [24].

4. Акцессорные белки, взаимодействующие с субъединицами  $G\beta\gamma$ . Белки этой группы вызывают сигнальные события независимо от рецептора GPCR.  $G\beta\gamma$  регулируют различные эффекторные молекулы, в частности, кальциевые каналы, связанную с G-белком рецепторную киназу 2 - GRK2 [24, 27].

В современном представлении механизм регуляции сигналов G-белков с участием акцессорных белков можно рассмотреть на примере болезни почек – поликистоза (polycystic kidney disease, PKD). В норме почка обладает множеством функций, включая фильтрацию для удаления отходов из крови, контроль баланса жидкости и электролитов, кислотно-основного регулирования и производства эндокринных гормонов [26]. В этих процессах участвует нетипичный рецептор поликистин-1 (PC-1), который, в отличие от обычных GPCR, имеющих 7-спиральную трансмембранную конфигурацию, обладает 11 трансмембранными областями и участвует в передаче физических сигналов от внешнего стимула в клетку. Кроме PC-1, функционирует катионный канал поликистин-2 (PC-2). При PKD образование кисты происходит из-за поврежденных продуктов генов *PKD1* и *PKD2*, PC-1 и PC-2, соответственно. Эти аномалии приводят к нарушению проведения сигналов, зависящих от гетеротримерных G-белков. Как и GPCR, PC-1 может выборочно связывать многие активированные субъединицы *Ga*-ГТФ или  $G\beta\gamma$  через их взаимодействие с цитоплазматическим доменом GBD C-конца PC-1, поскольку GBD участвует в регулировании сигнала от этих субъединиц. В свою очередь, GBD связан на терминальном C-конце PC-1 с доменом спиральной катушки, с которым взаимодействует акцессорный белок, в данном случае, RGS7 – регулятор сигнала от белков *Ga*. Например, при контакте RGS7 с *Gai* блокируется апоптоз, комплекс RGS7+*Gaq* активирует кальцийнейрин для содействия переносу ядерного фактора активированных T клеток - NFAT, в ядро [26]. Другие акцессорные белки, такие как AGS3, вблизи PC-1 могут преграждать путь субъединицам G-белка, для содействия регуляции катионного канала PC-2 через  $G\beta\gamma$ -зависимый механизм [36]. Есть, однако, сведения о том, что AGS3 может контролировать PC-1-зависимую сигнализацию G-белка, взаимодействуя не с самим PC-1, а с активированными субъединицами G-белка. В частности, AGS3 способен связывать несколько неактивных субъединиц *Gai/o*-ГДФ и функционировать как ингибитор диссоциации гуанинового динуклеотида [26].

Акцессорные белки взаимодействуют также с другими типами рецепторов, образующих комплекс с цитокинами - полипептидными медиаторами, участвующими в формировании и регуляции

защитных реакций организма [18, 19]. К числу цитокинов, ответственных за инициацию воспаления, относится интерлейкин-1 (ИЛ-1), активирующий Т-хелперы и лимфоциты. Для рецептора ИЛ-1 известен акцессорный белок, IL-1RAcP, роль которого сводится к поддержанию конформации комплекса рецептор-лиганд [18, 19]. Члены семейства мембранных рецепторов миеломоноцитарных клеток, TLR-2 и TLR-4 (Toll Like Receptor), обеспечивают первичное распознавание различных типов патогенов. В случае липополисахаридов (LPS) бактериального патогена возможность их взаимодействия с рецептором TLR-4 наступает после освобождения липида А - токсического компонента LPS из клеточной стенки после разрушения полисахаридной капсулы бактерий во время клеточного деления или их гибели под действием бактерицидных факторов [37]. TLR-2 и TLR-4 формируют высокоаффинный комплекс для распознавания LPS с участием акцессорных молекул CD14, CD11/CD18 и MD2 [37, 38].

Т-лимфоциты и другие иммунокомпетентные клетки содержат рецептор CD-4, с которым связываются РНК-содержащие ретровирусы, в частности, вирусы иммунного дефицита приматов [38]. После проникновения вируса в клетку начинается репликация вирусного генома, кодирующего, помимо репликативных и регуляторных белков, также акцессорные белки [21, 38]. Часть акцессорных белков функционирует в конце жизненного цикла вируса. Например, Vpr понижает уровень рецептора CD-4 и усиливает высвобождение вириона из инфицированных клеток. Vif проявляет себя в начале инфекции, в частности, при упаковке белков в вирион или при его модификации в процессе сборки. Акцессорный белок Vrg накапливается в ядре инфицированных клеток, нарушая клеточный цикл, а Nef синтезируется на всех стадиях экспрессии вирусных генов [38]. Таким образом, клетки млекопитающих, призванные защищать организм, участвуют в поддержании противоположного процесса – обеспечении жизнеспособности вируса, что способствует развитию иммунодефицита организма-хозяина.

Факторы ESCRT (Endosomal Sorting Complexes Required for Transport), вместе с компонентами раннего секреторного пути и белки, гомологичные ретикулону хозяина (Reticulon Homology Proteins - RHPs), участвуют с акцессорными белками в динамике мембран при взаимодействии вирусных белков с мембранами клеток растения-хозяина [39].

В растениях сайленсинг (замолкание) РНК является эволюционно консервативным механизмом и участвует в поддержании фитоиммунитета. В частности, важными компонентами эффекторных комплексов сайленсинга являются Argonaute proteins (AGO) [40]. AGOs, вместе с акцессорными белками, образуют эффекторный комплекс замолкания. Например, AGO4 Арабидопсиса связывается с акцессорными белками для образования RITS (RNA-Induced Transcriptional Silencing Complex) [25].

**Функции акцессорных белков в мембранном транспорте.** Около трети эукариотического

протеома проходит секреторным путем к конечному внутри- или внеклеточному назначению. Поэтому необходима специфическая сортировка и доставка белков [41]. Они включают в себя растворимые и интегральные мембранные компоненты, именуемые «грузовыми белками» (“cargo proteins”) [42]. Их перенос осуществляется по эндомембранной системе, содержащей органеллы секреторных и эндоцитозных путей, включающих эндоплазматический ретикулум (ЭР), промежуточный компартмент между ЭР и аппаратом Гольджи, аппарат Гольджи (АГ), лизосомы, эндосомы и плазматическую мембрану [43, 44]. В клетках растений дополнительно присутствуют вакуоли, которые могут обладать функцией лизосом [45].

В общем случае везикулярный транспорт, вероятно, функционирует с помощью похожих молекулярных механизмов во всех эукариотических организмах. Об этом свидетельствует участие многих малых ГТФаз – Rab белков, SNAREs – рецепторных белков, осуществляющих слияние пузырьков с мембранами при anterogradном (ЭР → АГ) и retrogradном (АГ → ЭР) транспорте, а также с клеточной или лизосомной мембранами [43, 46, 47]. Значительная роль во всех этих процессах отводится разнообразным акцессорным белкам. Секреторный и эндоцитозный транспорт обеспечивает высокий уровень регулирования обилия белков, в том числе мембранных, таких как рецепторы, транспортеры и ионные каналы, позволяя клетке быстро приспосабливаться к окружающей среде [7, 12, 48].

**Акцессорные белки прокариот и низших эукариот.** У бактерий многие белки после их синтеза на рибосомах предназначены для секреции во внешнюю среду. В грамотрицательных бактериях, в отличие от грамположительных бактерий, такие белки секретируются из цитоплазмы в периплазматическое пространство, а затем за пределы клетки. Транспорт в периплазму происходит при участии одного из трёх разных путей: Sec, Tat и SRP. Через транслокон Tat белки транспортируются в неизменном виде, а через Sec путь, по которому у прокариот переносится наибольшая доля секреторируемых и мембранных белков, эти молекулы в ходе транслокации должны быть полностью развёрнуты до состояния вытянутой полипептидной цепи, после чего подвергаются рефолдингу в периплазме с участием цитоплазматического шаперона SecB и акцессорных белков: SecD, SecE, YidC и YajC. Путь SRP является ко-трансляционным, т.е. осуществляет экспорт полипептидной цепи, которая продолжает синтезироваться на рибосоме [49].

Для дрожжей было показано, что акцессорные белки Shr3p и Gsf2p участвуют в правильной укладке грузовых белков (AAP и Hxt1p, соответственно) и для разрешения их транспорта из ЭР [50].

У некоторых целлюлитических бактерий и в аскомицетах - грибах, осуществляющих гидролиз целлюлозы, были найдены акцессорные белки - сволленины, имеющие некоторую гомологию с экс-

пансинами, играющими роль в росте клеток растений, созревании фруктов или в других процессах, связанных с ослаблением клеточной стенки [51]. Сволленины также обнаружены в разрушающих древесину базидиомицетах: трутовике *Laetiporus sulphureus* и вешенке *Pleurotus ostreatus* [52].

**Акцессорные белки эндоплазматического ретикулума.** После синтеза на рибосомах, связанных с ЭР, грузовые белки пересекают мембрану ЭР, внутри которого они правильно сворачиваются и обрабатываются. Фолдинг белков в пределах секреторного пути должен обеспечить нормальную их

конформацию и специфичность. Неправильно упакованные молекулы, на долю которых приходится около 30% от общего количества полипептидов в клетке, направляются на деградацию [6]. После укладки белки переносятся в промежуточный компартмент между ЭР и цис-Гольджи, именуемый везикулярно-тубулярным кластером, или непосредственно в цис-Гольджи с участием акцессорных белков через пузырьки ЭР, окаймлённые комплексом II (COP II везикулы) для дальнейшей обработки и сортировки (Рис. 1). Сортировка может также происходить в эндосомах [12, 45].

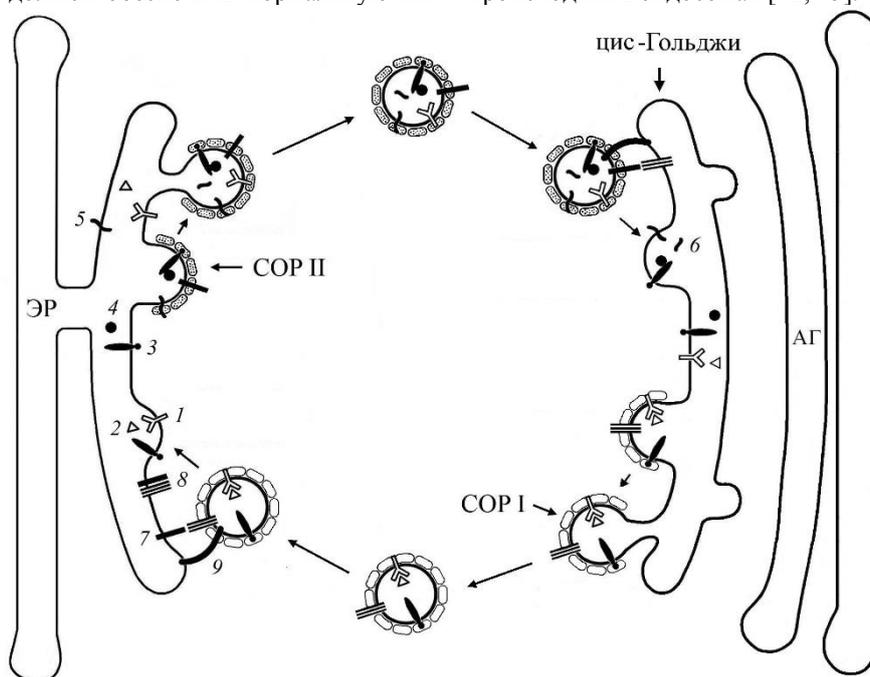


Рис. 1. Антероградный и ретроградный перенос белков между эндоплазматическим ретикулумом (ЭР) и аппаратом Гольджи (АГ).

Акцессорный рецептор K/HDEL распознает C-концевой тетрапептидный мотив (KDEL) резидентного, в данном случае канального белка ЭР, модифицируемого в АГ, и возвращает его в ЭР. Другие грузовые белки в сопровождении рецепторов антероградно переносятся из ЭР окаймленными COP II пузырьками в цис-Гольджи, где после модификации могут транспортироваться в другие компартменты или секретироваться через пузырьки с окаймлением COP I. Рецепторы ретроградно возвращаются в ЭР. 1 – рецептор K/HDEL для канального белка с возвратным сигналом KDEL. 2 – канальный белок с возвратным сигналом KDEL. 3 – рецептор для канального груза. 4 – рецептор-зависимый груз. 5 – мембранный груз. 6 – канальный груз объемного потока. 7 – v-SNARE – рецептор прикрепления пузырька-донора (ЭР) к цистерне цис-Гольджи, затем к пузырьку цис-Гольджи при ретроградном его транспорте к ЭР. 8 – t-SNARE – трехчленный рецептор на мембране цис-Гольджи; связывается с v-SNARE после удаления окаймления и привязки везикулы к мембране АГ. 9 – привязочный трос. COP I – окаймление пузырька АГ. COP II – окаймление пузырька ЭР.

Селективно рекрутируемые в пузырьки секреторные грузовые белки можно разделить на две группы: (1) те, которые непосредственно связываются с компонентами окаймления COP II через последовательности мотивов выхода из ЭР и (2) те, которые нуждаются в специфических акцессорных белках для связывания их с пузырьками COP II [53]. Некоторые акцессорные белки ЭР несут экспортный мотив, распознаваемый окаймлением COP II, а также имеют домен, взаимодействующий с секретуемым грузом, позволяющий его загружать [45, 54].

Акцессорные белки ЭР разделяют на три группы: экипировщики (outfitters), конвоиры или эскорты (escorts) и транспортные рецепторы или гиды (transport receptors, guides) [2, 45]. **Экипировщики** участвуют в установлении или поддержании нужной конформации грузового белка и включают в себя специфические катализаторы фолдинга и, по мнению авторов, шапероны, которые остаются в ЭР. В этом случае сам белок должен иметь в ЭР мотив выхода и нуждается в экипировщике, обеспечивающем правильную конфигурацию, позволяющую этому мотиву взаимодействовать с пузырьками COP II [2]. Примером является экипировщик

Shr3p в дрожжах, переносящий пермеазы аминокислот, например, Gap1p, в плазматическую мембрану [1].

Интересно, что к группе экипировщиков отнесён и кальмодулин, для которого грузом в ЭР является  $K^+$  канал, в частности, KCNQ2 человека [55]. Еще одна роль экипировщиков заключается в "маркировке" грузовых белков при выходе из ЭР (например, для их фосфорилирования в цис-Гольджи), или в активном участии в доставке груза в везикулу COPII [56]. **Конвоиры** обладают аналогичными функциями, но отличаются от экипировщиков тем, что сопровождают свои грузовые белки в цис-цистерны Гольджи, поэтому включают в себя регуляторные молекулы, необходимые для предотвращения преждевременной активности или связывания субстратов с грузовым белком [2]. Хорошо изученным примером эскортного белка млекопитающих является RAP, участвующий в правильной локализации семейства рецепторов для липопротенинов низкой плотности (ЛНП). При отсутствии RAP рецепторы ЛНП агрегируются в ЭР из-за преждевременного их связывания с лигандами и, в конечном счете, удаляются на деградацию [57]. Белки Rab ГТФаз синтезируются как растворимые белки в цитозоле, где они распознаются эскортным белком REP и предоставляются ферменту геранилгеранил трансферазе для добавления одной или двух липидных групп геранилгеранила к цистеиновым остаткам С-конца белков Rab, что обеспечивает стабильную и целенаправленную их вставку в мембрану [58]. **Транспортные рецепторы или проводники** третьей группы также циркулируют между ЭР и аппаратом Гольджи, однако они участвуют в непосредственном взаимодействии с окаймлением везикул COPII, обеспечивая информацию, необходимую для селективного поглощения грузовых молекул [2]. Например, транспортными рецепторами млекопитающих является комплекс белков LMAN1-MCFDC, участвующих в переносе факторов V и VIII свёртывания крови и двух лизосомальных белков – катепсона С и катепсона Z. Цитоплазматический хвост LMAN1 содержит мотив выхода из ЭР - два фенилаланина, взаимодействующих с окаймлением COPII, что позволяет осуществлять избирательную доставку груза [53].

Открытие трех аксессуарных белков в ЭР *Arabidopsis thaliana* - AXR4, PHF1 и NAR2.1 показывает, что такие соединения функционируют также в растениях. AXR4 является предполагаемым экипировщиком, избирательно регулирующим локализацию переносчика ауксина AUX1 в плазматической мембране [59]. Переносчик фосфата PHF1 также является экипировщиком, поскольку он локализуется в ЭР и не обнаружен в везикулах COPII [60]. Другим возможным растительным аксессуарным белком-экипировщиком в ЭР является NAR2.1, регулирующий локализацию в плазматической мембране белка NRT2.1 с высоким родством к поглощению нитрата [61].

**Аксессуарные белки, ассоциированные с аппаратом Гольджи.** Известно, что белки, после их

модификации в АГ, транспортируются в окаймлённых пузырьках COPI в трёх направлениях: ретроградном в ЭР, антероградном в лизосомальный компартмент и в виде секреторных везикул к плазматической мембране. При ретроградном движении пузырьки доставляют из цис-АГ в ЭР резидентные рециклирующие белки, например, маркерный белок ЭР – KDEL-R [44], глицерофосфолипиды с ферментами гликозилирования [47]. Аксессуарный белок Рабаптин-5, взаимодействуя с адаптерами клатрина, в частности, с  $\gamma$ 1-адаптином – субъединицей комплекса клатринового адаптера AP-1, участвует в транспорте пузырьков от транс-Гольджи к эндосомальному компартменту [62]. Коробко с соавторами показано, что  $\gamma$ -изоформа Рабаптина-5 также ассоциирована с транс-Гольджи, причем, в везикулах АГ, свободных от клатринового окаймления [63]. Попутно отметим, что Рабаптин-5, в комплексе с Рабекс-5 - фактором обмена нуклеотидов для ГТФазы Rab5, является эффектором этой ГТФазы и необходимым компонентом в процессе слияния ранних эндосом, а также может участвовать в Rab4-зависимой быстрой рециклизации эндосом [63].

**Участие аксессуарных белков в формировании эндоцитозных и секреторных пузырьков.** Рецептор-опосредованный эндоцитоз (РОЭ) представляет собой избирательный способ поглощения клеткой лигандов, к которым относятся пептидные факторы роста, липопротенины низкой плотности, трансферрин, транспортеры, ионные каналы и др., а также токсины и вирусы [43, 64]. Клатрин-зависимый РОЭ начинается через формирование окаймлённых клатрином ямок, инициируемое адаптерными белками (AP-2), захватывающими молекулы грузов после связывания рецептора с лигандом и запускающими сборку клатрина на плазматической мембране (Рис. 2). В этот процесс вовлекаются аксессуарные белки:  $\beta$ -аррестины, регулирующие трансдукцию сигнала от сопряженных с G белком рецепторов, способствующие отбору грузовых белков, и CALM, участвующие в правильном образовании клатриновой решетки [65]. Дополнительное искривление мембраны усиливается такими аксессуарными белками как амфифизин и эндофинин, содержащими домены BAR (**B**in/**A**mphiphysin/**R**vs) серповидной формы. Показано, что большая часть известных BAR-доменных белков вовлечена в клатрин-зависимый или кавеолин-зависимый эндоцитоз, причем, такие белки связываются с мембранами за счёт электростатических взаимодействий положительно заряженных аминокислотных остатков BAR-домена с отрицательно заряженными липидами [11]. Дальнейшая деформация мембраны и полимеризация клатрина приводят к формированию окаймлённого клатрином пузырька, связанного с основной частью мембраны только узким перешейком. Для полного отсоединения пузырька необходим дополнительный аксессуарный белок динамин, обладающий ГТФазной активностью. Предполагается, что амфифизин рекрутирует к формирующемуся пузырьку динамин и облегчает

его олигомеризацию [65]. После гидролиза ГТФ динамином происходит его самосборка в подобные воротнику структуры вокруг суженной шейки ямки, что катализирует отделение мембраны, приводящее к образованию окаймленного клатрином пузырька (Рис. 2) [65].

При другом виде РОЭ, кавеолин-raft-зависимом эндоцитозе, содержащие груз пузырьки – каве-

олы, формируются из мембранных участков, включающих рафты - плотно упакованные липиды, обогащенные холестерином и сфинголипидом, а также кавеолин-1, встроенный во внутреннюю часть липидного бислоя со стороны цитозоля. Отсоединение кавеол от мембраны способствуют динамин-2 (Dun2) и регуляторы актинового цитоскелета [64].

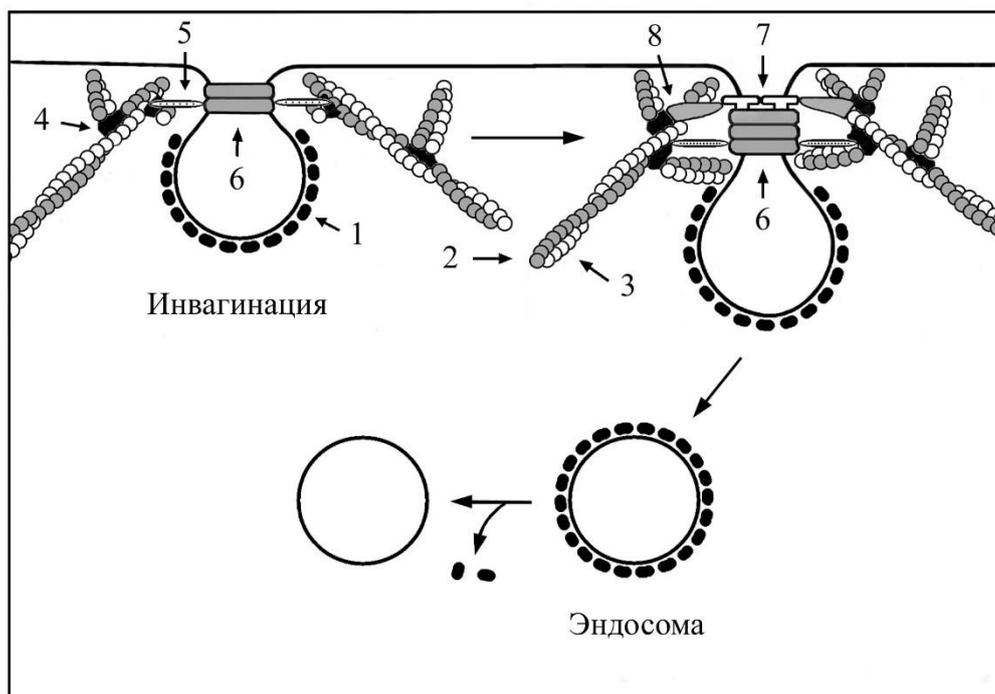


Рис. 2. Образование клатрин-зависимых пузырьков при рецептор-опосредованном эндоцитозе (РОЭ).

Адаптерный белок AP-2 (на схеме не показан), захватывает молекулы грузов после связывания рецептора с лигандом, инициирует кривизну мембраны и запускает на ней сборку клатрина (1). Под мембраной в этом участке начинается олигомеризация актина (2, 3) с образованием дендритоподобных филаментов с участием акцессорного белка Aрг2/3 (4) и коротактина, (5), рекрутирующих динамин (6), охватывающий перешеек инвагинации, что способствует её углублению. Далее в этот процесс вовлекаются акцессорные белки: содержащий BAR домены амфифизин (7), и белок WASP (8), ответственный за синдром иммунодефицита при повреждении кодирующего этот белок гена. В итоге из инвагинации формируется эндоцитозный пузырёк с последующим сбрасыванием клатринового окаймления.

Интересные данные были получены при моделировании на плоских липидных мембранах-липосомах механизма образования трубочек и пузырьков [11]. Оказалось, что из трех акцессорных белков (амфифизин, эндофилин и нексин SNX9, распознающие молекулы грузов) только первые два способны формировать трубочки из плоских мембранных шаблонов и совместно с акцессорным мультидоменным белком Dun2 катализировать высвобождение пузырьков в присутствии ГТФ. Таким образом, в опытах *in vitro* для выхода пузырьков,

также как и при эндоцитозе [13], необходима ГТФазная активность Dun2. Более того, даже после образования трубок в присутствии амфифизина, добавление Dun2 без ГТФ вызывало их быстрое разрушение, не говоря уже об отсутствии формирования трубок [11]. Все три белка содержат домен SH3 для их взаимодействия с Dun2, а у амфифизина и эндофилина есть также домен N-BAR с N-концевой спиралью, повышающей чувствительность мембраны к кривизне. Но у SNX9 указанный домен не имеет такой спирали и соседствует с доменом PX, связывающим фосфоинозитиды, что, вероятно, не способствует формированию трубок. Разные эффекты амфифизина, эндофилина и SNX9 на катализируемое Dun2 образование трубок и пузырьков указывают на возможность того, что иерархия взаимодействий домена SH3 может регулировать функцию Dun2 *in vivo* [11]. Кроме того, динамин вовлекается в открепление от АГ новообразованных пузырьков, и участвует в их слиянии с мембраной при экзоцитозе [12, 66].

**Цитоскелет и акцессорные белки.** В эукариотических клетках транспортная система, охватывающая все виды органелл, а также мембранный оборот при эндо- и экзоцитозе, осуществляется с помощью цитоскелетных элементов – актиновых микрофиламентов (МФ) и микротрубочек (МТ) с

целью передачи сигналов и доставки грузов к соответствующим компартментам [9, 12, 64]. В отношении третьего компонента цитоскелета – промежуточных филаментов (ПФ), известно, что им, и клетке в целом, свойственна высокая сопротивляемость различным деформациям, что, вероятно, обусловлено сложными взаимодействиями этих структур с МФ и МТ через моторы и сшивающие агенты – линкеры, относящиеся к акцессорным белкам [8]. Такие белки играют существенную роль в организации и динамике МФ и МТ, обладая, в зависимости от задач, специализированными функциями. Типичные акцессорные белки актина классифицируются по их способу действия на три категории: (а) регуляторы зарождения (нуклеации) новых филаментов, (б) линкеры и (в) регуляторы де/полимеризации [8]. Так, спонтанная нуклеация подавляется такими акцессорными белками как профилин, тимозины, позволяющими мономерному актину и другим строительным блокам оставаться доступными в любое время для двух типов высокоэффективных инициаторов нуклеации – Arp2/3 (Actin-Related Proteins) и форминов [8]. Arp2/3 может присутствовать в пассивной и активированной формах, причем функцию активации комплекса Arp2/3 выполняют белки семейства WASP/Scar. Когда с филаментом актина связывается комплекс Arp2/3, он служит нуклеатором полимеризации новых нитей под углом  $70^\circ$ , при этом медленный (-)конец филамента диссоциирует на мономеры с участием акцессорного белка кофилина [8, 12]. К сшивающим микрофиламенты агентам относятся акцессорные белки фасцин, филамин,  $\alpha$ -актинин, [8].

На динамику полимеризации актина существенно влияют такие акцессорные молекулы как эпирующие (запирающие) на (+)конце филамента белки – capping protein, гельзолин; усилители элонгации – формины; стабилизаторы филаментов – тропомиозины, усилители деполимеризации и индукторы расчленения филаментов – кофилин, северин [8]. Например, в расслабленной мышце (при отсутствии кальция), тропомиозины, вместе с комплексом другого акцессорного белка – тропонина, препятствуют доступу миозина к своему месту связывания на актине. В присутствии кальция комплексы тропомиозин-тропонин допускают взаимодействия миозин-актин, обеспечивая, тем самым, начало сократительной активности филамента [9].

При образовании наружных выпячиваний – ламеллоподий и филоподий, в частности, у ползущих по субстрату фибробластов, полимеризация актина происходит изнутри в сторону мембраны. В этом случае кортикальный слой (по периметру клетки) формирует плотную сеть актиновых микрофиламентов. Этот слой постоянно меняет свое агрегатное состояние, переходя из состояния структурированного геля в жидкий золь. Здесь, в ассоциации с актиновыми микрофиламентами, находятся акцессорные белки-стабилизаторы (например, филамин), образующие сшивки в местах пересечения филаментов, придавая жесткость кортикальному слою. Такая жесткость может быть снята взаимодей-

ствием филаментов с другими акцессорными белками, например, гельзолином, вызывающими разбorkу филаментов и, тем самым, разжижая гель [8].

В отношении микротрубочек также был идентифицирован ряд сшивающих агентов и других акцессорных белков, которые могут вызывать связывание нитей между собой и/или мономеров тубулина, влияя на скорость полимеризации или (де)стабилизировать всю нить через изменение динамики связывания и разъединения [8]. Наиболее важными из этих белков является семейство MAP (microtubule accessory proteins), включая белок Tau. В качестве примера, MAP2 и Tau имеют общий взаимодействующий с тубулином домен и обычно присутствуют в нейронах. Нарушения в фосфорилировании Tau связаны с болезнью Альцгеймера [8].

Акцессорные белки, регулирующие полимеризацию цитоскелета и участвующие в инициации кривизны мембраны с последующим формированием секреторных и эндоцитозных пузырьков, функционируют в кооперации друг с другом. Так, при клатрин-зависимом эндоцитозе направление полимеризации актина с формированием ветвящегося конца может быть обращено к эндоцитозным пузырькам. Белки, содержащие BAR, EFC или RCB/IMD домены, рекрутируют акцессорные белки динамин, коротактин и регулируемое малыми ГТФазами и протеинкиназами семейство WASP/Scar для индукции кривизны и образования перешейка мембранного пузырька с одновременной полимеризацией актина, запускаемой нуклеатором Arp2/3 [8, 10, 13]. Удлиненный ветвящийся конец актина отталкивает формирующийся пузырёк от мембраны, обеспечивая тем самым дополнительную силу для её отделения (Рис. 2).

На короткое расстояние пузырьки переносятся с помощью скользящего по микрофиламенту миозинового мотора, а при более длинном их переносе по микротрубочкам используются двигатели-транспортёры кинезины, регуляция перемещения которых, как полагают, происходит в их кооперации с акцессорными белками [67]. Передвижение пузырьков на большое расстояние также может осуществляться актиновыми «кометоподобными хвостами», в формировании которых участвует семейство белков WASP как активаторов дендритоподобной полимеризации актина [12, 66, 68].

**Акцессорные белки репликации ДНК.** Осуществляемая в ядре репликация ДНК требует согласованных действий многих ферментов и других кофакторов. При подготовке к синтезу ДНК, она должна стать одноцепочечной в качестве шаблона для репликативных ДНК-полимераз (Pols). Именно эта форма ДНК склонна к повреждениям любого вида.

Существует набор белков, поддерживающих репликативный пул при выполнении точного и быстрого синтеза ДНК, а также предотвращающих повреждение промежуточной одноцепочечной ДНК. Эти белки называются акцессорными белками репликации ДНК. Из них наиболее известны три: фактор процессивности или скользящий зажим

(sliding clamp), погрузчик зажима (clamp loader) или фактор репликации С (RF-C) и белок, связывающийся с одноцепочечной ДНК или белок репликации А (RP-A). RP-A участвует также в репарации ДНК и рекомбинации гомологичной ДНК [14].

Другие акцессорные белки репликации ДНК участвуют в функционировании 3'-5' экзонуклеазы, ДНК праймазы, РНКазы Н, 5'-3' экзонуклеазы, ДНК хеликаз и ДНК лигаз [14]. Интересно, что бактериальные NAD-зависимые ДНК-лигазы способны значительно увеличивать выход длинных продуктов ПЦР при проведении амплификации с использованием бактериальных ДНК-полимераз семейства А. Таq и Tth ДНК-лигазы способны улучшать результаты ПЦР даже в отсутствие NAD и, следовательно, в отсутствие лигазной активности. На этом основании было предположено, что бактериальные ДНК-лигазы взаимодействуют с этими ДНК-полимеразами как акцессорные белки, повышающие эффективность синтеза ДНК [69].

**Заключение.** Итак, в жизнедеятельности организмов любого уровня сложности исключительно важную роль играют акцессорные белки, осуществляющие контроль над правильным протеканием большинства, если не всех, биохимических процессов в клетке: фолдинг макромолекул, целевая доставка груза, трансдукция сигналов, реорганизация элементов цитоскелета, репликация ДНК, участие в защитных реакциях. В последние годы становится очевидным комплексное взаимодействие нескольких видов акцессорных белков как между собой (вероятно, для взаимного контроля правильной укладки собственных полипептидов), так и с другими регуляторными молекулами для обеспечения точной регуляции с целью повышения эффективности работы всех звеньев метаболизма [51]. Появляется всё больше сведений о том, что такой важный процесс, как передача сигналов G-белка через сопряженный с ним мембранный рецептор, дополнительно регулируется с участием акцессорных белков, благодаря которым такая сигнализация может контролироваться по ее величине, продолжительности и, возможно, месту действия [24]. В этой связи возникают вопросы, требующие дальнейших исследований. Например, необходимо установить, определяют ли подтипы субъединиц G $\alpha$  и их состояние активности, а также комплекс G $\beta\gamma$ , эффективность их связывания с акцессорными белками. Также следует выяснить, являются ли G $\alpha$  или G $\beta\gamma$  основными сигнальными эффекторами после взаимодействия с акцессорными белками, и есть ли положительное или отрицательное влияние этих компонентов на выход сигнализации. Существуют ли тонкие различия в структуре акцессорных белков и шаперонов, поскольку последние, как и акцессорные белки, могут участвовать в фолдинге белковых цепей, предотвращая их агрегацию или деградацию. Рассмотренные примеры позволяют сделать вывод об исключительной важности функционирования акцессорных белков в организмах любого уровня сложности, причем, как на стороне хозяина, так и, в случае инфицирования, на стороне патогена. Но, несмотря на накопленный массив данных,

по-прежнему остается широкое поле исследований многообразия механизмов действия таких необходимых для метаболизма структур как акцессорные белки.

#### Список литературы:

1. 54. Ljungdahl P.O., Gimeno C.J., Styles C.A., Fink G.R. SHR3: A novel component of the secretory pathway specifically required for localization of amino acid permeases in yeast // *Cell*. - 1992. - Vol. 71. - P. 463-478.
2. 53. Herrmann J.M., Malkus P., Schekman R. Out of the ER – outfitters, escorts and guides // *Trends in Cell Biol.* - 1999. - Vol. 9. - P. 5-7.
3. Sato M., Blumer J.B., Simon V., Lanier S.M. Accessory proteins for G proteins: partners in signaling // *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.* - 2006. - Vol. 46. - P. 151-187.
4. Sato M. Roles of accessory proteins for heterotrimeric G-protein in the development of cardiovascular diseases // *Circulation J.* - 2013. - V. 77. - P. 2455-2461.
5. Buck T.M., Wright C.M., Brodsky J.L. The activities and function of molecular chaperones in the endoplasmic reticulum // *Seminars in Cell & Develop. Biol.* - 2007. - Vol. 18. - P. 751-761.
6. Yamamoto K. Intracellular lectins involved in folding and transport in the endoplasmic reticulum // *Biol. Pharmacol. Bull.* - 2009. - V. 32. - P. 767-773.
7. Peer W.A. Plasma Membrane Protein Trafficking / W.A. Peer. - P. 31-56. // *The Plant Plasma Membrane, Plant Cell Monographs 19.* - 2011. – Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag. – 494 p.
8. Huber F., Schnauß J., Röncke S., Rauch P., Müller K., Fütterer C., Käs J. Emergent complexity of the cytoskeleton: from single filaments to tissue // *Advances in Physics.* - 2013. - Vol. 62. - P. 4-8.
9. King M.W. Muscle Biochemistry: Structure and Function. Organization of Actin Thin Filaments // *Med. Biochem. January 16.* - 2017 [электронный ресурс]. Режим доступа: [www.themedicalbiochemistrypage.org](http://www.themedicalbiochemistrypage.org).
10. Takenawa T., Suetsugu S. The WASP-WAVE protein network: connecting the membrane to the cytoskeleton // *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* - 2007. - Vol. 8. - P. 37-48.
11. Neumann S., Schmid S.L. Dual Role of BAR Domain-containing Proteins in Regulating Vesicle Release Catalyzed by the GTPase, Dynamin-2 // *J. Biol. Chem.* - 2013. - Vol. 288. - P. 25119-25128.
12. Хайтлина С. Ю. Внутриклеточный транспорт, основанный на полимеризации актина // *Биохимия.* - 2014. - Т. 79. - Вып. 9. - С. 1135-1147.
13. Traub L.M. F-BAR/EFC Domain Proteins: Some Assembly Required // *Develop. Cell.* - 2015. - Vol. 35. - P. 664-666.
14. Hubscher U., Maga G., Podust V.N. Chapter 17. DNA replication accessory proteins / U. Hubscher, G. Maga, V.N. Podust. - P. 525-543. // *DNA replication in eukaryotic cells.* - 1996. - Zurich: Cold Spring Harbor Lab. Press. – 1043 p.

15. Modesti M., Kanaar R. Homologous recombination: from model organisms to human disease // *Genome Biology*. - 2001. - Vol. 2. - P. 1014.1-1014.5.
16. Wells A., Marti U. Signaling shortcuts: cell-surface receptors in the nucleus? // *Nature Rev. Mol. Cell Biol.* - 2002. - Vol. 3. - P. 697-702.
17. Шаназаров Н.А., Сабиров А.Х., Сироткина С.М. Роль эпидермального фактора роста и его рецептора в канцерогенезе: молекулярные механизмы их действия // *Российский биотерапевт. журн.* - 2009. - Т. 8. - № 4. - С. 85-90.
18. Wesche H., Korherr C., Kracht M., Falk W., Resch K., Martin M.U. The interleukin-1 receptor accessory protein (IL-1RAcP) is essential for IL-1-induced activation of interleukin-1 receptor-associated kinase (IRAK) and stress-activated protein kinases (SAP kinases) // *J. Biol. Chem.* - 1997. - Vol. 272. - P. 7727-7731.
19. Evavold C.L., Kagan J.C. How inflammasomes inform adaptive immunity // *J. Mol. Biol.* - 2018. - V. 430. - P. 217-237.
20. Cohen E.A., Subramanian R.A., Göttlinger H.G. Role of auxiliary proteins in retroviral morphogenesis // *Curr. Top. Microbiol. Immunol.* - 1996. - Vol. 214. - P. 219-235.
21. Swanstrom R., Wills J.W. Synthesis, assembly, and processing of viral proteins. Accessory proteins and assembly / R. Swanstrom, J.W. Wills. - P. 263-334. // *Retroviruses*. - 1997. New York: Cold Spring Harbor Lab. Press. [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK19407/>.
22. Wood M. Bashing botulism: scientists sleuth world's most powerful toxins // *Agricult. Res.* - 2009. - Vol. 57. - P. 4-6.
23. Grow E.J., Flynn R.A., Chavez S.L., Bayless N.L., Wossidlo M., Wesche D.J., Martin L., Ware C.B., Blish C.A., Chang H.Y., Pera R.A.R., Wysocka J. Intrinsic retroviral reactivation in human preimplantation embryos and pluripotent cells // *Nature*. - 2015. - Vol. 522. - P. 221-225.
24. Park F. Accessory proteins for heterotrimeric G-proteins in the kidney // *Front. Physiol.* - 2015. - V. 6. - P. 1-17.
25. Csorba T., Burgyán J. Antiviral silencing and suppression of gene silencing in plants / T. Csorba, J. Burgyán. - P. 1-34. // *Current Research Topics in Plant Virology* - 2016. Switzerland: Springer Internat. Publishing Switzerland. - 334 p.
26. Hama T., Park F. Heterotrimeric G protein signaling in polycystic kidney disease // *Physiol. Genomics*. - 2016. - Vol. 48. - P. 429-445.
27. Birnbaumer L. Expansion of signal transduction by G proteins: The second 15 years or so. From 3 to 16 alpha subunits plus betagamma dimers // *Biochim. Biophys. Acta*. - 2007. - Vol. 1768. - P. 772 - 793.
28. Ross E.M., Wilkie T.M. GTPase activating proteins for heterotrimeric G proteins: regulators of G protein signaling (RGS) and RGS-like proteins // *Annu. Rev. Biochem.* - 2000. - Vol. 69. - P. 795-827.
29. Hollinger S., Hepler J.R. Cellular regulation of RGS proteins: modulators and integrators of G protein signaling // *Pharmacol. Rev.* - 2002. - V. 54. - P. 527-559.
30. Blumer J.B., Smrcka A.V., Lanier S.M. Mechanistic pathways and biological roles for receptor-independent activators of G-protein signaling // *Pharmacol. & Therapeut.* - 2007. - Vol. 113. - P. 488-506.
31. Cismowski M.J., Ma C., Ribas C., Xie X., Spruyt M., Lizano J.S. Activation of heterotrimeric G-protein signaling by a ras-related protein: Implications for signal integration // *J. Biol. Chem.* - 2000. - Vol. 275. - P. 23421-23424.
32. Smine A., Xu X., Nishiyama K., Katada T., Gambetti P., Yadav S.P. Regulation of brain G-protein Go by alzheimer's disease gene presenilin-1 // *J. Biol. Chem.* - 1998. - Vol. 273. - P. 16281-16288.
33. Downes G.B., Gautam N. The G protein subunit gene families // *Genomics* - 1999. - Vol. 62. - P. 544-552.
34. Blumer J.B., Oner S.S., Lanier S.M. - Group II activators of G-protein signalling and proteins containing a G-protein regulatory motif // *Acta Physiol.* - 2012. - Vol. 204. - P. 202-218.
35. Hendriks-Balk M.C., Peters S.L., Michel M.C., Alewijnse A.E. Regulation of G protein-coupled receptor signalling: Focus on the cardiovascular system and regulator of G protein signalling proteins // *Eur. J. Pharmacol.* - 2008. - Vol. 585. - P. 278-291.
36. Kwon M., Pavlov T.S., Nozu K., Rasmussen S.A., Патовская D.V., Lerch-Gaggl A., North L.M., Kim H., Qian F., Sweeney W.E. Jr, Avner E.D., Blumer J.B., Staruschenko A., Park F. G-protein signaling modulator 1 deficiency accelerates cystic disease in an orthologous mouse model of autosomal dominant polycystic kidney disease // *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. - 2012. - Vol. 109. - P. 21462-21467.
37. Сусков С.И., Глебова М.В., Сускова В.С., Онищенко Н.А., Ермакова Л.П., Габриэлян Н.И. Механизмы противoinфекционной функции врожденного иммунитета при трансплантации: роль TOLL-подобных рецепторов // *Вестник трансплантол. искусствен. органов*. - 2012. - Т. 14. - № 2 - С. 116-123.
38. Trono D. HIV accessory proteins: Leading roles for the supporting cast // *Cell*. - 1995. - Vol. 82. - P. 189-192.
39. Jiang J., Laliberté J.-F. Membrane association for plant virus replication and movement / J. Jiang, J.-F. Laliberté. - 2016. - P. 67-86. // *Current Research Topics in Plant Virology*. Switzerland: Springer Internat. Publ. - 334 p.
40. Carbonell A.C., Carrington J.C. Antiviral roles of plant ARGONAUTES // *Curr. Opin. in Plant. Biol.* - 2015. - Vol. 27. - P. 111-117.
41. Wiseman R.L., Powers E.T., Buxbaum J.N., Kelly J.W., Balch W.E. An adaptable standard for protein export from the endoplasmic reticulum // *Cell*. - 2007. - Vol. 131. - P. 809-821.
42. van Vilet C., Thomas E.C., Merino-Trigo A., Teasdale R.D., Gleeson P.A. Intracellular sorting and transport of proteins // *Progress Biophys. Mol. Biol.* - 2003. - Vol. 83. - P. 1-45.

43. Корнилова Е.С. Рецептор-опосредованный эндоцитоз и цитоскелет // Биохимия. - 2014. - Т. 79. - Вып. 9. - С. 1079-1094.
44. Фокин А.И., Бродский И.Б., Бураков А.В., Надеждина Е.С. Взаимодействие везикул раннего секреторного пути и аппарата Гольджи с микротрубочками и микротрубочковыми моторами // Биохимия. - 2014. - Т. 79. - Вып. 9. - С. 1095-1109.
45. Ferguson A. Identification and characterization of Arabidopsis ER accessory proteins // Thesis. University Nottingham. - 2012. - 228 p.
46. Ueda T., Nakano A. Vesicular traffic: An integral part of plant life // Curr. Opin. Plant Biol. - 2002. - Vol. 5. - P. 513-517.
47. Jackson C. L. Mechanisms of transport through the Golgi complex // J. Cell Sci. - 2009. - Vol. 122. - P. 443-452.
48. Richter S., Voß U., Jürgens G. Post-Golgi traffic in plants // Traffic. - 2009. - V. 10. - P. 819-828.
49. Аксамбаева А.С., Шустов А.В. 2015. Секреторная экспрессия белков в *E. coli*. // Eurasian J. Applied Biotechnol. Theory and Practice. - 2015. - № 1. - С. 4-16.
50. Kota J., Ljungdahl P.O. Specialized membrane-localized chaperones prevent aggregation of polytopic proteins in the ER // J. Cell Biol. - 2005. - Vol. 168. - P. 79-88.
51. Walsh G. Chapter 12.2.2.4. Accessory proteins / G. Walsh. - 2014. - P. 340-366. // Proteins. Biochemistry and Biotechnology. Blackwell: Wiley-Blackwell. - 448 p.
52. Valadares F., Gonçalves T.A., Gonçalves D.S.P.O., Segato F., Romanel E., Milagres A.M.F., Squina F.M., Ferraz A. Exploring glycoside hydrolases and accessory proteins from wood decay fungi to enhance sugarcane bagasse saccharification // Biotechnol. Biofuels. - 2016. - Vol. 9. - № 110. - P. 1-44.
53. Baines A.C., Zhang B. Receptor-mediated protein transport in the early secretory pathway // Trends Biochem. Sci. - 2007. - Vol. 32. - P. 381-388.
54. Wendeler M.W., Pascaud J.-P., Hauri H.-P. Role of Sec24 isoforms in selective export of membrane proteins from the endoplasmic reticulum // EMBO Rep. - 2007. - Vol. 8. - P. 258-264.
55. Alaimo A., Gómez-Posada J.C., Aivar P., Etxeberria A., Rodriguez-Alfaro J.A., Areso P., Villarreal A. Calmodulin activation limits the rate of KCNQ2 K<sup>+</sup> channel exit from the endoplasmic reticulum // J. Biol. Chem. - 2009. - Vol. 284. - P. 20668-20675.
56. Saito K., Chen M., Bard F., Chen S., Zhou H., Woodley D., Polischuk R., Schekman R., Malhotra V. TANGO1 facilitates cargo loading at endoplasmic reticulum exit sites // Cell. - 2009. - Vol. 136. - P. 891-902.
57. Bu G., Schwartz A.L. RAP, a novel type of ER chaperone // Trends in Cell Biol. - 1998. - Vol. 8. - P. 272-276.
58. Agola J.O., Jim P.A., Ward H.H., Basu Ray S., Wandinger-Ness A. Rab GTPases as regulators of endocytosis, targets of disease and therapeutic opportunities // Clin. Genet. - 2011. - Vol. 80. - P. 305-318.
59. Dharmasiri S., Swarup R., Mockaitis K., Dharmasiri N., Singh S.K., Kowalchuk M., Marchant A., Mills S., Sandberg G., Bennett M.J., Estelle M. AXR4 is required for localization of the auxin influx facilitator AUX1 // Sci. - 2006. - Vol. 312. - P. 1218-1220.
60. González G., Solano R., Rubio V., Leyva A., Paz-Ares J. Phosphate transporter traffic facilitator1 is a plant-specific SEC12-related protein that enables the endoplasmic reticulum exit of a high-affinity phosphate transporter in Arabidopsis // Plant Cell. - 2005. - Vol. 17. - P. 3500-3512.
61. Wirth J., Chopin F., Santoni V., Viennois G., Tillard P., Krapp A., Lejay L., Daniel-Vedele F., Gojon A. Regulation of root nitrate uptake at the NRT2.1 protein level in Arabidopsis thaliana // J. Biol. Chem. - 2007. - Vol. 282. - P. 23541-23552.
62. Bonifacino J.S. GGA proteins, adaptors on the move // Nature Rev. Molec. Cell Biol. - 2004. - Vol. 5. - P. 23-32.
63. Коробко Е.В., Киселев С.Л., Коробко И.В. Характеризация  $\gamma$ -изоформы рабаптина-5. // Биохимия. - 2014. - Т. 79. - Вып. 9. - С. 1070-1078.
64. Lajoie P., Nabi I.R. Regulation of raft-dependent endocytosis // J. Cell Mol. Med. - 2007. - Vol. 11. - P. 644-653.
65. Попова Н.В., Деев И.Е., Петренко А.Г. Кларин-зависимый эндоцитоз и белки-адапторы // Acta naturae. - 2013. - Т. 5. - С. 66-77.
66. Orth J.D., Krueger E.W., Cao H., McNive M.A. The large GTPase dynamin regulates actin comet formation and movement in living cells // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. - 2002. - Vol. 99. - P. 167-172.
67. Гиоева Ф.К. Роль моторных белков в передаче сигнала // Биохимия. - 2014. - Т. 79. - Вып. 9. - С. 1061-1069.
68. Cheng J., Grassart A., Drubin D.G. Myosin1E coordinated actin assembly and cargo trafficking during clathrin-mediated endocytosis // Mol. Biol. Cell. - 2012. - Vol. 23. - P. 2891-2904.
69. Игнатов К.Б., Крамаров В.М. ДНК-лигазы термофильных бактерий повышают эффективность ПЦР-амплификации длинных последовательностей ДНК // Биохимия. - 2009. - Т. 74. - Вып. 5. - С. 685-690.

## ИСТОРИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Maukin V.R.**

*student of the master program*

*Department of culturology and sociocultural work Ural Federal University*

**Маукин Всеволод Романович**

*Студент магистратуры*

*Кафедра культурологи и социально-культурной деятельности*

*Уральский Федеральный университет*

### **THE TRAGEDY OF F. NIETZSCHE AS A PHILOSOPHER IN THE CONTEXT OF SOCIAL TRANSFORMATION OF GERMAN SOCIETY OF XIX CENTURY ТРАГЕДИЯ Ф. НИЦШЕ КАК ФИЛОСОФА В КОНТЕКСТЕ СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ НЕМЕЦКОГО ОБЩЕСТВА XIX В.**

**Summary:** The article considers the philosophical ideas of F. Nietzsche in the context of the historical challenges of Germany in the 19th century. Socio-psychological changes in German society and the biography of the philosopher have been studied. A connection has been established between socio-psychological changes and the formation of ideas by F. Nietzsche. The reasons for the appearance of a false idea of a philosopher have been clarified. The main philosophical ideas of F. Nietzsche are considered. Key-words: F. Nietzsche, historical challenges, socio-cultural transformation, philosophical ideas, nationalism, national identity.

**Аннотация:** В статье рассмотрены философские идеи Ф. Ницше в условиях исторических вызовов Германии XIX в. Изучена социально-психологические изменения немецкого общества и биография философа. Установлена связь между социально-психологическими изменениями и формированием идей Ф. Ницше. Выявлены причины появления ложного представления о философе. Рассмотрены основные философские идеи Ф. Ницше. Ключевые слова: Ф. Ницше, исторические вызовы, социально-культурная трансформация, философские идеи, национализм, национальное самосознание.

Научная проблема, рассматриваемая в статье, связана с анализом философских идей Ф. Ницше и их восприятия в виду распространенного заблуждения о националистических взглядах философа. Изучение проблемы проливает свет на факторы, способствовавшие искажению восприятия философии Ф. Ницше, и причины возникновения основных идей философа. Данная работа важна для исследователей, изучающих как философию Ф. Ницше, так и формирование идей других философов и их восприятие обществом.

В работе «Кто такой Заратустра у Ницше» М. Хайдеггер раскрыл значение главного героя философского произведения Ф. Ницше «Так говорил Заратустра». Автор провел анализ понятия «Сверхчеловек», которое ввел философ. В статье «Фридрих Ницше: мученик познания» К.А. Свасьян исследовал философию Ф. Ницше через призму его биографии. Изучением взглядов философа на вопросы морали занимался С.В. Артамошин в книге «Идейные истоки национал-социализма»

В работе «Европейская интеллектуальная история от Руссо до Ницше» Ф. Тернер проводит глубокий анализ развития идей европейских интеллектуалов, живших в XVIII-XIX вв., в том числе философии Ф. Ницше, его идей о силе, войне и мире. Также данное исследование опирается на работу О. Данна «Нации и национализм в Германии», в которой автор проводит исследование формирования национализма и национального самосознания у немецкого народа.

При наличии разнообразной научной литературы, созданной как немецкими, так и российскими

исследователями, остались не до конца изученными влияние исторических вызовов на мировоззрение Ф. Ницше и оценку его работ социумом. Раскрытие этих взаимосвязей является целью настоящего исследования.

Для реализации данной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Изучить формирования немецкого самосознания и истоки национализма;
- 2) Рассмотреть биографию Ф. Ницше и особенности жизненного пути философа
- 3) Раскрыть влияние исторических вызовов и биографии Ф. Ницше на его философию.

Объектом исследования являются социально-политические вызовы в Германии в XIX в. и философия Ф. Ницше.

Предметом исследования – влияние исторических вызовов и на философские идеи Ф. Ницше.

Основными методами исследования в данной статье являются культурно-исторический и историко-биографический метод, направленные на изучение исторического контекста формирования философских идей Ф. Ницше.

Тенденции национализма в Германии становятся заметными еще во времена наполеоновских войн. Националистические оттенки в вечную борьбу с французами привносили в своих речах и работах такие писатели и поэты, как И. Фихте, Э. Арндт и Г. фон Клейтс, разжигали галлофобию. В песне «Что есть – немецкое отечество»[17] Э. Арндт проводит жесткое деления, называя каждого француза врагом, а каждого немца – другом. И. Фихте в «Речах» делает заявление о том, что немцы

являются «единственным кисконным народом» Европы»[3, с. 76]. Однако националистические настроения в то время не были связаны с какой-либо политической программой и подавлением иных наций.

Наполеоновские войны также дали первый толчок к началу объединительных процессов в Германии. Несмотря на то, что наполеоновские реформы заложили основы либерального развития Германии, необходимо отметить, что первоначальный импульс к объединению носил сугубо военный характер. Национально-демократические движения не смогли добиться успеха. В 1849 г. на волне революционного восстания 1848-1849 гг. произошла попытка демократического объединения Германии с центром во Франкфурте-на-Майне. Однако Вильгельм IV отверг конституцию, погубив демократический путь объединения. В результате консолидация происходит за счет внешней военной силы, а идея объединения связывается с понятием «сила».

Далее за первенство и роль центра объединения боролись Австрия и Пруссия. «Германия слишком тесна для Австрии и Пруссии. Поэтому в будущем нам придется отстаивать против Австрии наше право на существование, и не от нас зависит избежать конфликта: течение событий в Германии не допускает другого исхода»[6]. Так писал О. фон Бисмарк еще в 1856 г. в докладной записке.

В речи 1862 г. О. фон Бисмарк излагает свой самый знаменитый тезис: великие дела совершаются не дипломатией, а «кровью и железом»[18]. Эта фраза отражает весь курс политического развития Пруссии и созданной через девять лет Германской империи.

Окончательно Германия стала единой страной в 1871 г. в результате ряда войн: Датско-прусской 1864 г., Австро-прусской 1866 г. и Франко-прусской 1870-1871 гг. Объединение, произошедшее вокруг Королевства Пруссия, было совершено силой прусской армии, ставшей основой новой Германской империи. Национальное единство неразрывно связывается с силой, агрессией и войной в умах немцев. Впоследствии политика милитаризма в Германской империи обретала новые формы и сильнее распространялась на немецкое общество.

Развитие милитаристских и националистических настроений в Германии не только повлияло на философию Ф. Ницше, но и исказило восприятие его философии современниками. Главной философской идеей Ф. Ницше была концепция о сверхчеловеке. С 1883 г. по 1885 г. постепенно выходят части книги «Так говорил Заратустра». В этом произведении философ подводит основные итоги своей философской деятельности. В произведении заключены основные философские идеи, отражающие его мировоззрение. «Так говорил Заратустра» был написан Ф. Ницше в метафоричной форме и может трактоваться неоднозначно, а потому зачастую трактуется учеными диаметрально противоположно. Ключом к пониманию философии Ф. Ницше являются исторические вызовы XIX в. и биография философа, которые оставили отпечаток

на его мировоззрении. Для понимания идей философа необходимо обратить внимание на судьбу Ф. Ницше, а так же выяснить влияние исторических процессов на его мироощущение.

Ф. Ницше родился в 1844 г. в семье лютеранского пастора. Вскоре после рождения Ф. Ницше на свет появились сестра и брат. Отец Карл Людвиг Ницше умер в 1849 г., когда Фридриху было только 5 лет. Отношения между философом и его сестрой были непростые, однако за несколько лет до смерти Ф. Ницше был вынужден с ней помириться, так как нуждался в уходе в виду своей тяжелой болезни[12].

С юного возраста писатель имел проблемы со здоровьем. С 1862 г. Ф. Ницше начинает мучиться регулярными головными болями, которые, однако, не мешают ему упорно учиться в школе и писать стихи. Летом 1865 г. Ф. Ницше переносит острое ревматическое заболевание. Выздоровев, он переезжает в Лейпциг – обучение в Боннском университете пришлось прервать из-за непонимания со стороны однокурсников. В Лейпцигском университете Ф. Ницше продолжает изучение филологии и теологии. Во время обучения он публикует несколько статей, которые имеют успех. В 1869 г. двадцатичетырехлетний Ф. Ницше был приглашен в качестве профессора в Базельский университет[12]. На тот момент писатель еще не окончил своего обучения и не успел получить докторскую степень.

Однако в начале 1876 г. Ф. Ницше был вынужден отойти от преподавания на год из-за резкого ухудшения здоровья. В 1879 г. философ окончательно прекращает преподавательскую деятельность по состоянию здоровья. В 1889 г. у философа случается очередной припадок, после которого Ф. Ницше теряет рассудок и попадает в психиатрическую больницу. Последующая жизнь представляет собой борьбу с болезнью с кратковременными периодами подъема. 25 августа 1900 г. Ф. Ницше умирает в Веймаре[12].

Из биографии Ф. Ницше видно, что философ всю жизнь боролся с болезнями. Во время приступов он не видел дальше своей руки. Это наложило отпечаток на его мировоззрение. Он мог воспринимать жизнь лишь как борьбу и преодоление, а главной ценностью видел силу воли, благодаря которой он продолжал работу, не смотря на болезнь.

Период детства и юности Ф. Ницше выпал на сложные времена в Германии. Большое влияние на мировоззрение философа оказали войны, сопровождавшие консолидацию немецких государств. Изречения автора наполнены жесткими высказываниями, двусмысленностью которых он провоцирует будущие поколения на использование его работ в качестве политического инструмента.

Исторический контекст его непростой, болезненной юности подтолкнул философа к созданию столь жестких и категоричных теорий, важное место среди которых занимает идея «воли к власти». Ф. Ницше использует это выражение отнюдь не в значении власти политической, как можно было бы подумать в контексте немецкого милитаризма и экспансионизма. Философ понимал власть, прежде

все, как власть над самим собой. Ф. Ницше считает, что в жизни очень важно преодоление себя, преодоление своего человеческого и освобождение от оков, навязанных социумом. Поэтому фраза: «...что падает, то нужно еще толкнуть!»[10] рассматривалась им в значении преодоления архаичных черт. Это преодоление – путь от человека к сверхчеловеку.

Ф. Ницше подразумевает под сверхчеловеком отнюдь не такой человеческий вид, который отбрасывает гуманность, возводит в закон произвол и берет за правило титаническое неистовство. Сверхчеловек есть тот, кто превосходит прежнего человека[16]. Сверхчеловек приводит существующего человека к его новой сущности и прочно устанавливает ее в нем[7].

Идею о сверхчеловеке активного использовали во времена национал-социализма в Германии с пропагандистскими целями. Во многом именно поэтому существует стереотип, согласно которому ницшеанство связано с нацизмом. Однако искаженное представление о философии Ф. Ницше появилось еще во времена Второго Рейха. Уже в Германской империи национализм достигал масштаба организованного движения.

Антисемитизм, касавшийся до этого религиозных аспектов, теперь стал касаться и модернизации. В ходе индустриализации евреи увеличили свое экономическое влияние в обществе. Дело усугубляли появившиеся расистские теории, которые базировались на псевдонаучных исследованиях, связанных с биологией. Изначально в Германской империи преобладал «аффирмативный рейхспатриотизм»[3, с. 190], выросший из национал-либерализма. Рейхспатриотизм оформился в организованное движение созданием в 1873 г. «Германский воинский союз». Постепенно союз расширялся до масштаба всей Германии. В 1899 г. он был переименован в «Кифгейзерский союз германских воинских объединений»[3, с. 190], численность членов которого насчитывала около полутора миллионов.

Однако либеральные взгляды теряли свою силу в виду крупных кризисов 1870-х гг., вызванных среди прочего либеральной экономической политикой О. фон Бисмарка. Так рейхспатриотизм начинает перерастать в национализм. С 1879 г. появляются первые формы организационного национализма, воплотившегося в антисемитских партиях и объединениях. Программы этих партий были нацелены на отделение евреев от немецкой нации[3, с. 191-192].

В 1891 г. был основан Всегерманский союз, ставший наиболее влиятельным агитатором современного национализма. В 1894 г. целью союза было провозглашено объединение всех немцев Центральной Европы и создание Великой Германии. Свою цель Всегерманский союз осуществлял путем направленной агитации среди немецкого народа и воздействия на правительство. Он создал собственные методы всестороннего манипулирования обществом»[3, с. 196]. Все это побуждало немецкое общество видеть националистические идеи в работах Ф. Ницше.

Однако идея о сверхчеловеке появляется у Ф. Ницше в результате иных изменений в обществе. На фоне многочисленных исследований и достижений наук в европейских умах прочно укореняется идея всевластия человека. Во второй половине XIX в. было сделано множество фундаментальных открытий в науке. К таким относится: создание модели атома Э. Резерфордом, открытие нидерландским ученым Х. Лоренцом электрона, развитие фармакологии, развитие генетики и психологии. «К концу века были изобретены: пароход, автомобиль, начинается эра воздухоплавания, были открыты телеграф, телефон газовое и электрическое освещение...»[5]. В 1871 г. Ч. Дарвин сделал доклад о происхождении видов.

Секуляризация сознания идет параллельно с увеличением числа образованных людей. Техника заменяет тяжелый человеческий труд. Осознание высоты технического развития формирует в европейском обществе чрезмерную гордость за само человечество. Видя и ощущая это, Ф. Ницше формулирует "Бог умер". Теперь сверхчеловек должен занять его место.

Человечество сделало огромный технический скачок. Тем не менее, чтобы занять место бога, по мнению Ф. Ницше, каждому необходимо пройти собственный путь переосмысления, чтобы стать сверхчеловеком. Философ, убежденный в необходимости пересмотра ценностей и морали, был заинтересован не столько в том, какими должны быть эти ценности, а скорее в поиске источника этих ценностей «Нет вовсе моральных феноменов, есть только моральное истолкование феноменов...»[9]. Ф. Ницше полагал, что люди обманывают себя, говоря, что «давно уже знают, что для человека добро и что для него зло»[10]. Он верил, что «в человеке уживаются и тварь, и творец»[1], а торжество творца возможно лишь при уничтожении твари.

Несмотря на националистские настроения в социуме, Ф. Ницше не разделял воинственного настроения Германской империи по отношению к другим нациям. В одной из своих последних работ «Се человек» выказывает свое отвращение к любым формам расизма, национализма и антисемитизма. Он жестко критиковал милитаризм и политику силы. Однако «Се человек» был впервые опубликован лишь в 1908 г., так как сестра философа, обладавшая правами на его произведения, публиковала работы Ф. Ницше, не желая создать истинный образ мыслителя. Она была антисемиткой, и публиковала сборники Ф. Ницше беспорядочно и неполно, что создавало образ очень сложного философа, склонного к национализму[13].

Отвращение к антисемитизму прослеживается в разрыве отношений между Ф. Ницше и Р. Вагнером. Самой острой точкой в их отношениях становится постановка оперы Р. Вагнера «Парсифаль», которая была пропитана «латентным христианством и откровенным расизмом»[13].

Ф. Ницше познакомился с композитором в 1868 г. Между ними завязалась дружба. Р. Вагнер был старше и некоторое время философ видел в нем своего учителя. Они оба увлекались культурой

Древней Греции, философией Шопенгауэра. В 1872 г. Ф. Ницше был другом семьи Р. Вагнера и постоянным гостем в доме. Философ разделял идеи композитора о значимости мифа и драмы в искусстве [14]. Однако постепенно дружба ослабевает. Ф. Ницше начинает отстраняться от Р. Вагнера.

Конфронтация приводит к написанию работы «Казус Вагнер» [15]. В ней философ уличает композитора в отходе от своих идеалов и потаканию толпе и массовому зрителю. «С тех пор как Вагнер находился в Германии, он опускался шаг за шагом до всего, что я презираю, – даже до антисемитизма...» [11]. В последние годы жизни Р. Вагнер обрел веру и стал приверженцем христианства. Этот факт также вызвал осуждение со стороны Ф. Ницше. Вопрос христианства был важным для философа.

Важным процессом в XIX в. в Европе становится секуляризация сознания. Завоевания Наполеона дали импульс к отделению государства от церкви в германских государствах [2]. В Рейнском союзе активно проходила секуляризация церковных имуществ, были закрыты множество монастырей, была отменена десятина. В большинстве государств со временем был разрушен исключительный авторитет церкви, провозглашена свобода совести. Стали допускаться браки между лицами разных исповеданий, а школа была изъята из-под влияния духовенства. Главную роль в секуляризации сознания играли развитие науки и рост образования [4]. В своих трудах Ф. Ницше не мог не уделить внимание этой теме.

Свою антипатию к христианству философ выражал через идею силы. Он обвинял христианство, распространившееся по всем миру, в том, что в основе христианских ценностей лежит «рабский бунт морали» [13, с. 344]. Под «рабским бунтом морали» философ понимал отрицание рабами таких субстанций как «сила» и «воля», которые им не принадлежали. Эти качества принадлежали их господам. В христианской морали воспеваются смиренность, слабость и запуганность, которые отвергал Ф. Ницше.

Аскетический образ жизни наполнял смыслом рабскую жизнь и их страдания. По мнению философа это противоречило самой природе человека. Аскетический ориентир развивал у человека ненависть к разуму, к чувствам, к самой жизни [8]. В противовес христианству Ф. Ницше призывал к жизни, стремлению, к воле и силе.

Развитие ксенофобии шло параллельно с развитием немецкого самосознания. Два этих понятия были неразрывно связаны в немецком обществе XIX в. - первой половины XX в. Националистические настроения повлияли на формирование ошибочного мнения о Ф. Ницше. Философа стали воспринимать как антисемита и националиста.

Исторические изменения оказали значительное влияние на философию Ф. Ницше. Проблемы со здоровьем философа и войны, сопутствовавшие объединению Германии, формируют в нем убеждения, согласно которым главной человеческой ценностью является борьба. Борьба с ценностями и

взглядами, навязываемыми массой. Верховенство силы и воли в борьбе с самим собой, переосмысление морали Ф. Ницше противопоставляет христианству, отражая процесс секуляризации сознания, протекавший в Европе в данный период времени. Индустриализация и научные открытия второй половины XIX в. побуждают философа к созданию концепции «Сверхчеловека», преодолевшего ложные ценности.

#### Список литературы:

1. Артамошин С.В. Идеиные истоки национал-социализма // Московский психолого-социальный университет. Брянский филиал. URL: [http://www.bfmpsu.ru/images/files/nauka/publikatsii-prepodavatelej/artamoshin\\_istoki.pdf](http://www.bfmpsu.ru/images/files/nauka/publikatsii-prepodavatelej/artamoshin_istoki.pdf). (дата обращения 19.05.2018).
2. Багаева К.А. Динамика «светского» и «религиозного» в обществе // Научная электронная библиотека «Киберленинка». URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/dinamika-svetского-i-religioznogo-v-obschestve>. (дата обращения 06.03.2018).
3. Данн О. Нации и национализм в Германии. СПб.: Наука, 2003. 468 с.
4. Колесникова Т.С. Европейская повседневная культура XIX века // Научная электронная библиотека «Киберленинка». URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/evropeyskaya-povsednevnyaya-kultura-19-veka>. (дата обращения 08.05.16).
5. Колесникова Т.С. Европейская повседневная культура XIX века // Научная электронная библиотека «Киберленинка». URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/evropeyskaya-povsednevnyaya-kultura-19-veka>. (дата обращения 06.04.2018).
6. Лависс Э., Рамбо А. История XIX века // BookReader. URL: <http://bookre.org/reader?file=751174>. (дата обращения 19.05.2018).
7. Ницше Ф. Эссе Homo. Как становятся сами собою // Библиотека Максима Мошкова. URL: [http://lib.ru/NICSHE/ecce\\_homo.txt](http://lib.ru/NICSHE/ecce_homo.txt). (дата обращения 24.05.2017).
8. Ницше Ф. К генеалогии морали // Библиотека Максима Мошкова. URL: <http://lib.ru/NICSHE/morale.txt>. (дата обращения 24.05.2017).
9. Ницше Ф. По ту сторону добра и зла. Прелюдия к философии будущего // E-LIBRA. Электронная библиотека. URL: <http://e-libra.ru/read/347794-po-tu-storonu-dobra-i-zla-prelyudiya-k-filosofii-budushhego.html>. (дата обращения 22.05.2017).
10. Ницше Ф. Так говорил Заратустра // Библиотека Максима Мошкова. URL: <http://lib.ru/NICSHE/zaratustra.txt>. (дата обращения 10.05.2017).
11. Попкова Л. «Хроника звездной дружбы Ф. Ницше и Р. Вагнер» // Ренессанс «учения Фридриха Ницше». URL:

<http://www.nietzsche.ru/biograf/litera/star-friends/?curPos=1>. (дата обращения 12.05.2018).

12. Свасьян К.А. Фридрих Ницше: мученик познания // Философская библиотека. URL: <http://philosophy1.narod.ru/www/html/library/nietzsche/svasyan.html>. (дата обращения 20.05.2017).

13. Тернер Ф.М. Европейская интеллектуальная история от Руссо до Ницше. М.: Кучково поле, 2016. 384 с.

14. Бахтизина Д. И. Творческая сила музыки в интерпретации Ф. Ницше // Международный научно-исследовательский журнал. URL: <https://research-journal.org/philosophy/tvorcheskaya-sila-muzyki-v-interpretacii-f-nicse/>. (дата обращения 12.05.2018).

15. Ницше Ф. Казус Вагнер // Ренессанс «учения Фридриха Ницше». URL:

<http://www.nietzsche.ru/works/main-works/vagner/>. (дата обращения 20.05.2017).

16. Хайдеггер М. Кто такой Заратустра у Ницше? // Библиотека Гумер - гуманитарные науки. URL: [http://www.gumer.info/bogoslov\\_Buks/Philos/Heidegg/KtTakZar.php](http://www.gumer.info/bogoslov_Buks/Philos/Heidegg/KtTakZar.php). (дата обращения 14.05.2017)

17. Arndt E.M. Des Deutschen Vaterland (1813) // Deutsche Geschichte in Dokumenten und Bildern. URL: [http://germanhistorydocs.gi-dc.org/pdf/deu/1\\_C\\_NS1\\_Des\\_Deutschen\\_Vaterland.pdf](http://germanhistorydocs.gi-dc.org/pdf/deu/1_C_NS1_Des_Deutschen_Vaterland.pdf). (дата обращения 09.05.2018).

18. Auszug aus Bismarcks „Blut und Eisen” Rede (1862) // Deutsche Geschichte in Dokumenten und Bildern. URL: [http://germanhistorydocs.gi-dc.org/sub\\_document.cfm?document\\_id=250&language=german](http://germanhistorydocs.gi-dc.org/sub_document.cfm?document_id=250&language=german). (дата обращения 23.04.2018).

*Mahdych Oleg*

*PhD student of Faculty of History of Kyiv National Taras Shevchenko University*

*Магдич Олег*

*Аспірант історичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка*

## FORMATION OF THE ADMINISTRATIVE STRUCTURE OF THE CATHOLIC CHURCH IN THE MIDDLE OF THE XI CENTURY.

### ФОРМУВАННЯ АДМІНІСТРАТИВНОЇ СТРУКТУРИ КАТОЛИЦЬКОЇ ЦЕРКВИ В СЕРЕДИНІ ХІ СТ.

**Summary:** The article deals with the structure of the Catholic Church in Poland in the X–XII century. The author analyzes the processes of institutionalization of church structures in the Piast's state. In the article, the historian attempts to examine the features of administrative church units.

**Keywords:** *caves, cathedres, episcopate, archbishopric, church structure*

**Анотація:** У статті розглядається структура католицької церкви на території Польщі у середині ХІ ст. Автор аналізує процеси інституціоналізації церковних структур у П'ястівській державі. Розглянуто особливості адміністративних церковних одиниць.

**Ключові слова:** *городи, кафедра, єпископство, архієпископство, церковна структура*

Однією з найважливіших проблем вивчення ранньосередньовічної Польської церкви є дослідження церковної структури. Це пов'язано з тим, що церква була однією з найважливіших інституцій у середньовічному суспільстві. Також варто зазначити, що у цей період початки інституціоналізації церкви тривали паралельно з державотворчими процесам, тому дослідження структури церкви краще дозволить дослідити як історію Польської церкви, так і зрозуміти суспільство у цей період у П'ястівській державі.

Джерельна база дослідження є доволі вузькою і складається з писемних (як правило нарративних текстів), та археологічних типів знахідок. Серед польських пам'яток насамперед варто відзначити Хроніку Галла Аноніма, Історію Польщі Вінцента Кадлубека, Великопольську хроніку. Вивчення цих історичних свідчень вимагає від дослідника їх критики, знання мов (передусім латини), глибокого розуміння середньовічних культури і менталітету.

Що ж до історіографії, то тут увага як правило приділялася юридичним аспектам інституціоналізації. Тут перш за все варто відзначити роботи В. Абрахама, О. Халецького, В. Кетшинського. Однак останнім часом у зв'язку з вагомих розвитком

польської історичної науки зростає зацікавлення істориків до вивчення політичної антропології середньовіччя, зокрема до уявлень середньовічних людей про церковну структуру, про місце церковної системи у суспільстві тощо. Серед вчених, які займалися вивченням даної проблематики, варто зазначити Д. Сікорського, Г. Лябуду, З. Далевського, Й. Добоча.

Метою даної статті є проаналізувати структуру католицької церкви на території Польщі у середині ХІ ст, а також охарактеризувати процеси інституціоналізації церкви у цьому регіоні.

Адміністративно-територіальний поділ католицької церкви в Польщі у ХІ ст. визначити доволі складно. Аналогічно це стосується і загально-державного адміністративного поділу [40, С.310-312; 2, С.107-109; 4, С.107-118]. При Болеславові I Польща ділилась на чотири округи, центри яких вказує Галл:

*В Познані мав він 1300 рицарів та 4000 щитників, в Гнезно—1500 рицарів та 5000 щитників, в городі Владислава 800 рицарів та 2000 щитників, в Гечи—300 рицарів та 2000 щитників* [11, S.79]

Ці чотири міста були центрами основних округів[35,S.43-72]. Це підтверджується і археологічними матеріалами. Інші землі, наприклад Мазовія, Малопольща та Сілезія мали особливий статус[44,S.35-43].

Однак територіальна структура за правління перших П'ястів, безсумнівно, зазнала змін, зокрема під час масштабної кризи 1037-1039 рр. З цих причин практично неможливо однозначно визначити, які адміністративні одиниці функціонували до язичницького повстання. До нас дійшли назви адміністративних одиниць, які використовувались у XII-XIII ст., тому складно визначитись наскільки коректно їх вживати щодо означення адміністративного поділу у попередні століття[37,S.68-73].

Частина істориків твердить що Галлові *sedes regni principales*, до яких входять Краків, Вроцлав та Сандомир, це столиці адміністративних одиниць, які існували уже в XI ст[47,S.73-110;36,S.12;16,S.20]. Інша частина ставить доволі обережно, вважаючи що в XII ст. відбулись серйозні зміни у системі адміністративного поділу польських князівств, що було пов'язано з початком політичної роздробленості[26,S.41-42;27,S.67-80;22,S.42-43;23,S.68-85].

С. Арнольд розрізняє два типи адміністративно-територіальних одиниць: 1) більші територіальні одиниці (*ducatus*), центрами якими були *sedes regni principales* та 2) *provincia*, які на його думку формувались на основі колишніх племінних територій. [12,S.12-13] До *sedes regni principales* дослідник також відносить Плоцьк, Гнезно, Познань. В подальшому на початку XII ст. виділяється Сандомирський округ, а Мазовія втрачає особливі права. Як окремі округи виділяються Краків та Сілезія. Округами управляли каштеляни. Найменшою адміністративною одиницею були *osada* (Малопольща) і *opole* (Великопольща).

П'ястівська Польща була яскраво вираженою патримоніальною монархією. Тобто держава розглядалась як влада однієї династії—у даному випадку П'ястів. Польща була фактично спадковим володінням П'ястів[13,S.298-431, 10,S.94-124]. Б.Флоря звертає[7,C.235] увагу на такий факт—Галл описує епізод, Збігнев і Болеслав звертаються до поляків за допомогою проти Сецеха, жителі відповідають йому:

*Ми завжди прагнемо зберегти вірність панові нашому, вашому батьку, як до того зберігали і від потомства його не відступимо*[11,S.79]

У XII ст.. державно-політична система поступово почала еволюціонувати в бік станової монархії. [3,C.167-189]

Аналогічно доволі складно визначити структуру церковного організації на польських землях. Організаційне оформлення католицької церкви на польських землях розпочалось одразу після прийняття християнства. У 968 році [37,S.591] була створена Познанська єпархія, яка від початку підпорядковувалась напряму Римові[1,C.147]. Так продовжувалось аж до смерті Йордана у 984 році. Згодом загострились церковні сутічки між німецьким та польським духовенством. Німецькі королі

намагались утвердити над познанською єпархією юрисдикцію Магдебурзького архієпископства. Мешко цьому намагався протистояти.

Відповідно ухвали Гнезненського з'їзду імператор Оттон III санкціонував утворення Гнезненського архієпископства. Польська церква отримала певну самостійність, а що найголовніше—вона не увійшла до складу Магдебурзького архієпископства. Титмар з деякою несприятливістю про це пише, що це архієпископство було засноване без згоди магдебурзького архієпископа, юрисдикції якого воно мало б підкорятися. [6,C.63] Новоутворене архієпископство включало в себе ще 3 єпископства(окрім Гнезна).

Галл повідомляє, що на польських теренах існувало дві митрополії[11,S.407]. Д. Сікорський твердить, що фрагмент взятий життєпису св. Войцеха (*Liber de passione*) [41,S.515]. На думку Г.Лябуди джерелом даного повідомлення став фрагмент з життєпису Брунона з Кверфурту[34,S.547]. Існує однак думка, що ці повідомлення це домисли самого Галла[44,S.86], проте сучасні історики не погоджуються з таким трактуванням[41,S.516]. Існує також припущення, що під цією метрополією розуміється Краківське архієпископство, яке було відновлене у 1046 році, однак Галл просто переніс її у часи Болеслава I[32,S.321-340]. Дискусії щодо цього тривають декілька десятиліть. [45,S.7]. На нашу думку, теза про дві метрополії є дещо натягнутою, оскільки у джерелах з-за меж Польщі не фіксують існування двох інституцій. В даному випадку ми маємо справу з помилкою хроніста.

Можна припустити, що розвиток церковної організації був пов'язаний з рівнем проникнення язичницьких культів у різних регіонах. Це найкраще видно по слов'янах, які проживали над Віслою та Одером [42,S.215]. Язичницькі культури сповідували ними, відзначались надзвичайно сильною проникливістю та підтримкою серед населення[19,S.7-38]. Ці створювало додаткові труднощі для християнізації цих теренів, що зумовлювало створення більшої кількості церков, що в свою чергу робило необхідним започаткування додаткових адміністративних одиниць[20,S.13-51]. І саме тут через масовий опір місцевого населення. таких одиниць створити не вдалось

Однак варто зазначити, що повідомлення про такий опір є доволі малочисельні[42,S.215]. Як правило їх інтепретують з точки оцінки так званого «язичницького повстання» 1037-1039 рр. Аналогії сусідніх країн неоднозначні. З одного боку ситуація в Чехії та Скандинавських землях показують доволі слабкий опір новій релігії, скоріше глухе ремствування. В той час, як в Угорщині відбувалися масові повстання проти християнізації[14,P.55;15,P.319-368].

Міжусобиці 1037-1039 рр. повністю знищили не лише державну, але і церковну організацію Польщі. Головні храми у Гнезно, Познані Вроцлаві були спалені, священників—повбивано, а паства, як правило, поверталась до язичництва. До цього всього у 1038 році чеські війська захопили Гнезно та вивезли звідти мощі святого Войцеха [5,C.110].

Казимир, відновивши державну систему, починає відновлювати і церковну організацію. Тут справа була доволі непростою. Спочатку польська влада вирішила зосередитись на відновленні якогось одного єпископства. Познанське єпископство було знищене повстанням, Гнезненське припинило функціонувати ще за правління Мешка II. І лише в Кракові церковні інституції певним чином продовжували функціонувати. Тому Рим спочатку вирішив відновити Краківське єпископство. У 1046 році папа Бенедикт відновив краківське архієпископство, призначивши архієпископом Аарона з таким формулюванням: *встановлюємо, утверджуємо, називаємо та освячуємо навколо міста Кракова архієпископство, де раніше було єпископство, і якому підпорядковуємо усі єпископські єпархії, які є в Польській державі, і які за архієпископським правом судяться* [18, S.359] Також Аарон отримав право одягати у святкові дні палліум—спеціальний святковий одяг. Чому Казимир не наполягав на відновленні Гнезненської митрополії. На думку О.Халецького [28, S.76] та А. Власто [1, С.163] це було пов'язано з тим, що князь не хотів підпорядкування польської церкви Магдебурзькому архієпископству, а це неминуче виходило з розрахунку тогочасної церковно-політичної ситуації.

Ще одним надзвичайно важливим актом церковної політики Казимира I стало відновлення Вроцлавського єпископства. Сілезія довгий час входила до складу німецьких церковних структур. 6 грудня 995 р. [31, S.9-12] у Франкфурті-на-Майні Оттон III видав диплом для єпископа майсенського Ейдо, за яким передавав під церковну юрисдикцію значну територію польської Силезії, і не лише Нижньої (регіон Дзядошан), до якої Майсен уже висував претензії, але й до частини Верхньої по лівому берегу Одри. Зміст документа треба однак розуміти не як дійсну спробу розширення володінь Майсенського єпископства, але радше як політичну декларацію ворожих намірів імперії супроти держави Пястів, а також Чехії [38, S.230; 8, С.64].

Як вже вище зазначалось, у Сілезії вибухнули перші антихристиянські виступи ще у 1032 році, оскільки у цьому регіоні були надзвичайно сильні традиції язичництва. Під час повстання 1037 року у Сілезію періодично вторгалися чеські війська, які розраховували приєднати цей регіон до Чехії. [21, S.83] Врешті-решт частина Сілезії разом з Вроцлавом перейшла до Чехії, про що зокрема свідчить той факт, що у 1054 році, як повідомляє Козьма Празький, було підписано договір, за яким Чехія віддавала зайняті нею землі в обмін на данину. [21, S.101] Інші джерела подають дещо відмінні відомості. Так Книга фундаторів цистеріанського монастиря в Генрикові (*Księga henrykowska*) повідомляє про першого єпископа Вроцлава Ієроніма, котрий обійняв цю кафедру у 1046 році [9, S.87-88]. Каталог вроцлавських єпископів повідомляє, що саме князь Казимир I встановив єпископство у Вроцлаві і *Року Божого 1051 призначив першим єпископом вроцлавським Ієроніма* [9, S.87-88]. Постає питання, як Казимир міг призначити єпископа

для невідконтрольної йому території. Длгош повідомляє нам, що спочатку кафедра вроцлавського єпископа знаходилась у місті Смогожув, яке знаходилось також у польській частині Сілезії, а після того, як Вроцлав було повернено до Польщі, сюди було перенесено єпископську кафедру. Тому можливо, що Казимир просто страхувався на випадок повернення частини Сілезії і хотів бути готовим до того, щоб ці землі увійшли до складу польської церковної структури.

Встановлення єпископства у Сілезії було надзвичайно важливою подією для польської церкви. У Сілезії, як уже згадувалось вище, були надзвичайно сильними традиції язичництва і наявність тут єпископської кафедри дозволяло ефективніше боротись з язичниками. Також наявність церковної організації дозволяла посилити тут вплив Польщі і зберегти її як частину держави Пястів. Ще однією причиною відновлення єпископства був і той факт, що польській владі було необхідно посилити свій вплив у церкві на випадок суперечок щодо залежності польської церкви від Магдебурзького архієпископства. Вроцлавським єпископом під час правління Казимира залишався вище згаданий Ієронім, який займав єпископську кафедру до початку 60-х років XI ст.

У 1057 році відбувся з'їзд єпископів у місті Похльде, який затвердив створення єпископства у Вроцлаві. На думку О.Галецького цілком можливо, що на цьому з'їзді відбулась зустріч краківського архієпископа Аарона та папським легатом Гільдебрандтом, майбутнім папою Григорієм VII, що в подальшому відобразилось на відносинах Польщі та Риму. [28, S.79]

Надзвичайно успішним періодом у розвитку польської церкви було правління Болеслава II (1058-1079). Одне зі своїх прізвиськ—Щедрий він отримав саме за щедри пожертвування храмам та монастирям [11, S.50-52]. Також Болеславові вдалось утворити в Мазовії Плоцьку єпархію, яка на початку XII ст. отримала статус єпископства. [29]. Болеслав остаточно відновив Гнезненське архієпископство, про що нам повідомляє у «*Rocznik Traski*»:

*1064. Gneznensis ecclesia consecratur* [39, S.831]

Багато в чому це було пов'язано з тим, що сам факт існування Гнезненської кафедри символізував повторну реалізацію рішення з'їзду 1000 року та створення самостійної польської церкви, яка була незалежною від німецьких архієпископств. Болеслав II вибрав доволі вдалий час для реалізації цього наміру. У католицькій церкві набирал обертові клонійський рух реформаторів, який якраз і вийшов з монастирів бенедиктинського ордену. Князь уже заробив собі авторитет серед церковних кіл своєю щедрою підтримкою монастирів у Польщі і тому міг розраховувати на підтримку клонійців у питанні відновлення єпископської кафедри у Гнезно. Відновлення кафедри в Гнезно мало сприяти ще одному політичному кроку Болеслава—його коронації, яка відбулась на різдво 1075 року. Однак питання коронації Болеслава волею-неволею перетнулось з головною політичною подією того часу в

католицькому світі—боротьбою за інвеституру. Одноразово формується нова кафедра у Плоцьку. Її значення особливо зросло за правління Власди-слава I Германа, коли вона перетворюється на сімейну для роду Пястів. [30,S.363-371;46,S.1-48]

До кінця XI століття адміністративний поділ католицької церкви в Польщі дещо ускладнився у зв'язку з приєднанням поморських земель. Очевидно, що новоприєдані території потребували християнізації. Польська влада активно взялась за цей процес. Ці терени увійшли у підпорядкування до архієпископа Гнезно. Перша місія проводилася під керівництвом іспанського ченця Бернарда, який прибув на запрошення князя Болеслава III у 1122-1123 рр, однак ця місія завершилась невдачею У 1124 р. сюди прибув єпископ Оттон Бамбергський (якого ще називали "апостолом Померанії"). Власне він і очолив місію по християнізації помор'ян. [24,S.159]

В кінці 20-х років XII ст. Болеслав III Кривоустий почав втілювати в життя план церковної організації Помор'я. Паралельно продовжувалось зміцнення інших кафедр зокрема Плоцької яка підтвердила свій статус архієпископства[29] Територія Гданського Помор'я була включена до складу Куявської дієцезії і решта були передані до єпархії Гнезно[28,S.102]. Також було створено невелику Любуську дієцезію, до якої в подальшому мали б увійти землі над Одером, що їх Болеслав запланував долучити до Польщі\*. Однак ця ідея зустріла опір серед деяких єпископів.. Згодом було вирішено створити окреме Поморське єпископство. [28,S.112]

Отже, як бачимо, церковна структура в Польщі протягом XI ст. розвивалась через різні етапи: від започаткування так званих місійних єпископств через повне знищення під повстання 1037-1039 рр. до планомірного процесу розбудови адміністративного поділу. Католицька церква на польських землях складалась з Гнезненського архієпископства та 5 єпископств: Познанське, Краківське, Вроцлавське, Плоцьке та Кольберське. Найвищий статус мало Гнезненське архієпископство, керівник і досі вважається главою Польської церкви. Краківське певний час було архієпископством, до відновлення у 1076 році кафедри в Гнезі. Плоцька кафедра була особистою кафедрою роду Пястів. Познанське єпископство імовірно ще певний час залишалось не включеним до складу Гнезненського архієпископства, через своє підпорядкування Магдебургу. Кольберське єпископство носило статус місійного, так як займалось християнізацією поморських теренів.

#### Список використаних джерел та літератури

1. Власто А.П. Запровадження християнства у слов'ян.-Київ.:Юніверс,2004.-496 с
2. Головка А.Б. К вопросу о роли «червенских градов» в истории восточного и западного славянства в IX — первой трети XI в. // Древнерусское

государство и славяне: Материалы симпозиума, посвященного 1500-летию Киева. — Минск, 1983. — С.107—109.

3. Жемличка Й, Марсина Р. Возникновение и развитие раннефеодальных централизованных монархий.-С. 167-189

4. Исаевич Я. «Грады Червенские» и Перемышльская земля в политических взаимоотношениях между восточными и западными славянами (конец IX — начало XI в.) // Исследования по истории славянских и балканских народов: Эпоха средневековья: Киевская Русь и её славянские соседи: Сб. ст. / Ред. В.Д.Королюк. — Москва, 1972. — С.107—118

5. Козьма Пражский Чешская хроника// Источники истории.-Рязань.:Александрия,2009.-С 5-245

6. Титмар Мезебургский Хроника в 8 книгах/Перевод с лат. И.В. Дьяконова.-Москва.:Русская панорама.,2009.-256 с.

7. Флоря Б. Польская общественная мысль раннего средневековья //Общественная мысль славянских народов в эпоху раннего средневековья. -Москва.:Рукописные памятники Древней Руси, 2009.-С. 220-264

8. Юсупович, А. Чи ходив Володимир Великий на/до ляхів? (польсько-руські відносини наприкінці X – на початку XI ст.) // Укр. іст. журн. – 2015. – № 5. – С. 43-69;

9. Abraham W. Organizacja Kościoła w Polsce do połowy wieku XII.-Lwow.:Drukarnia Zakładu im. Ossolinskich,1890.-259 s

10. Adamus J. O teorii rodowej państwa Piasiw // Czasopismo prawno-historyczne. — Poznan, 1952. — Т. 4. — С. 94 — 124;

11. Anonim tzw. Gall Kronika polska.-Wroclaw:Ossolineum,2008.- 270 s.

12. Arnold S., Terytoria plemienne w ustroju administracyjnym Polski Piastowskiej X-XIII w.//Prace Komisji dla Atlasu Historycznego Polski.-Krakow.-1927.-z 2-S. 1-127.

13. Balzer O. O następstwie tronu w Polsce: Studia historyczno-prawne // Rozprawy Akademii umiędzynosci: Wydział' Historyczno-filozoficzny. Ser. II. — Krakow, 1897. — Т. 11 (36). — С. 298 — 431;

14. Berend N At the Gate of Christendom: Jews, Muslims and 'Pagans' in Medieval Hungary c. 1000 – c. 1300.-Cambridge: Cambridge University Press,2001-364 p.

15. Berend N. Laszlovszky J. Szakacs B.Z., The kingdom of Hungary//Christianization and the Rise of Christian Monarchy. Scandinavia, Central Europe and Rus' c. 900–1200.-Cambridge:Cambridge University Press,2007.- P. 319–368;

16. Bieniak J: Polska elita polityczna XII wieku (Część II. Wróżda i zgoda)//Społeczeństwo Polski średniowiecznej. Т. III. -Warszawa, 1985-S. 13-74

17. Bogucki A. O strukturze administracyjnej Polski XI i XII w.//Czasopismo Prawno-Historyczne.-1992- t. 44.-S. 1-25 ;

18. Breve Benedykta IX Papieża do Aarona Arcybiskupa Krakowieskiego// Monumenta Poloniae

\* Власне перелік нових єпископств які були створені у Помор'ї можна прослідкувати за буллою 1133 року *Inter Albiam et Oderam, Stetin et Lubus, ultra Oderam vero Pom-*

*erana, Poznan, Gnezen, Craco, Wartizlav, Cruciwiz, Masovia et Lodilaensis Innocentius Pp. II 1133 Jun. 4.- Dokument Nr 6*

- Historica. T I.-Lwow.: Drukarnia Zakładu im. Ossolinskich, 1864.-S. 358-359
19. Buko A. 1050-lecie chrześcijaństwa na ziemiach polskich. Państwo Mieszka I i problem wczesnej chrystianizacji Polski w perspektywie badań archeologicznych//Nauka.- 2016.-nr 2.-S. 7–38
20. Buko A. Chrzescijananie i poganie. O problemach interpretacji odkryc archeologicznych z początkami chrześcijaństwa na ziemiach polskich//“Slavia Antiqua”.-2016.-57.-S. 13–51
21. Cosmae Pragensis Chronica Boeorum// Monumenta Germaniae Historica Scriptores rerum Germanicarum, Nova series.-Berlin.:Apud Weidmannos, 1923.- 298 S
22. Dalewski Z. Władza, przestrzeń, ceremonial. Miejsce i uroczystosc inauguracji władzy w Polsce sredniowiecznej do konca XIV w.-Warszawa: Neriton, 1996.-274 s.
23. Dalewski Z. Miedzy Gniezmem a Poznaniem//Kwartalnik Historyczny.-1991.-t. 98.-S. 42-43,
24. Dobosz J. Monarchia i możni wobec Kościoła w Polsce do początku XIII wieku.-Poznan.: Wydawnictwo Poznanskie, 2002.-542 S
25. Galla kronika// Monumenta Poloniae Historica. T I.-Lwow.: Drukarnia Zakładu im. Ossolinskich, 1864.-S 379-484
26. Gasiorowski A. Podroze panujacego w sredniowiecznej Polsce// Czasopismo Prawno-Historyczne.-1973.-t. 5.-S.41-42
27. Gąsiorowski A. Skierska I. Średniowieczna monarchia objazdowa: władca w centralnych ośrodkach państwa//Sedes regni principales. Materiały z konferencji. Sandomierz 20-21 października 1997.-Sandomierz.-1999.-S. 67-80.;
28. Halecki O. Sacrum Poloniae Millenium.-Rzym.:Typis Officijae Universitatis Gregoriana, 1966.- 614 S
29. Innocentius Pp. II 1133 Jun. 4.// Kodeks Dyplomatyczny Wielkopolski.-Poznan 1877.- T 1-Dokument Nr 6
30. Ketrzynski W. Zalozenie biskupstwa plockiego//Przegląd Powszechny.-1890.-№ 7.-S. 363—371
31. Kodeks Dyplomatyczny Śląska / Wyd. K. Maleczyńskiego. — T.I/1. — N3. — Wrocław, 1958. — S.9—12.
32. Korta W. Czy Krakow byl metropolia koscielna w polowie XI wieku//Ars historica.-Poznan.-1976.-S.321-340.
33. Korta W. Dwie metropolie koscielne w Polsce za Boleslawa Chrobrego. Fakt historyczny, czy pomylka Galla//Studia i materialy z dziejow Slaska i Malopolski .-Wroclaw.-2001.-S.25-27
34. Labuda G. Studia nad początkami państwa polskiego. – Poznan, 1987
35. Labuda Gerard Organizacje panstwowe Slowian zachodnich w okresie ksztaltowania sie panstwa polskiego(od polowy VI do polowy X wieku )//Poczatki panstwa Polskiego.-Poznan, 1962.- T 1- s 43-72 ;
36. Lalik T. Organizacja grodowo-prowincjonalna w Polsce XI i poczatkow XII w.//Studia z Dziejow Osadnictwa-1967-t. 5.-S.12
37. Lowmianski H. Początki Polski.-Warszawa.: Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, 1984.- T V .-630 s.; Warszawa.: Panstwowe Wydawnictwo Naukowe ,1985.-T VI.cz. 1.-.-579 s
38. Pleszczyński A. Początek rządów Bolesława Chrobrego // Viae historicae: Księga jubileuszowa dedykowana Profesorowi Lechowi A. Tyszkiewiczowi w siedemdziesiątą rocznicę urodzin. — Wrocław, 2001.-S.230
39. Rocznik Traski //Monumenta Poloniae Historica.-Lwow.: Drukarnia Zakładu im. Ossolinskich , 1872.- T II.-S. 826-861
40. Semkowicz W. Geograficzne podstawy Polski Chrobrego // Kwartalnik Historyczny— Warszawa, 1925. —T 39.- S.258—314.
41. Sikorski D.A. Kościół w Polsce za Mieszka I i Bolesława Chrobrego. Rozważania nad granicami poznania historycznego.-Poznan.: Wydawnictwo Naukowe UAM, 2011.- S.515
42. Sikorski D.A. Organizacja wczesnego polskiego Kościoła w pierwszej monarchii piastowskiej//Chrzest Mieszka I i chrystianizacja państwa Piastów.-Poznań.-2017.-S.215
43. Sulnowski Z. Początki Kosciola Polskiego//Kosciol w Polsce.-t 1.-Krakow.-1966.-S.10-156
44. Sułowski. Z. Początki organizacji kościelnej na Mazowszu//Studia Plockie.-1975.-№3.-S.35-43
45. Swoboda W. Druga metropolia w Polsce czasow Boleslawa Chrobrego. Rzeczywistosc czy wymysl Galla Anonima// Roczniki Historyczne.-1997.- №63.-S. 7-15 ;
46. Ulanowski B. O uposazeniu biskupstwa plockiego//Rozprawy i sprawozdania z posiedzen Wydzialu Historyczno-Filozoficznego Akademii Umiejtnosciu-1888.-t.22.- S. 1—48
47. Zajackowski S. Podzialy plemienne Polski w okresie powstania panstwa(Geografia plemienna ziem polskich) //Poczatki panstwa Polskiego.-Poznan, 1962.- T 1- c 73-110
48. Zajackowski Z. Natanson J. Uwagi nad terytorialno-administracyjnym ustrojem Polski XII w//Czasopismo Prawno-Historyczne- 1955-t.7-S.250-347

## ФАРМАЦЕВТИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Tryhubchak O.V.**

*Ph.D, associate professor, senior engineer Technological laboratory R&D department,  
Farmak JSC*

**Тригубчак О.В.**

*кандидат фармацевтичних наук, доцент,  
старший інженер технологічної лабораторії департаменту дослідження та розробки,  
ПАТ «Фармак»*

### **OPTIMIZATION OF THE COMPOSITION THE EFFERVESCENT TABLETS OF ACETYLSALICYLIC ACID, PARACETAMOL AND ASCORBIC ACID ОПТИМІЗАЦІЯ СКЛАДУ ШИПУЧИХ ТАБЛЕТОК АЦЕТИЛСАЛІЦИЛОВОЇ КИСЛОТИ, ПАРАЦЕТАМОЛУ І АСКОРБІНОВОЇ КИСЛОТИ**

**Summary:** It was performed a microscopic study of active pharmaceutical ingredients, the results of their pharmaco-technological tests were presented. Since acetylsalicylic acid and ascorbic acid have a good flowing properties, it is possible to obtain tablets by direct compression. The influence of the change in the ratio of the quantities of excipients to the quality of effervescent tablets of acetylsalicylic acid, paracetamol and ascorbic acid was experimentally confirmed. The equation of regression of the pharmaceutical and technological properties of the mass for tableting, tablets and the obtained solution is constructed. The optimal composition of effervescent tablets of acetylsalicylic acid, paracetamol and ascorbic acid was established.

**Keywords:** *pharmaceutical technology, effervescent tablets, development of the composition, regression analysis, optimization.*

**Анотація:** Проведено мікроскопічне дослідження активних фармацевтичних інгредієнтів, представлено результати їх фармако-технологічних випробувань. Оскільки порошки ацетилсаліцилової та аскорбінової кислот характеризуються хорошою сипучістю, є можливим отримання таблеток методом прямого пресування. Експериментально підтверджено вплив зміни співвідношення кількостей допоміжних речовин на показники якості шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти. Побудовано рівняння регресії фармако-технологічних властивостей маси для таблетування, таблеток і отриманого розчину. Встановлено оптимальний склад шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти.

**Ключові слова:** *фармацевтична технологія, шипучі таблетки, розробка складу, регресійний аналіз, оптимізація.*

**Постановка проблеми.** Розробка унікального вітчизняного комбінованого препарату протизапальної дії, до складу якого входять ацетилсаліцилова кислота, парацетамол і аскорбінова кислота, у формі шипучих таблеток потребує наукового обґрунтування складу допоміжних речовин, що забезпечать необхідні фармако-технологічні властивості та показники якості готового продукту [1].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Раніше нами вивчено вплив допоміжних речовин з груп наповнювачів, розпушувачів, змащувальних речовин на фармако-технологічні характеристики шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти [2] та встановлено їх оптимальні кількості [3].

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.** Проте отримані шипучі таблетки ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти не відповідали фармакопейним вимогам [4, 5] за показником стійкість таблеток до роздавлювання.

**Ціль статті.** З метою підвищення стійкості таблеток до роздавлювання проводили оптимізацію

складу при дослідженні поєднання лактози з сорбітолом в різних співвідношеннях.

**Виклад основного матеріалу.** При проведенні досліджень використовували порошок ацетилсаліцилової кислоти виробництва Shandong Xihua Pharmaceutical Co. Ltd. China, постачальник Indukerh Chemie AG, порошок парацетамолу виробництва Hebei Jiheng (Group) Pharmaceutical Co. Ltd, Китай, порошок аскорбінової кислоти швейцарського виробництва DSM Nutritional Products.

На початку досліджень порошки активних фармацевтичних інгредієнтів досліджували за формою та розміром частинок.

Дослідження форми частинок проводили методом оптичної мікроскопії за допомогою світлового мікроскопа MICROMed SEO SCAN with 300x and 600x magnifications. Зображення фотодокументували за допомогою відеокамери Vision CCD Camera з системою виводу зображення на монітор комп'ютера. Загальну панораму частин сфотографовано і зображено на рис. 1.

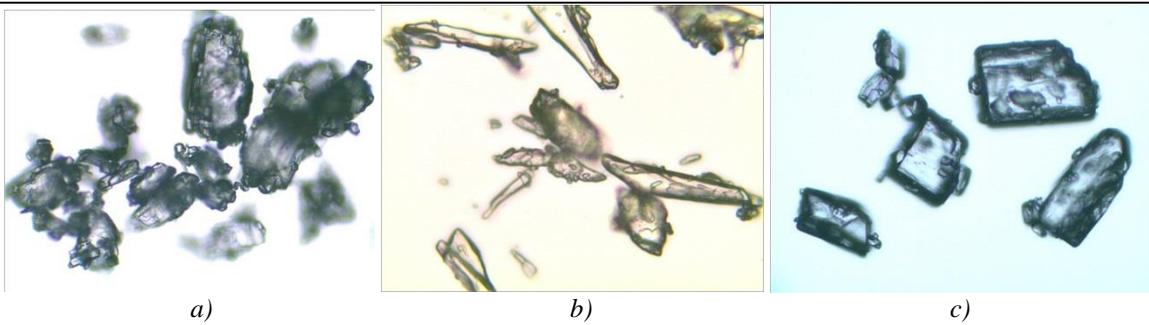


Рис. 1. Мікрофотознімок порошків кислоти ацетилсаліцилової, х300 (a), парацетамолу, х600 (b), кислоти аскорбінової, х600 (c)

За даними кристалографії ацетилсаліцилова кислота є кристалічним порошком, представленим частинками овальної форми з рівними краями та різним розміром. Парацетамол є аморфним порошком, представлений частинками довгастої форми голки, аскорбінова кислота є кристалічним порошком і складається з кубічних кристалів з рівними краями.

Визначення розміру частинок проводили методом лазерної дифракції [4] за допомогою лазерного дифракційного аналізатора Malvern Mastersizer 3000 (Malvern Instruments, Велика Британія), призначеного для визначення дисперсності частинок у діапазоні від 0,01 мкм до 10 000 мкм. Проведені випробування дозволили побудувати діаграми, наведені на рис. 2-4.

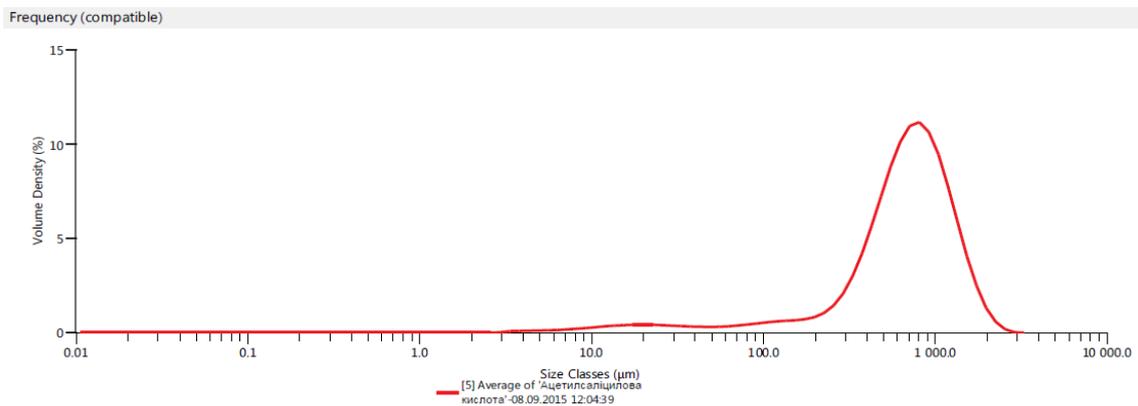


Рис. 2. Діаграма розподілу порошку ацетилсаліцилової кислоти за розміром часток

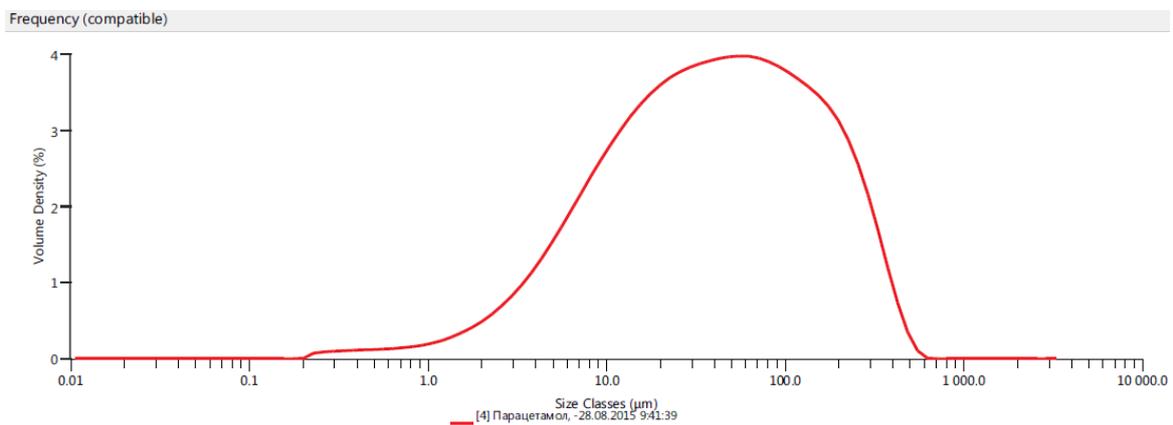


Рис. 3. Діаграма розподілу часток порошку парацетамолу за розмірами часток

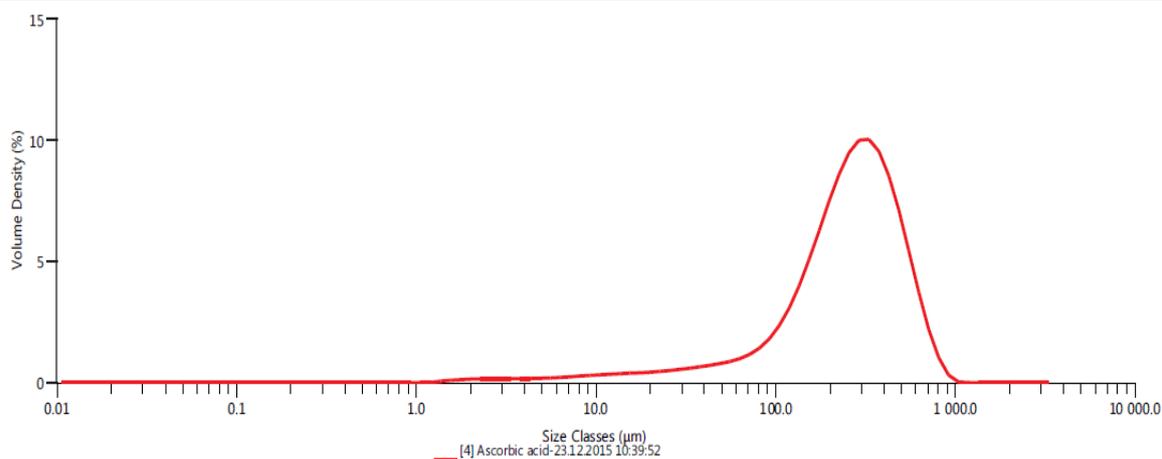


Рис. 4. Розподіл часток порошку кислоти аскорбінової за розмірами

Кумулятивний розподіл часток ацетилсаліцилової кислоти за розміром D10 становить 219 мкм, середній діаметр часток D50 рівний 703 мкм. Діаметр сфери, яка ділить зразки мас в 90 %, коли частинки розташовані на висхідній масовій основі, визначається значенням 1330 мкм. Проведені дослідження парацетамолу вказують і підтверджують D10 = 5,84 мкм, D50 = 40,4 мкм, що відповідає середньому розміру часток, а D90 = 208 мкм. Для аскорбінової кислоти величина D10 рівна 72,8 мкм, D50 = 265 мкм, D90 = 523 мкм.

Для розробки складу та технології таблеток вивчали фармако-технологічні властивості порошків активних фармацевтичних інгредієнтів. У досліджах використали сучасне обладнання для визначення насипної густини (ERWEKA SVM 202, Німеччина) та сипучості порошків (ERWEKA GT, Німеччина). Результати дослідження фармако-технологічних показників порошків активних фармацевтичних інгредієнтів наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Фармако-технологічні показники порошків активних фармацевтичних інгредієнтів

Назва показника, вимірювання	Ацетилсаліцилова кислота	Парацетамол	Аскорбінова кислота
Насипна густина, г/мл	0,6667±0,0230	0,3850±0,0127	0,9329±0,0074
Густина після усадки, г/мл	0,8571±0,0571	0,5934±0,0101	1,1545±0,0115
Індекс Карра, %	24,84±2,30	54,20±2,48	23,76±0,23
Текучість, с/100 г	7,7±1,5	0	11,4±0,8
Кут природного укусу, °	37,2±2,9	11,6±4,6	38,3±2,7

Одержані дані показують, що порошок ацетилсаліцилової кислоти характеризується доброю текучістю та іншими показниками, що забезпечують отримання таблеток методом прямого пресування. Значення величин насипної густини та густини після усадки, а також індексу Карра, текучості й кута природного укусу вказують на те, що парацетамол має погану сипучість. Одержані дані показали, що аскорбінова кислота має хорошу сипучість. Значення величин насипної густини та густини після усадки, а також індексу Карра, текучості й кута природного укусу вказують на

можливість додавання її до складу таблеток без додаткового гранулювання.

Тому отримання шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти проводили методом прямого пресування.

Для експерименту використали Parteck SI 400, який забезпечує найвищу стійкість таблеток до роздавлювання. З метою оптимізації складу шипучих таблеток вивчали Ludipress, до складу якого входить 93 % лактози, 3,5 % Kollidon 30 і Kollidon CL, що є супердезінтеграторами. Перелік кількісних факторів та їх рівні наведено у таблиці 2.

Таблиця 2

Досліджувані фактори та їх рівні, що вивчалися для оптимізації шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти

Фактор	Рівень фактору				
	Нижня «зіркова» точка «-α»	Нижній рівень «-»	Основний рівень «0»	Верхній рівень «+»	Верхня «зіркова» точка «+α»
x <sub>1</sub> – кількість Ludipress, г	0,0024653	0,03395	0,11	0,18605	0,2175347
x <sub>2</sub> – кількість Parteck SI 400, г	0,0024653	0,03395	0,11	0,18605	0,2175347

При складанні рецептури до складу таблеток вносили 7 % кислоти лимонної безводної, 10,2 % натрію гідрокарбонату, 0,36 % сахарину натрію, 1,8 % ароматизатора лимонного і 1,5 % натрію стеарилфумарат (Pruv®). Лактозу моногідрат (Tabletose 80) додавали до отримання середньої маси шипучих таблеток 1,5 г.

Вивчення впливу двох кількісних факторів проводили з використанням симетричного ротатбельного уніформ-плану другого порядку [6]. План експерименту і результати дослідження таблетних мас і шипучих таблеток наведено в табл. 3.

Таблиця 3

План експерименту і результати дослідження таблетних мас і шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти

серія	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	y <sub>5</sub>	y <sub>6</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>9</sub>	y <sub>10</sub>	y <sub>11</sub>	y <sub>12</sub>	y <sub>13</sub>	y <sub>14</sub>
1	+	+	0,6736	0,8848	23,87	22,8	39,8	5	4	0,61	49,2	2,06	1,02	4	5	5
2	-	+	0,6896	0,8935	22,82	21,0	40,3	4	4	0,54	46,4	2,47	1,23	4	4	5
3	+	-	0,6632	0,8906	25,53	23,5	41,6	5	5	0,53	41,0	3,16	0,24	4	4	5
4	-	-	0,6747	0,8674	22,22	21,7	42,5	4	4	0,82	36,8	3,88	0,43	4	4	5
5	+α	0	0,6777	0,8903	25,00	18,3	41,4	5	5	0,74	53,2	2,38	0,41	4	4	5
6	-α	0	0,6936	0,8932	22,35	18,9	40,6	4	4	0,45	39,5	3,15	0,59	4	5	5
7	0	+α	0,6796	0,8914	23,76	17,8	40,9	5	5	0,58	46,4	2,35	1,23	4	5	5
8	0	-α	0,6702	0,8876	24,49	21,5	41,3	4	4	1,05	44,2	3,72	1,08	4	4	5
9	0	0	0,6755	0,9071	25,53	18,9	41,3	5	5	0,45	53,0	2,41	1,32	4	4	5
10	0	0	0,6794	0,9048	24,91	21,9	40,5	4	4	0,50	46,2	2,45	1,27	4	5	5

Примітки: y<sub>1</sub> – насипна густина, г/мл; y<sub>2</sub> – густина після усадки, г/мл; y<sub>3</sub> – індекс Карра, %; y<sub>4</sub> – текучість, с/100 г; y<sub>5</sub> – кут укошу, °; y<sub>6</sub> – процес таблетування, бали; y<sub>7</sub> – зовнішній вигляд, бали; y<sub>8</sub> – однорідність маси, %; y<sub>9</sub> – стійкість до роздавлювання, Н; y<sub>10</sub> – стираність, %; y<sub>11</sub> – розпадання, хв.; y<sub>12</sub> – прозорість розчину, бали; y<sub>13</sub> – запах розчину, бали; y<sub>14</sub> – смак розчину, бали

Взаємозв'язок між вивченими кількісними факторами та фармако-технологічними властивостями модельних сумішей і таблеток виражали рівнянням регресії другого порядку:

$$y = b_0x_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2 + b_{11}x_{11} + b_{22}x_{22} \quad (1)$$

Для цієї моделі табличне значення F-критерію становить F<sub>0,1;6;1</sub> = 58,204. При отриманні експериментального значення нижче цього значення судили про адекватність математичної моделі.

Насипна густина пов'язана з вивченими факторами наступним рівнянням регресії (F<sub>експ.</sub> = 1,73):

$$y_1 = 0,6779 - 0,0062x_1 + 0,0048x_2 \quad (2)$$

Аналіз рівняння регресії вказує, що при виборі досліджуваних факторів на основному рівні насипна густина таблетної маси становила 0,6779 г/мл. При додаванні більшої кількості Ludipress даний показник зменшується, а збільшення кількості Parateck SI 400 призводить до зростання насипної густини.

Взаємозв'язок вивчених факторів з густиною після усадки показує наступне рівняння регресії другого порядку (F<sub>експ.</sub> = 20,10):

$$y_2 = 0,9065 + 0,0013x_1 + 0,0032x_2 - 0,0080x_1x_2 - 0,0091x_1^2 - 0,0102x_2^2 \quad (3)$$

Аналіз рівняння регресії показав, що досліджувані фактори на рівні зіркових точок суттєво впливають на густину після усадки порошкових мас. Найбільший вплив має кількість Parateck SI 400. При цьому із збільшенням кількості досліджуваних допоміжних речовин цей показник погіршується. При вивченні факторів на лінійних рівнях густина після усадки таблетних мас покращується. Спостерігається суттєва взаємодія між факторами. Суть взаємодії полягає в тому, що в залежності від того, на якому рівні вивчається, наприклад, фактор x<sub>1</sub>, по-різному проявляється вплив фактора x<sub>2</sub>. На рис. 5 показано вплив кількості Parateck SI 400 на густину після усадки таблетних мас.

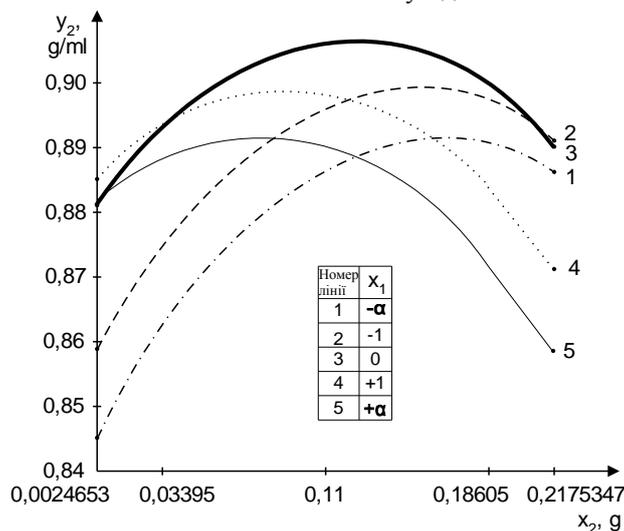


Рис. 5. Залежність густини після усадки від кількості Parateck SI 400

Аналіз рисунку 5 показує, що густина після усадки сумішей для таблетування покращується при збільшенні кількості Parateck SI 400 і досягає максимуму при додаванні від 0,065 г (лінія 5) до 0,125 г (лінія 1). Подальше збільшення фактору  $x_2$  погіршує цей показник.

Взаємозв'язок вивчених факторів з індексом Карра пов'язана з вивченими факторами наступним рівнянням регресії ( $F_{\text{експ.}} = 0,35$ ):

$$y_3 = 25,23 + 1,01x_1 - 0,26x_2 \quad (4)$$

Рівняння регресії ілюструє найбільший вплив фактору  $x_1$  на показник індексу Карра, ефект цього фактора майже в 4 рази вищий ефекту фактору  $x_2$ . При цьому додавання більшої кількості Ludipress індекс Карра погіршується, із збільшенням вмісту Parateck SI 400 в складі шипучих таблеток величина даного показника якості покращується.

Взаємозв'язок вивчених факторів з текучістю показаний наступним рівнянням регресії ( $F_{\text{експ.}} = 0,79$ ):  $y_4 = 20,4$ . Для цього показника всі вивчені фактори проявили незначимість впливу. Це свідчить про те, що всередньому швидкість висипання таблетної маси з лійки становить 20,4 с/100 г незалежно від вибраних кількостей допоміжних речовин.

Взаємозв'язок вивчених факторів із кутом природнього укусу таблетної маси ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти ілюструє наступне рівняння регресії ( $F_{\text{експ.}} = 1,16$ ):

$$y_5 = 40,92 - 0,57x_2 \quad (5)$$

Аналіз рівняння регресії вказує на істотний вплив кількості Parateck SI 400 в складі шипучих таблеток на кут природнього укусу, збільшення величини  $x_2$  призводить до зменшення даного показника.

Вплив досліджуваних факторів на процес пресування описується математичною моделлю ( $F_{\text{експ.}} = 0,23$ ):

$$y_6 = 4,50 + 0,43x_1 \quad (6)$$

Покращення процесу пресування відбувається при збільшенні кількості Ludipress в тих випадках, коли введено 0,18605 г в розрахунку на 1 таблетку.

Взаємозв'язок вивчених факторів із зовнішнім виглядом шипучих таблеток ілюструє наступне рівняння регресії ( $F_{\text{експ.}} = 1,14$ ):

$$y_7 = 4,75 + 0,30x_1 \quad (7)$$

З рівняння регресії видно, що із збільшенням кількості Ludipress зовнішній вигляд шипучих таблеток покращується. Фактор  $x_2$ , взаємодія та квадратичні залежності виявилися незначимими.

Однорідність маси пов'язана з вивченими факторами наступним рівнянням регресії другого порядку ( $F_{\text{експ.}} = 14,51$ ):

$$y_8 = 0,48 + 0,02x_1 - 0,11x_2 + 0,15x_2^2 \quad (8)$$

Аналіз рівняння регресії показує, що однорідність маси шипучих таблеток покращується при збільшенні вмісту Parateck SI 400, проте квадратичні ефекти цього фактору негативно впливають на даний показник якості. Введення більшої кількості Ludipress незначно погіршує однорідність маси таблеток. Слід відмітити, що при будь-яких співвідношеннях досліджуваних факторів у межах проведеного експерименту відносно стандартне відхилення не перевищує 1 %.

Взаємозв'язок вивчених факторів із стійкістю таблеток до роздавлювання пов'язана з вивченими факторами наступним рівнянням регресії ( $F_{\text{експ.}} = 0,50$ ):

$$y_9 = 49,63 + 3,30x_1 \quad (9)$$

Як видно з математичної моделі 6.18, стійкість таблеток до роздавлювання покращується при збільшенні кількості Ludipress. При цьому значення міцності таблеток знаходиться на нижній межі фармакопейних вимог [4].

Вплив досліджуваних кількісних факторів на стиранисть шипучих таблеток виражається рівнянням регресії другого порядку ( $F_{\text{експ.}} = 13,14$ ):

$$y_{10} = 2,43 - 0,28x_1 - 0,56x_2 + 0,16x_1^2 + 0,30x_2^2 \quad (10)$$

З рівняння регресії випливає, що стиранисть є критичним параметром якості таблеток. Від доданої кількості досліджуваних допоміжних речовин залежить міцність шипучих таблеток. Ефекти кількості Parateck SI 400 цей показник в 2 рази перевищують аналогічні для фактору  $x_1$ . На рис. 6 показано вплив фактору  $x_2$  на стійкість таблеток до роздавлювання.

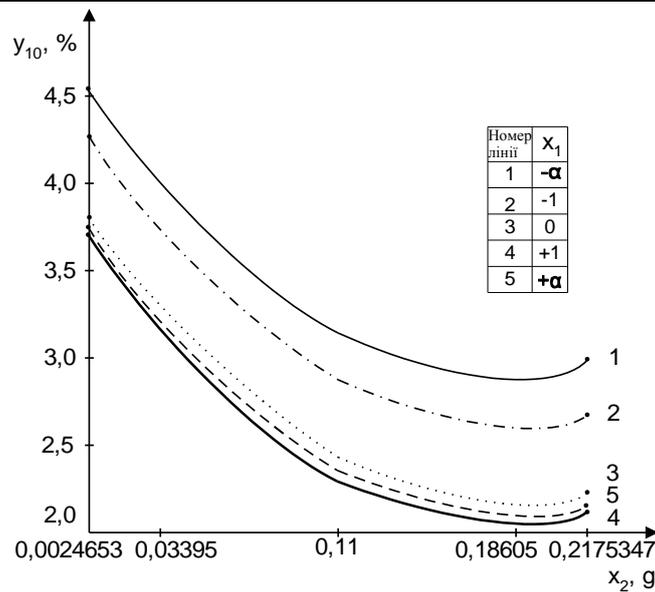


Рис. 6. Залежність стираності шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти від кількості Parteck SI 400

Аналіз рис. 6 демонструє, що збільшення вмісту Parteck SI 400 до 0,18605 г в розрахунку на 1 таблетку приводить до зниження стираності. Подальше збільшення кількості Parteck SI 400 супроводжується поступовим підвищенням втрати в масі при стиранні. Найменше значення відмічено на лінії 4 при  $x_1=+1$ ,  $x_2=+1$ . Лінії 1 і 2 знаходяться в зоні, коли стираність найбільша і перевищує фармакопейні норми [4].

Розпадання пов'язане з вивченими факторами рівнянням регресії другого порядку, яке наведено нижче ( $F_{\text{експ.}} = 51,34$ ):

$y_{11} = 1,30 - 0,08x_1 + 0,22x_2 - 0,42x_1^2 - 0,09x_2^2$  (11)

З рівняння регресії видно, що усі шипучі таблетки розпадаються до 2 хвилин. Час розпадання найбільше залежить від кількості Ludipress. Таблетки, до складу яких входить більша його кількість швидше розпадаються. Цей показник погіршується при зростанні кількості Parteck SI 400, проте вивчення фактору  $x_2$  на рівні зіркових точок дозволяє відмітити нівелювання цього ефекту. Більш детально вплив кількості Ludipress ілюструє однофакторна графічна залежність на рис. 7.

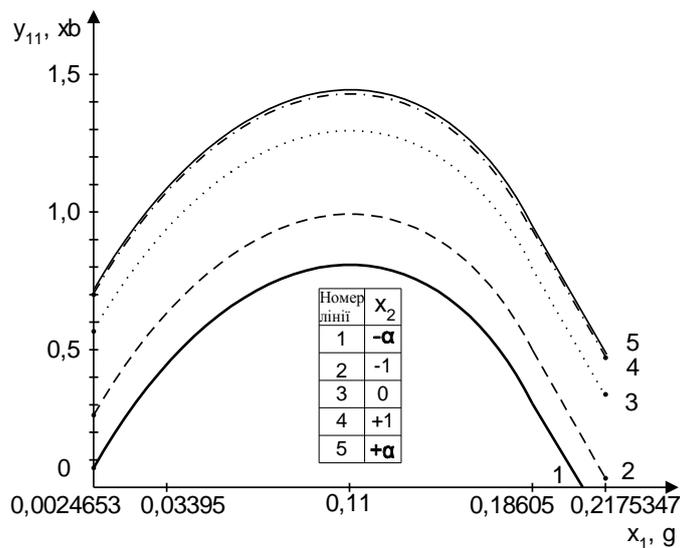


Рис. 7. Вплив кількості Ludipress на розпадання шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти

Аналіз рис. 7 показує, що графіки залежностей мають вигляд обернених парабол. При збільшенні кількості Ludipress в складі таблеток час розпадання спочатку підвищується – при концентрації Ludipress на рівні 0,11 г спостерігається найдовший

час розпадання (від 42 с до 1,5 хв), а при подальшому зростанні вмісту Ludipress цей показник покращується.

Для прозорості розчину ( $y_{12}$ ) усі серії отримали оцінку 4 бали, що свідчить про відсутність впливу досліджуваних факторів на якість розчину.

Рівняння регресії, що описує взаємозв'язок вивчених факторів із запахом розчину, має наступний вигляд ( $F_{\text{експ.}} = 0,34$ ):  $y_{13} = 4,5$ . Це вказує на відсутність залежності між даним показником і досліджуваними кількостями допоміжних речовин.

Смак розчину ( $y_{14}$ ) також не залежить від вмісту Ludipress та Parteck SI 400 і оцінено у 5 балів для всіх серій.

На основі отриманих рівнянь регресії будували лінії рівного виходу в системі координат  $x_1x_2$  (рис. 8).

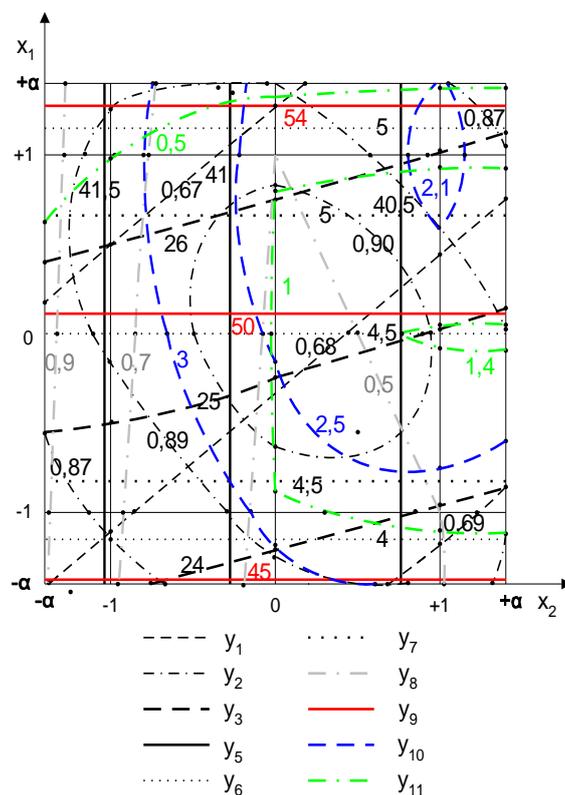


Рис. 8. Лінії рівного виходу в системі координат  $x_1x_2$

Аналіз рис. 8 показує, що при введенні до складу шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти 0,0024653 г Ludipress і 0,2175347 г Parteck SI 400 отримували найвищі значення насипної густини ( $y_1$ ) та індексу Карра ( $y_3$ ). Кут природнього укусу ( $y_5$ ) на рівні  $41,73^\circ$  відмічено при введенні 0,0024653 г Parteck SI 400 та будь-яких кількостях Ludipress в досліджуваному інтервалі. При використанні 0,2175347 г Ludipress спостерігали покращення процесу пресування ( $y_6$ ), зовнішнього вигляду ( $y_7$ ) та стійкості до роздавлювання ( $y_9$ ), що

було визначальним при виборі оптимальних кількостей. Критичним параметром шипучих таблеток виділили стиранисть ( $y_{10}$ ). Найнижчі значення втрати маси при стиранні отримали при використанні по 0,18605 г досліджуваних допоміжних речовин. Отже, за сукупністю впливу вивчених факторів було обрано до складу шипучих таблеток вводити речовини у наступному співвідношенні:  $x_1=+1,3$ ;  $x_2=+0,9$ . Таким чином, запропоновано склад шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти (табл. 4).

Таблиця 4

Запропонований склад шипучих таблеток

Інгредієнт	Кількість, г	Відсоткове співвідношення, %
Ацетилсаліцилова кислота	0,3000	20,00
Парацетамол	0,2000	13,34
Аскорбінова кислота	0,3000	20,00
Ludipress	0,1937	12,91
Сорбіт (Parteck SI 400)	0,1784	11,89
Кислота лимонна (безводна)	0,1050	7,00
Натрію гідрокарбонат	0,1530	10,20
Сахарин натрію	0,0054	0,36
Ароматизатор лимонний	0,0270	1,80
Натрію стеарилфумарат (Pruv®)	0,0375	2,50
Середня маса	1,5000	100,00

Запропонований оптимальний склад було підтверджено експериментально. Таблетна маса характеризувалася насипною густиною 0,675 г/мл, густиною після усадки 0,88 г/мл, індексом Карра 26,2 %, кутом природнього укусу 40,5 °. Процес пресування та зовнішній вигляд таблеток оцінено в 5 балів. Шипучі таблетки відповідали фармакопейним вимогам: однорідність маси 0,6 %, стійкість до роздавлювання 53 Н, стираність 2,1 %, розпадання 1 хв.

**Висновки та пропозиції.** Проведено мікроскопічне дослідження активних фармацевтичних інгредієнтів, представлено результати їх фармако-технологічних випробувань. Оскільки порошки ацетилсаліцилової та аскорбінової кислот характеризуються хорошою сипучістю, є можливим отримання таблеток методом прямого пресування.

Експериментально підтверджено вплив зміни співвідношення кількостей допоміжних речовин на показники якості шипучих таблеток ацетилсаліцилової кислоти, парацетамолу і аскорбінової кислоти. Побудовано рівняння регресії фармако-технологічних властивостей маси для таблетування, таблеток і отриманого розчину.

Запропоновано оптимальний склад шипучих таблеток, що забезпечував усі фармако-технологічні показники в межах фармакопейних вимог.

#### Список літератури:

1. ICH guideline Q8 (R2) on pharmaceutical development. Step 5: EMEA/CHMP/167068/2004 : Committee for Human Medicinal Products. – European Union: European Medicines Agency, 2017. – 24 p.

2. Дослідження впливу природи допоміжних речовин на показники якості шипучих таблеток кислоти ацетилсаліцилової, парацетамолу і кислоти аскорбінової / О.В. Тригубчак, Т.А. Грошовий, С.М. Гурєєва // Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики. – 2018.- Т. 11, № 1(26). – С. 64-68.

3. Тригубчак О.В. Вивчення впливу кількостей допоміжних речовин на фармако-технологічні показники шипучих таблеток / О.В. Тригубчак // Фармакологія та лікарська токсикологія. – 2018. - № 1(57). – С. 88-94.

4. Державна Фармакопея України: в 3 т. / Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів». – 2-е вид. – Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2015. – Т. 3. – 1128 с.

5. European Pharmacopoeia. 9th Edition / European Directorate for the Quality of Medicines (EDQM). – Council of Europe. Strasbourg Cedex. France, 2016. – 4016 p.

6. Математичне планування експерименту при проведенні наукових досліджень в фармації / Т. А. Грошовий, В. П. Марценюк, Л. І. Кучеренко [та ін.]. – Тернопіль: Укрмедкнига, 2008. – 368 с.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Zhukovskiy V.I.**

*doctor of physical and mathematical sciences,  
professor of department of optimal control,  
Lomonosov Moscow State University*

**Sachkov S.N.**

*candidate of physical and mathematical sciences*

**Sachkova E.N.**

*candidate of physical and mathematical sciences,  
associated professor of department of mathematics and physics,  
State University of Humanities and Technology*

## NIEHANS-SAVAGE RISK IN SOLUTION OF ONE-CRITERION PROBLEM

**Summary:** In the middle of the last century, the American mathematician and statistician Professor of the University of Michigan Leonard Savage (1917-1971) and the famous Swiss economist, Professor of the University of Zurich Jurg Niehans (1919-2007) independently proposed an approach to the choice of the solution in the one-criterion problem under uncertainties (OCP), called the principle of minimax regret (according to Niehans-Savage). This principle, along with the Wald's principle of guaranteed result (maximin), plays a crucial role in making a guaranteed decision in OCP. The main role in the principle of minimax regret is the function of regret, which determines the risk according to Niehans-Savage in the OCP. This risk has been widely used in practical management tasks in recent years. In this article we propose one of the possible approaches to finding a solution in OCP from the position of a decision-maker (DM), who simultaneously tries to improve his gain (payoff) and reduce the risk ("to kill two birds with one stone with one shot"). As an application, the explicit form of such solution is found for a linear-quadratic variant of the OCP.

**Key words:** *strategy, uncertainty, payoff, risk function, Niehans-Savage risk, principle of minimax regret.*

### 1. Introduction

**1.1. Interval uncertainties.** In this paper a mathematical model of decision making at conflict is represented by a one-criterion problem under uncertainties (OCP). Uncertainties arise due to the incompleteness of knowledge about the realization of the strategies chosen by a decision-maker (DM). For example, the economic system is generally exposed to the unexpected hard-to-predict disturbances from the outside (the change of quantity and nomenclature of the supplies, change of the demand for the produced goods) and from the inside (the emergence of new technologies, the breakage and replacement of the equipment and so on). The question arises: when choosing a strategy, how can DM take into account the existence of uncertainties? Thus, we consider it necessary to note

*first*, the economic system operates under the influence of uncertainty of the external and internal environment;

*second*, in economic systems the causes of uncertainties are as follows: lack of sufficient information about economic processes and their conditions, unintended or deliberate opposition from other participants, the action of random factors that can not be predicted;

*third*, to account for uncertainty one can use deterministic, statistical approaches, as well as approaches based on the concept of a linguistic variable and a fuzzy set.

The following classification of uncertainties is developed in the economic literature:

- *by degree of uncertainty*: probabilistic, linguistic, interval, total uncertainty;

- *by the nature of uncertainty*: parametric, structural, situational, strategic;

- *by the use of the information received during the management*: removable and unremovable.

A detailed classification of uncertainties in modern economic systems was considered by V.S. Diev in [1]. Each type of uncertainty requires a different approach for its accounting. In the present paper we have restricted ourselves to the interval uncertainties. The limits of changes are the only thing known about these uncertainties, and any probability characteristics are just absent. One can find the review of interval uncertainties in [2, 3]. For taking into account of uncertainties we shall use the method proposed by V.I. Zhukovskiy in [4, 5, 6]. This method makes it possible to pass from the original problem of decision making in a one-criterion problem under uncertainty (OCP) to a one-criterion problem without uncertainty.

**1.2. Principle of minimax regret.** The main problems of mathematical theory of OCP are the following ones: development of optimal principle, establishment of existence of solutions optimal in this sense and elaboration of method for construction of guaranteed solutions. These problems are considered in the present paper.

In the game theory the notion of optimality is based on the concept of stability: DM's deviation from the optimal strategy cannot increase the DM's payoff. This concept has been used in the present paper.

Now we pass to the statement of the problem. We consider a one-criterion problem under uncertainty

$\Gamma^{(1)} = \langle X, Y, f(x, y) \rangle$ . In the problem  $\Gamma^{(1)}$  DM

chooses his strategy  $x \in X \subseteq R^n$  so that the value

of scalar criterion  $f(x, y)$  will be as large as possible. When choosing his strategy DM should allow for emerging of any uncertainty  $y \in Y \subseteq R^n$  unpredictable in advance. The only thing known about these uncertainties is variation boundaries of possible values. The presence of uncertainties leads to a set of results  $f(x, Y) = \{f(x, y) | \forall y \in Y\}$  generated by  $x \in X$ . The set  $f(x, Y)$  can be "constricted" using risks.

Accounting of risks is an actual problem of economics. This fact is confirmed by the 1990 Nobel Prize awarded to Harry Max Markowitz [7] for a new approach to the investment risk research. What is risk? A well-known Russian expert on optimization theory T.K. Sirazetdinov considers that at present there is no strict mathematical definition of risk [8, p.31]. Sixteen definitions of risk are presented in [9, c.15]. Most of them require statistical data on uncertainty. However, often a decision-maker does not have such information. Such situations are considered in this article.

Under the risk we will understand *the possibility of deviation of the realized values of the criterion from the desired value*. Note that this definition is consistent with the "usual" microeconomic risks described, for example, in [10, p.40-50].

We recall that in 1939 the Romanian mathematician Abraham Wald (1902-1950), who emigrated to America in 1938, introduced the principle of maximin (the principle of guaranteed result) [11,12]. This principle is used to find a guaranteed solution in particular for a one-criterion problem under uncertainty (OCPU). Almost 10 years later, the famous Swiss economist Jurg Niehans in 1948 and the American mathematician, economist and statistician Leonard Savage in 1951 proposed in [13, 14] the principle of minimax regret, allowing for OCPU to build a guaranteed risk. This principle received in the literature the name of "Savage risk" (later called "Niehans-Savage risk"). Note that since 1997 in the USA the Savage's award is confirmed. It is annually awarded to authors of two most outstanding dissertations in area of economy and statistics.

For a one-criterion problem  $\Gamma^{(1)} = \langle X, Y, f(x, y) \rangle$  the principle of minimax regret is to construct a couple  $(x^r, R_f^r) \in X \times R$  that satisfies the chain of equalities

$$R_f^r = \max_{y \in Y} R_f(x^r, y) = \min_{x \in X} \max_{y \in Y} R_f(x, y), \quad (1)$$

where the *risk function* (by Niehans-Savage) is

$$R_f(x, y) = \max_{z \in X} f(z, y) - f(x, y). \quad (2)$$

The value  $R_f^r$  from (1) is called a *Niehans-Savage risk* for the problem  $\Gamma^{(1)}$ . The risk function

$R_f(x, y)$  estimates how far the realized value of

criterion  $f(x, y)$  "does not reach the best" (for DM in problem  $\Gamma^{(1)}$ ) value  $\max_{z \in X} f(z, y)$ . It's obvious that DM's objective point is to choose his strategy

$x \in X$  so that the value of  $R_f(x, y)$  will be as

less as possible. Following to the principle of guaranteed result, DM expects the greatest resistant from uncertainty (see (1)). Therefore, following (1) and (2) DM is optimist (DM strives for the best value of  $\max_{x \in X} f(x, y)$ ). Otherwise if DM expects the ap-

pearance of the worst result (Wald maximin solution  $(x^0, f^0 = \max_{x \in X} \min_{y \in Y} f(x, y) = \min_{y \in Y} f(x^0, y))$ ) then DM is pessimist.

Further in this paper we consider that in the problem  $\Gamma^{(1)}$  DM is optimist. DM constructs the risk function (by Niehans-Savage) (2) for  $f(x, y)$ . A value of this risk function is called a *Niehans-Savage risk*. Note two circumstances: *first*, in  $\Gamma^{(1)}$  a criterion  $f(x, y)$  corresponds it's own risk  $R_f(x, y)$  (see (2)); *second*, DM chooses his strategy  $x \in X$  so that the risk  $R_f(x, y)$  will be as less as possible; when choosing his strategy DM should allow for emerging of any uncertainty  $y(\cdot) \in Y^X, y(x): X \rightarrow Y$ .

## 2. New approach to the decision making in OCPU

**2.1. Introductory remark.** Here we use the approach from [22], which was proposed for non-cooperative games. For this, we have to pass from OCPU to a problem of guarantees (without uncertainty).

Till now the DM's point was to choose his strategy so, that his payoff was as large as possible. But in this paper we consider that the decision-maker (DM) simultaneously strives to *improve his payoff* and *reduce the risk*. We recall that DM constructs a Niehans-Savage

risk function  $R_f(x, y)$  (2), the value of this function

is called a risk. The Niehans-Savage risk  $R_f^r$  is determined by the chain of equalities (1). This is the risk that DM strives to reduce. Here two questions arise:

1. How to construct *one criterion*, which combines the desire to increase the payoff and reduce the risk at the same time?

2. How to find *a strategy* that satisfies both desires of the decision-maker, and how to take into account the uncertainty?

### 2.2. How to combine the desire to increase the payoff and reduce the risk?

### Construction of Niehans-Savage risk function.

We recall that according to the principle of minimax regret (by Niehans-Savage) the DM's risk is a value of risk function

$$R_f(x, y) = \max_{z \in X} f(z, y) - f(x, y), \text{ where}$$

$f(x, y)$  is DM's payoff function in the problem  $\Gamma^{(1)}$ .

To construct the risk function  $R_f(x, y)$  we shall determine the maximum  $f[y] = \max_{x \in X} f(x, y)$  for

$\forall y \in Y$ . To do this we will consider that DM forms

his strategy as a counterstrategy  $x(y): Y \rightarrow X$

such that  $\max_{x \in X} f(x, y) = f(x(y), y) = f[y]$

$\forall y \in Y$ . The set of all counterstrategies is designated

by  $X^Y$  (the set of  $n$ -vector-functions  $x(y): Y \rightarrow X$  defined over  $Y$  with values from  $X$ ).

Thus, to construct the first component in the right-hand side of equality (2) the decision-maker (DM) should solve a one-criterion problem

$\langle X^Y, Y, f(x, y) \rangle$  for each uncertainty  $y \in Y$ .

As a result a scalar function  $f[y]$ , which is determined by equality

$$f[y] = \max_{x(\cdot) \in X^Y} f(x, y), \quad \forall y \in Y, \quad (3)$$

should be constructed. And only then the risk functions (by Niehans-Savage) are built according to formula (2).

**Continuity of risk functions. Strong guaranteed payoffs and strong guaranteed risks.** We use the following designations. The set of compact sets in Euclidean space  $R^k$  is designated by  $comp R^k$ . The fact of continuity of a scalar function  $\psi(x)$  on  $X$  is designated by  $\psi(\cdot) \in C(X)$ .

In this subsection the base proposition (see [18, p. 54, 187]) is

**Proposition 1.** If  $X \in comp R^n$ ,  $Y \in comp R^m$  and  $f(\cdot) \in C(X \times Y)$ , then

a) function  $\max_{x \in X} f(x, y)$  is continuous on  $Y$ ,

b) function  $\min_{y \in Y} f(x, y)$  is continuous on  $X$ .

**Corollary 1.** If  $X \in comp R^n$ ,  $Y \in comp R^m$  and  $f(\cdot) \in C(X \times Y)$  in the

problem  $\Gamma^{(1)}$ , then the Niehans-Savage risk function

$R_f(x, y) \in C(X \times Y)$ .

We turn to the strong guaranteed payoff and risk

for the problem  $\Gamma^{(1)}$ . We use one of the three uncertainty accounting methods proposed for decision making in [4, 5]. This method is that the payoff function

$f(x, y)$  from  $\Gamma^{(1)}$  is put into correspondence to its strong guarantee  $f[x] = \min_{y \in Y} f(x, y)$ .

Hence, using a strategy  $x \in X$  DM provides himself a payoff  $f[x] \leq f(x, y) \forall y \in Y$  (for any realizations of the uncertainty  $y \in Y$ ).

This strong guaranteed payoff  $f[x]$  is quite natural when interval uncertainties are considered.

The set of values  $Y \subseteq R^m$  is the only thing known about these uncertainties  $y \in Y$ , and any probability characteristics are just absent.

**Proposition 2.** If in  $\Gamma^{(1)}$  the sets  $X$  and  $Y$  are compact ones, the payoff function  $f(x, y)$  is continuous on  $X \times Y$ , then the strong guaranteed payoff

$$f[x] = \min_{y \in Y} f(x, y) \quad (4)$$

and the strong guaranteed risk

$$R_f[x] = \max_{y \in Y} R_f(x, y) \quad (5)$$

are continuous scalar functions on  $X$ .

This proposition follows immediately from Proposition 1, corollary 1, and continuity of  $f(x, y)$  and

$R_f(x, y)$  on  $X \times Y$ .

**Remark 1.** First, the meaning of the guaranteed payoff  $f[x]$  from (4) is as follows. Whatever uncertainty

$y \in Y$  is realized in the problem  $\Gamma^{(1)}$  the decision-maker (DM) using his strategy  $x \in X$  provides himself the payoff  $f(x, y)$  which is not less than  $f[x]$ .

Thus, the set of payoffs  $f(x, Y) = \{f(x, y) | \forall y \in Y\}$  generated by

$x \in X$  is bounded below by the strong guaranteed payoff  $f[x]$ . Second, the set of all Niehans-Savage

risks  $R_f(x, y)$  which can be realized for all uncertainties  $y \in Y$  is bounded above by the strong guaranteed risk  $R_f[x]$ .

Really, we get from (5) that

$$R_f[x] \geq R_f(x, y) \quad \forall y \in Y.$$

Thus, using his strategy  $x \in X$  the decision-maker (DM) simultaneously provides himself the strong guarantee of payoff  $f[x]$  and the strong guarantee of risk  $R_f[x]$ .

**Transition from OCPU  $\Gamma^{(1)}$  to a two-criteria problem.** The aim of the decision-maker (DM) to increase his payoff and simultaneously reduce the risk corresponds to a new *mathematical model of the two-criteria problem under uncertainty*

$$\Gamma_2 = \langle X, Y, \{f(x, y), -R_f(x, y)\} \rangle.$$

Here  $X$  and  $Y$  are the same as in  $\Gamma^{(1)}$ . In  $\Gamma_2$  we pass from the criterion  $f(x, y)$  to the two-component vector-criterion  $\{f(x, y), -R_f(x, y)\}$ , where  $R_f(x, y)$  is a Niehans-Savage risk function. In the problem  $\Gamma_2$  the DM's aim is to choose a strategy  $x \in X$  for which both criteria  $f(x, y)$  and  $-R_f(x, y)$  simultaneously take the largest possible values. That is why we use  $R_f(x, y)$  with the minus sign. Due to  $R_f(x, y) \geq 0$  for  $\forall(x, y) \in X \times Y$  the increase of  $-R_f(x, y)$  is equivalent to decrease of  $R_f(x, y)$ . When choosing his strategy the decision-maker should allow for emerging of any uncertainty  $y \in Y$  unpredictable in advance.

The presence of only interval uncertainties  $y \in Y$  in the problem  $\Gamma_2$  justifies the possibility for the decision-maker to focus on the strong guaranteed payoff  $f[x]$  from (4) and the strong guaranteed risk  $R_f[x]$  from (5). This approach leads to the transition from the problem  $\Gamma^{(1)}$  to the two-criteria problem without uncertainty

$$\Gamma_2^g = \langle X, \{f[x], -R[x]\} \rangle,$$

in which the decision-maker should choose his strategy  $x \in X$  so that the both criteria  $f[x]$  and  $-R_f[x]$  simultaneously will be as large as possible.

Then, for the construction of a strong guaranteed payoff and risk, the results of the mathematical theory of vector optimization should be involved (see [22]). In this paper we use the solution of a multi-criteria problem proposed by Italian economist and sociologist Vilfredo Pareto in 1909 [21]. In the problem  $\Gamma_2^g$  the strategy  $x^P$  is called maximal by Pareto if for any  $x \in X$  the system of two inequalities

$f[x] \geq f[x^P], -R_f[x] \geq -R_f[x^P]$  is incompatible, besides at least one inequality is strict. As a result, we come to the following definition

**Definition 1.** The triple  $(x^P, f[x^P], R_f[x^P])$  is called a *strong guaranteed by Pareto solution* for the problem  $\Gamma_2^g$ , if

- a)  $x^P$  is maximal by Pareto for the problem  $\Gamma^g$
- b)  $f[x^P]$  is a value of strong guaranteed payoff  $f[x] = \min_{y \in Y} f(x, y)$  for  $x = x^P$  in the problem  $\Gamma^{(1)}$ ;
- c)  $R_f[x^P]$  is a value of strong guaranteed risk

$$R_f[x] = \max_{y \in Y} R_f(x, y) \text{ for } x = x^P.$$

**Remark 2.** In Definition 1 one can use other concepts of optimality from the theory of multicriteria problem: maximum by Slater, Borwein and Geoffrion, A-maximum, cone optimality. All these concepts can be found in [20].

The definition of maximal by Pareto strategy  $x^P$  implies

- a) if the use of a strategy  $\bar{x} \neq x^P$  ( $\bar{x} \in X$ ) leads to an increase in one of the criteria, then at least one of the other criteria will inevitably decrease;
- b) there is no a strategy  $x \in X$  such that the values of all criteria increase compared to the values of criteria at  $x = x^P$ .

The following proposition is obvious.

**Proposition 3.** Let in the problem  $\Gamma_2^g$  there exist  $x^P \in X$  and numbers  $\alpha, \beta \in (0, 1)$  such that  $x^P$  minimizes the scalar function  $\Phi[x] = \alpha f[x] - \beta R_f[x]$ , i.e.

$$\Phi[x^P] = \max_{x \in X} (\alpha f[x] - \beta R_f[x]). \quad (6)$$

Then  $x^P$  is maximal by Pareto in the problem  $\Gamma_2^g$ .

**Remark 3.** Let us consider the convolution of criteria (4) and (5) in the form of  $\Phi[x] = \alpha f[x] - \beta R_f[x]$ . First, even if for  $\bar{x} \neq x^P$  we get an increase of the guaranteed payoff  $f[\bar{x}] > f[x^P]$ , then due to  $x^P$  is maximal by Pareto and  $R_f[\bar{x}] \geq 0$  this increase of the guaranteed

payoff will inevitably lead to the increase of the guaranteed risk  $R_f[\bar{x}] > R_f[x^P]$ . And on the other hand, a decrease of the guaranteed risk  $R_f[\bar{x}] < R_f[x^P]$  leads to a decrease of the guaranteed payoff  $f[\bar{x}] < f[x^P]$ . Both of these cases are highly undesirable for the decision-maker (DM). *Second*, due to  $R_f[x] \geq 0$  the increase of  $\alpha f[x] - \beta R_f[x]$  corresponds to the DM's desire to increase  $f[x]$  and reduce  $R_f[x]$  simultaneously. That is why we use the transition from a two-criteria problem  $\Gamma_2^g$  to a one-criterion problem

$$\langle X, \Phi[x] = \alpha f[x] - \beta R_f[x] \rangle. \quad (7)$$

Now we can answer the second question from subsection 2.1: how to find a strategy that satisfies both desires of the decision-maker (DM), and how to take into account an interval uncertainty? To do this we pass from the problem  $\Gamma^{(1)}$  to the problems  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3$ , where

$$\begin{aligned} \Gamma_1 &= \langle X, Y, \{f(x, y), -R_f(x, y)\} \rangle, \\ \Gamma_2 &= \langle X, \{f[x], -R_f[x]\} \rangle, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\Gamma_3 = \langle X, \Phi[x] = \alpha f[x] - \beta R_f[x] \rangle.$$

Here the strategies  $x \in X \subseteq R^n$ , uncertainties  $y \in Y \subseteq R^m$ , the payoff function  $f(x, y)$  and the Niehans-Savage risk function  $R_f(x, y)$  are determined on  $(x, y) \in X \times Y$ , the numbers  $\alpha, \beta \in (0, 1)$ .

**Remark 4.** Let us list the advantages of the solution given in Definition 1.

*First*, for payoffs the low bounds  $f[x^P] \leq f(x^P, y) \forall y \in Y$  are determined, and for risks the upper bounds  $R_f[x^P] \geq R_f(x^P, y) \forall y \in Y$  are determined. Note that the existence and continuity of  $f[x]$  and  $R_f[x]$  are provided by  $X \in \text{comp}R^n$ ,  $Y \in \text{comp}R^m$  and  $f(\cdot) \in C(X \times Y)$  (see Proposition 1).

*Second*, the increase of the Pareto guaranteed payoff (in comparison with  $f[x^P]$ ) inevitably leads to the increase in the guaranteed risks (in comparison with

$R_f[x^P]$ ). And on the other hand, the decrease in the guaranteed risk leads to the decrease in the guaranteed payoff.

**Remark 5.** Definition 1 yields the following scheme for constructing the *strong guaranteed solution*. It consists of four stages.

Stage I. For  $f(x, y)$  we find  $f[y] = \max_{x \in X} f(x, y)$  and construct the Niehans-Savage risk function, namely

$$R_f(x, y) = f[y] - f(x, y).$$

Stage II. We find the strong guarantee for the payoff  $f[x] = \min_{y \in Y} f(x, y)$  and for the risk

$$R_f[x] = \max_{y \in Y} R_f(x, y).$$

Stage III. For two-criteria problem  $\Gamma_2$  we find the maximal by Pareto strategy  $x^P$ . Here we can use Proposition 3 setting  $\alpha = \beta = 1$  in (6). Then the finding of the maximal by Pareto strategy in the problem  $\Gamma_3$  is reduced to the construction of  $x^P$  such that

$$\max_{x \in X} (f[x] - R_f[x]) = f[x^P] - R_f[x^P]. \quad (9)$$

Stage IV. For  $x^P$  we obtain the values of strong guarantees  $f[x^P]$  and  $R_f[x^P]$ . The triple  $(x^P, f[x^P], R_f[x^P])$  constructed in result is a solution satisfying Definition 1. Thus, the strategy  $x^P$  generates the guaranteed payoff  $f[x^P]$  for  $f(x, y)$  and guaranteed Niehans-Savage risk  $R_f[x^P]$ .

In the next section we apply the above scheme for the construction of the *strong guaranteed solution* for a linear-quadratic OCPU.

### 3. Explicit form of Niehans-Savage risk function for linear-quadratic one-criterion problem under uncertainty

**3.1. Statement of the problem.** Let us consider a linear-quadratic one-criterion problem under uncertainty

$$\Gamma_{lq} = \langle R^n, R^m, f(x, y) \rangle.$$

Here the set of strategies  $x$  is Euclidean  $n$ -dimensional space  $R^n$ , the set of uncertainties is  $R^m$ , the payoff function is of the linear-quadratic form

$$f(x, y) = x'Ax + 2x'By + y'Cy + 2a'x + 2c'y + d,$$

where  $n \times n$ -matrix  $A$  and  $m \times m$ -matrix  $C$  are constant and symmetric;  $n \times m$ -matrix  $B$  is constant;  $n$ -vector  $a$ ,  $m$ -vector  $c$ , a number  $d$  are constant, the prime at the top means transposition. In the problem  $\Gamma_{lq}$  the decision-maker (DM) wants to choose his strategy  $x \in R^n$  so that to get the largest possible value of the payoff function and the smallest possible value of the

$0_n$  is a zero  $n$ -vector;

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \begin{bmatrix} \frac{\partial f}{\partial x_1} \\ \vdots \\ \frac{\partial f}{\partial x_n} \end{bmatrix} \text{ is a gradient of a scalar function } f(x, y) \text{ with respect to } x;$$

$$\frac{\partial^2 f}{\partial x^2} = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_1} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \cdots & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_n} \end{bmatrix} \text{ is a Hessian of } f(x, y) \text{ with respect to } x;$$

$\det A$  is a determinant of a matrix  $A$ ;

$E_n$  is an identity  $n \times n$ -matrix.

It is easy to see that

$$\frac{\partial}{\partial x}(x'Ax) = 2Ax, \quad \frac{\partial}{\partial x}(2x'by) = 2by, \quad \frac{\partial}{\partial x}(2a'x) = 2a, \quad \frac{\partial^2}{\partial x^2}(x'Ax) = 2A.$$

**3.2. Explicit form of Niehans-Savage risk function.** According to Stage I from Remark 5 we begin the construction of the explicit form of the risk function  $R_f(x, y)$  for the problem  $\Gamma_{lq}$ .

Stage I. We construct the explicit form of the Niehans-Savage risk function  $R_f(x, y)$  for the problem  $\Gamma_{lq}$ .

**Proposition 4.** *If in the problem  $\Gamma_{lq}$  the matrix  $A < 0$ , then the Niehans-Savage risk function is of the form  $R_f(x, y) = -(x'A + y'B' + a')A^{-1}(Ax + By + a)$ .*

*Proof.* Let a vector-function  $x(y)$  be defined on  $R^m$  and  $x(y) \in R^n$ . If

$$\left. \frac{\partial f(x, y)}{\partial x} \right|_{x=x(y)} = 2Ax(y) + 2By + 2a = 0_n \quad \forall y \in R^m, \tag{10}$$

$$\left. \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \right|_{x=x(y)} = 2A < 0, \tag{11}$$

then  $x(y)$  satisfies the condition  $\max_{z \in R^n} f(z, y) = f(x(y), y) \quad \forall y \in R^m$ .

Condition (11) is ensured by  $A < 0$ . From (10) we get  $x(y) = -A^{-1}(By + a)$ .

We substitute  $x = x(y)$  into  $f(x, y)$

$$\max_{z \in R^n} f(z, y) = f(x(y), y) = (y'B' + a')A^{-1}(By + a) - 2(y'B' + a')A^{-1}By +$$

risk function. When choosing his strategy the decision-maker should allow for emerging of any uncertainty

$y \in R^m$  unpredictable in advance.

The point is to construct the explicit form of Niehans-Savage risk function for  $\Gamma_{lq}$ .

We use the following designations:

for a quadratic matrix  $A$  with constant elements the notion  $A > 0$  ( $A < 0$ ) means that a quadratic form with matrix  $A$  is positive definite (negative definite);

$$\begin{aligned}
 & + y'Cy - 2a'A^{-1}(By + a) + 2c'y + d = \\
 & -(y'B' + a')A^{-1}(By + a) + y'Cy + 2c'y + d = \\
 & = y'[C - B'A^{-1}B]y + 2(c' - a'A^{-1}B)y + (d - a'A^{-1}a).
 \end{aligned}$$

Then the Niehans-Savage risk function is

$$\begin{aligned}
 R_f(x, y) &= f(x(y), y) - f(x, y) = -x'Ax - 2x'By - 2a'x - \\
 & - y'B'A^{-1}By - 2a'A^{-1}By - a'A^{-1}a = -(x'A + y'B' + a')A^{-1}(Ax + By + a).
 \end{aligned}$$

This completes the proof of Proposition 4.

### 3.3. Construction of strong guarantee for risk function

Stage II. We construct the function  $R_f[x] = \max_{y \in R^m} R_f(x, y)$ .

**Proposition 5.** Let in the problem  $\Gamma_{lq}$

$$A < 0, \det B \neq 0.$$

Then

$$R_f[x] = \max_{y \in R^m} R_f(x, y) \equiv 0 \quad \forall x \in R^n.$$

*Proof.* To find  $R_f[x]$  we must construct a vector-function  $y(x) : R^n \rightarrow R^m$  such that

$$\max_{y \in R^m} R_f(x, y) = R_f(x, y(x)) = R_f[x] \quad \forall x \in R^n.$$

We use sufficient condition:

$$\frac{\partial R_f(x, y)}{\partial y} \Big|_{y=y(x)} = -2B'x - 2B'A^{-1}By(x) - 2B'A^{-1}a = 0_m \quad \forall x \in R^n, \quad (12)$$

$$\frac{\partial^2 R_f(x, y)}{\partial y^2} \Big|_{y=y(x)} = -2B'A^{-1}B > 0. \quad (13)$$

Since  $A < 0$  and  $\det B \neq 0$  the chain of implications

$$A^{-1} < 0 \Rightarrow B'A^{-1}B < 0 \Rightarrow -B'A^{-1}B > 0 \Rightarrow -2B'A^{-1}B > 0$$

is valid (i.e. (13) is satisfied).

Taking into account  $(B'A^{-1}B)^{-1} = B^{-1}A(B')^{-1}$  we get from (12)

$$\begin{aligned}
 y(x) &= -(B'A^{-1}B)^{-1}(B'x + B'A^{-1}a) = \\
 &= -B^{-1}A(x + A^{-1}a) = -B^{-1}(Ax + a).
 \end{aligned}$$

Substituting  $y = y(x)$  into  $R_f[x]$  we get

$$R_f[x] = R_f(x, y(x)) = -(x'A - x'A - a' + a')A^{-1}(Ax - Ax - a + a) \equiv 0 \quad \forall x \in R^n,$$

i.e.  $R_f[x] \equiv 0 \quad \forall x \in R^n$ .

Following Remark 5 we must find the strong guaranteed payoff  $\min_{y \in Y} f(x, y)$ . Taking into account

$f(x, y) = x'Ax + 2x'By + y'Cy + 2a'x + 2c'y + d$ ,  $A < 0$  and  $C > 0$  we turn to the construction of the strong guaranteed payoff  $f[x] = \min_{y \in R^m} f(x, y)$ .

**Lemma 1** [24, p.89]. For any  $n \times n$ -matrix  $C > 0$  there exists a unique  $n \times n$ -matrix  $S > 0$  such that  $S^2 = C$ . The matrix  $S$  is called a square root of the matrix  $C$  and is denoted by  $C^{\frac{1}{2}}$ . Moreover the eigenvalues of the matrix  $C$  are equal to the eigenvalues of the matrix  $C^{\frac{1}{2}}$ .

**Lemma 2.** If symmetric  $n \times n$ -matrix  $C > 0$ , then  $C^{-1} = [S^2]^{-1} = [S^{-1}]^2$ .

Really, for  $S = C^{\frac{1}{2}}$  we have

$$C = S \cdot S = S^2 \Rightarrow C^{-1} = [S \cdot S]^{-1} = S^{-1}S^{-1} = [S^{-1}]^2.$$

**Lemma 3.** The implication

$$A < 0 \wedge C > 0 \Rightarrow (A - BCB') < 0 \quad \forall B \in R^{n \times m}$$

takes place, where  $R^{n \times m}$  is the set of constant  $n \times m$ -matrixes. Indeed, the chain of implications

$$\begin{aligned} C > 0 &\Rightarrow C^{-1} > 0 \Rightarrow BC^{-1}B' \geq 0 \quad \forall B \in R^{n \times m} \Rightarrow \\ &\Rightarrow -BC^{-1}B' \leq 0 \quad \forall B \in R^{n \times m} \Rightarrow A - BC^{-1}B' < 0 \quad \forall B \in R^{n \times m} \end{aligned}$$

is valid.

**Proposition 6.** If  $A < 0$  and  $C > 0$ , then

$$f[x] = \min_{y \in R^m} f(x, y) = x'[A - BC^{-1}B']x + 2x'[a - BC^{-1}c] + d - c'C^{-1}c. \quad (14)$$

*Proof.* By Lemma 1 there exists a matrix  $S$  such that  $C = S^2$ . Moreover  $C > 0 \Rightarrow S > 0 \wedge S' = S$ .

In view of  $S^{-1}S^{-1} = C^{-1}$  (Lemma 2),  $SS = C$ ,  $S^{-1}S = E_n$  and Euclidean norm  $\|\cdot\| \geq 0$  we get

$$\begin{aligned} f(x, y) &= x'Ax + 2x'By + y'Cy + 2a'x + 2c'y + d = \\ &= \|S^{-1}B'x + Sy + S^{-1}c\|^2 - x'BC^{-1}B'x - 2x'BC^{-1}c - c'C^{-1}c - y'Cy - 2x'By - \\ &\quad - 2c'y + x'Ax + 2x'By + 2a'x + d \geq \\ &\geq x'[A - BC^{-1}B']x + 2x'[a - BC^{-1}c] + [d - c'C^{-1}c] = f[x] \end{aligned}$$

for  $\forall x \in R^n, y \in R^m$ . Then according to the definition of strong guaranteed payoff

$$f(x, y) \geq f[x] \quad \forall x \in R^n, y \in R^m$$

we obtain a validity of (14).

Stages III-IV. By (9) we construct the maximal by Pareto strategy  $x^P$  for the problem  $\Gamma_2$  from (8) and we construct  $f[x^P]$ .

According to Proposition 5 if in the problem  $\Gamma_{lq}$

$$A < 0, \det B \neq 0, \quad (15)$$

then the strong guaranteed risk  $R_f[x] \equiv 0$  for all  $x \in R^n$ . Therefore  $R_f[x^P] = 0$ , where  $x^P$  is maxi-

mal by Pareto strategy for the problem  $\Gamma_3$  from (8). So we will find the maximal by Pareto strategy  $x^P$  for the problem  $\Gamma_3$  from the condition

$$\max_{x \in R^n} f[x] = f[x^P]. \quad (16)$$

under restrictions (11) and  $C < 0$ .

### 3.4. Explicit form of the strong guaranteed by Pareto solution for the problem $\Gamma_{lq}$

**Proposition 7.** Let in the problem  $\Gamma_{lq}$   $A < 0$ ,  $m = n$ ,  $C > 0$ ,  $\det B \neq 0$ , then

$$x^P = -[A - BC^{-1}B']^{-1}(a - BC^{-1}c), \quad (17)$$

$$f[x^P] = -(a' - c' C^{-1} B')[A - BC^{-1}B']^{-1}(a - BC^{-1}c) + d - c' C^{-1} c. \quad (18)$$

*Proof.* The sufficient existence conditions for  $x^P$  from (9) are

$$\left. \frac{\partial f[x]}{\partial x} \right|_{x=x^P} = 2[A - BC^{-1}B']x^P + 2(a - BC^{-1}c) = 0_n, \quad (19)$$

$$\left. \frac{\partial^2 f[x]}{\partial x^2} \right|_{x=x^P} = 2[A - BC^{-1}B']^{-1} < 0 \quad (20)$$

Lemma 3 and  $A < 0$ ,  $C > 0$  imply condition (20). In view of  $A - BC^{-1}B' < 0$  and (19) we get  $x^P = -[A - BC^{-1}B']^{-1}(a - BC^{-1}c)$ .

Substituting  $x^P$  into (14) we get

$$\begin{aligned} f[x^P] &= -(a' - c' C^{-1} B')[A - BC^{-1}B']^{-1}[A - BC^{-1}B'] \cdot \\ &\cdot [A - BC^{-1}B']^{-1}(a - BC^{-1}c) - 2(a' - c' C^{-1} B')[A - BC^{-1}B']^{-1} \cdot \\ &\cdot (a - BC^{-1}c) + d - c' C^{-1} c = \\ &= -(a' - c' C^{-1} B')[A - BC^{-1}B']^{-1}(a - BC^{-1}c) + d - c' C^{-1} c. \end{aligned}$$

**Remark 6.** For a one-criterion problem under uncertainty  $\Gamma_{lq}$  we obtain the following result. We consider the linear-quadratic problem  $\Gamma_{lq} = \langle R^n, R^m, f(x, y) \rangle$ .

$$\text{If } f(x, y) = x'Ax + 2x'By + y'Cy + 2a'x + 2c'y + d,$$

$$A < 0, m = n, C > 0, \det B \neq 0,$$

then the triple  $(x^P, f[x^P], R_f[x^P])$ , where

$$x^P = -[A - BC^{-1}B']^{-1}(a - BC^{-1}c) \quad (21)$$

$$f[x^P] = -(a' - c' C^{-1} B')[A - BC^{-1}B']^{-1}(a - BC^{-1}c) + d - c' C^{-1} c$$

$$R_f[x^P] = 0,$$

is a strong guaranteed by Pareto solution of the problem  $\Gamma_{lq}$ .

In frame of mathematical game theory this result means the following. If in the problem  $\Gamma_{lq}$  the decision-maker (DM) uses the strategy  $x^P$  from (21), then he "provides himself" the strong guaranteed payoff  $f[x^P]$  (see (21)) and the best risk  $R_f[x^P] = 0$ . Moreover by Lemma 3 the "significant" part of this payoff is  $-(a' - c' C^{-1} B')[A - BC^{-1}B']^{-1}(a - BC^{-1}c) > 0$ .

### Conclusion

In the current paper the problem of choosing a strategy in OCPU (one-criterion problem under uncertainty) is solved. Using the strategy proposed in this paper the decision-maker (DM) takes into account the influence of uncertainty and the desire to improve the payoff while reducing the associated risk. To assess the influence of uncertainties the Niehans-Savage risk

function is used. The value of this function under a concrete DM's strategy is a risk measure. Using the concept of strong guarantee from [4, 5] we propose a new approach to solving OCPU. This approach consists of a construction of a "game of guarantees" without uncertainties and then for this game of guarantees the problem of two-criteria optimization is solved. Herewith all three of mentioned factors (uncertainty, payoff and

risk) are taken into account. Using the proposed approach we have found an explicit form of guaranteed solution for risk and payoff in the linear-quadratic OCPU and we have established that under this solution the guaranteed risk is zero. Note that the authors also hope to apply a different approach from [4, 5] related to vector guarantees.

#### Acknowledgments

The authors would like to express sincere gratitude to participants of the seminar “Risks in complex control systems” (Faculty of Computational Mathematics and Cybernetics, Lomonosov Moscow State University) for constructive comments and suggestions. A special acknowledgment goes to the Russian Foundation for Basic Research (project no. 14-00-90408) and to the National Academy of Sciences of Ukraine (project no. 03-01-14) for support.

#### References

1. Diev V.S. *Managerial decisions: uncertainty, models, intuition*. Novosibirsk State University. 2001.
2. Cheremnykh Yu.N. *Microeconomics. Advanced level*. Moscow: INFRA-M. 2008.
3. Zhukovskiy V.I. *Risks in conflict situations*. Moscow: URSS. 2011.
4. Zhukovskiy V.I. and Kudryavtsev K.N. *Balancing conflicts under uncertainty. The Analogue of Maximin* // Mathematical game theory and its application. - 2013. II- Vol.5. No. 2. P. 3-45.
5. Zhukovskiy V.I. and Kudryavtsev K.N. *Balancing conflicts under uncertainty. The Analogue of a saddle point* / Mathematical game theory and its application. - 2013. I-Vol.5. No. 1. P.27-44.
6. Zhukovskiy V.I., Kudryavtsev K.N., Smirnova L.V. *Guaranteed solutions of conflicts and their applications*. Moscow: KRASAND/URSS. 2013.
7. Markovits N.P. Portfolio selection // *Journal of Finance*. 1952. Vol.7 No.1. P.77-89.
8. Sirazetdinov T.K. and Sirazetdinov R.T. *The Problem of risk and its modeling* // *Problems of human risk*. 2007. Vol.1. P. 31-43.
9. Shakhov V.V. *Introduction to insurance. Economic aspect*. Moscow: Finance and statistics. 2001.
10. Tsvetkova E.V. and Arlikova N.O. *Risk in economic activities*. SPb.: IVESEP. 2002.
11. Wald A. *Contribution to the theory of statistical estimation and testing hypothesis* // *Annals Math. Statist.* 1939. Vol.10. P.299-326.
12. Wald A. *Statistical Decision Functions*. N.Y.: Wiley, 1950.
13. Savage L.J. *The theory of statistical decision* // *J. American Statistical Association*. 1951. No. 46. P. 55-67.
14. Niehans J. *Zur Preisbildungen bei ungewissen Erwartungen* // *Schweizerische Gesellschaft für Volkswirtschaft und Statistik*, 1948, Vol. 84, No. 5, P. 433–456.
15. Germeyer Yu.B. *Games with games with non-opposite interests*. Moscow: Nauka. 1978.
16. Kukushkin I.S., Morozov V.V. *Theory of non-antagonistic games*. Moscow: MGU im. M.V. Lomonosov. 1984.
17. Krasovskiy N.N., Subbotin A.I. *Positional differential games*. Moscow: Nauka. 1974
18. Morozov V., Sukharev A. and Fedorov V. *Operations research in problems and exercises*. Moscow: Nauka. 1986.
19. Zhukovskiy V.I., Makarkina T.V., Vysokos M.I. *A New Approach to Noncooperative Game Under Uncertainty* // *International Game Theory Review*. 2007. Vol. 2. No. 19. P. 1750024-1-1750024-19 DOI 10.1142/s0219198917500244.
20. Podinovskiy V.V. and Nogin V.D. *Pareto optimal solutions of multicriteria problems*. Moscow: FIZMATLIT. 2007.
21. Pareto V. *Manuel d'economic pohikique*. Paris: Geard, 1909.
22. Zhukovskiy V.I., Salukvadze M.E. *The Vector-Valued Maximin*. N.Y. etc.: Academic Press, 1994.
23. Arrow K.J., Hurvits L., Uzawa H. *Studies in linear and nonlinear programming*. Moscow: INL. 1962.
24. Voevodin V.V., Kuznetsov Yu.A. *Matrices and calculations*. Moscow: Nauka. 1984.
25. Zhukovskiy V.I., Molostvov V.S., Topchishvili A.L. *Problem of multicurrency deposit diversification - three possible approaches to risk accounting* // *International Journal of Operations and Quantitative Management*. 2014. Vol. 20, No.1. P.1-14.
26. Ventzel E.S. *Operations Research*. Moscow: Nauka. 1988.

**Yaretska N. O.**

*candidate of physical and mathematical sciences,  
doctor of philosophy, senior lecturer of  
department of higher mathematics and computer applications,  
Khmelnytsky National University*

**Gripinska N. V.**

*candidate of physical and mathematical sciences,  
docent of department of higher mathematics  
and computer applications,  
Khmelnytsky National University*

**RESEARCH OF CONTACT INTERACTION OF PRELIMINABLY STRESSED Annular stamp AND HALF-SPACE WITH INITIAL (RESIDUAL) STRESSES (CASE OF EQUAL ROOTS)  
ИССЛЕДОВАНИЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННОГО КОЛЬЦЕВОГО ШТАМПА И ПОЛУПРОСТРАНСТВА С НАЧАЛЬНЫМИ (ОСТАТОЧНЫМИ) НАПРЯЖЕНИЯМИ (СЛУЧАЙ РАВНЫХ КОРНЕЙ)**

**Summary.** The article is devoted to the study of the contact interaction of a prestressed ring stamp and a half-space (base) with initial (residual) stresses without taking friction forces into account. The problem is solved for the case of equal roots of the resolving equation. The study is presented in a general form for the theory of large initial (finite) deformations and two versions of the theory of small initial deformations in the framework of the linearized theory of elasticity for an arbitrary structure of the elastic potential.

**Keywords:** *linearized theory of elasticity, contact interaction, annular stamp, half-space, harmonic potential, elastic bodies, theory of large initial (finite) deformations, theory of small initial deformations.*

**Аннотация.** Статья посвящена исследованию контактного взаимодействия предварительно напряженного кольцевого штампа и полупространства (основы) с начальными (остаточными) напряжениями без учета сил трения. Задача решена для случая равных корней разрешающего уравнения. Исследование представлено в общем виде для теории больших начальных (конечных) деформаций и двух вариантов теории малых начальных деформаций в рамках линеаризованной теории упругости при произвольной структуре упругого потенциала.

**Ключевые слова:** *линеаризованная теория упругости, контактное взаимодействие, кольцевой штамп, полупространство, гармонический потенциал, упругие тела, теория больших начальных (конечных) деформаций, теория малых начальных деформаций.*

**Problem statement.** Contact problems are an important part of the mechanics of a deformable solid and form the theoretical basis for calculations for the contact strength, stiffness and wear resistance of mobile and fixed joints.

The applied needs of natural science, modern technology and the latest technologies in recent decades associated with the necessity to predict the contact behavior of various designs, stimulated the development of various mathematical models and methods of contact mechanics of bodies with different properties [1–4].

One of the important factors in the contact interaction of bodies is the influence of initial (residual) stresses. Despite a significant achievement in the development of contact problems, nevertheless the issue of taking into account the initial (residual) stresses in the contact interaction has remained almost completely undeveloped until recently. There is known, that almost all elements of the construction have initial stress. It can be caused by various reasons, for example, by technological operations conducted in the manufacture of a variety of materials or by assembly of a structure. In the case of composite materials, the initial stresses, as a rule, correspond to stresses along the reinforcing elements. In the earth's crust, they are formed due to the action of gravitational forces and technical processes. They must be taken into account when solving the problems of deformation of soils (especially frozen ones).

In addition, in elastoplastic bodies, internal residual stresses can also be present after removal of loads.

In the general case, consideration of the initial (residual) stresses requires the using of the apparatus of the nonlinear theory of elasticity [4, 5], but for the sufficiently large initial (residual) loads, one can confine ourselves to its linearized version [6–10].

Allowance of initial (residual) stresses within the linearized theory of elasticity leads to a new formulation of the problems of interaction of deformable solids, which significantly differ from the formulation of the problems of the classical theory of elasticity. Taken into account the problems when the initial (residual) stresses of the system of basic differential equations, the expressions of determining the components of the tensors of the stress-strain state and the structure of the boundary conditions differ from the corresponding systems of equations and expressions of the classical theory of elasticity, nevertheless, in their structure and nature they are similar to ordinary contact problems. Thus, from the above, it follows the possibility of using many fundamental results and methods of the linear theory of elasticity.

**Analysis of recent research and publications.** Linearized theory of elasticity for the bodies with initial (residual) stresses as the linearization of the nonlinear theory of elasticity [4, 5] was first proposed in monograph [11].

The fundamental results of the linearized theory of elasticity were obtained by academician Gusem A.N. [6 – 10, 12 – 14]. For the first time, he solved a number of contact problems for compressible and incompressible bodies by one of the most effective approaches for materials with an arbitrary form of elastic potential and homogeneous initial (residual) stresses. This approach is based on the theory of the function of a complex variable for plane problems and potential theory for spatial problems. Further development of the theory of contact interaction of bodies with initial (residual) stresses was obtained in the works [3, 6-10, 12 – 19]. A general analysis of the main methods and the best known results in all directions of the contact interaction of bodies with initial (residual) stresses is presented in review articles [15, 19].

The first equations of the linearized theory of elasticity of deformable bodies [10] were obtained by linearizing the basic relations of the nonlinear theory, taking into account the physical characteristics of the materials; these results are obtained for small subcritical deformations in Lagrangian coordinates, which coincide with the Cartesian coordinates in the undeformed state. Later the main relations were written in curvilinear coordinates using the tensor analysis [20]; equations in displacements were also obtained, for which in a homogeneous subcritical state some methods for their solution are considered.

A modern analysis of the approaches to constructing theories and basic results that are applied to the three-dimensional linearized theory of elasticity of deformable bodies and the three-dimensional linearized theory of the propagation of elastic waves in bodies with initial (residual) stresses is presented by the generalizing publication, respectively [8]. With the using of approaches of the modern type [8], modern analysis of the results is performed for a wide range of problems of the linearized mechanics of deformed bodies, namely: 1) For problems of the contact interaction of elastic bodies with initial (residual) stresses [15, 19]; 2) For the stability theory of the local equilibrium state of black rocks [13]; 3) For exact solutions of plane mixed problems of linearized mechanics of deformable bodies [9]; 4) For non-destructive ultrasonic methods for determining stresses in solids [14].

There are also a number of other generalizing publications about linearized mechanics. Moreover, the works mentioned above are only fully or partially related to the subject matter of this article. More widely the history of development and the range of problems of the linearized theory of elasticity are presented in [19].

Thus, the development of effective methods for calculating the stress-strain state with allowance for the initial (residual) deformations within the framework of the linearized theory of elasticity is an actual and important scientific and technical problem.

**Isolation of previously unresolved parts of a common problem.** Today, in accordance to the problems related to contact problems for elastic bodies, results have been obtained on a wide range of issues. They are represented by works [6, 7, 12, 16, 17, 21, 22]. There are also a number of general publications [5, 23,

24], which are fully or partially related to the subject of this study. Despite significant achievements, the number of studies on the contact interaction of prestressed bodies is relatively small.

A rather detailed review of the work of rigid stamps (including ring ones) associated with contact pressure in the case of absence of initial stresses is given in the monograph [25].

The contact interaction of rigid and elastic stamps with prestressed bodies is presented in [3, 6, 7, 12, 16, 17, 21]. Moreover, either the elastic potentials of a particular structure are considered, but also the problem is considered in a general form for compressible (incompressible) bodies with the potential of an arbitrary structure on the basis of the linearized theory of elasticity.

The solution of an axisymmetric contact problem on the pressure of a rigid ring stamp of a complex configuration on an elastic layer with initial stresses is considered in [16]. The influence of initial stresses on the contact interaction of a rigid ring stamp on an elastic half-space with initial (residual) stresses is presented in [18].

**Purpose of the article.** In this paper, for the first time (residual) stresses, for the bodies with initial (residual) stresses [6, 7, 10, 12, 15], the problem of the pressure of a prestressed elastic ring stamp was first considered for a half-space with initial (residual) stresses without allowance for friction forces for equal roots resolving equation [7]. The investigation is carried out in a general form for compressible and incompressible bodies for the theory of large initial deformations and for two versions of the theory of small initial deformations for an arbitrary structure of the elastic potential.

The concept of research of this article is that taking into account the influence of initial stresses in bodies on the law of distribution of the contact characteristics of elastic bodies at the points of their interaction can allow for more effective consideration of the wear resistance of materials by properly estimating their strength reserves. Also, it can sufficiently reduce their material consumption, while retaining the necessary functional characteristics of materials.

Therefore, to ensure the above, the methodology for solving the task is divided into two stages - analytical and numerical. The result of the analytical stage was the formulation of the ratios of the components of the stress-strain state in the contact zone, which are characteristic for potentials of arbitrary structure. A numerical analysis is given for a potential of the harmonic type. Plots of stresses and displacements in the contact area are constructed.

#### **Presentation of the main material.**

**1. Basic relationships.** We will distinguish such states of bodies with initial (residual) stresses: natural (initial stresses absent), initial, and disturbed state. All quantities, the last, consist of the sum of the values of the initial state and the corresponding perturbations. Since the perturbations are assumed to be smaller than the corresponding values of the initial state, the investigations are carried out within the framework of the linearized theory of elasticity [6, 7, 10, 12, 15].

For the study, we use the coordinates of the initial deformed state  $(y_1, y_2, y_3)$ , which are related to the Lagrange coordinates  $(x_1, x_2, x_3)$  (natural state):  $y_i = \lambda_i x_i$  ( $i = \overline{1,3}$ ). Here  $\lambda_i$  ( $i = \overline{1,3}$ ) are the elongation coefficients that determine the movement of the initial state  $\lambda_i = \text{const}$  ( $i = \overline{1,3}$ ). The  $y_3$  axis is directed along the normal to the contact area.

$$y_m = x_m + U_m^0, \quad U_m^0 = \delta_{mi} (\lambda_m - 1) \lambda_i^{-1} y_i.$$

Then the basic equation in displacements for compressible bodies has the form:

$$L'_{m\alpha} U_\alpha = 0, \quad L'_{m\alpha} = \omega'_{ij\alpha\beta} \partial^2 / \partial y_i \partial y_j, \quad (i, m, \alpha, \beta = \overline{1,3}), \quad (1)$$

and for incompressible bodies together with the incompressibility condition:

$$L'_{m\alpha} U_\alpha + q'_{\alpha m} \partial p' / \partial y_\alpha = 0, \quad L'_{m\alpha} = \kappa'_{im\alpha\beta} \partial^2 / \partial y_i \partial y_j, \quad q'_{ij} \partial U_j / \partial y_i = 0, \quad q'_{ij} = \lambda_i q_{ij}, \quad (i, j, m, \alpha, \beta = \overline{1,3}). \quad (2)$$

Expressions for determining the components of the stress tensor for compressible and incompressible bodies are written as:

$$Q'_{ij} = \omega'_{ij\alpha\beta} \frac{\partial U_\alpha}{\partial y_\beta}, \quad Q'_{ij} = \kappa'_{ij\alpha\beta} \frac{\partial U_\alpha}{\partial y_\beta} + q'_{ij} p, \quad \omega'_{ij\alpha\beta} = \frac{\lambda_i \lambda_j \lambda_\beta}{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3} \omega_{ij\alpha\beta}, \quad \kappa'_{ij\alpha\beta} = \frac{\lambda_i \lambda_j \lambda_\beta}{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3} \kappa_{ij\alpha\beta},$$

where  $\omega'_{im\alpha\beta}$ ,  $\kappa'_{im\alpha\beta}$  - the components of the fourth order tensor of the elastic moduls,

$$p = (\lambda_1 q_1)^{-1} \left\{ \left[ \tilde{\kappa}_{1111} - \lambda_1 q_1 (\lambda_3 q_3)^{-1} (\tilde{\kappa}_{1133} + \tilde{\kappa}_{1313}) \right] \Delta_1 + \tilde{\kappa}_{3113} \partial^2 / \partial y_3^2 \right\} \partial^2 / \partial y_3^2 \tilde{\chi}.$$

For homogeneous initial stresses  $S_0^{11} = S_0^{22} \neq 0$ ;  $S_0^{33} = 0$ ;  $\lambda_1 = \lambda_2 \neq \lambda_3$ , we express the roots of equations (1), (2) in terms of the roots of the differential equation:

$$(\Delta_1 + \xi_2'^2 \partial^2 / \partial y_3^2) (\Delta_1 + \xi_3'^2 \partial^2 / \partial y_3^2) \tilde{\chi} = 0, \quad (3)$$

where  $\Delta_1 = \partial^2 / \partial r^2 + r^{-1} \partial / \partial r$ .

Taking into account the condition of the existence of a unique solution of the linearized theory of elasticity for compressible and incompressible bodies, two versions of the representation of the general solution (3) are possible:

1) The case of equal roots ( $\xi_2'^2 = \xi_3'^2$ ):

$$\tilde{\chi} = \tilde{\chi}_1 + y_3 \tilde{\chi}_2, \quad (\Delta_1 + \xi_2'^2 \partial^2 / \partial y_3^2) \tilde{\chi}_1 = 0, \quad (\Delta_1 + \xi_2'^2 \partial^2 / \partial y_3^2) \tilde{\chi}_2 = 0 \quad (4)$$

2) The case of unequal roots ( $\xi_2'^2 \neq \xi_3'^2$ ):

$$\tilde{\chi} = \tilde{\chi}_1 + \tilde{\chi}_2, \quad (\Delta_1 + \xi_2'^2 \partial^2 / \partial y_3^2) \tilde{\chi}_1 = 0, \quad (\Delta_1 + \xi_3'^2 \partial^2 / \partial y_3^2) \tilde{\chi}_2 = 0. \quad (5)$$

In this study we dwell in detail only the case of equal roots of the resolving equation (3).

**2. Formulation of the problem and border conditions.** Let the finite prestressed ring stamp with a flat base, whose geometric axis of symmetry coincides with the  $y_3$  axis of the cylindrical coordinate system  $(r, \theta, y_3)$ , which is directed into the half-space (Fig. 1) and presses on the half-space with the force  $P$ , after the initial deformed state.  $R_1, R_2$  - internal and external radii of the stamp. We assume that the external load is

We assume that the initial states in the ring stamp and the half-space are homogeneous and equal, and the elastic potentials are twice continuously differentiable functions of the algebraic invariants of the Green's deformation tensor [7, 24]. In this case the relations are:

applied only to the free end of the resilient stamp. Under the action of the load, all points on the end of the stamp move in the direction of the symmetry axis  $y_3$  by the same amount  $\varepsilon$ . We assume that the surfaces outside the contact region remain free from the influence of external forces, and in the contact zone of displacement and stress, they are continuous.

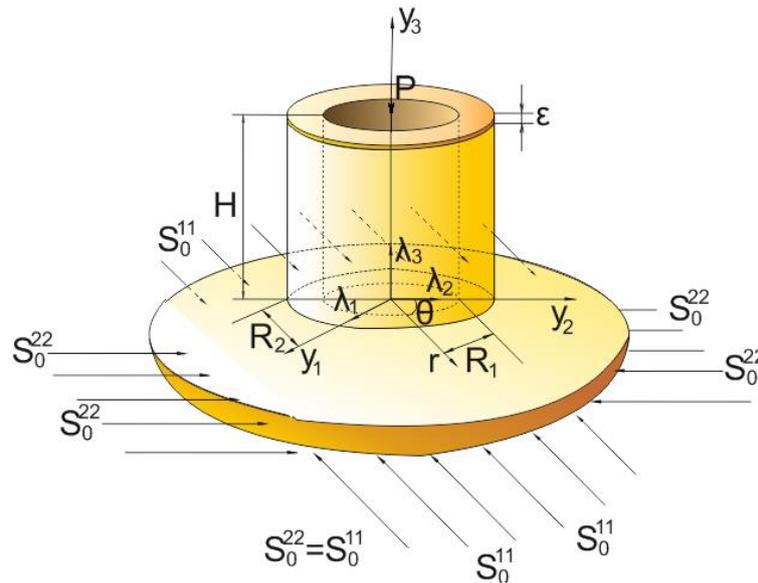


Fig. 1. Pressure of a prestressed annular stamp on a half-space with initial (residual) stresses.

The materials of the contacting bodies are assumed to be isotropic compressible or incompressible with an arbitrary structure of the elastic potential. In the case of orthotropic materials, it is assumed that the elastic-equivalent directions coincide with the directions of the coordinate axes  $(y_1, y_2, y_3)$ .

The quantities that relate to the elastic stamp will be written with the superscript (1), and the quantities that relate to the pre-stressed half-space with the initial (residual) stresses - with the superscript (2).

In the system of circular cylindrical coordinates  $(r, \theta, z_i)$ , where  $z_i = v_i^{-1}y_3$ ,  $v_i = \sqrt{n_i}$ ,  $(i = 1, 2)$ ,  $n_1 = \xi_2'^2$ ,  $n_2 = \xi_3'^2$  such a formulation corresponds to the boundary conditions:

1) at the end of the elastic stamp  $z_1 = Hv_1^{-1}$

$$U_3^{(1)} = -\varepsilon, \quad Q_{3r}^{(1)} = 0 \quad (R_1 < r < R_2) \quad (6)$$

2) on the boundary of an elastic half-space in the region of contact  $z_l=0$ :

$$U_3^{(1)} = U_3^{(2)}; \quad \tilde{Q}_{33}^{(1)} = \tilde{Q}_{33}^{(2)}; \quad \tilde{Q}_{3r}^{(1)} = \tilde{Q}_{3r}^{(2)} = 0 \quad (R_1 < r < R_2) \quad (7)$$

3) on the boundary of the elastic half-space outside the contact region  $z_l=0$ :

$$\tilde{Q}_{33}^{(2)} = 0, \quad U_3^{(2)} = 0, \quad \tilde{Q}_{3r}^{(2)} = 0 \quad (0 < r < R_1 \quad R_2 < r < \infty) \quad (8)$$

4) on the outer side surface of the elastic stamp  $r=R_2$ :

$$\tilde{Q}_{rr}^{(1)} = 0, \quad \tilde{Q}_{3r}^{(1)} = 0 \quad (0 \leq z_1 \leq Hv_1^{-1}) \quad (9)$$

5) on the inner side surface of the elastic stamp  $r=R_1$ :

$$\tilde{Q}_{rr}^{(1)} = 0, \quad \tilde{Q}_{3r}^{(1)} = 0 \quad (0 \leq z_1 \leq Hv_1^{-1}) \quad (10)$$

The condition of equilibrium, which establishes the relationship between the draft of the butt and the resultant load  $P$ , is:

$$P = -2\pi \int_{R_1}^{R_2} r Q_{33}^{(2)}(0, r) dr \quad (11)$$

To determine the stress-strain state in an elastic ring stamp with initial (residual) stresses, we use the linearized equations (1) - (2), from which the expressions for the components of the displacement vector

and the stress tensor for compressible and incompressible bodies follow. Then the general solution (4) for the case of equal roots  $n_1 = n_2$  of the resolving equation (3) is taken in the form

$$\begin{aligned} \chi = & \frac{\varepsilon v_1 z_1 (1 + v_1 z_1)}{(R_1 - R_2)(1 - m_2)} + \sum_{k=1}^{\infty} \left\langle \frac{v_1 z_1 \gamma_k \tilde{B}_k (1 + v_1 z_1)}{R_1 - R_2} \left\{ \frac{1 + m_2}{1 - m_2} f_1(R_1, R_2) + \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{I_0(\gamma_k v_1 R_1) - I_0(\gamma_k v_1 R_2)}{R_1 + R_2} \left( \frac{v_1 \theta_1}{1 - m_2} - \frac{3r^2 - 2z_1^2}{3} \right) \right\} + (\tilde{A}_k + v_1 z_1 \tilde{B}_k) I_0(\gamma_k v_1 r) \sin(\gamma_k v_1 z_1) + \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + J_0(\alpha_k z_1)(\tilde{S}_2(\alpha_k z_1) + v_1 z_1 \tilde{S}_3(\alpha_k z_1)) \Bigg\rangle N_k, \\
 \chi_1 = & \frac{\varepsilon v_1 z_1}{(R_1 - R_2)(1 - m_2)} + \sum_{k=1}^{\infty} \left\langle \frac{v_1 z_1 \gamma_k \tilde{B}_k}{R_1 - R_2} \left\{ \frac{1 + m_2}{1 - m_2} f_1(R_1, R_2) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{I_0(\gamma_k v_1 R_1) - I_0(\gamma_k v_1 R_2)}{R_1 + R_2} \left( \frac{v_1 \theta_1}{1 - m_2} - \frac{3r^2 - 2z_1^2}{3} \right) \right\} + \tilde{A}_k I_0(\gamma_k v_1 r) \sin(\gamma_k v_1 z_1) + J_0(\alpha_k z_1) \tilde{S}_2(\alpha_k z_1) \right\rangle N_k \\
 \chi_2 = & \frac{\varepsilon v_1 z_1}{(R_1 - R_2)(1 - m_2)} + \sum_{k=1}^{\infty} \left\langle \frac{v_1 z_1 \gamma_k \tilde{B}_k}{R_1 - R_2} \left\{ \frac{1 + m_2}{1 - m_2} f_1(R_1, R_2) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + \frac{I_0(\gamma_k v_1 R_1) - I_0(\gamma_k v_1 R_2)}{R_1 + R_2} \left( \frac{v_1 \theta_1}{1 - m_2} - \frac{3r^2 - 2z_1^2}{3} \right) \right\} + \tilde{B}_k I_0(\gamma_k v_1 r) \sin(\gamma_k v_1 z_1) + J_0(\alpha_k z_1) \tilde{S}_3(\alpha_k z_1) \right\rangle N_k
 \end{aligned}$$

$$\text{where } \theta_1 = \frac{4Hm_1(1+H)}{v_1^3} + \frac{R_1^2 + R_1 R_2 + R_2^2}{3} - \frac{2H^2}{n_1},$$

$$\begin{aligned}
 f_1(R_1, R_2) = & -R_1 I_0(\gamma_k v_1 R_1) + \frac{\pi R_1}{2} L_0(\gamma_k v_1 R_1) I_1(\gamma_k v_1 R_1) - \frac{\pi R_1}{2} L_1(\gamma_k v_1 R_1) I_0(\gamma_k v_1 R_1) + \\
 & + R_2 I_0(\gamma_k v_1 R_2) - \frac{\pi R_2}{2} L_0(\gamma_k v_1 R_2) I_1(\gamma_k v_1 R_2) + \frac{\pi R_2}{2} L_1(\gamma_k v_1 R_2) I_0(\gamma_k v_1 R_2),
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \tilde{S}_2 = & \tilde{E}_k sh(\alpha_k z_1) + \tilde{F}_k ch(\alpha_k z_1), \quad \tilde{S}_3 = sh(\alpha_k z_1) + \tilde{M}_k ch(\alpha_k z_1), \quad \tilde{M}_k = -cth(\alpha_k H v_1^{-1}), \quad \tilde{F}_k = -s_0 \alpha_k^{-1}, \\
 \tilde{E}_k = & Hcth^2(\alpha_k H v_1^{-1}) - \tilde{F}_k cth(\alpha_k H v_1^{-1}) - H,
 \end{aligned}$$

$$\tilde{A}_k = \left( \frac{R s_0 H^2 (I_0(\gamma_k v_1 R_1) - I_0(\gamma_k v_1 R_2))}{2n_1(R_2^2 - R_1^2)I_1(\gamma_k v_1 R)} - \frac{s_0}{v_1 \gamma_k^2} + \frac{H}{2} \right) \tilde{B}_k,$$

$$\begin{aligned}
 \tilde{B}_k = & \frac{\alpha_k}{2} (R_2^2 - R_1^2) J_0(\alpha_k R) \{ H \alpha_k (\tilde{c}_0 sh(\alpha_k H v_1^{-1}) + \tilde{c}_1 (1 - ch(\alpha_k H v_1^{-1}))(1 - s_0 sh(\alpha_k H v_1^{-1})) + \\
 & + (1 - ch^2(\alpha_k H v_1^{-1}))(v_1(\tilde{c}_0 + \tilde{c}_2 - \tilde{c}_1) - \tilde{c}_0 s_0)) \} / \{ \gamma_k (ch^2(\alpha_k H v_1^{-1}) - 1) [H(1 - \tilde{c}_0 + H(3\tilde{c}_0 + 2\tilde{c}_2 - \\
 & - 4\tilde{c}_1))(I_0(\gamma_k v_1 R_1) - I_0(\gamma_k v_1 R_2)) + \tilde{c}_2 n_1 (R_2^2 - R_1^2) I_0(\gamma_k v_1 R)] \},
 \end{aligned}$$

$$R = (R_2 - R_1)H(r - R_1) - (R_2 - R_1)H(r - R_2) + \delta(R_1)(2R_1 - R_2) + \delta(R_1)R_2,$$

$H(x)$  – the Heaviside function,  $\delta(x)$  – the Dirac function,  $L_\nu(x)$  – the modified Struve function,  $J_\nu(x)$ ,  $I_\nu(x)$  – the Bessel functions of the real and imaginary argument, respectively.

$$m_1 = \begin{cases} (\omega'_{111} n_1 - \omega'_{3113})(\omega'_{1133} + \omega'_{1313})^{-1}; \\ \lambda_1 q_1 n_1 (\lambda_3 q_3)^{-1}; \end{cases} \quad m_2 = \begin{cases} (\omega'_{1133} - \omega'_{1313})(\omega'_{1133} + \omega'_{1313})^{-1}, \\ 1, \end{cases} \quad s_0 = \frac{(1+m_2)}{(1+m_1)},$$

$$\tilde{c}_0 = \begin{cases} \omega'_{1111} \omega'_{1122}^{-1}, \\ \lambda_1 q_1 (\kappa'_{1133} + \kappa'_{1313})(\lambda_3 q_3 \kappa'_{1122})^{-1}, \end{cases} \quad \tilde{c}_1 = \begin{cases} m_1 \lambda_3 \omega'_{1133} (\omega'_{1122} n_1)^{-1}, \\ (\kappa'_{1133} m_1 - \kappa'_{3113})(\kappa'_{1122} n_1)^{-1}, \end{cases} \quad \tilde{c}_2 = \begin{cases} \lambda_3 \omega'_{1133} (m_2 - 1)(\omega'_{1122} n_1)^{-1}, \\ -\kappa'_{3113} (\kappa'_{1122} n_1)^{-1}, \end{cases}$$

Then we obtain formulas for the displacement components for compressible and incompressible bodies:

$$\begin{aligned}
 U_r^{(1)} = & - \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ 6\tilde{C}_0^{(k)} r (v_1^{-1} + 2z_1) + \gamma_k v_1 I_1(v_1 \gamma_k r) \left[ (\tilde{A}_k + v_1 z_1 \tilde{B}_k) \gamma_k \cos(\gamma_k v_1 z_1) + \tilde{B}_k \sin(\gamma_k v_1 z_1) \right] - \right. \\
 & \left. - \alpha_k J_1(\alpha_k r) \left[ \alpha_k v_1^{-1} (\tilde{S}_4(\alpha_k z_1) + v_1 z_1 \tilde{S}_5(\alpha_k z_1)) - \tilde{S}_3(\alpha_k z_1) \right] \right\} N_k
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_3^{(1)} = & \frac{\varepsilon}{R_1 - R_2} + \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ 12m_1 \tilde{C}_0^{(k)} z_1 v_1^{-1} (v_1^{-1} + z_1) + (1 - m_2) v_1^{-1} \left[ \tilde{A}_0^{(k)} + 3\tilde{C}_0^{(k)} (r^2 - 2z_1^2) \right] + \right. \\
 & \left. + \gamma_k I_0(\gamma_k v_1 r) \left[ (\tilde{A}_k + v_1 z_1 \tilde{B}_k) m_1 \gamma_k \sin(\gamma_k v_1 z_1) + (1 - m_2) \tilde{B}_k \cos(\gamma_k v_1 z_1) \right] - \right.
 \end{aligned}$$

$$-\alpha_k n_1^{-1} J_0(\alpha_k r) \left[ m_1 \alpha_k (\tilde{S}_2(\alpha_k z_1) + z_1 v_1 \tilde{S}_3(\alpha_k z_1)) + (m_2 - 1) v_1 \tilde{S}_5(\alpha_k z_1) \right] N_k.$$

And the components of the stress vector for  $y_3 = const$  and  $r = const$ , respectively:

$$\begin{aligned} Q_{33}^{(1)} &= C_{44} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ 12 \tilde{C}_0^{(k)} \left[ (1+m_1) l_1 (v_1^{-1} + z_1) + (1+m_2) l_2 z_1 \right] + \gamma_k^2 v_1^2 I_0(\gamma_k v_1 r) \left[ (1+m_1) l_1 \gamma_k (\tilde{A}_k + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + v_1 z_1 \tilde{B}_k) \cos(\gamma_k v_1 z_1) + (1+m_2) l_2 \tilde{B}_k \sin(\gamma_k v_1 z_1) \right] - \right. \\ &\quad \left. - \alpha_k^2 J_0(\alpha_k r) \left[ (1+m_1) l_1 \alpha_k v_1^{-1} (\tilde{S}_4(\alpha_k z_1) + v_1 z_1 \tilde{S}_5(\alpha_k z_1)) + (1+m_2) l_2 \tilde{S}_3(\alpha_k z_1) \right] \right\} N_k \\ Q_{3r}^{(1)} &= C_{44} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ -6 \tilde{C}_0^{(k)} r (1+m_2) v_1^{-1} + \gamma_k^2 v_1 I_1(\gamma_k v_1 r) \left[ (1+m_1) \gamma_k (\tilde{A}_k + v_1 z_1 \tilde{B}_k) \sin(\gamma_k v_1 z_1) - \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - (1+m_2) \tilde{B}_k \cos(\gamma_k v_1 z_1) \right] + \right. \\ &\quad \left. + \alpha_k^2 v_1^{-1} J_1(\alpha_k r) \left[ \alpha_k (1+m_1) (\tilde{S}_2(\alpha_k z_1) + v_1 z_1 \tilde{S}_3(\alpha_k z_1)) + (1+m_2) \tilde{S}_5(\alpha_k z_1) \right] \right\} N_k \quad (13) \\ Q'_{rr} &= -D_{44} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ 6 \tilde{C}_0^{(k)} \left[ v_1^{-1} (1 + \tilde{c}_0 - 2\tilde{c}_1) + (3 + \tilde{c}_0 - 4\tilde{c}_1 + 2\tilde{c}_2) z_1 \right] + \right. \\ &\quad \left. + \gamma_k v_1 \left( \gamma_k v_1 I_0(\gamma_k v_1 r) \left[ \gamma_k (\tilde{c}_0 - \tilde{c}_1) (\tilde{A}_k + z_1 v_1 \tilde{B}_k) \cos(\gamma_k z_1 v_1) + \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + (\tilde{c}_0 - \tilde{c}_1 + \tilde{c}_2) \tilde{B}_k \sin(\gamma_k z_1 v_1) \right] + (1 - \tilde{c}_0) I_1(\gamma_k v_1 r) r^{-1} \left[ \gamma_k \cos(\gamma_k z_1 v_1) (\tilde{A}_k + z_1 v_1 \tilde{B}_k) + \tilde{B}_k \sin(\gamma_k z_1 v_1) \right] \right) - \\ &\quad \left. - \alpha_k \left( \alpha_k J_0(\alpha_k r) \left[ \alpha_k v_1^{-1} \left\{ \tilde{c}_0 \tilde{S}_4(\alpha_k z_1) - \right. \right. \right. \right. \\ &\quad \left. \left. - \tilde{c}_1 \tilde{S}_2(\alpha_k z_1) \right\} + (\tilde{c}_0 - \tilde{c}_1 + \tilde{c}_2) \tilde{S}_3(\alpha_k z_1) \right] + (1 - \tilde{c}_0) J_1(\alpha_k r) r^{-1} \left[ \alpha_k v_1^{-1} \tilde{S}_4(\alpha_k z_1) + \tilde{S}_5(\alpha_k z_1) \right] \right) \right\} N_k, \end{aligned}$$

where  $\tilde{S}_4 = \tilde{E}_k ch(\alpha_k z_1) + \tilde{F}_k ch(\alpha_k z_1)$ ,  $\tilde{S}_5 = ch(\alpha_k z_1) + \tilde{M}_k sh(\alpha_k z_1)$ ,

$$\tilde{A}_0^{(k)} = \frac{v_1}{(R_1 - R_2)(1 - m_2)} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ (1+m_2) f_1(R_1, R_2) + \frac{v_1 \theta_1 (I_0(\gamma_k v_1 R_1) - I_0(\gamma_k v_1 R_2))}{R_1 + R_2} \right\} \gamma_k \tilde{B}_k,$$

$$\tilde{C}_0^{(k)} = \frac{v_1}{3(R_2^2 - R_1^2)} \sum_{k=1}^{\infty} \{ I_0(\gamma_k v_1 R_1) - I_0(\gamma_k v_1 R_2) \} \gamma_k \tilde{B}_k.$$

$$D_{44} = \begin{cases} \omega'_{1122}, \\ \kappa'_{1122} \end{cases} \quad C_{44} = \begin{cases} \omega'_{1313}, \\ \kappa'_{1313} \end{cases}$$

$$l_1 = \begin{cases} \omega'_{1313} (\omega'_{1331} + (\omega'_{1313} - \omega'_{1331})(\omega'_{1133} + \omega'_{1313})(\omega'_{1111} n_1 + \omega'_{1133})^{-1}); \\ \kappa'_{1313}^{-1} (\kappa'_{1331} + \lambda_3 q_3 (\kappa'_{1313} - \kappa'_{1331})) (\lambda_3 q_3 + \lambda_1 q_1 n_1)^{-1}; \end{cases}$$

$$l_2 = \begin{cases} (\omega'_{3333} (m_1 + m_2 - 1) - \omega'_{1133} n_1) (n_1 \omega'_{1313} (1 + m_2))^{-1}, \\ (\kappa'_{3333} m_1 + (\lambda_1^{-1} q_1^{-1} \lambda_3 q_3 \kappa'_{1111} - 2\kappa'_{1133} - \kappa'_{1313}) n_1 - 3\lambda_1^{-1} q_1^{-1} \lambda_3 q_3 \kappa'_{3113}) (2n_1 \kappa'_{1313})^{-1}. \end{cases}$$

Stress-strain state in the elastic half-space with initial (residual) voltage equal to root ( $n_1 = n_2$ ) is defined by harmonic function Hankel integrals. Having satisfied the third condition (7), the third - (8), after a number of transformations we have

$$\begin{aligned} U_3^{(2)} &= -\frac{1}{\omega_3} \int_0^{\infty} \frac{F(\eta)}{\eta} J_0(\eta r) d\eta, \quad U_r^{(2)} = \omega_1 \int_0^{\infty} \frac{F(\eta)}{\eta} J_1(\eta r) d\eta, \\ Q_{33}^{(2)} &= \frac{\omega_3}{R_2 - R_1} \int_0^{\infty} F(\eta) J_0(\eta r) d\eta, \quad Q_{3r}^{(2)} = 0, \end{aligned} \quad (14)$$

where  $\omega_3 = C_{44} l_1 (1 + m_1) (s - s_0)$ ,  $\omega_1 = s_0 - 1$ ,  $s = s_0 \frac{l_2}{l_1}$ .

### 3. Materials and Methods.

Using the solution for the cylinder (12) – (13) and satisfying the second condition (6), the second condition (9) and the second condition (10), we find the eigenvalues of the problem (6) – (11) (for the case of equal roots  $n_1 = n_2$ ):



$$\gamma_k = \frac{\pi(2k+1)}{H}, \alpha_k = \frac{\mu_k}{R} \quad (J_1(\mu_k) = 0). \tag{15}$$

Having satisfied the first conditions (7) and (8), we define the unknown function  $F(\eta)$  for (14) from the pairwise integral equations (for equal roots):

$$\int_0^\infty \frac{F(\eta)}{\eta} J_0(\eta\kappa) d\eta = f(r) \quad (R_1 < r < R_2), \int_0^\infty F(\eta) J_0(\eta r) d\eta = 0 \quad (0 < r < R_1, R_2 < r < \infty), \tag{16}$$

where  $f(r) = \frac{\omega_3 \varepsilon}{R_2 - R_1} + \sum_{k=1}^\infty \left\langle (\tilde{A}_0^{(k)} + 3r^2 \tilde{C}_0^{(k)}) \frac{1-m_2}{v_1} + \gamma_k I_0(\gamma_k v_1 r) (1-m_2) \tilde{B}_k - \frac{\alpha_k}{n_1} J_0(\alpha_k r) (m_1 \alpha_k \tilde{F}_k + v_1 (m_2 - 1)) \right\rangle N_k$ .

The application of the inversion formula to (16) leads to an integral equation of the Fredholm's type of the second kind with respect to the function  $F(\eta)$ , that is

$$\frac{F(\eta)}{\eta} = \frac{2\omega_3}{\pi(R_2 - R_1)} \left\langle \varepsilon + \sum_{k=1}^\infty \left[ (1+m_2) f_1(R_1, R_2) + \frac{I_0(\gamma_k v_1 R_1) - I_0(\gamma_k v_1 R_2)}{R_2 + R_1} (v_1 \theta_1 - (1-m_2)(R_2^2 - R_1^2)) \gamma_k \tilde{B}_k \psi_0(\eta, 0) + (R_1 - R_2) \left\{ \gamma_k \psi_0(\eta, i\gamma_k v_1 (R_2 - R_1)) (1-m_2) \tilde{B}_k + \frac{\alpha_k}{n_1} \psi_0(\eta, \mu_k) ((1-m_2)v_1 - s_0 m_1) \right\} \right] N_k \right\rangle, \tag{17}$$

where где  $\psi_n(x, y) = \int_0^1 t^n \cos xt \cos ytdt$ ,  $\psi_0(x, y) = \frac{x \sin x \cos y - y \sin y \cos x}{x^2 - y^2}$ ,  $\psi_0(x, 0) = \frac{\sin x}{x}$ ,

$$\psi_0(x, iy) = \frac{x \sin x \cosh y + y \sinh y \cos x}{x^2 + y^2}, \quad \psi_0(0, iy) = \frac{\sinh y}{y}.$$

Having satisfied the second boundary condition (7), we have

$$\int_0^\infty \frac{F(\eta)}{\eta} (J_1(\eta R_2) - J_1(\eta R_1)) d\eta = C_{44} \sum_{k=1}^\infty \left\langle 2l_1(1+m_1) \gamma_k (I_0(\gamma_k v_1 R_1) - I_0(\gamma_k v_1 R_2)) \tilde{B}_k + \gamma_k^2 v_1 l_1 (1+m_1) (R_2 I_1(\gamma_k v_1 R_2) - R_1 I_1(\gamma_k v_1 R_1)) \tilde{A}_k - \alpha_k (R_2 J_1(\alpha_k R_2) - R_1 J_1(\alpha_k R_1)) \left( \frac{l_1}{v_1} (1+m_1) \alpha_k \tilde{E}_k + (1+m_2) l_2 \tilde{M}_k \right) \right\rangle N_k.$$

Having satisfied the first two boundary conditions (7), taking into account the orthogonality of the Bessel functions  $J_0(\mu_k \rho)$  and the values of the integrals

$$\int_0^\infty \eta \psi_n(\eta, \mu_k) d\eta \int_0^1 \rho J_0(\eta \rho) J_0(\mu_k \rho) d\rho = \psi_n(\mu_n, \mu_k), \quad \int_0^\infty \psi_0(\eta, \mu_k) J_1(\eta) d\eta = \psi_0(0, \mu_k),$$

$$\int_0^\infty \psi_0(\eta, 0) J_1(\eta) d\eta = 1,$$

$$\int_{R_1}^{R_2} \rho J_0(\mu_k \rho) J_0(\mu_n \rho) d\rho = \frac{1}{\mu_k^2 - \mu_n^2} (R_1 \mu_n J_0(\mu_k R_1) J_1(\mu_n R_1) - R_1 \mu_k J_0(\mu_n R_1) J_1(\mu_k R_1) - R_2 \mu_n J_0(\mu_k R_2) J_1(\mu_n R_2) + R_2 \mu_k J_0(\mu_n R_2) J_1(\mu_k R_2)).$$

to determine the constants  $N_i$  ( $i = 0, 1, 2, \dots$ ) that occur in (12) - (14) and (16), we obtain an infinite system of algebraic equations

$$\sum_{n=0}^\infty \tau_{kn} \chi_n = \beta_k \quad (k = 0, 1, 2, \dots). \tag{18}$$

We represent the coefficients of the system in the form

$$\tau_{kn} = \left\{ (1+m_2) f_1(R_1, R_2) + \frac{I_0(\gamma_n v_1 R_1) - I_0(\gamma_n v_1 R_2)}{R_1 + R_2} (v_1 \theta_1 - (R_2^2 - R_1^2) (1-m_2)) \right\} \gamma_n \tilde{B}_k + (R_1 - R_2) \left\{ \gamma_n \tilde{B}_k (1-m_2) \psi_0(0, i\gamma_n v_1 R) + \frac{\alpha_n}{n_1} \psi_0(0, \mu_n) ((1-m_2)v_1 + m_1 s_0) \right\} - C_{44} \left\{ 2(1+m_1) l_1 \gamma_n \tilde{B}_k (I_0(\gamma_n v_1 R_1) - I_0(\gamma_n v_1 R_2)) + \gamma_n^2 (1+m_1) l_1 v_1 (R_2 I_1(\gamma_n v_1 R_2) - R_1 I_1(\gamma_n v_1 R_1)) \tilde{A}_k - \alpha_n (R_2 J_1(\alpha_n R_2) - R_1 J_1(\alpha_n R_1)) ((1+m_1) l_1 v_1^{-1} \alpha_n \tilde{E}_k + (1+m_2) l_2 \tilde{M}_k) \right\},$$

$$\beta_k = \frac{2\omega_3 \varepsilon}{\pi R_1 R_2}$$

Using the equilibrium condition (11), we establish the relationship between the draft and the resultant load  $P$  in the form

$$P = -\frac{4\omega_3^2 \varepsilon}{(R_2 - R_1)R_2 R_1} \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ [I_0(\gamma_k v_1 R_1) - I_0(\gamma_k v_1 R_2)] (v_1 \theta_1 - (R_2^2 - R_1^2)(1 - m_2)) \gamma_k - (1 - m_2) v_1^{-1} sh(\gamma_k v_1 (R_2 - R_1)) \right\} \tilde{B}_k + v_1^{-1} \sin \mu_k ((m_2 - 1) v_1 - s_0 m_1) \left. \right\} N_k$$

Having determined the unknown constants  $N_i$  ( $i=0,1,2,\dots$ ) from the system (18), we calculate the displacements and stresses both in the elastic stamp and in the elastic half-space by the formulas (12) - (14). As a result, we represent the solution in the form of series through an infinite system of constants, which are determined from the system of linear algebraic equations (18). Moreover, in the system (18) the coefficients  $\beta_k$  and  $\tau_{kn}$  depend on the quantities that determine the structure of the elastic potential, the height of the elastic stamp  $H$ , and the free terms depend only on the roots of the characteristic equation  $n_1, n_2$ .

**4. Numerical analysis.** The numerical solution of the system (18) is carried out in the work by the reduction method for the harmonic potential at such values of the parameters:  $R_1=1.0, R_2=2.0, \varepsilon=10^{-5}, E$

$=3.92, \sigma=0.47, \lambda_1=0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 1.1, 1.2, 1.3,$  where  $R_1 \leq r \leq R_2$ . The algorithm for solving this problem is implemented in the form of a computer program in the package Maple 17.

On Fig. 2, 3, there are, respectively, the distribution of the normal contact voltage  $\frac{1}{\varepsilon} Q_{33}$  and displacement  $\frac{1}{\varepsilon} U_3$  under the ring stamp in the contact zone in dimensionless coordinates. Moreover, the values of the elongation coefficients  $\lambda_1$  correspond to the curves from the bottom up ascending  $\lambda_1$ . The dotted curves correspond to a half-space without initial stresses ( $\lambda_1 = 1$ ), and solid curves correspond to initial (residual) stresses.

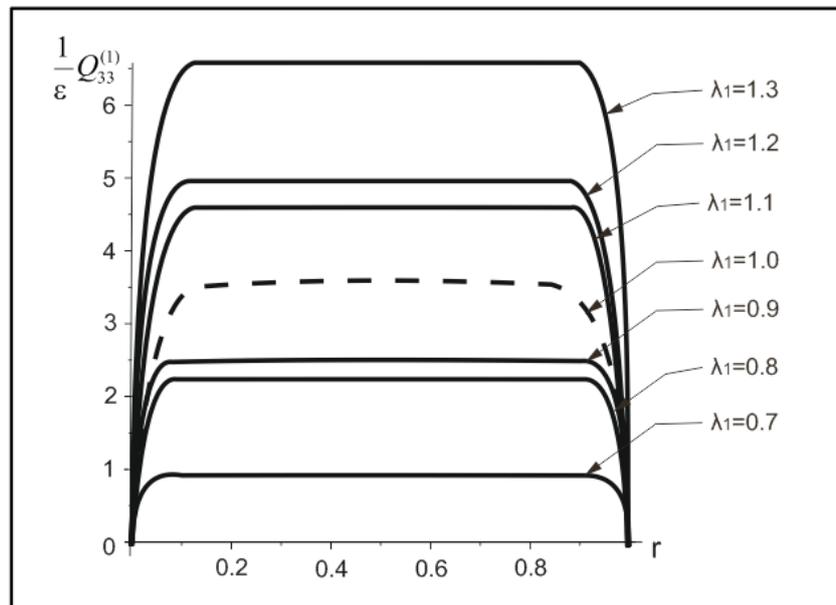


Fig. 2. Normal contact voltages. Harmonic potential

On Fig. 2, the origin along the  $r$  axis corresponds to the value.

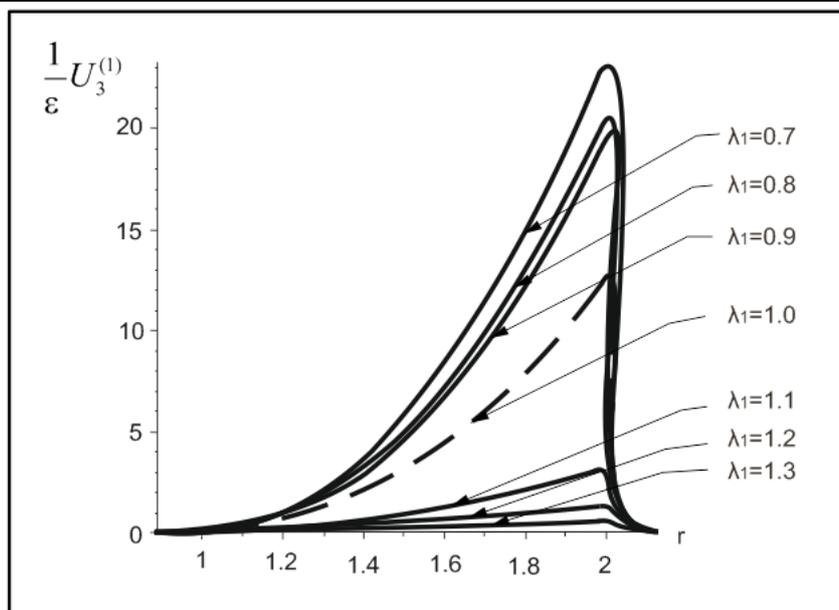


Fig. 3. Normal contact movements. Harmonic potential

The quantitative characteristics of the influence of the initial (residual) stresses (in percent) with respect to the half-space and the ring stamp without initial stresses are presented in Table 1.

Table 1.

Influence of initial stresses on the contact interaction of an elastic half-space and an elastic ring stamp (potential of a harmonic type).

$\sigma_{33} / \sigma_0$	Decrease, %				Increase, %			
$\lambda_1$ $r$	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	
0.1	72.6	25.5	33.1	0	37.4	48.3	96.9	
0.2	74.3	30.1	37.4	0	28.6	38.7	84.1	
0.3	74.4	30.3	37.7	0	28.0	38.1	83.4	
0.4	74.4	30.4	37.7	0	28.0	38.1	83.3	
0.5	74.4	30.4	37.7	0	28.0	38.1	83.3	
0.6	74.4	30.4	37.7	0	28.0	38.1	83.3	
0.7	74.4	30.3	37.7	0	28.0	38.1	83.4	
0.8	74.3	30.1	37.4	0	28.6	38.7	84.1	
0.9	72.6	25.5	33.1	0	37.4	48.3	96.9	

From Table 1, we can see that the initial (residual) stresses under compression lead to a decrease in the stress force in the elastic ring stamp and half-space, and when stretching, they increase.

Table 2.

Numerical values of the force  $P/\epsilon$ .

Потенциал гармонического типа	$\lambda_1$	0,7	0,8	0,9	<b>1</b>	1,1	1,2
	$P/\epsilon$		0,3458	0,4128	0,4401	<b>0,4521</b>	0,4567

Table 2 also shows the ratio of the numerical values of the force  $P$ , which acts on the upper end of the resilient stamp, for given initial (residual) stresses with a case without initial stresses. The case without initial (residual) stresses is highlighted in table 2 in bold type.

**Conclusions and offers.** On the basis of numerical analysis, it can be seen that the maximum values of contact displacements (Fig. 3) are achieved at points slightly closer to the outer side of the elastic ring stamp in the contact area.

In addition, it follows from numerical studies that, under constant external loading, a change in the elastic

potential leads to a change in the character of the distribution of contact stresses and displacements under an elastic ring stamp. And the influence of the initial (residual) stresses on the stress-strain state of the elastic half-space, into which the elastic ring stamp is pressed, is as follows:

4.3.1. The initial (residual) stresses in the half-space and the stamp are reduced in the case of compression ( $\lambda_1 < 1$ ) to a decrease in stress, and in the case of tension ( $\lambda_1 > 1$ ) - to increase (Fig. 2, Table 1);

4.3.2. In the case of displacements (Fig. 3) - on the contrary. With compression ( $\lambda_1 < 1$ ), the initial (residual) stresses in the half-space and stamp cause an increase in displacements in absolute value, and in the case of stretching ( $\lambda_1 > 1$ ) - to reduce them. And for contact movements unsafe are the initial (residual) stresses in the case of compression, and for contact stresses - in the case of stretching;

4.3.3. In the absence of initial (residual) stresses ( $\lambda_1=1$ ), the results obtained coincide with the classical ones [26].

4.3.4. It also follows from Table 2 that for a constant value of the end face of stamp  $\varepsilon$  for a potential of a harmonic type, the presence of initial (residual) stresses leads to the following:

4.3.4.1. In the case of compression ( $\lambda_1 < 1$ ) - the resultant load  $P$  decreases;

4.3.4.2. In the case of stretching ( $\lambda_1 > 1$ ) - the resultant load  $P$  increases.

Analysis of the research results shows that the presence of a prestressed state in the contact interaction of an elastic ring stamp and an elastic half-space makes it possible to regulate the contact of stress and displacement when calculating the design and details of the mechanisms for strength.

Therefore, the practical significance of the findings of the study is that:

1. This research is aimed to solving the spatial axisymmetric static problem of the pressure of an elastic ring stamp on an elastic half-space with allowance for the initial stressed state. The results of the investigations made it possible to formulate the characteristic ratios for the potentials of an arbitrary structure for the components of the stress-strain state in the contact zone;

2. Analytical relations are obtained that reflect the influence of initial stresses on the law of distribution of contact stresses and displacements;

3. The principle of solution proposed in the article can be used to study various isotropic, transversal-isotropic or composite materials in the design of process equipment, columns of buildings and other structures.

The value of the studies carried out is that taking into account the influence of the initial (residual) stresses in the bodies on the law of distribution of the contact characteristics of elastic bodies at the points of their interaction can allow us to take into account, more effectively, the wear resistance of materials by properly estimating their strength reserves. Also, it can sufficiently reduce their material consumption, while retaining the necessary functional characteristics of materials.

Consequently, the observed effect of the initial (residual) stresses is significant and must be taken into account when calculating the strength in structural details.

### References.

1. Guz A. N. Effect of Prestresses on the Dispersion of Lamb Waves in a System Consisting of a Viscous Liquid Layer and a Compressible Elastic Layer. /

A. N. Guz, A. M. Bagno // International Applied Mechanics. - 2018. - 54(3). - Pp. 249-258. <https://doi.org/10.1007/s10778-018-0877-z>.

2. Babich S. Yu. Bending a Plate on Prestressed Elastic Foundation Under Live Static Load. / S. Yu. Babich, Yu. P. Glukhov // International Applied Mechanics. - 2017. - 53(3) - Pp. 287-299. <https://doi.org/10.1007/s10778-017-0810-x>.

3. Rudnitskii V. B. Interaction Between an Infinite Stringer and Two Identical Prestressed Strips: Contact Problem. / V. B. Rudnitskii, N. N. Dikhtyaruk // International Applied Mechanics. - 2017. - 53(2). - Pp. 149-155. <https://doi.org/10.1007/s10778-017-0800-z>.

4. Rushchitsky J.J. Auxetic metamaterials from the position of mechanics: linear and nonlinear models. / J.J. Rushchitsky // Dopov. Nac. akad. nauk Ukr. - 2018. - 7. - Pp. 46-58. doi: <https://doi.org/10.15407/dopovidi2018.07.046>.

5. Hutchinson J. W. Nonlinear Buckling Interaction for Spherical Shells Subject to Pressure and Probing Forces. / J. W. Hutchinson, J.M.T. Thompson // Journal of Applied Mechanics. - 2017. - 84(6). - 061001. doi:10.1115/1.4036355.

6. Гузь А.Н. Смешанные задачи для упругого основания с начальными напряжениями. / А.Н. Гузь, С.Ю. Бабич, Ю.П. Глухов // Германия, Saarbrücken LAPLAMBERT Academic Publishing. - 2015. - 468 с.

7. Гузь А.Н. Основы теории контактного взаимодействия упругих тел с начальными (остаточными) напряжениями [Текст]. / А.Н. Гузь, В.Б. Рудницкий // - Хмельницький, вид. ПП Мельник. - 2006. - 710 с.

8. Guz A.N. Elastic waves in bodies with initial (residual) stresses. /A.N. Guz// Int. Appl. Mech. - 2002. - 38(1). - Pp. 23-59. <https://doi.org/10.1023/A:1015379824503>.

9. Guz A. N. Mixed plane problems in linearized solid mechanics. Exact solutions. / A.N. Guz, I.A. Guz // Int. Appl. Mech. - 2004. - 40(1). - Pp. 1-29. <https://doi.org/10.1023/B:INAM.0000023808.08859.48>.

10. Guz A. N. The stability of the interface between two bodies compressed along interface cracks. 3. Exact solutions for the combined case of equal and unequal roots. / A.N. Guz, I.A. Guz // Int. Appl. Mech. - 2000. - 36(6). - Pp. 759 - 768. <https://doi.org/10.1007/BF02681983>.

11. Kappus R. Zur Elastizitätstheorie endlicher Verschiebung / R Kappus // ZAMM. - 1939. - 19, №5. - p. 271 - 285, №6 - p. 344 - 361.

12. Гузь О.М. Контактна взаємодія пружних тіл з початковими напруженнями: Навчальний посібник. / О.М. Гузь, С.Ю. Бабич, В.Б. Рудницький // - К.: Вища школа. - 1995. - 304 с.

13. Guz A.N. Establishing the fundamentals of the theory of stability of mine workings. / A.N. Guz // Int. Appl. Mech. 2003. - 39(1). - Pp. 20-48. <https://doi.org/10.1023/A:1023659931802>.

14. Guz A.N. The physical fundamentals of the ultrasonic nondestructive stress analysis of solids. / A.N. Guz, F.G. Makhort // Int. Appl. Mech. - 2000. - 36(9).

- Pp.1119–1149.  
<https://doi.org/10.1023/A:1009442132064>.
15. Babich S. Yu. Contact problems for prestressed elastic bodies and rigid and elastic punches. / S.Yu. Babich, A.N. Guz, V.B. Rudnitsky // *Int. Appl. Mech.* – 2004. – 40(7). – Pp. 744 – 765. <https://doi.org/10.1023/B:INAM.0000046219.34646.4e>.
16. Gabruseva I.Yu. Contact interaction of circular punch with prestressed isotropic layer. / I.Yu. Gabruseva, B.G. Shelestovsky // *Mathematical methods and physico-mechanical fields.* – 2011. – 54(3). – Pp. 138–146.
17. Yaretskaya, N. A. Three-Dimensional Contact Problem for an Elastic Layer and a Cylindrical Punch with Prestresses / N. A. Yaretskaya // *International Applied Mechanics.* – 2014. – 50(4). – Pp. 378–388. <https://doi.org/10.1007/s10778-014-0641-y>
18. Yaretska N.O. Pressure of the stiff cylindrical annular punch on semispace with initial (residual) stresses. / N. O. Yaretska // *Visnyk of Zaporizhzhya National University. Physical and Mathematical Sciences* – 2017. – №1. – s. 374 – 380.
19. Babich S.Yu. Contact problems for elastic bodies with initial stresses: Focus on Ukrainian research. / S.Yu. Babich, A.N. Guz, V.B. Rudnitsky // *Appl. Mech. Reviews.* – 1998. – 51(5). – Pp. 343- 371. doi:10.1115/1.3099009.
20. Neuber H. Theorie der elastischen Stabilitat bei nichtlinearer Vorverformung. / H. Neuber // *Acta mech.* – 1965. – 1(3). – Pp. 112-143.
21. Aleksandrov V. M. Contact problems for prestressed deformed bodies. / V. M. Aleksandrov, N. Ky. Arutyunyan // *Soviet Applied Mechanics.* – 1984. – 20(3). – Pp. 209–215. <https://doi.org/10.1007/BF00883134>.
22. Vasu T.S. A Study of the Contact of an Elastic Layer-Substrate System Indented by a Long Rigid Cylinder Incorporating Surface Effects. / T.S. Vasu, T.K. Bhandakkar // *Journal of Applied Mechanics.* – 2016. – 83(6). – Pp. 061009. doi:10.1115/1.4033079.
23. Long J. General Relations of Indentations on Solids With Surface Tension. / J. Long, Y. Ding, W. Yuan, W. Chen, G. Wang // *Journal of Applied Mechanics.* – 2017. – 84, №5. – p. 051007, Paper No: JAM-17-1002. doi:10.1115/1.4036214.
24. Zheng P. Dynamic Green's Functions and Integral Equations for a Double-Porosity Dual-Permeability Poroelastic Material. / P. Zheng, A.H.-D. Cheng, H. Li // *Journal of Applied Mechanics.* – 2017. – 84, №6. – p. 061009, Paper No: JAM-17-1049. doi:10.1115/1.4036439.
25. Развитие теории контактных задач в СССР / под ред. Л. А. Галина. – М.: Наука, 1976. – 494 с.
26. Грилицкий Д.В. Осесимметричные контактные задачи теории упругости и термоупругости. / Д.В. Грилицкий, Я.М. Кизыма // – Львов: Вища школа, 1981. – 136 с.

## ХИМИЧЕСКИЕ НАУКИ

**Bahmanova F.N.**

*PhD, researcher, Baku State University*

**Hajiyeva S.R.**

*doctor of science, professor, Baku State University*

**Alirzayeva E.N.**

*graduate student, Baku State University*

**Shamilov N.T.**

*doctor of science, professor, Baku State University*

**Chyragov F.M.**

*doctor of science, professor, Baku State University*

**Бахманова Фидан Нариман**

*К.х.н., Бакинский государственный университет*

**Гаджиева Севиндж Рафик**

*Д.х.н., проф., Бакинский государственный университет*

**Алирзаева Эльнара Нугзари**

*Аспирантка, Бакинский государственный университет*

**Шамилов Назим Тельман**

*Д.х.н., проф., Бакинский государственный университет*

**Чырагов Фамиль Муса**

*Д.х.н., проф., Бакинский государственный университет*

### **EXTRACTION OF URANIUM FROM WATER ИЗВЛЕЧЕНИЕ УРАНА ИЗ ВОДЫ**

**Summary:** The process of extracting of uranium from environmental objects using the method of pre-concentration has been investigated. The use of preconcentration with a chelating sorbent based on maleic anhydride with styrene makes it possible to practically completely extract uranium. The optimal conditions for the sorption of uranium by the sorbent are determined. The effect of time, ionic strength, metal concentration on the equilibrium properties of cation with respect to uranium ions was studied. The process of desorption of the absorbed metal from the sorbent was also studied.

**Key words:** *uran, toxicity, pollution, water, sorbent, concentration, desorption*

**Аннотация:** Исследован процесс извлечения урана из объектов окружающей среды с использованием метода предварительного концентрирования. Применение предварительного концентрирования хелатообразующим сорбентом на основе малеинового ангидрида со стиролом позволяет практически полностью извлечь уран. Определены оптимальные условия сорбции урана сорбентом. Исследовано влияние времени, ионной силы, концентрации металла на равновесные свойства катионита по отношению к ионам урана. Так же был изучен процесс десорбции поглощенного металла из сорбента.

**Ключевые слова:** *уран, токсичность, загрязнение, вода, сорбент, концентрирование, десорбция*

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Уран является одним из наиболее токсичных металлов, содержание которых подлежит обязательному контролю при оценке качества питьевой воды, пищевых продуктов и сырья, лекарственных препаратов и т.д. Присутствие радиоактивных элементов в почве и воде плохо влияет на здоровье людей. В результате присутствия в почве урана овощи, выращиваемые на этой земле, бывают радиоактивными. Эти продукты путем принятия пищи переходят в организм человека и приводят к плохим последствиям. В воде присутствие урана тоже нежелательно. Животные, обитающие в этой воде, путем пищи перейдя в организм людей, приводят к плохим последствиям.

Известен ряд способов извлечения урана из природных и технологических растворов, в частно-

сти сорбция. В качестве сорбентов для урана предложены многочисленные соединения – полимеры диоксида кремния [10], биологические сорбенты [13], бентонит [14], поливиниловые полимеры [6, 8], магнитные композиты [9, 11, 12]. У всех перечисленных сорбентов есть определенные недостатки. Сорбция некоторых из них сильно зависит от ионной силы раствора [10, 14]; у некоторых сорбентов сорбция не происходит при комнатной температуре, нужно нагревать до определенной температуры [8, 13]; у некоторых сорбентов оптимальная сорбционное равновесие достигается при длительном контакте (6-10 часов) [8, 14], низка сорбционная емкость [6, 8-14] и т.д.

Использование селективных высокоемкостных сорбентов позволяет извлечь компонент из сложной смеси. Даже в таких сложных случаях, ко-

гда содержание извлекаемого компонента не превышает долей или единиц процентов, правильно выбранный сорбент обеспечивает увеличение количества компонента элюата в несколько раз. Ранее мы исследовали сорбцию урана хелатообразующими сорбентами на основе со полимера малеинового ангидрида со стиролом, содержащими фрагменты гидрофобных аминов [2, 5].

Изучение сорбции урана (VI) с хелатообразующим сорбентом на основе малеинового ангидрида содержащего фрагменты стрептоцида с последующим определением этих ионов методом фотометрической спектрометрии, для извлечения урана(VI) из воды, является целью данной работы.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В качестве сорбента был использован катионит, синтезированный, путем модификации сополимера малеинового ангидрида со стиролом соответствующим аминов в присутствии формалина [1].

Исходный раствор урана (VI) готовили растворением точной навески соли металла  $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$  (х.ч) в дистиллированной воде [3]. Исходные растворы Al(III), Cd(II), Co(II), Cr(III), Cu(II), Fe(III), Mn(II), Ni(II), Pb(II), Sr(II), Zn(II) готовили растворением точных навесок хлоридов металлов в 1М соляной кислоте. Рабочие растворы получали соответствующим разбавлением исходных растворов.

Для создания необходимой кислотности использовали фиксаж HCl (pH 1-2) и аммиачно-ацетатные буферные растворы (pH 3-11). Ионную силу растворов устанавливали добавлением KCl.

Содержание урана определяли по методике [7] фотометрического анализ с помощью 2,2',3,4-тетрагидрокси-3'-сульфо-5'-хлоразобензола. Анализ выполняли на спектрофотометре КФК 2. Степень извлечения урана (R, %) рассчитывали по формуле:

$$R = [(C_0 - C_k) / C_0] \times 100$$

Здесь  $C_0$  - исходная концентрация урана, моль/л;  $C_k$  - концентрация урана после его извлечения, моль/л.

Для проведения эксперимента сорбции в статическом режиме в пробирку с притертой пробкой вводили 2 мл  $10^{-2}$  моль/л водного раствора металла, добавляли аммиачно-ацетатный буферный раствор для создания необходимой кислотности до общего объема 20 мл. Вносили 0.05 г сорбента пробирку, закрывали пробкой и оставляли стоять в зависимости от поставленной задачи. Раствор от сорбента отделяли фильтрацией.

На основе полученных результатов рассчитывали коэффициент распределения урана  $K_d$  (в  $cm^3/g$ ) и статическую обменную емкость (COE, в мг/г) по ниже следующим формулам:

$$K_d = \frac{(C_0 - C)V}{Cm}$$

$$COE = \frac{(C_0 - C)V}{m}$$

Здесь,  $C$  - равновесная концентрация урана после сорбции,  $V$ -объем раствора,  $m$ -масса сорбента.

Десорбцию исследовали с использованием разных минеральных ( $HClO_4$ ,  $H_2SO_4$ ,  $HNO_3$ ,  $HCl$ ) и органической ( $CH_3COOH$ ) кислоты. Затем твердую и жидкую фазу отделяли. Концентрацию урана определяли в десорбате.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Потенциометрическое титрование.** Кислотно-основные константы ионизации полимерных сорбентов являются одними из основных свойств. Что бы определить константу ионизации сорбента в начале была изучена его полная статическая сорбционная емкость по иону  $K^+$  ( $CCE_{K^+} = 6.4$  ммоль/г) и известной методикой было проведено потенциометрическое титрование [4].

На основе результатов потенциометрического титрования была построена дифференциальная кривая титрования  $\frac{\Delta pH}{\Delta V} - f(V_{кон})$ .

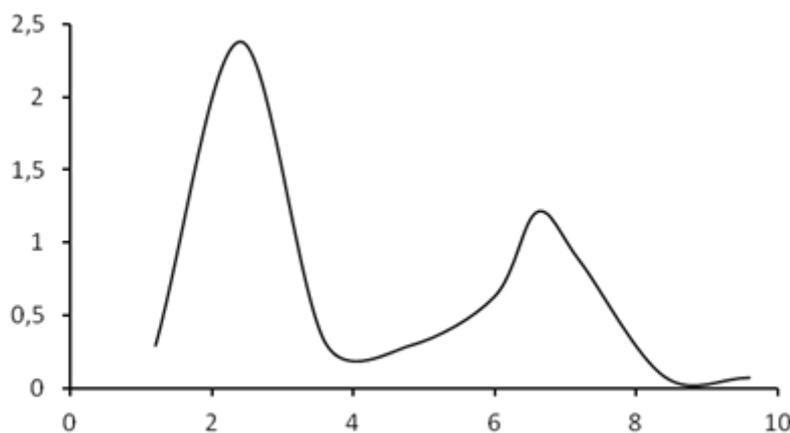
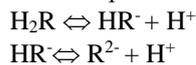


Рис.1. Дифференциальная кривая титрования сорбента.

Из рис 1 видно, что полученный сорбент содержит две разные ионогенные группы. Так что ионизация сорбента происходит в двух стадиях:



Чтобы определить константы ионизации сорбента можно использовать данные дифференциальной кривой титрования. Результаты были приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Экспериментальные данные для расчета констант ионизации сорбента

$\alpha$	$\frac{\alpha}{1-\alpha}$	$\lg \frac{\alpha}{1-\alpha}$	$V_{\text{кон}}, \text{ml}$	pH	pK <sub>1</sub>	$\alpha$	$\frac{\alpha}{1-\alpha}$	$\lg \frac{\alpha}{1-\alpha}$	$V_{\text{кон}}, \text{ml}$	pH	pK <sub>2</sub>
0.1	0.(1)	-0.954	0.3	2.21	5.76	0.1	0.(1)	-0.954	3.12	6.89	8.90
0.2	0.25	-0.602	0.6	2.40	4.88	0.2	0.25	-0.602	3.24	7.06	8.44
0.3	0.43	-0.368	0.9	2.62	4.29	0.3	0.43	-0.368	3.36	7.24	8.14
0.4	0.(6)	-0.176	1.2	2.94	3.81	0.4	0.(6)	-0.176	3.48	7.44	7.89
0.5	1.0	0.000	1.5	3.87	3.37	0.5	1.0	0.000	3.60	7.66	7.66
0.6	1.5	0.176	1.8	3.95	2.93	0.6	1.5	0.176	3.72	7.89	7.43
0.7	2.(3)	0.368	2.1	4.58	2.45	0.7	2.(3)	0.368	3.84	8.13	7.18
0.8	4.0	0.602	2.4	5.28	1.86	0.8	4.0	0.602	3.96	8.38	6.88

Константа ионизации сорбента была рассчитана модифицированным уравнением Гандерсон-Гассельбаха [4]. Измерив, значение pH растворов над сорбентом для каждого значения  $\alpha$ , строили за-

висимость  $pH = f\left(\lg \frac{\alpha}{1-\alpha}\right)$ . По величине тангенса угла наклона прямой вычисляли параметры  $m(\text{tg } \alpha = m)$ . Графическое определение константы ионизации сорбента показано на рисунке 2.

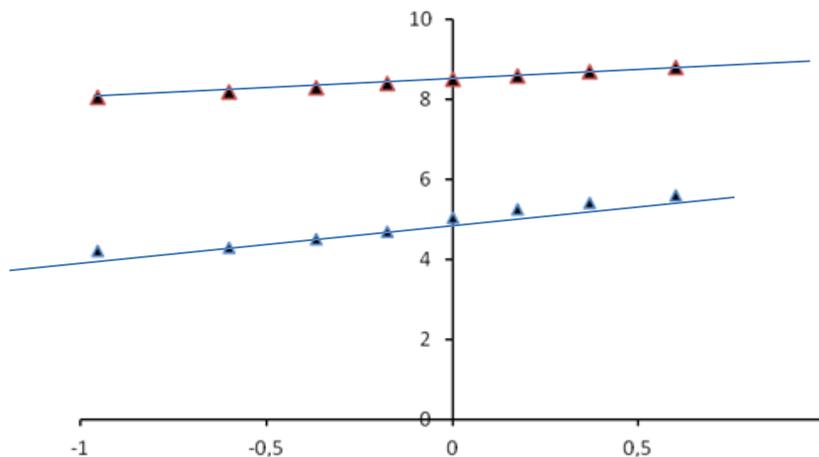


Рис.2. Графическое определение константы ионизации сорбента:  $pK1(\text{граф})=3.37$ ,  $pK2(\text{граф})=7.66$ ,  $m1=2.3740$ ;  $m2=1.3325$ ; ( $pK1$ - характеризует ионизацию карбоксильных групп,  $pK2$ - депротонизация аминовых групп).

В представленной работе основное внимание было уделено изучению влияния на сорбцию урана pH среды, времени, ионной силы, концентрации ионов металла в растворе, а также кинетическим свойствам сорбентов.

Максимальная степень извлечения урана сорбентами достигается из растворов с pH 5. Было исследовано зависимость сорбции от времени. Результаты исследования показали, что сорбционное равновесие достигается после 2-х часов контакта сорбента с металлом. Для всех дальнейших экспериментов время для установления сорбционного равновесия составило 2 часа.

**Влияние ионной силы** раствора изучено фотометрическим методом. Уран(VI) сорбировали из растворов, содержащих 0,1-1,4 М KCl. Результаты

исследования показали, что значительное уменьшение сорбции металла происходит из растворов KCl с концентрацией более 0.8.

**ОДНИМ ИЗ ОСНОВНЫХ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ СОРБЦИОННЫХ РАВНОВЕСИЙ ЯВЛЯЮТСЯ ИЗОТЕРМЫ СОРБЦИИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ЗАВИСИМОСТЬ ВЕЛИЧИНЫ СОРБЦИИ ВЕЩЕСТВА ОТ ЕГО РАВНОВЕСНОЙ КОНЦЕНТРАЦИИ В РАСТВОРЕ.**

С увеличением концентрации уранильного иона в растворе увеличивается количество сорбированного металла, а при концентрации равной  $6 \cdot 10^{-3}$  моль/л становится максимально ( $pH=5$ ,

$C_{\text{UO}_2^{2+}} = 6 \cdot 10^{-3}$  моль/л,  $v_{\text{об.}} = 20$  мл,  $m_{\text{сорб.}} = 0.05$  г,  $c_e = 500$  мг/г).

Изучена возможность десорбции урана (VI) растворами разных минеральных кислот (HCl, HClO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Получены данные по степени элюирования урана в зависимости от концентрации кислот, объема элюента и выбраны условия проведения полной десорбции (98-100%): 5 мл 2М HNO<sub>3</sub>.

После определения оптимальных условий концентрирования разработанный метод успешно применен для определения микроколичеств

урана(VI) в воде **изъятая из Амировского нефтегазодобывающего департамента** (Азербайджан) с предварительным концентрированием (табл. 2). Правильность методики проверяли методом «γ-спектроскопии» (табл. 2).

**Выполнение анализа.** 30 мл отфильтрованной анализируемой пробы доводили до нужного значения pH добавлением HNO<sub>3</sub> и оставляли на 2 часа в круглодонной колбе со 100 мг сорбента. Сорбированные ионы металлов элюировали 5 мл 2 М HNO<sub>3</sub>. В элюате концентрацию урана определяли фотометрическим методом. Результаты рассчитывали в предположении 100%-ного извлечения урана.

Таблица 2.

Результаты анализа морской воды (объем пробы 30 мл; объем элюента 5 мл;  $m_{\text{сорб.}} = 100$  мг;  $\lambda = 490$  нм,  $l = 1$  см,  $p = 0.95$ ;  $n = 5$ )

найденно $\bar{X} \pm \frac{t_{pS}}{\sqrt{n}}$ , мг/л предлагаемой методикой	Найденно γ-спектроскопией, мг/л
44.1 ± 0.7	44.4 ± 0.9

**Вывод.** Полученные данные показали, что синтезированный сорбент может быть использован для концентрирования урана из растворов типа природных вод, что может быть использовано для его радиоаналитического определения. Возможно многократное использование регенерированного сорбента для концентрирования.

#### Список литературы

1. Алиева Р.А., Гамидов С.З., Чырагов Ф.М. Изучение сорбции Zn(II) химически модифицированным синтетическим сорбентом. *Вестник БУ*, 2007. № 2. с. 28-34.
2. Басаргин Н.Н., Магеррамов А.М., Гаджиева С.Р., Бахманова Ф.Н., Гамидов С.З., Алиева Т.И., Чырагов Ф.М. Определение урана(VI) в природных водах после предварительного концентрирования сорбентом содержащим фрагменты м-амино фенола. *Журнал аналитической химии*. - 2013. - 68, №2. - с. 136-139. DOI: 10.7868/80044450213020035 (Basargin N.N., Magerramov A.M., Gadzhieva, S.R., Bahmanova, F.N., Gamidov, S.Z., Alieva, T.I., Chyragov F.M. Determination of uranium(VI) in natural waters after pre-concentration on adsorbent containing m-aminophenol fragments. *Journal of Analytical Chemistry*, 2013, Vol. 68, No. 2, pp. 123-126. DOI: 10.1134/S1061934813020032).
3. Коростелев П.П. Приготовление растворов для химико-аналитических работ. - М.: Наука, 1964. -261 с.
4. Корреляции и прогнозирование аналитических свойств органических реагентов и хелатных сорбентов / Под ред. д.х.н. Н.Н. Басаргин, д.х.н. Э.И. Исаев. - М.: Наука, 1986. -199 с.
5. Магеррамов А.М., Гаджиева С.Р., Бахманова Ф.Н., Гамидов С.З., Чырагов Ф.М. Концентрирование урана(VI) хелатообразующим сорбентом и фотометрическое определение с 2,3,4-тригидрокси-

- 3'-нитро-4'-сульфоазобензолом. *Журнал аналитической химии*. -2011. -66, №5. - с. 480-483. (Magerramov A. M., Gadzhieva S. R., Bakhmanova F. N., Gamidov S. Z., and Chyragov F. M. Preconcentration of Uranium(VI) on a Chelating Adsorbent Followed by Photometric Determination with 2,3,4-Trihydroxy-3'-Nitro-4'-Sulfoazobenzene. *Journal of Analytical Chemistry*, 2011, Vol. 66, No. 5, pp. 465-469. DOI: 10.1134/S1061934811050108 )
6. Anagnostopoulos, V.; Symeopoulos, B.; Bourikas, K.; Bekatorou, A. Biosorption of U(VI) from aqueous systems by malt spent rootlets. Kinetic, equilibrium and speciation studies. *International Journal of Environmental Science and Technology* (2016), 13(1), 285-296.
7. Hachiyeva S.R., Bahmanova F.N., Chiragov F.M. 2,2',3,4-tetrahidroksi-3'-sülfo-5'-kloro-azobenzen ile kilde uranyumun fotometrik tayini. *Karadeniz Fen Bilimleri Dergisi*, Ankara, 2010, cilt 1, №1, sayfa 81-89.
8. Hallaji, Hoda; Keshtkar, Ali Reza; Moosavian, Mohammad Ali. A novel electrospun PVA/ZnO nanofiber adsorbent for U(VI), Cu(II) and Ni(II) removal from aqueous solution. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* (2015), 46, 109-118.
9. Shao, Dadong; Wang, Xiangxue; Li, Jiaying; Huang, Yongshun; Ren, Xuemei; Hou, Guangshun; Wang, Xiangke. Reductive immobilization of uranium by PAAM-FeS/Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> magnetic composites. *Environmental Science: Water Research & Technology* (2015), 1(2), 169-176.
10. Xiao, Jiang; Jing, Yan; Yao, Ying; Xie, Shao-lei; Wang, Xingquan; Shi, Chenglong; Jia, Yongzhong. Synthesis of amine-functionalized MCM-41 and its highly efficient sorption of U(VI). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (2016), 310(3), 1001-1011.

11. Yuan, Dingzhong; Chen, Long; Xiong, Xin; Yuan, Ligang; Liao, Shijun; Wang, Yun. Removal of uranium(VI) from aqueous solution by amidoxime functionalized superparamagnetic polymer microspheres prepared by a controlled radical polymerization in the presence of DPE. *Chemical Engineering Journal* (Amsterdam, Netherlands) (2016), 285, 358-367.

12. Yuan, Dingzhong; Chen, Long; Xiong, Xin; Zhang, Qinghua; Liao, Shijun; Yuan, Ligang; Wang, Yun. Synthesis of PAMAM dendron functionalized superparamagnetic polymer microspheres for highly efficient sorption of uranium(VI). *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* (2016), 309(3), 1227-1240.

13. Zhou, Ke; Liu, Yaochi; Yang, Zhaoguang; Liu, Houzhi; Xie, Ting. High-capacity sorption of

U(VI) from aqueous solution using a bio-based oxidized polymeric material. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers* (2016), 63, 453-462.

14. Zong, Pengfei; Wu, Xiaoyong; Gou, Jiayuan; Lei, Xiaobing; Liu, Dengkui; Deng, Hui. Immobilization and recovery of uranium(VI) using Na-bentonite from aqueous medium: equilibrium, kinetics and thermodynamics studies. *Journal of Molecular Liquids* (2015), 209, 358-366.

*Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Развития Науки при Президенте Азербайджанской Республики – Грант № EIF-KETPL-2-2015-1(25)-56/19/4*

**Рустамова Дж.Т.**

*Институт Катализа и Неорганической Химии им. М.Ф.Нагиева Национальной АН Азербайджана, старший научный сотрудник*

**Эфенди А.Дж.**

*Институт Катализа и Неорганической Химии им. М.Ф.Нагиева Национальной АН Азербайджана, зав., лаб. д.х.н., профессор*

**Насири Ф.М.**

*Институт Катализа и Неорганической Химии им. М.Ф.Нагиева Национальной АН Азербайджана, ведущий научный сотрудник*

**Байрамова С.А.**

*Институт Катализа и Неорганической Химии им. М.Ф.Нагиева Национальной АН Азербайджана, научный сотрудник*

**Алиев С.А.**

*Институт Катализа и Неорганической Химии им. М.Ф.Нагиева Национальной АН Азербайджана, ведущий научный сотрудник, Az1143, Баку-143, пр. Г.Джавида, 113*

**Мамедов С.И.**

*Азербайджанский государственный нефтяной и промышленный университет, докторант*

**Мансурова К.А.**

*Институт Катализа и Неорганической Химии им. М.Ф.Нагиева Национальной АН Азербайджана, научный сотрудник, Az1143, Баку-143, пр. Г.Джавида, 113*

**Rustamova J.T.**

*Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M.Nagiyev, Baku, Azerbaijan, senior research assistant e-mail: [iradam@rambler.ru](mailto:iradam@rambler.ru)*

**Efendi A.J.**

*Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M.Nagiyev, Baku, Azerbaijan, doctor of chemical sciences; professo, e-mail: [iradam@rambler.ru](mailto:iradam@rambler.ru)*

**Nasiri F.M.**

*Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M.Nagiyev, Baku, Azerbaijan, leading researcher, e-mail: [iradam@rambler.ru](mailto:iradam@rambler.ru)*

**Bayramova S.A.**

*Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M.Nagiyev, Baku, Azerbaijan, P.G. e-mail: [iradam@rambler.ru](mailto:iradam@rambler.ru)*

**Aliyev S.A.**

*Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M.Nagiyev, Baku, Azerbaijan, leading researcher, e-mail: [iradam@rambler.ru](mailto:iradam@rambler.ru)*

**Mamedov S.I.**

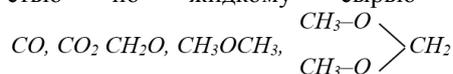
*Azerbaijan State Oil and Industrial University, e-mail: [iradam@rambler.ru](mailto:iradam@rambler.ru)*

**Mansurova K.A.**

*Azerbaijan National Academy of Sciences, Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry named after acad. M.Nagiyev, Baku, Azerbaijan, researcher,*

### Аннотация

В данной работе исследованы водородные формы клиноптилолитов, которые проводили путем прокалывания при 350–400<sup>0</sup>С на воздухе в течение 6 часов со скоростью нагрева 4<sup>0</sup>С/мин для разложения иона NH<sub>4</sub><sup>+</sup> и образования Н<sup>+</sup>-формы. Характерно, что в основном, именно эти образцы проявляют более высокую каталитическую активность и адсорбционная емкость в несколько раз возрастает, особенно при низких относительных давлениях. Эти образцы катализаторов использовали в реакции дегидратации метанола при температуре 160–200<sup>0</sup>С с целью получения диметилового эфира. Опыты по изучению каталитической способности исследуемых образцов (1÷3) проводили при атмосферном давлении в проточном реакторе со стационарным слоем катализатора (объем 3 см<sup>3</sup>, размер зерна 0,25–0,50 мм) с объемной скоростью по жидкому сырью 1 ч<sup>-1</sup>. Метанол и продукты его превращения



собирали в охлаждаемые приемники, фракционировали и анализировали хроматографически. Основным продуктом дегидратации метанола на носителях цеолитсодержащих катализаторах является диметиловый эфир. Максимальная степень превращения метанола до диметилового эфира на модифицированных формах цеолитсодержащих породах составляла около 60% при температуре 160–200<sup>0</sup>С. Показана принципиальная возможность использования модифицированного клиноптилолита, в качестве катализатора процесса превращения метанола.

### Annotation:

In this paper Hydrogen forms of clinoptilolites were studied, which were calcined at 350–400<sup>0</sup>С in air for 6 hours at a heating rate of 4<sup>0</sup>С/мин for the decomposition of the NH<sub>4</sub><sup>+</sup> ions and the formation of the Н<sup>+</sup> form. It is characteristic that generally, these catalysts show a higher catalytic activity, and especially at the relatively low pressures the adsorption capacity increases several times. These catalyst samples were evaluated in the dehydration reaction of methanol at a temperature range 160–200<sup>0</sup> С to obtain dimethyl ether. Experiments on studying of the catalytic ability of the obtained samples (1÷3) were carried out at atmospheric pressure on a flow bed layer of catalyst in stationary reactor (volume 3 cm<sup>3</sup>, granule size 0.25–0.50 mm) and the rate of volume flow of liquid

feedstock was 1 h<sup>-1</sup>. Methanol and the yields of conversion

$$CO, CO_2, CH_2O, CH_3OCH_3, \begin{matrix} CH_3-O \\ CH_3-O \end{matrix} \rangle CH_2$$

were collected in cooled receivers, fractionated and analyzed on Gas Chromatograph GC Agilent 7820A. The main product of methanol dehydration over the zeolite-containing catalysts is dimethyl ether. The maximum conversion degree of methanol to dimethyl ether on modified forms of zeolite-containing solids was about 60% at a temperature of 160–200<sup>0</sup>С. The basic usage possibility of the modified clinoptilolite as the methanol conversion process catalyst is shown.

**Ключевые слова:** цеолиты, клиноптилолит, температура, алюминия, диметиловый эфир, метанол.

**Keywords:** zeolite, clinoptilolite, temperature, aluminum, dimethyl ether, methanol.

В настоящее время известно свыше 30 природных цеолитов, но только 8 из них (анальцит, шабазит, клиноптилолит, эрионит, ломонтит, морденит и филлипсит), встречающиеся, в основном, в осадочных породах, имеют промышленное значение.

Среди них наибольшее применение как адсорбент и катализатор находит природный цеолит – клиноптилолит.

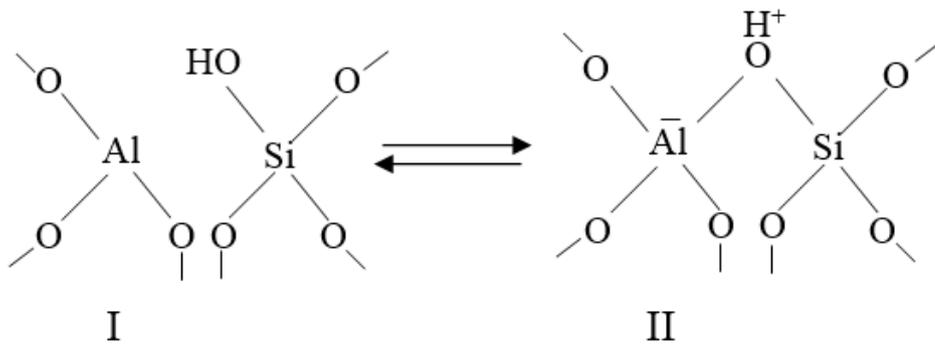
### Экспериментальная часть

В лабораторных условиях для его модифицирования часто используется метод кислотной обработки, приводящий к улучшению его поглотительных и отбеливающих свойств. Для этого брали 10 г образца и 100 мл раствора 1н соляной кислоты при 90<sup>0</sup>С температуре, которые перемешивали в течение 1 часа. Повышение температуры и концентра-

ции кислоты (0,1– 0,5 н) способствует более полному извлечению алюминия из минералов Ай-Дагского клиноптилолита, который проявляет большую кислотоустойчивость [1, 2].

В результате кислотной обработки наряду с декатионированием происходит dealюминирование цеолита и соотношение кремнезема к глинозему увеличивается в 2.0–2.5 раза. По величине отношения Si/Al в промышленных цеолитах их подразделяют на две группы: высоко и низкремнистые [3].

Промышленные цеолиты наряду с высокой термостабильностью при температуре 350–400<sup>0</sup>С обладают большой кислотостойкостью, которые отличаются высокой адсорбционной емкостью. Кислотная обработка цеолитов один из методов получения их Н-формы.



Деалюминирование можно осуществлять также обработкой цеолита веществами, взаимодействующие с ионами алюминия, и эти процессы декатионирования сопровождаются снижением содержания щелочных катионов. Деалюминирование подтверждается химическим анализом и получением водородной формы цеолита при исследовании кислотных центров методом ИК-спектроскопии.

Цеолиты прокаливали при 400°C в течение 6 часов со скоростью нагрева 4°C/мин при удалении иона и образования H<sup>+</sup>-формы. Характерно, что в основном, именно эти образцы проявляют более высокую каталитическую активность после 5-ти кратной кислотной обработки 1,0н HCl для образцов декатионированных кислот. Максимальная активность образцов цеолита достигается

при активации 300–350°C в течение 2–6 часов, в результате которой происходит более интенсивное извлечение калия из цеолитной породы. Обработка цеолита кислотами приводит к растворению тетраэдрического алюминия в решетке. В результате увеличивается адсорбционная емкость и каталитическая активность. Это может быть связано с концентрацией гидроксильных групп, обладающих протонодонорными свойствами. С увеличением поляризирующего действия катиона на поверхности цеолитов возникают более сильные кислотные центры [3]. Зависимость степени деалюминирования образцов клиноптилолита от концентрации HCl и температуры кислотной активации природных клиноптилолитов (фракция 0.25÷0.50 мм) обработкой от 0,1÷5,0 н соляной кислотой приведена в таблице.

Таблица.

Концентрации HCl и степень деалюминирования

Концентрация HCl	Степень деалюминирования, %	
	20°C	96°C
0.1 н HCl	3.5%	6.8%
1.0 н HCl	5.8%	20.8%
5.0 н HCl	10.6%	42,3%

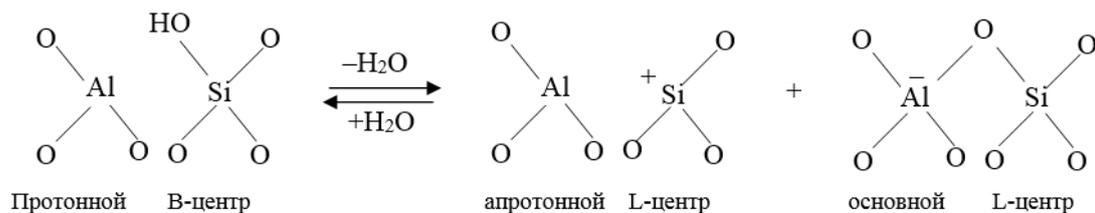
Повышение температуры и концентрации кислоты 0,1÷5,0н HCl способствует более полному извлечению алюминия из минералов.

#### Обсуждение результатов

Уменьшение по мере деалюминирования количества протонированных гидроксильных групп,

взаимодействующих с атомами алюминия каркаса, приводит к наблюдаемому снижению величин адсорбции дипольных молекул воды, при которой минерал обладает наибольшей адсорбционной способностью и сохраняет определенную степень кристалличности [1, 7].

#### Схема дегидроксилирования цеолита



Протонной В-центр апроtonной L-центр основной L-центр

При термообработке по мере повышения температуры (450°C) в результате дегидроксилирования происходит превращение брэнстедовских кислотных центров в льюисовские.

Подвижность водорода OH-группы, связанной с кремнием, обусловлена влиянием соседнего трехкоординационного алюминия [5].

Таким образом, водород OH-группы является протонным кислотным центром (В-центр типа Бренстеда), а трехкоординационные атомы алюминия – апроtonным кислотным центром (L-центр

типа Льюиса) и кислотные свойства цеолитов определяются как силой активных центров цеолитов, так и их концентрацией [6, 7].

В данной работе исследование водородных форм клиноптилолита проводили путем прокаливания его при 350–400°C  $\text{NH}_4$ -формы, полученные ионным обменом природных образцов цеолитов в динамических условиях с 100мл, 1.0 Н раствором  $\text{NH}_4\text{Cl}$  в течение 6 часов при 5-кратной обработке 10 г образца клиноптилолита. После каждой 6 часовой обработки образец отмывали дистиллированной водой и заново обрабатывали в течение 6 часов новой порцией раствора  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . После первых двух обработок ионы натрия и кальция удаляются из клиноптилолита и полное замещение двухвалентных  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Sr}^{2+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  катионов клиноптилолита на ионы аммония ( $\text{NH}_4^+$ ) происходит при температуре 450°C. Бренстедовские кислотные центры возникают при термическом разложении аммонийной формы, которая образуется при обмене ионов щелочных металлов на ионы  $\text{NH}_4^+$ . Замену одного противоиона на другой обычно проводят ионным обменом из раствора, протонные ( $\text{H}^+$ ) формы цеолитов получают также путем прокаливании аммонийных форм цеолитов.

В этих образцах адсорбционная емкость в несколько раз возрастает, особенно при низких относительных давлениях. Деалюминирование образцов клиноптилолита приводит к расширению входов во внутрикристаллических больших и малых полостях цеолита [4].

Степени декатионирования и деалюминирования цеолитов определяли исходя из количества удаленных из образца катионов Na, K, Ca и алюминия соответственно, в процентах от их содержания в цеолитной фазе исходного образца.

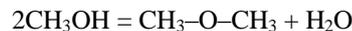
Термическая активация катализатора, устойчивость цеолитных образцов определяли в диапазоне 300–1000°C в течение 6 часов. С повышением

температуры прокаливания выше 600°C кристаллическая структура цеолитов постепенно разрушается.

Влияние глубины декатионирования и деалюминирования на каталитическую активность модифицированных форм цеолитосодержащих пород исследовали на метаноле при температурах реакции 160 и 200°C. Опыты по изучению каталитической способности исследуемых образцов (1÷3) проводили при атмосферном давлении в проточном реакторе со стационарным слоем катализатора (объем 3 см<sup>3</sup>, размер зерна 0,25–0,50 мм) с объемной скоростью по жидкому сырью 1 ч<sup>-1</sup>. Метанол и продукты его превращения  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_3\text{OCH}_3$ , собирали в охлаждаемые приемники, фракционировали и анализировали хроматографически. Основным продуктом дегидратации метанола на носителях цеолитосодержащих катализаторов является диметилэфир [4, 8].

При 200°C максимальные степени превращения метанола достигаются уже на образце со степенью декатионирования около 60% (рис.1, кривая 3), что обусловлено достаточно высокой скоростью реакции при такой температуре. В связи с этим по кривой трудно оценить зависимость каталитической активности от степени декатионирования цеолита.

Такая зависимость более наглядно прослеживается на (рис.1, кривая 1), которая отвечает превращению метанола в диметилэфир (ДМЭ) при 160°C.



Цеолиты также применяются при сушке, очистке, разделении веществ и для исследования адсорбционных равновесий, природы адсорбционных взаимодействий, механизма и кинетики каталитических реакций, диффузии молекул в тонких порах [5, 6].

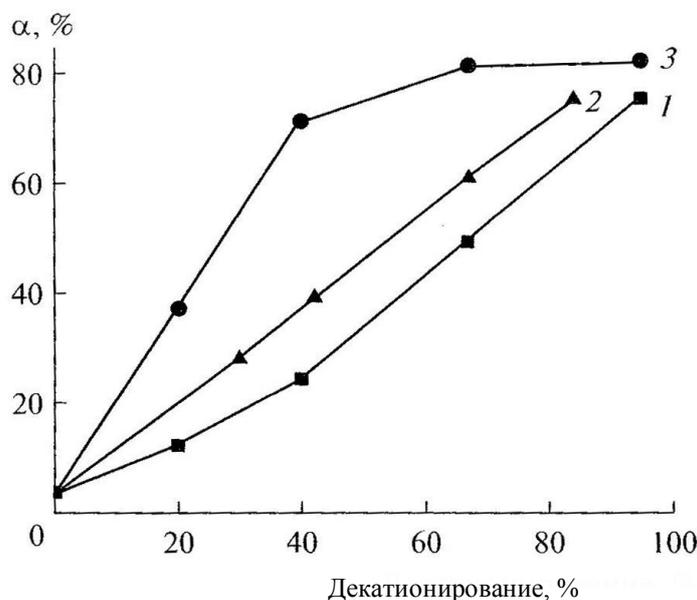


Рис. 1. Зависимость степени превращения метанола (2) от степени декатионирования цеолитосодержащих пород при температурах реакции 160°C (1, 2 – кривые) и 200°C (кривая 3).

Таким образом, цеолиты – это уникальные минералы, находящие широкое применение в различных отраслях народного хозяйства и промышленности.

#### Список литературы

1. Амиров С.Т. Цеолиты Азербайджана. Баку: Элм, 2004. С.2–220.
2. Аннагиев М.Х., Рустамова Дж.Т. Исследование основных центров на образцах анальцима, обработанных кислотой различной концентрации, по адсорбции фенола. //Азерб. хим.журнал. 2010. №2. С.97–99.
3. Танабе К. Твердые кислоты и основания. М.: Мир, 1973. С. 94–180.
4. Рустамова Дж.Т., Эфенди А.Дж., Алиева А.М., Кожарова Л.И., Меликова И.Г., Айкан .Ф. Адсорбционные свойства природных цеолитов по двуокиси серы. //The Second European Conference on Chemical Sciences 20<sup>th</sup> May. 2015, Austria, Vienna. P. 28–31.
5. Сендерова Э.Э., Хитаров Н.И. Цеолиты, их синтез и условия образования в природе. М.: Наука, 1970. 395 с.
6. Мирский Я.В., Пирожков В.В. Адсорбенты, их получение, свойства и применение. Л.: Наук. 1971. С. 26.
7. Рабо Дж. Химия цеолитов и катализ на цеолитах. М.: Мир, 1980. Т.1. 263 с.
8. Розовский А.Я. //Химия в интересах устойчивого развития. 2005. Т.13. С. 701.

**Mubariz M.Akhmedov**

*Doctor of Chemical Sciences, corresponding member of ANAS, head. lab. Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry. acad. M.Nahiyev of ANAS, Baku, Az1143, G. Javid Ave., 113, e-mail: iradam@rambler.ru*

**Makhira I. Khalilova**

*PhD in Chemistry Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry. acad. M.Nahiyev of ANAS, Baku, Az1143, G. Javid Ave., 113, e-mail: iradam@rambler.ru*

**Yasin Kh. Khalilov**

*PhD in Chemistry Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry. acad. M.Nahiyev of ANAS, Baku, Az1143, G. Javid Ave., 113, e-mail: iradam@rambler.ru*

**Rakhman G. Gamidov**

*PhD in Chemistry, Leading Researcher Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry. acad. M.Nahiyev of ANAS, Baku, Az1143, G. Javid Ave., 113, e-mail: iradam@rambler.ru*

**Kamala I. Hajiyeva**

*PhD in Chemistry Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry. acad. M.Nahiyev of ANAS, Baku, Az1143, G. Javid Ave., 113, e-mail: iradam@rambler.ru*

**J.A.Jamalov**

*Researcher Institute of Catalysis and Inorganic Chemistry. acad. M.Nahiyev of ANAS, Baku, Az1143, G. Javid Ave., 113, e-mail: iradam@rambler.ru*

**Ахмедов Мубариз Меджид оглы**

*Док.хим.наук, член корр. НАНА, зав. лаб. Институт катализа и неорганической химии им. акад. М.Нагиева Национальной АН Азербайджана*

**Халилова Махира Идаят кызы**

*канд.хим.наук, ст.научн.сот. Институт катализа и неорганической химии им. акад. М.Нагиева Национальной АН Азербайджана, Баку*

**Халилов Ясин Халаф оглы**

*канд.хим.наук, ст.научн.сот. Институт катализа и неорганической химии им. акад. М.Нагиева Национальной АН Азербайджана*

**Гамидов Рахман Гусейн оглы**

*канд.хим.наук, вед.научн.сот. Институт катализа и неорганической химии им. акад. М.Нагиева Национальной АН Азербайджана*

**Гаджиева Кямала Исмаил кызы,**

*канд.хим.наук, ст.научн.сот. Институт катализа и неорганической химии им. акад. М.Нагиева Национальной АН Азербайджана*

**Дж.А.Джамалов**

*научн.сот. Институт катализа и неорганической химии им. акад. М.Нагиева Национальной АН Азербайджана, Баку*

**PREPARATION OF DRY CONSTRUCTION MIXTURES BASED ON LOCAL RAW MATERIAL AND INDUSTRIAL WASTES FOR PRODUCTION OF ARTIFICIAL FACING PLATES**  
**ПОДГОТОВКА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЛОКАЛЬНЫХ СЫРЬЕВЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ИСКУССТВЕННЫХ ЛИЦОВЫХ ПЛИТ**

**Abstract:** The studies were performed in this work on the development of dry construction mixtures based on local raw materials and industrial wastes to produce artificial facing plates for finishing buildings of various purposes.

**Аннотация:** В этой работе были проведены исследования по разработке сухих строительных смесей на основе местного сырья и промышленных отходов для производства искусственных облицовочных плит для отделки зданий различного назначения.

**Keywords:** facing stones, plate, Portland cement, pigment, limestone, quartz sand, water absorption, inflammability, porosity, density, polypropylene fiber, calcium formate, plasticizer, calcium stearate.

**Ключевые слова:** облицовочные камни, плита, портландцемент, пигмент, известняк, кварцевый песок, водопоглощение, воспламеняемость, пористость, плотность, полипропиленовое волокно, формиат кальция, пластификатор, стеарат кальция.

It is known that the development of the construction sector plays one of the major roles in ensuring the country's economic development. At present Azerbaijan forms a perfect construction industry. Many construction materials previously imported from abroad are now being produced at local enterprises. Some of them are even exported to foreign countries.

One of the key requirements of the day is to provide construction objects with quality construction materials. Despite the significant achievements in the production of cement, bricks, lubricants, ceramic plate adhesives, paint and plaster products, the production of facing stones does not meet the requirements of modern construction in terms of both design and variety. Almost most of the facing stones are still being imported. Despite the fact that Gobustan limestone deposits have a certain portion of local demand, [1], large-scale and long-term production is not promising due to the following reasons:

- raw material resources suitable for processing are either no longer available or exhausted and industrial processing of "gulbakht" stone with properties of traditional high strength, density and relatively less water absorption is almost impossible;
- recently, the range of construction works in our country has significantly increased demand for facing stones. Responses to construction demands creates a problem due to the above mentioned reasons;
- Production of "aglay" facing stones is characterized by a number of technological difficulties, a large number of dusting and handmade work, low productivity that makes the production of new type of facing stones necessary;
- physical and mechanical properties of facing stones do not meet demands for facade (water absorption, frost resistance, strength, etc.).

Thus, production of new reliable and stable artificial facing stones based on local raw materials and wastes is of both practical and theoretical importance.

**This research is aimed at** developing the composition and technology of new generation facing products with low volume and high exploitation and aesthetic properties based on local raw materials and wastes.

**Methodology of studies:** GOST 10178-85. **Portland cement and slag- portland cement. Technical terms.** We used for researches relevant 52.5 M portland cement, fineness module of 2.5-3 Garadagh

quartz sand (Lokbatan deposit), swollen perlite (GOST 10832-64), sodium abietate, redispersed polymer acrylic powder and wastes of Garadag limestone deposits (0-2 mm). According to fineness module GOST8735.88 granular composition of raw materials was determined by sieving method. To prepare dry mixture raw materials were dried in laboratory drier stoves up to 0.5% humidity, sieved and weighted on technical balance using appropriate recipe, mixed dry first in a copper plate and with water. Mixing duration was maximum 3 minutes to prevent the decay of the structure of perlite. The solution was poured into 30x35x75 mm rubber molds and consolidated. Hardening mode was performed. Physical and mechanical properties of plates were determined on AZS 480-2011 [2].

**Implementation of researches.** To minimize the cost price the facial stone will be prepared from two layers to improve the quality of facing layer. Based on numerous literature data and practical experience we considered the preparation of lower layer from portland cement (M52.5), limestone dust (0-0.1 mm fraction), quartz sand (0.1-1mm fraction), powder polymer styrene acrylic copolymer, swollen aluminum silicates such as swollen perlite ( $\text{SiO}_2 - 65/75\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 10-16\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} \leq 5\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} \leq 4\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0-3\%$ ,  $\text{MgO} - 0-1\%$ ,  $\text{CaO} - 0-2\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} - 2-6\%$ , 0-2mm), aluminate cement and water would be appropriate [3-6]. Apparently, in the system both mineral adhesive (portland cement) and organic connector will be used. If mineral adhesive system provides mechanical properties and longevity, in our opinion, the organic binder must provide additional strength to the condenser and ensure its elastic properties. To increase the strength polypropylene fiber (6 mm) as a modifying addition, to accelerate hardening calcium formate, to give hydrophobicity to the system calcium stearate, to reduce water-cement ratio polycarboxylate ether or plasticizer CP-3, as well as to reduce volume mass by creating microporous structure sodium abietat must be used.

The top layer will be made of portland cement (M42.5), limestone powder (0 - 0,1 mm fraction), quartz sand (0 - 0.15mm fraction), polypropylene fiber (cellulose fibers 0 - 0,1 mm), calcium formate, calcium stearate, polycarboxylate ether or plasticizer CP-3, foaming Foamister NDV (siliceous organic liquid GKJ-1), powder polymer (Styrene acrylic copolymer),

aluminate cement,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ , pigment and water (30-40% of a dry matter).

Production technology of "Lifeston" (LS) facing plates includes the preparation of raw material mixtures for lower and upper layers and thermal processing by pouring to rubber molds. In both cases mixture of dry matters is prepared in mini-concrete mixer for both layers. However, it has been practically determined that the preparation time of the mixture for bottom layer should not exceed 3 minutes to prevent destruction of structure of swollen perlite. The next stage of preparing a lower layer is continued with addition of water into a concrete mixer. Upper layer is mixed with water in paint mixers. Prepared lower layer mixture is poured into rubber molds (3/4 of the mold) and after a short (5-10 seconds) vibration the solution of the top layer is

added. Moulded products are removed with a mold after being kept for a day at  $80 \pm 5^\circ\text{C}$  and in 80-90% humid environment and left for hardening mode [7-8]. Considering that the system is sufficiently complex to determine its composition  $N=2^k$  mathematical planning method based on full factor analysis was used [9]. Portland cement ( $X_1 - 25-30\%$ ), limestone powder ( $X_2 - 60-65\%$ ), water: cement ratio ( $X_3 - 0.6-1.0$ ) were accepted as the main analyzed factors and after 28 day hardening of the mixture its stability limit –  $Y_1$  (GOST) and volume mass –  $Y_2$  (GOST) were determined. In all experiments 5% of foamed perlite was added to the mixture and the rest up to 100% mass was completed with quartz sand.

Planning matrix of the experiment and results are given below.

Table 1

Planning matrix and results

N	Factors				$Y_1$ Stability limit, MPa	$Y_2$ Volume mass, $\text{kg/m}^3$
	$X_0$	$X_1$	$X_2$	$X_3$		
1	+	-	-	-	55	1580
2	+	+	-	-	65	1450
3	+	-	+	-	64	1380
4	+	+	+	-	75	1380
5	+	-	-	+	59	1320
6	+	+	-	+	82	1370
7	+	-	+	+	73	1350
8	+	+	+	+	86	1320

Regression equation of the experiment is defined based on the results [ 9 ].

$$Y_1 = 69,87 + 7,125 X_1 + 4,62 X_2 + 5,125 X_3$$

$$Y_2 = 1393,7 + 111,25X_1 - 36,25X_2 - 53,75X_3$$

As seen from the regression equations, mechanical strength is observed at the top of all the factors. The impact of amount of cement on stability limit in view of effect of factors is higher. The positive effect of high water:cement ratio which is not compliant to scientific and theoretical concepts is explained by the fact that porous perlite grain draws a large portion of water into pores and hydration process of cement does not occur at the required rate and efficiency. As seen from the second regression equation, which shows the change in volume mass, the increase in the amount of cement leads to an increase in volume mass, high water:cement ratio leads to its reduction.

At the next stage of our experiments results of full factor analysis were taken as basis base components were determined for lower and upper layers optimized with various modified additions basing to literature data and practical experiments.

Lower layer:

- 1) Portland cement (M42.5) - 30%
- 2) Limestone powder 0-0,1 mm fraction - 48%
- 3) Quartz sand 0,1-1mm fraction - 10%
- 4) Polypropylene fiber 6 mm- 0,2%
- 5) Calcium formate -0,8%
- 6) Calcium stearate - 0,2%
- 7) Polycarboxylate ether or plasticizer CP-3 - 0,1 %
- 8) Air-entraining agent (sodium  $\alpha$ -oleine sulfonate)- 0,2%

9) Powdery polymer Styrene acrylic copolymer – 0,5 %

10) Swollen aluminosilicates (Swollen perlite 0-2mm)- 5%

( $\text{SiO}_2 - 65/75\%$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - 10-16\%$ ,  $\text{K}_2\text{O} \leq 5\%$ ,  $\text{Na}_2\text{O} \leq 4\%$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 0-3\%$ ,  $\text{MgO} - 0-1\%$ ,  $\text{CaO} - 0-2\%$ ,  $\text{H}_2\text{O} - 2-6\%$ )

11) Alumina cement - 5%

12) Water:cement =1.

Upper layer:

- 1) Portland cement (M42.5) - 35%
- 2) Limestone powder 0-0,1 mm fraction - 30%
- 3) Quartz sand 0-0,15mm fraction -30%
- 4) Polypropylene fiber (or cellulose fibers) 0-0,1 mm- 0,4%
- 5) Calcium formate - 0,6%
- 6) Calcium stearate - 0,2%
- 7) Polycarboxylate ether or plasticizer CP-3 - 0,2 %
- 8) Antifoaming agent Foamister NDV (siliceous organic liquid GKJ-1) - 0,2%
- 9) Powder polymer (Styrene acrylic copolymer) - 2%
- 10)  $\text{Li}_2\text{CO}_3$  - 0,5%
- 11) Pigment – 0,2%
- 12) Water:cement = 0,5.

As mentioned above, artificial facing stone "Lifestone" (LS) can be used as an equivalent to "aglay" facing stones in Azerbaijan. Table 2 shows the comparison of the properties of facing stones based on the composition and technological modes described above with the properties of traditional "aglay" facing stone [9-12].

Table 2

№	Physical and mechanical properties of facing stones	Unit of measurement	Aglay	Artificial facing stone		Note
				Upper layer	Lower layer	
1	Color	-	Yellowish non-homogeneous	Various colors and shades		Comparison was performed on prepared testing samples
2	Frost resistance	cycle	> 25	>35	>25	
3	Strength limit in water-saturated state	kg/cm <sup>2</sup>	98	>400	>60	
4	Strength limit in dry state	kg/sm <sup>2</sup>	50-80	>500	>70	
5	Water absorption	%	12	<5	27,4	
6	Density	g/cm <sup>2</sup>	2,1	1,8	1,3	
7	Porosity	%	33,9	4	50	
8	Heat resistance	°C	300-800	1200	1200	

As Table 2 shows physical and mechanical properties of facing stones are much higher than the traditional "aglay" stones and fully meet the requirements of a relevant standard. These stones are mainly made of (99%) inorganic artificial and mineral substances with traditional technologies and have several advantages listed below:

- Noninflammable;
- Designers and architects are now presented with great opportunities since these stones can be prepared in a wide range and color range;
- Organization of production does not involve large investments;
- They are made of up to 70% of waste materials;
- Technologically simple
- Cost price is not high;
- Physical-mechanical properties of the product are much higher than physical-mechanical properties of traditional "aglay" stones (Table 1);
- Porosity of lower layers of materials and relative elasticity of a stone make it an essential material in earthquakes;
- Volume mass is 1.5-2 times less than "aglay" stones that reduces load of a building, minimizes foundation costs, simplifies and accelerates the facing process, excludes the use of special metal mesh and, in general, reduces the cost price of facing works.
- The proposed material has a high heat, sound and waterproofing properties.

Thus, the new generation double-layer facing stones based on local industrial wastes and mineral and organic adhesives and special modification additions fully meets the modern construction requirements due to their physical and mechanical properties and can be

widely applied in industrial and civil construction works.

### References

1. Aghabeyli N.M. Construction materials and products. Baku: Nurlan, 2008.-pp.544.
2. AZS 480-2011 "Facing materials and products of rocks", Testing methods.
3. Khalilov Y.Kh., Jamalov J.A., Khalilova M.I., Abbasova N.I. Construction composition for facing plates and their production technique, Invention, № a 2016 0072 AZPatent 25.07.2016.
4. Shimshek O. Construction materials II. 3. Baskı, Ankara, 2007.
5. Guner M., Sume V. Construction materials and Concrete. Ankara, 2007.
6. Popov K.N., Kaddo M.B.. Construction materials and products. M.:Nauka, p.2002.-450.
7. Bajenov Y.M. Technology of concrete. M.:Nauka, p.2003.-560.
8. Yusufov I.M. Technology of concrete and iron-concrete products. Baku: publishing house of Azerbaijan University of Architecture and Construction, 1998.- pp.630.
9. Akhnazarova S.L., Kafarov V.V. Optimization of experiment in chemistry and chemical technology. M.: Higher school, 1978.- pp.319.
10. GOST 9479-98 «Blocks from rocks for facing, architectural-construction, memorial and other products. Specifications».
11. GOST 9479-94 «Blocks from natural stone for production of facing products, Specifications ».
12. GOST 7025-91 «Walling and facing materials. Methods of determining water absorption and frost resistance».
13. GOST 30629-99 «Facing materials and products from rocks. Testing methods».

**ПОЛИМЕРНЫЕ КРАУН-ЭФИРЫ - ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЕ СЕНСОРЫ  
ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**  
**THE POLYMER CROWN ETHERS AS HIGH SENSITIVE SENSORS OF ORGANIC  
COMPOUNDS**

**Аннотация**

Осуществлена катионная полимеризация 6-глицидилокси- и дибензо-16-крауна-5 в эфире в присутствии трехфтористого бора. Состав и строение полученного полимера подтверждены физико-химическими методами. На основе полимерного краун-эфира разработан высокочувствительный и высокоселективный электрохимический сенсор, позволяющий определять микроколичества аммиака в воздухе в присутствии многократных избытков других компонентов.

**Annotation:**

Cation polymerization of glycidiloxy- and dibenzo-16-crown-5 in ether in presence of  $\text{BF}_3$  has been carried out. Composition and structure of obtained polymers are confirmed by physical and chemical methods. On the basis of obtained polymer crown ether there has been, developed high sensitive and high selective electrochemical sensors allowing to determine micro amounts of  $\text{NH}_3$  in the air in the presence of multiple surpluses of other components.

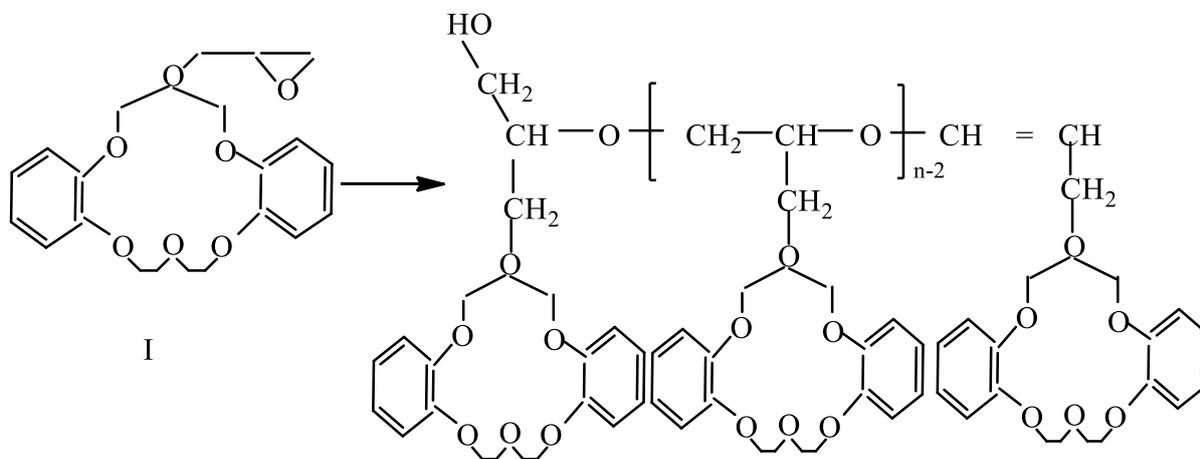
**Ключевые слова:** полимерные краун-эфиры, высокочувствительный и высокоселективный электрохимический сенсор, макроциклические соединения.

**Keywords:** polymeric crown ethers, a highly sensitive and highly selective electrochemical sensor, macrocyclic compounds.

Синтезы и применение полимерных краун-эфиров стали новым этапом в развитии химии [1]. Они находят применение как иммобилизованные соединения, которые получают прививкой небольшого их количества к поверхности дешевого носителя. Пришитые к твердой основе макроциклические соединения, будучи нерастворимыми, могут оказаться предпочтительнее мономерных аналогов для промышленного использования, поскольку их легче обрабатывать, регенерировать и использовать повторно в виде мембран или колонок для избирательного разделения ионов, радиоактивных изотопов, порошков или гранул катализаторов. Кроме того, эти соединения являются более дешевыми и

менее токсичными, чем мономерные аналоги. Поэтому полимерные и иммобилизованные макроциклические эфиры стали объектом многочисленных исследований. В свете вышеизложенного нами разработан новый способ получения полимерных лак, основанный на полимеризации их мономеров. В связи с этим представляло прикладной интерес изучение полимеризации 6-глицидилокси- и дибензо-16-крауна-5, которые синтезированы по методике, описанной в работе [2].

Нами осуществлена катионная полимеризация мономера дибензо-16-крауна-5 (I) в эфире в присутствии трехфтористого бора при комнатной температуре:



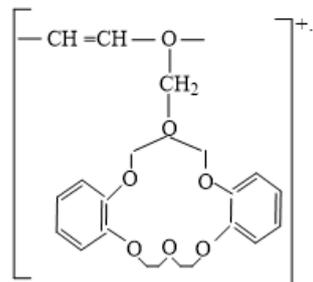
Из эфирного раствора выделен белый порошкообразный продукт с  $T_{пл}$   $68^{\circ}\text{C}$ , являющийся полимером (II).

Состав и строение полученного краун-эфирного полимера установлены методами элементного анализа. ИКС и масс-спектрокопии. Массовые

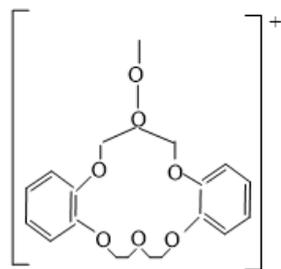
доли углерода и водорода в синтезированном полимере составляют соответственно 65.58 и 6.65 %, что соответствует элементному составу мономера в полимере II. Молекулярная масса данного полимера, определенная методом концевых групп в растворе титрованием, составляет 3980 v.e. В ИК-спектре полученного полимера проявляются характерные полосы поглощения в областях 3475, 1637, 1255  $\text{cm}^{-1}$ ,

подтверждающие наличие ОН-группы, С=С-связи и С–О–С-групп.

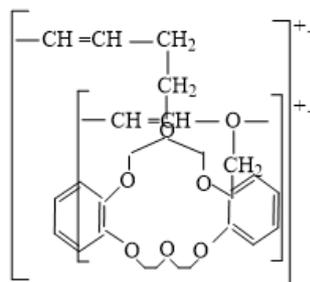
В масс-спектре синтезированного высокомолекулярного соединения обнаружены интенсивные спектральные линии фрагментов III–VI с соответствующими массовыми числами, равными 402, 345, 385, 56:



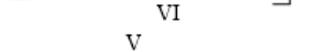
III



IV



V



VI

Эти фрагменты подтверждают представленное строение полимера. На основе полученного полимерного краун-эфира, дибутилфталата и поливинилхлорида изготовлен ион-селективный мембранный электрод по методике, описанной в работе [3]. Изготовленный электрод испытан в качестве сенсора для определения микроколичеств аммиака и первичных аминов в воздухе.

Чувствительность определений аммиака ион-селективным электродом в воздухе составляет  $5 \times 10^{-4}$  мг/л.

Данный электрод позволяет определять аммиак в присутствии больших избытков вторичных и третичных аминов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  и др.

#### Список литературы

1. Шабанов А.Л. // Журн. Всесоюз. хим. об-ва им. Д.И.Менделеева. 1991. Т.36. № 4. С.456.
2. Гонг Кань Шон. Дис. ... канд. хим. наук. Баку: ИХП АН Азерб. ССР. 1990. 104 с.
3. А.Л.Шабанов, А.Хандар, Ч.И.Мамедов и др. // Журн. аналит. химии. 2000. Т.55. №5. С. 518.

#9 (37), 2018 część 3

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**  
(Warszawa, Polska)

**Czasopismo jest zarejestrowane i publikowane w Polsce.** W czasopiśmie publikowane są artykuły ze wszystkich dziedzin naukowych. Czasopismo publikowane jest w języku polskim, angielskim, niemieckim i rosyjskim.

Artykuły przyjmowane są do dnia 30 każdego miesiąca.

Częstotliwość: 12 wydań rocznie.

Format - A4, kolorowy druk

Wszystkie artykuły są recenzowane

Każdy autor otrzymuje jeden bezpłatny egzemplarz czasopisma.

Bezpłatny dostęp do wersji elektronicznej czasopisma.

**Zespół redakcyjny**

**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**Rada naukowa**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood (University College London)**

#9 (37), 2018 part 3

**East European Scientific Journal**  
(Warsaw, Poland)

**The journal is registered and published in Poland.** The journal is registered and published in Poland. Articles in all spheres of sciences are published in the journal. Journal is published in **English, German, Polish and Russian.**

Articles are accepted till the 30th day of each month.

Periodicity: 12 issues per year.

Format - A4, color printing

All articles are reviewed

Each author receives one free printed copy of the journal

Free access to the electronic version of journal

**Editorial**

**Editor in chief - Adam Barczuk**

**Mikołaj Wiśniewski**

**Szymon Andrzejewski**

**Dominik Makowski**

**Paweł Lewandowski**

**The scientific council**

**Adam Nowicki (Uniwersytet Warszawski)**

**Michał Adamczyk (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Peter Cohan (Princeton University)**

**Mateusz Jabłoński (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Piotr Michalak (Uniwersytet Warszawski)**

**Jerzy Czarnecki (Uniwersytet Jagielloński)**

**Kolub Frennen (University of Tübingen)**

**Bartosz Wysocki (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**

**Patrick O'Connell (Paris IV Sorbonne)**

**Maciej Kaczmarczyk (Uniwersytet Warszawski)**

**Dawid Kowalik (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**

**Peter Clarkwood (University College London)**

**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**  
**Redaktor naczelny - Adam Barczuk**

**1000 kopii.**

**Wydrukowano w «Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warszawa, Polska»**

**Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe**

Aleje Jerozolimskie 85/21, 02-001  
Warszawa, Polska

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

**<http://eesa-journal.com/>**

**Igor Dzedzic (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Klimek (Polska Akademia Nauk)**  
**Alexander Rogowski (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Kehan Schreiner(Hebrew University)**  
**Bartosz Mazurkiewicz (Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki)**  
**Anthony Maverick(Bar-Ilan University)**  
**Mikołaj Żukowski (Uniwersytet Warszawski)**  
**Mateusz Marszałek (Uniwersytet Jagielloński)**  
**Szymon Matysiak (Polska Akademia Nauk)**  
**Michał Niewiadomski (Instytut Stosunków Międzynarodowych)**  
**Editor in chief - Adam Barczuk**

**1000 copies.**

**Printed in the "Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland»**

**East European Scientific Journal**

Jerozolimskie 85/21, 02-001 Warsaw, Poland

**E-mail:** [info@eesa-journal.com](mailto:info@eesa-journal.com) ,

**<http://eesa-journal.com>**