

**ҚАЗАҚСТАН - БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ  
УНИВЕРСИТЕТІНІҢ**

**ХАБАРШЫСЫ**

**HERALD**

**OF THE KAZAKH - BRITISH TECHNICAL  
UNIVERSITY**

**ВЕСТНИК**

**КАЗАХСТАНСКО - БРИТАНСКОГО  
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА**

**Volume 16, Issue 4  
Oktober-December 2019**

ҚАЗАҚСТАН - БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
**ХАБАРШЫСЫ**

**HERALD**  
OF THE KAZAKH - BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY

**ВЕСТНИК**  
КАЗАХСТАНСКО - БРИТАНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Алматы

№ 4 (51)

2019

Главный редактор – Ректор КБТУ,  
**Ибрашев К.Н.**

Заместитель главного редактора –  
**Габдуллин М.Т.**

**ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:**

**Акжалова А.Ж., Атсуши Иное, Байгунचेков Ж.Ж., Бекмухаметова З.А.,  
Буркитбаев М.М., Gavin Kretzschmar, Джанг Ванг Ли, Джумадилдаев А.С.,  
Ергожин Е.Е., Еремин Н.А., Журинов М.Ж., Йозеф Монтаг,  
Коробкин В.В., Masakazu Yoshikawa, Мынбаев К.Т., Рамеш Кини,  
Сатубалдин С.С., Скакова А.А., Сулейменов Э.Н., Танекенов А.,  
Умаров Ф.Ф., Харин С.А., Шакуликова Г.Т., Шейх Али Д.М.**

Издание зарегистрировано Министерством культуры и информации  
Республики Казахстан. Свидетельство о постановке на учет  
СМИ № 9757 - Ж от 03.12.2008 г.

Журнал зарегистрирован в Международном центре по регистрации сериальных изданий  
ISSN (ЮНЕСКО, г. Париж, Франция)

Подписной индекс - 74206

Издается с 2004 года. Выходит 4 раза в год.

**УЧРЕДИТЕЛЬ**  
Казахстанско-Британский технический университет

ISSN 1998-6688

© Казахстанско-Британский  
технический университет, 2019.

## CONTENTS

### OIL AND GAS ENGINEERING

<b>Nurlybay S.A., Buzova O.V.</b> STUDY OF INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE STABILITY OF WATER-OIL EMULSIONS.....	9
<b>Taykulakov E., Ediyeva K., Ivahknenko A.</b> STUDY OF INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE STABILITY OF WATER-OIL EMULSIONS.....	19

### CHEMICAL, TECHNOLOGICAL AND ENVIRONMENTAL SCIENCES

<b>Balanovskaya L.L., Tleuova S.T., Tleuov A.S., Dzhanmuldaeva Zh.K., Smaylov B.M., Yarochkina V.I.</b> THERMODYNAMIC STUDYS OF THE PROCESSING OF MOLIBDENE-CONTAINING CATALYSTS FOR COMPLEX MIXED FERTILIZER .....	28
<b>Beysenbayev O.K., Tleuov A.S., Smaylov B.M., Zakirov B.S.</b> PHYSICAL AND CHEMICAL RESEARCHES OF RAW MATERIAL FOR RECEIPT OF PHOSPHORORUSCONTAINING MICROFERTILIZER.....	34
<b>Zhussupbekov A.Zh., Zharkenov Ye.B., Zharkenova A.B.</b> ANALYSIS OF DAILY PRECIPITATION DATA OF NUR-SULTAN (ASTANA) CITY .....	42
<b>Klepikov V.A., Tleuova S.T., Tleuov A.S., Dzhanmuldaeva Zh.K., Kadintseva T.A.</b> RESEARCH OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF CHROMIUM-CONTAINING SLUDGE .....	48
<b>Esjanuly M., Bekturgankyzy B., Kamysbayev D.Kh., Serikbayev B.A., Kokanbayev A.K., Kudreyeva L.K.</b> MANAGED SYNTHESIS OF A NANOSTRUCTURED TWO-DIMENSIONAL ATOMIC CRYSTAL OF BISMUTH SELENID .....	54
<b>Mendigaliyeva G.E, Seilkhanova G.A., Rahym A.B., Imangaliyeva A.N.</b> COMPOSITE MATERIAL BASED ON ZEOLITE MODIFIED WITH POLYETHYLENE GLYCOL FOR THE PURIFICATION OF AQUEOUS SOLUTIONS FROM $Pb^{2+}$ AND $Cd^{2+}$ IONS .....	63
<b>Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Bakranova D.I., Keiinbay S.</b> STRUCTURAL PROPERTIES OF A SILICON CARBIDE FILM SYNTHESIZED BY THE ATOM SUBSTITUTION METHOD .....	72
<b>Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Bakranova D.I., Keiinbay S., Sultan A.A.</b> IR SPECTROSCOPY OF A THICK SILICON CARBIDE FILM OBTAINED BY THE MAGNETRON SPUTTERING .....	79
<b>Sharipov R.Kh., Balgimbayeva U.A., Utelbayev B.T., Suleimenov E.N.</b> EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF AN ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF COPPER FOUR SLAGS.....	87
<b>Sholak A., Nurlybayeva A., Kantarbayeva S.M., Sadiyeva K.R., Matniyazova G.K., Baybazarova E.A.</b> THERMODYNAMIC PROBABILITY OF FORMATION PHOSPHORUS-CALINAL FERTILIZER WHEN TREATING COTTER MILK .....	93

## PHYSICAL, MATHEMATICAL AND TECHNICAL SCIENCES

<b>Bektemirov R.I., Nurkey U.T.</b> COMPARING BIG DATA ANALYTIC TOOLS USING MUSIC DATASET .....	97
<b>Volchikhin V.I., Akhmetov B.B., Alimseitova Zh.K., Beketova G.S., Zhahan L.O.</b> THE PERSPECTIVE OF THE USE OF MATHEMATICAL CHI-SQUARE PEARSON MOLECULE TO CHECK STATISTICAL HYPOTHESIS IN SMALL ELECTIONS.....	105
<b>Jaksylykova A.B., Ziyaden A.A., Rahimbekuly Zh., Kaliyeva A.S., Komada P.</b> SEMANTIC ROLE MARKING FOR CLINICAL TEXT IN KAZAKH .....	111
<b>Zhukabaeva T.K., Mardenov E.M.</b> MDS MATRIX APPLIED IN CRYPTOGRAPHY .....	117
<b>Zhussupbekov A.Zh., Shakirova N.U., Tanyrbergenova G.K., Zhumadilov I.T.</b> CONTROL OF INTEGRITY OF BORED PILES USING OF NON-DESTRUCTIVE METHODS: LOW STRAIN METHOD AND CROSS-HOLE SONIC LOGGING.....	122
<b>Kapalova N.A., Andrzej Kotyra, Abisheva A.Zh.</b> TO THE QUESTION OF THE PROBLEM OF MODERN TRENDS OF CRYPTOGRAPHY.....	130
<b>Kolesnikova I.V., Marlen Dias</b> ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF ISOLATION OF MICROSPHERES FROM ASH WASTE IN THE WORLD AND THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN.....	135
<b>Mazakov T.Zh., Dzhomartova Sh.A., Kisala P., Ziyatbekova G.Z.</b> NEW APPROACHES FOR SOLVING PROBLEMS OF THE SIMULATION OF FLOOD WAVES AND BREAKTHROUGH TO JUSTIFY PROTECTIVE MEASURES .....	140
<b>Mursaliyeva V.K., Imanbayeva A.A.</b> IN VITRO CONSERVATION OF MALACOCARPUS CRITHMIFOLIUS - RELICT SPECIES OF MANGYSHLAK .....	147
<b>Prenov A., Akshabayev A.</b> RESEARCH OF MULTIAGENT SYSTEM IN A DYNAMICALLY CHANGING ENVIRONMENT USING REINFORCEMENT LEARNING ALGORITHMS .....	153
<b>Rahmet N.B., Orynbekov E.S.</b> THE EFFECT OF LIMESTONE ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF DRY CONSTRUCTION SMESA DEPENDING ON THE RECIPE .....	157
<b>Samigulin T.I., Shiryayeva O.I.</b> DEVELOPMENT OF SMART-SYSTEM OF MANAGEMENT OF COMPLEX TECHNOLOGICAL PROCESS OF OIL AND GAS INDUSTRY WITH APPLICATION OF BIO- INSPECTED ALGORITHMS .....	164
<b>Seitbekova E.S., Asilbekov B.K., Kuljabekov A.B., Beisembetov I.K.</b> EXTRACTING HIDDEN FEATURES OF HUMAN MOBILITY AND PREDICTING INFLOW AND OUTFLOW OF BIKE SHARING STATIONS .....	171
<b>Tulemissova Zh.S., Korobkin V.V., Buslov M.M.</b> CORRELATION OF A STRATIGRAPHIC SECTION WITH THE ESTIMATION OF FORECAST RESOURCES OF HYDROCARBON POTENTIAL OF SEDIMENTARY BASINS OF SOUTH KAZAKHSTAN (SHU-SARYSU, ILI AND PRIBALKHASH) .....	177
<b>Tulemissova Zh.S., Bekmukhametova Z.A.</b> OPPORTUNITIES FOR USING HIGH-PRECISION MAGNETIC EXPLORATION, ENGRAVING EXPLORATION AND ELECTRIC EXPLORATION FOR HYDROCARBON RAW MATERIALS EXPLORATION .....	185

**Utepov Ye.B., Kazkeyev A.B.**  
ON TRADITIONAL AND MODERN METHODS AND DEVICES FOR CONTROLLING THE  
STRENGTH OF CONCRETE ..... 193

**ECONOMICS AND SOCIAL SCIENCES**

**Uvaliyeva I., Suleimenova L., Sagandykova Zh.**  
METHODS AND MODELS OF TECHNOLOGY FOR MONITORING RESEARCH AND  
EDUCATION IN UNIVERSITY.....200

**INFORMATION ABOUT AUTHORS.....208**

## СОДЕРЖАНИЕ

### НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

<b>Нурлыбай С.А., Бузова О.В.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ.....	9
<b>Тайкулаков Е., Эдиева К., Ивахненко А.</b> АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ ДЛЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ .....	19

### ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОЛОГИЯ

<b>Балановская Л.Л., Тлеуова С.Т., Тлеуов А.С., Джанмулдаева Ж.К., Смайлов Б.М., Ярочкина В.И.</b> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛИБДЕНСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА СЛОЖНО-СМЕШАННОЕ УДОБРЕНИЕ .....	28
<b>Бейсенбаев О.К., Тлеуов А.С., Смайлов Б.М., Закиров Б.С.</b> ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ МИКРОУДОБРЕНИЙ .....	34
<b>Жусупбеков А.Ж., Жаркенов Е.Б., Жаркенова А.Б.</b> НҰР-СҰЛТАН (АСТАНА) ҚАЛАСЫНЫҢ ТӘУЛІКТІК ЖАУЫН-ШАШЫН ДЕРЕКТЕРІН ТАЛДАУ .....	42
<b>Клепиков В.А., Тлеуова С.Т., Тлеуов А.С., Джанмулдаева Ж.К., Кадынцева Т.А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ .....	48
<b>Есжанұлы М., Бектурғанқызы Б., Қамысбаев Д.Х., Серікбаев Б.А., Қоқанбаев Ә.К., Кудреева Л.К.</b> ВИСМУТ СЕЛЕНИДІ ЕКІ ӨЛШЕМДІ АТОМДЫ КРИСТАЛЫНЫҢ НАНОҚҰРЫЛЫМЫН МЕҢГЕРМЕЛІ ӨСІРУ .....	54
<b>Мендигалиева Г.Е., Сейлханова Г.А., Рахым А.Б., Имангалиева А.Н.</b> КОМПОЗИТНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОТ ИОНОВ $Pb^{2+}$ И $CD^{2+}$ .....	63
<b>Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Бакранова Д.И., Кейнбай С.</b> СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ, СИНТЕЗИРОВАННОЙ МЕТОДОМ ЗАМЕЩЕНИЯ АТОМОВ.....	72
<b>Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Бакранова Д.И., Кейнбай С., Султан А.А.</b> ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ТОЛСТОЙ ПЛЕНКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ .....	79
<b>Шарипов Р.Х., Балгимбаева У.А., Утелбаев Б.Т., Сулейменов Э.Н.</b> ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ШЛАКОВ МЕДНОЙ ПЛАВКИ.....	87
<b>Шолак А., Нурлыбаева А.Н., Кантарбаева С.М., Садиева Х.Р., Матниязова Г.К., Байбазарова Э.А.</b> ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ФОСФОРНО-КАЛИЙНОГО УДОБРЕНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ КОТТРЕЛЬНОГО МОЛОКА.....	93

## ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Бектемиров Р.И., Нұркей Ұ.Т.</b> СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ БОЛЬШИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАБОРА ТЕКСТА ПЕСЕН .....	97
<b>Волчихин В.И., Ахметов Б.Б., Алимсеитова Ж.К., Бекетова Г.С., Жахан Л.О.</b> ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ХИ-КВАДРАТ МОЛЕКУЛЫ ПИРСОНА ДЛЯ ПРОВЕРКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ НА МАЛЫХ ВЫБОРКАХ .....	105
<b>Джаксылыкова А.Б., Зияден А.А., Рахымбекұлы Ж., Қалиева А., Комада П.</b> ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ КЛИНИКАЛЫҚ МӘТІННІҢ СЕМАНТИКАЛЫҚ РӨЛІН БЕЛГІЛЕУ .....	111
<b>Жукабаева Т.К., Марденов Е.</b> MDS-МАТРИЦЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В КРИПТОГРАФИИ .....	117
<b>Жусупбеков А.Ж., Шакирова Н.У., Танирбергенова Г.К., Жумадилов И.Т.</b> КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ: МЕТОД ПРИ НИЗКОЙ НАГРУЗКЕ И МЕЖСКВАЖИННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ .....	122
<b>Капалова Н.А., Анджей Котыра, Абишева А.Ж.</b> К ВОПРОСУ О ПРОБЛЕМЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ КРИПТОГРАФИИ .....	130
<b>Колесникова И.В., Марлен Диас</b> АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ МИКРОСФЕР ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В МИРЕ И РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН .....	135
<b>Мазаков Т.Ж., Джомартова Ш.А., Кисала П.А., Зиятбекова Г.З.</b> НОВЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПАВОДКОВЫХ И ПРОРЫВНЫХ ВОЛН ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ .....	140
<b>Мурсалиева В.К., Иманбаева А.А.</b> СОХРАНЕНИЕ IN VITRO МЯГКОПЛОДНИКА КРИТМОЛИСТНОГО MALACOCARPUS CRITHMIFOLIUS – РЕЛИКТОВОГО ВИДА МАНГЫШЛАКА .....	147
<b>Пренов А., Акшабаев А.</b> ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ В ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ .....	153
<b>Рахмет Н.Б., Орынбеков Е.С.</b> ВЛИЯНИЕ РАКУШЕЧНИКА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЦЕПТУРЫ .....	157
<b>Самигулин Т.И., Ширяева О.И.</b> РАЗРАБОТКА SMART-СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОИНСПЕРИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ .....	164
<b>Сейтбекова Е.С., Асилбеков Б.К., Кульджабеков А.Б., Бейсембетов И.К.</b> ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОБИЛЬНОСТИ ЛЮДЕЙ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИТОКА/ОТТОКА ВЕЛОСИПЕДОВ НА СТАНЦИЯХ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ .....	171
<b>Тулемисова Ж.С., Коробкин В.В., Буслов М.М.</b> КОРРЕЛЯЦИЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА С ОЦЕНКОЙ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА (ШУ-САРЫСУЙСКОГО, ИЛИЙСКОГО И ПРИБАЛХАШСКОГО) .....	177

<b>Тулемисова Ж.С., Бекмухаметова З.А.</b> ВОЗМОЖНОСТИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВЫСОКОТОЧНОЙ МАГНИТОРАЗВЕДКИ, ГРАВИРАЗВЕДКИ И ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКАХ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ .....	185
<b>Утепов Е.Б., Казкеев А.Б.</b> О ТРАДИЦИОННЫХ И СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДАХ И УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА .....	193
<b>ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНО-ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ</b>	
<b>Увалиева И., Сулейменова Л., Сагандыкова Ж.</b> МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА .....	200
<b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ .....</b>	<b>208</b>

# НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ

---

УДК 66.066.3  
МРНТИ 61.51.13

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ВОДОНЕФТЯНОЙ ЭМУЛЬСИИ

С.А. НУРЛЫБАЙ, О.В. БУЗОВА

*Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова*

**Аннотация:** В данной статье рассмотрено влияние различных факторов и выявлены некоторые зависимости при разделении водонефтяной эмульсии типа «вода в нефти». Было выяснено, что с повышением температуры и хлористых солей эффективность разрушения водонефтяной эмульсии увеличивается, также влияние оказывает рН-среда, значение которой ближе к нейтральной. Высокая обводненность сырой нефти оказывает благоприятное воздействие на дестабилизацию и отделение эмульгированной воды, а наличие асфальтенов значительно затрудняет сепарацию сырой нефти. Растворитель, входящий в состав деэмульгатора, также играет большую роль в дестабилизации эмульсии и подбирается индивидуально.

**Ключевые слова:** водонефтяная эмульсия, хлористые соли, рН-среда, обводненность, сырая нефть, эмульгированная вода, асфальтены, сепарация, растворитель, деэмульгатор

## STUDY OF INFLUENCE OF VARIOUS FACTORS ON THE STABILITY OF WATER-OIL EMULSIONS

**Abstract:** This article discusses the influence of various factors and reveals some dependencies in the separation of water-oil emulsions. It has been found that the efficiency of water-in-oil emulsion separation increases with the increasing of temperature and chloric salts content. Near to neutral pH medium has an impact on the separation of emulsions. High water cut of crude oil has a beneficial effect on destabilizing and separation of emulsified water; whereas the presence of asphaltene makes the crude oil separation difficult significantly. The solvent included in the demulsifier plays a large role in emulsion destabilization and it is selected individually.

**Keywords:** water-oil emulsion, chloric salts, pH medium, water cut, crude oil, emulsified water, asphaltenes, separation, solvent, demulsifier

## МҰНАЙ-СУ ЭМУЛЬСИЯСЫНЫҢ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫНА ӘСЕР ЕТЕТІН ӘРТҮРЛІ ФАКТОРЛАРДЫ ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа:** Бұл мақалада мұнай-су эмульсиясының бөлінуіне әсер ететін факторлар зерттелді және кейбір тәуелділіктер анықталды. Температура мен хлорид тұздарының жоғарылауымен мұнай-су эмульсиясының бұзылу тиімділігі арта түсетіні айқындалды және де оған бейтарапқа жақын рН орта әсер етеді. Жоғары мөлшердегі сулы шикі мұнай тұрақсыздандыруға және эмульсияланған судың бөлінуіне жағымды әсер етеді, бірақ асфальтендердің болуы шикі мұнайды сепараттауды айтарлықтай қиындатады. Деэмульгатордың еріткіші эмульсияны тұрақсыздандыруда да үлкен рөл атқарады және жеке таңдалады.

**Түйінді сөздер:** мұнай-су эмульсиясы, хлорид тұздары, рН орта, мұнай сулығы, шикі мұнай, эмульсияланған су, асфальтендер, бөлу, сепараттау, еріткіш, деэмульгатор

## ВВЕДЕНИЕ

Эмульсии типа «вода в нефти» формируются во время добычи сырой нефти. Вода широко распределена в сырой нефти в виде очень мелких капель, и их содержание зависит как от свойств воды, так и свойств нефти. При обычных условиях вода легко отделяется от нефти, поскольку они являются несмешивающимися жидкостями. Однако водонефтяные эмульсии формируются из-за турбулентности при добыче сырой нефти в трубопроводах и стабилизируются присутствием природных эмульгаторов в нефти.

Природные эмульгаторы концентрируются в высококипящих фракциях сырой нефти. Они содержат в своем составе асфальтены, смолы, органические кислоты и основания, парафины и твердую часть углеводородов, которые являются основными составляющими межфазной пленки, окружающие водные капли и обеспечивают стабильность водонефтяной эмульсии [1, 2].

Ниже рассмотрены различные факторы, влияющие на стабильность водонефтяной эмульсии.

### 1. Влияние асфальтенов

Согласно заключениям (Гуал и Фирозабади) [3] дипольный момент, влияющий на стабильность эмульсии, резко увеличивается от насыщенных и ароматических углеводородов (0-1 D) к смолам (2,4-3,2 D), от смол к асфальтенам (3,3-6,9 D). Полярности с высоким дипольным моментом (больше 2 D) влияют на молекулярные взаимодействия в нефтепродукте и в итоге формируют мицеллы.

Считается, что асфальтены существуют в нефти как коллоидные суспензии и стабилизируются смолами, которые адсорбированы на их поверхности. В этом случае, смолы реагируют как пептизирующие агенты для асфальтенов и вместе формируют мицеллы. Эти мицеллы или коллоиды содержат большинство полярных материалов, которые находятся в сырой нефти и имеют поверхностно-активные свойства (межфазный активный материал) [1]. Согласно исследованиям

(Гафонова) [4] смолы и парафины индивидуально не могут формировать эмульсии, только асфальтены.

Соотношение асфальтены: смолы в сырой нефти влияет на вид образовавшейся пленки (твердая, либо подвижная) и связано со стабильностью эмульсии [1]. Эти эмульгаторы формируют межфазные пленки вокруг диспергированной воды и создают барьер, который замедляет или препятствует коалесценции капелек воды. Смещение асфальтеной оболочки с применением деэмульгаторов на поверхности эмульсии типа «вода в нефти» является важным фактором в дестабилизации этой пленки. Асфальтены играют большую роль в повышении стабильности эмульсии путем формирования стабильных механических связей и, тем самым, уменьшая гидродинамическую силу между капельками воды и асфальтенами [5].

### 2. Влияние содержания воды

Стабильность водонефтяной эмульсии зависит не только от наличия в их составе асфальтенов, смол и парафинов, но также и от объема содержащейся воды в нефти [5]. Капли воды и их распределение по размеру в водонефтяной эмульсии играют большую роль в определении стабильности эмульсии также как и физические свойства данной эмульсии [6]. Доказано, что при низком содержании воды, капельки воды имеют очень мало шансов на столкновение и их коалесценцию. Увеличение содержания воды может значительно снизить стабильность эмульсии [5]. В этом случае увеличение эффективности коалесценции ведется за счет снижения расстояния между каплями воды в эмульсии. Расстояние между каплями воды может быть значительно снижено за счет увеличения объема водной фазы в эмульсии, увеличивая вероятность столкновения между этими каплями [2]. Большие капли воды имеют меньшее поверхностное натяжение, поэтому все, что способствует увеличению размеров этих капелек, способствует процессу отделения воды от нефти [7].

### 3. Влияние температуры

Регулирование температуры, pH водной фазы, а также содержания хлористых солей играет большую роль в дестабилизации водонефтяной эмульсии.

Термическая обработка хорошо влияет на разрушение эмульсии, поскольку, во-первых, нефть становится менее вязкой при нагревании и таким образом, капли воды становятся более подвижны в ней. Во-вторых, эмульсии менее стабильны при высоких температурах. Если они достигают значения температур фазовой инверсии, то эмульсии «вода в нефти» становятся эмульсиями типа «нефть в воде» [7].

Исследования [1, 2] показали, что повышение температуры до 70-80°C влечет за собой увеличение отделения воды. Это может быть объяснено тем фактом, что при увеличении температуры уменьшается кинематическая вязкость, термическая или кинетическая энергия каждой молекулы увеличивается, и наконец, молекулы становятся более подвижны. Все это ведет к увеличению эффективности деэмульгирования [2,8].

В своих исследованиях (Гадживанд и Вазири) [1] заключили, что высокие температуры оказывают дестабилизирующий эффект, вызванный увеличением Броуновского движения и массопередаче вокруг связи, которая связана с тем, что межфазная вязкость внутренней фазы уменьшается с ростом температуры. В результате происходит увеличение движущей силы между двумя каплями воды в эмульсии, происходит их коалесценция, и две фазы несмешивающихся жидкостей отделяются за счет разности плотностей и полярности.

### 4. Влияние pH воды

Некоторые природные эмульгаторы, такие как асфальтены, смолы или органические кислоты содержат ионизируемые группы, и значение pH водной фазы влияет на их ионизацию в межфазных пленках, меняя физические свойства и растворимость некоторых полярных органических соединений в водной фазе [2].

В более кислой или щелочной среде водонефтяные эмульсии остаются стабильными, в то время как она может снижаться при значении pH, близкому к нейтральному. Оптимальное значение pH среды варьируется от 5 до 9. При низком или высоком значении pH асфальтеновые функциональные группы становятся заряженными, что приводит к увеличению поверхностной активности [1]. Согласно исследованиям [1, 2] максимальное отделение воды наблюдается при pH водной фазы 5,5 и 7,0 соответственно.

### 5. Влияние хлористых солей

Повышенное содержание хлористых солей благоприятно сказывается на процессе дестабилизации водонефтяной эмульсии, так как присутствие неорганических катионов в системе дает обратный эффект на их стабильность [1]. Известно, что удельный вес водной фазы увеличивается с повышением концентрации солей. Также хлористые соли влияют на кинематическую и динамическую вязкость. Динамическая вязкость уменьшается с увеличением содержания хлористых солей, так как последние разрушают водородные связи воды [8]. В результате уменьшается поверхностное натяжение всей системы.

Исследования показали [2], что при высоком содержании хлористых солей и высоком pH практически не наблюдается отделение эмульгированной воды. В связи с этим хлористые соли не могут снижать стабильность эмульсии. Наиболее эффективные показатели сепарации воды даются при повышенном содержании хлористых солей и значении pH, равном 5,5-7,0 [1, 2].

Доказано, [9] что межфазное поверхностное натяжение увеличивается с ростом концентрации NaCl до 1000 ppm, однако дальнейшее увеличение концентрации приводит к обратной реакции (увеличивается межфазное поверхностное натяжение). При этом значительного снижения межфазного поверхностного натяжения не наблюдается, так как NaCl не оказывает влияния на смолы и асфальтены. Дальнейшие лабораторные исследования с солями MgCl<sub>2</sub> и CaCl<sub>2</sub> показали резкое

снижение межфазного поверхностного натяжения. Оно связано с тем фактом, что полярные органические компоненты асфальтенов и смол реагируют с дивалентными катионами ( $Mg^{2+}$  и  $Ca^{2+}$ ) и впоследствии получают комплексные ионы, которые более растворимы в водной фазе, и в результате межфазное поверхностное натяжение снижается [9].

Значительный эффект снижения межфазного поверхностного натяжения по отношению к смолам среди солей дает  $MgCl_2$ . Более высокая близость  $Mg^{2+}$  к атому кислорода (присутствующие в молекулах смолы) позволяет координировать кислородсодержащие соединения в смолах сырой нефти. В случае с асфальтенами,  $CaCl_2$  дает больше эффекта при снижении межфазного поверхностного натяжения, чем  $MgCl_2$ . Это связано с тем, что для ионов  $Ca^{2+}$  легче образовывать комплексные соединения с асфальтенами, чем с ионом  $Mg^{2+}$ , так как у асфальтенов молекулы имеют большие размеры [9].

### 6. Влияние растворителей деэмульгаторов

Концентраты деэмульгаторов представляют собой высоковязкие вещества, и они содержат в своем составе органические растворители для снижения их вязкости, улучшения свойств, а также для снижения расхода деэмульгатора.

Высокоагрегированные молекулы деэмульгатора не проявляют поверхностно-активных свойств, поскольку они имеют низкую агрегацию. Из органических растворителей ксилол более совместим с сырой нефтью чем пропанол, поэтому дает более равномерное распределение низко- или неагрегированных молекул деэмульгатора, способных легко адсорбироваться на межфазной поверхности «нефть-вода». Более того, растворитель в деэмульгаторе может оказать влияние на конечную эффективность деэмульгатора путем облегчения растворимости деэмульгатора в непрерывной фазе водонефтяной эмульсии [5].

Спирты используются не только как разбавители, но и как модификаторы деэмульгаторов. По Гадживанд и Вазири [1] короткие

алкильные цепи спиртов растворимы в воде, в то время как более длинные алкильные цепи - в нефти. Среди спиртов наибольший эффект дает метанол, в то время как бутанол, пентанол и циклогексанол показали незначительный эффект в процессе сепарации воды. Однако, метанол дает незначительную эффективность отделения воды при сравнении деэмульгатора с метанолом и без него (разница составляет около 4%).

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Для проведения серий экспериментов была выбрана нефть месторождения Восточный Жагабулак в Западно-Казахстанской области. Разработчиком месторождения является компания ТОО «Арал Петролеум Кэпитал». В таблице 1 представлены физико-химические показатели качества сырой нефти месторождения Восточный Жагабулак.

В лабораторных условиях искусственная водонефтяная эмульсия была приготовлена из пропорции 80% обезвоженной нефти и 20% дистиллированной воды со значением  $pH=6,0$  в объемах, равных 160 мл и 40 мл соответственно. Далее при энергичном встряхивании в течение 10 мин была получена стабильная однородная водонефтяная эмульсия, которая отстаивалась на водяной бане при температуре  $60^{\circ}C$ . После отстаивания в течение 24 часов было проведено измерение содержания свободной воды bottom-test методом, в результате которого свободная вода не была выделена отдельной фазой, что указывало на прочность и стабильность водонефтяной эмульсии. Затем в пробу был добавлен деэмульгатор.

### 1. Влияние содержания асфальтенов

Для проведения данного испытания дополнительно были взяты нефти со средним и низким содержанием асфальтенов. Содержание асфальтенов было определено по ГОСТ 11851. В таблице 2 представлены результаты лабораторных испытаний на определение влияния содержания

**Таблица 1 – Физико-химические показатели качества сырой нефти месторождения Восточный Жагабулак**

№	Наименование показателя	Значения
1	Плотность нефти при 20°C, г/см <sup>3</sup> (ГОСТ 3900-85)	0,8438
2	Кинематическая вязкость нефти при 20°C, мм <sup>2</sup> /с (ASTM D 445-2011)	4,71
	Динамическая вязкость нефти при 20°C, мПа·с (ASTM D 445-2011)	3,93
3	Кинематическая вязкость нефти при 50°C, мм <sup>2</sup> /с (ASTM D 445-2011)	2,49
	Динамическая вязкость нефти при 50°C, мПа·с (ASTM D 445-2011)	2,01
4	Содержание силикагелевых смол, % масс (ГОСТ 11851)	11,92
5	Содержание асфальтенов, % масс (ГОСТ 11851)	1,2
6	Содержание парафина, % масс (ГОСТ 11851)	3,50
7	Содержание воды, % масс (ГОСТ 2477-2011)	0,03
8	Кислотное число, мг. КОН/г (ГОСТ 5985)	8,0
9	Содержание механических примесей, % масс (ГОСТ 6370)	0,0342
10	Содержание хлористых солей, мг/л (ГОСТ 21534)	26,1

**Таблица 2 – Влияние содержания асфальтенов в нефти на эффективность разделения водонефтяной эмульсии (деэмульгатор EASY, температура 60°C)**

Содержание асфальтенов, %	Концентрация деэмульгатора, ppm.	Время отделения, мин.	Отстоявшая вода, %
1,2	0	1140	0
	10	53	100
	100	13	100
0,7	0	152	87,5
	10	36	100
	100	10	100
0,05	0	18	100
	10	10	100
	100	4,5	100

асфальтенов в нефти на эффективность разделения водонефтяной эмульсии.

Данное исследование показало, что содержание асфальтенов в нефти играет значительную роль в стабилизации водонефтяной эмульсии.

Согласно таблице 2 из водонефтяной эмульсии с количественным содержанием 1,2% (масс.) асфальтенов не удастся выделить водную фазу в течение 24 часов без применения деэмульгаторов, в то время как легкая нефть с содержанием 0,05%(масс.) асфальтенов за 18 минут показала 100% отделение воды. Применение деэмульгаторов, подходя-

щих для разрушения асфальтизированной нефтяной эмульсии, значительно уменьшает время отстоя воды, хотя это также подразумевает их повышенный расход: при концентрации 100 ppm деэмульгатора из расчета на нефть с содержанием 1,2% асфальтенов дает 100% отделение воды за 13 минут, в то время как при расходе деэмульгатора 10 ppm в случае нефти с содержанием асфальтенов 0,05% водную фазу удалось получить за 10 минут.

На основе исследования было доказано, что с увеличением содержания асфальтенов эффективность деэмульгирования нефти значительно понижается.

## 2. Влияние содержания воды

Данный эксперимент проводился с использованием пробы исходной нефти. Для ускорения исследования был использован высокоэффективный деэмульгатор марки

«Рандем». Проба водонефтяной эмульсии отстаивалась на водяной бане при температуре 60°C. Результаты исследования приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Влияние обводнённости нефти на отделение водной фазы

Содержание воды, %	Время отделения (мин)	Отстоявшаяся вода, %	Концентрация деэмульгатора, ppm.
10	27	100	10
20	20	100	10
30	16	100	10
50	8	100	10

В результате эксперимента выявлено влияние обводнённости нефти на отделение водной фазы. Доказано, что увеличение содержания воды в нефти уменьшает время отстаивания воды, поскольку уменьшается расстояние между каплями воды и увеличиваются шансы на их столкновение, коалесценцию и осаждение.

## 3. Влияние температуры

Данный эксперимент для сравнения проводился с деэмульгатором и без него. Водонефтяная эмульсия отстаивалась в термостате и на водяной бане в течение 60 минут замерялось количество осажённой свободной воды. Результаты лабораторных

испытаний о влиянии температуры на эффективность разделения водонефтяной эмульсии отражает диаграмма, представленная на рисунке 1.

С повышением температуры снижается вязкость жидкости, увеличивается подвижность молекул, вероятность столкновения и их коалесценции, затем они отделяются за счет разности плотностей и полярности. Таким образом результаты исследования показали, что наименьшее отслоение воды происходит при 10°C, значительное – при комнатной температуре 25°C. С повышением температуры до 50°C объем отстоявшейся воды увеличивается, однако, в дальнейшем повышение температуры от 50°C до 60°C показало

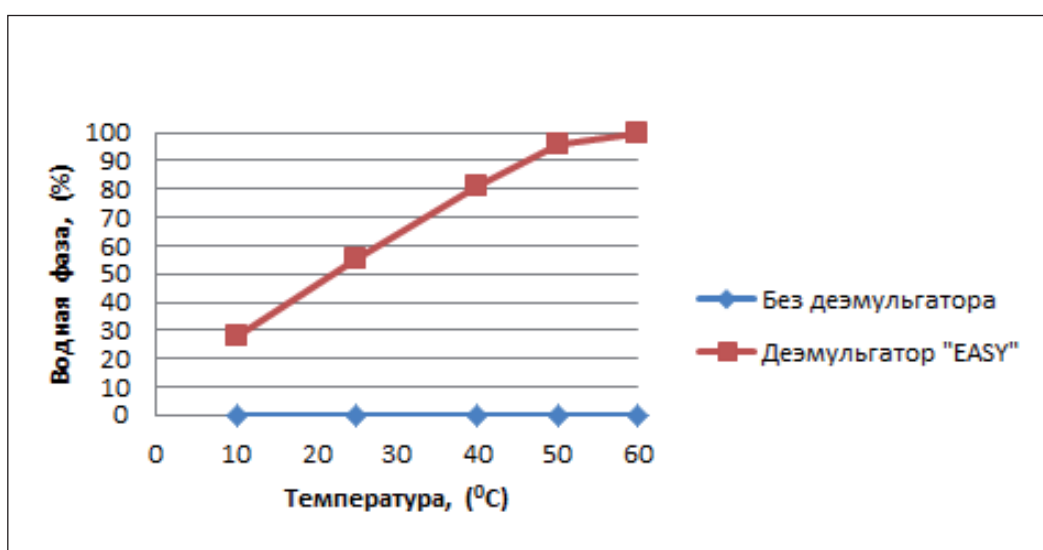


Рис. 1 – Влияние температуры на эффективность обезвоживания нефти

незначительный рост. Наиболее благоприятной температурой является 60°C, показавшая максимальное отслоение воды (100%) с применением деэмульгатора марки «EASY» при малой концентрации 10 ppm.

#### 4. Влияние pH воды

Для проведения данного эксперимента применялась дистиллированная вода со зна-

чением pH = 5,5 без содержания хлористых солей. Дальнейшее регулирование pH воды проводилось с применением кислоты HCl и щелочи NaOH. Эмульсия отстаивалась на водяной бане с добавлением деэмульгатора марки «EASY» при температуре 60°C в течение 10, 20 30, 40, 50 и 60 минут. Результаты лабораторных испытаний показаны на диаграмме рисунок 2.

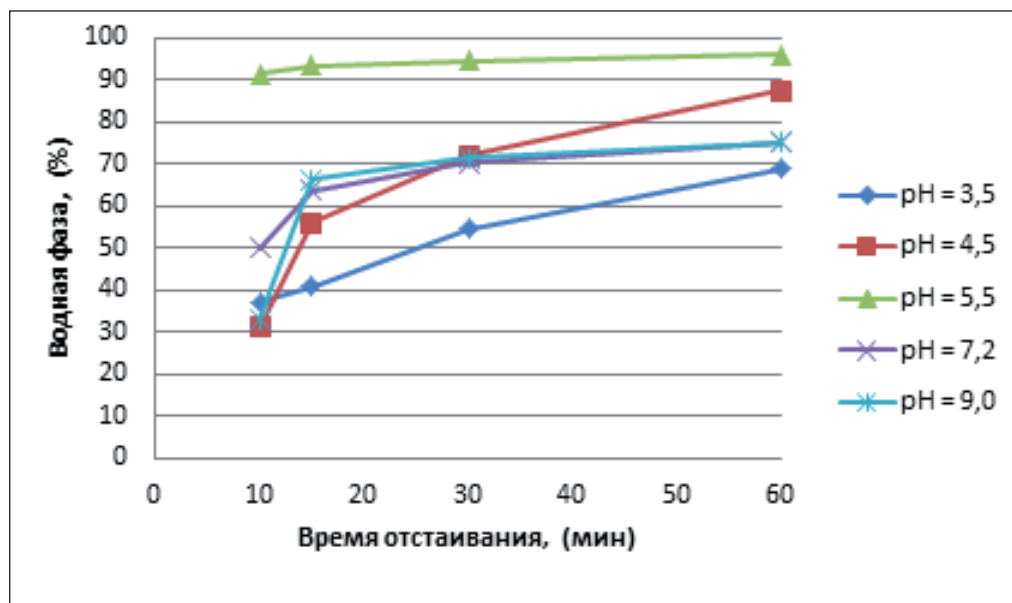


Рис. 2 – Влияние значения pH среды на обезвоживание нефти

Согласно исследованию, хорошие результаты показала среда со значением pH = 5,5. Вода хорошо отстаивается в нейтральной среде водной фазы, поскольку в более кислотной или щелочной среде асфальтены, смолы или органические кислоты нефти влияют на их ионизацию и стабилизируют водонефтяную эмульсию.

#### 5. Влияние хлористых солей

В данном эксперименте были протестированы пробы влияния наличия хлористых солей (одновалентных и двухвалентных) на сепарацию воды с добавлением деэмульгатора марки «EASY». Водные растворы с содержанием хлористых солей были приготовлены из дистиллированной воды с добавлением кристаллизованных солей NaCl, CaCl<sub>2</sub> и MgCl<sub>2</sub>. К пробам был добавлен деэмульгатор с концентрацией 10 ppm, проводилось отстаивание на

водяной бане при температуре 60°C в течение 5, 10, 15 и 30 минут. Результаты приведены на диаграммах рисунков 3-5.

На диаграмме рисунка 3 видно, что результаты первых экспериментов не показали значительного влияния содержания натриевых солей на процесс дестабилизации эмульсии. Однако дивалентные соли, представленные на диаграммах рисунков 4 и 5 при повышенных концентрациях, дали хорошие результаты при отделении воды от нефти. Причем максимальный эффект наблюдается у хлорида магния. Как было сказано выше, полярные органические компоненты асфальтенов и смол реагируют с дивалентными катионами, в результате снижается межфазное поверхностное натяжение.

В связи с этим можно заключить, что наличие хлористых солей влияет на дестабилизацию эмульсии и зависит не только от их

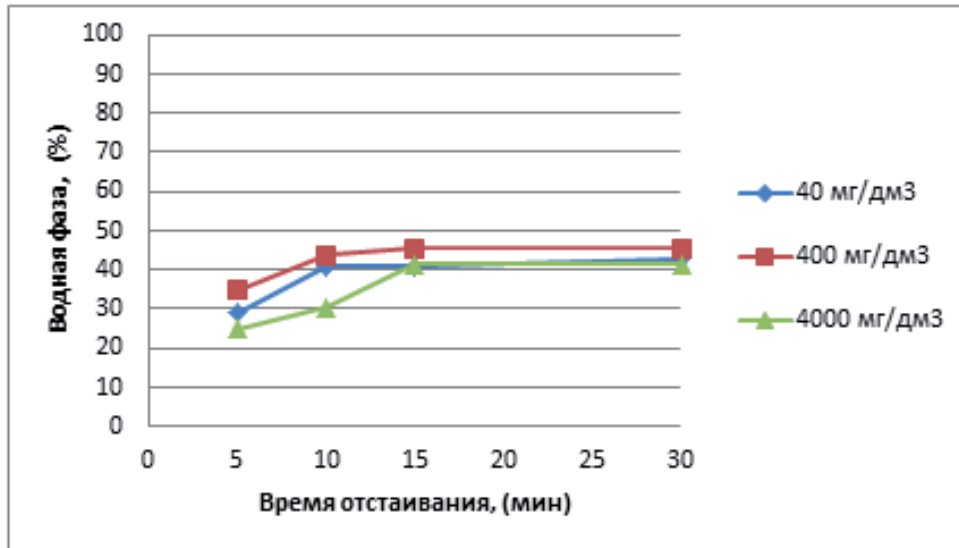


Рис. 3 – Влияние содержания NaCl на обезвоживание нефти

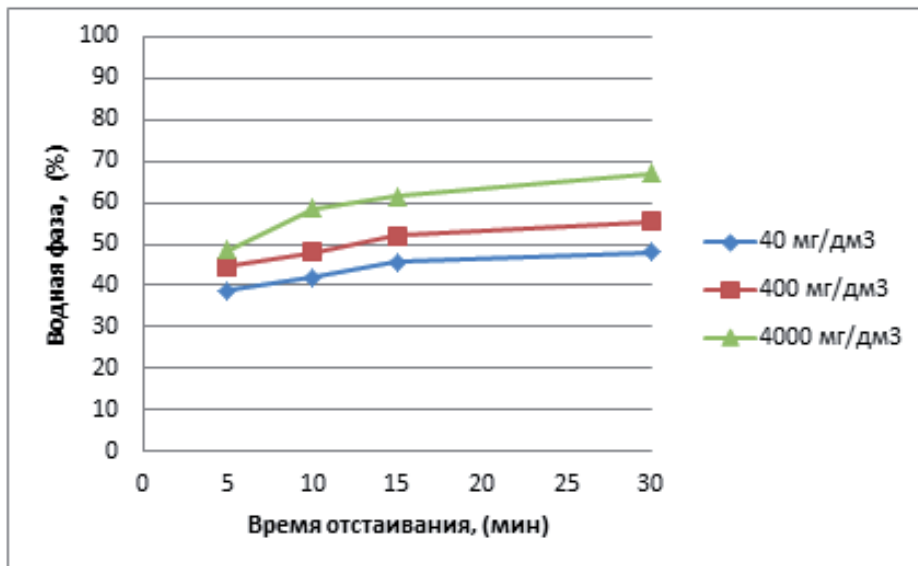


Рис. 4 – Влияние содержания CaCl₂ на обезвоживание нефти

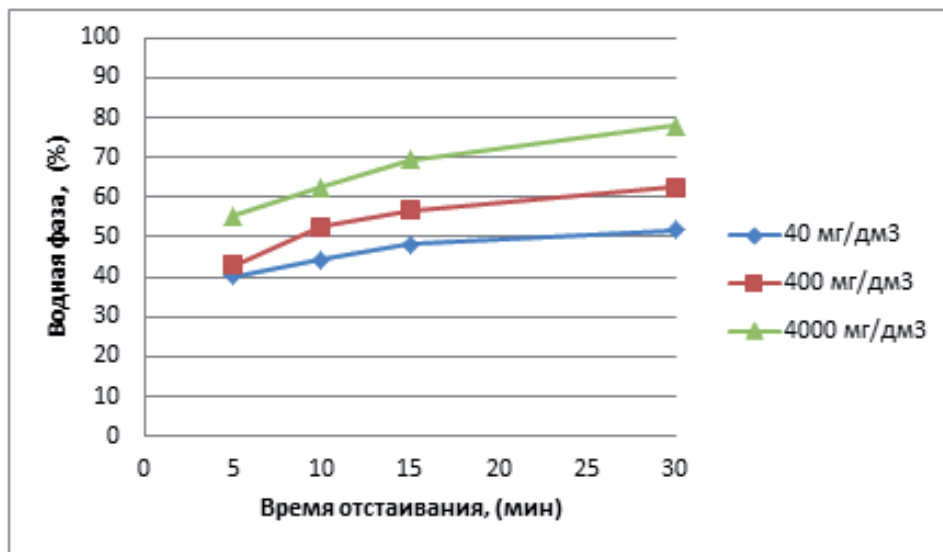


Рис. 5 – Влияние содержания MgCl₂ на обезвоживание нефти

концентрации, но и от вида соли. Наиболее эффективными оказались соли  $MgCl_2$ , затем следует  $CaCl_2$ . Моновалентные соли  $NaCl$  мало влияют на подвижность капель воды и практически не влияют на природные эмульгаторы, стабилизирующие водонефтяную эмульсию.

### 6. Влияние растворителей деэмульгаторов

Для исследования влияния природы растворителя в составе деэмульгатора был

выбран концентрат деэмульгатора марки Basorol 9429, составом которого является алкилфенолформальдегидная смола, модифицированная блоками этиленоксид-пропиленоксида. В качестве растворителей были выбраны широко применяемые для этой цели: толуол, о-ксилол, изопропиловый спирт и метанол. Были составлены 7 видов рецептур. Результаты исследования представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Исследование влияния природы растворителя в составе деэмульгатора на обезвоживание нефти**

Наименование	Объем отделившейся воды, %	Время сепарации
Холостая проба нефти Арал Петролеум	0%	24 часа
50% деэмульгатора на 50% о-ксилола	100%	2 часа
50% деэмульгатора на 50% толуола	100%	3 часа 53 мин
50% деэмульгатора на 50% метанола	100%	6 часов 53 мин
50% деэмульгатора на 50% изопропилового спирта	61,2%	7 часов 24 минут
40% деэмульгатора на 20% метанола, 20% изопропилового спирта и 20% о-ксилола	100%	9 часов 28 минут
40% деэмульгатора на 30% изопропилового спирта и 30% о-ксилола	78,8%	7 часов 25 минут
40% деэмульгатора на 10% метанола, 20% изопропилового спирта и 30% о-ксилола	89,7%	7 часов 26 минут

Ароматические растворители, такие как о-ксилол и толуол хорошо растворяют смолы, асфальтены и парафины, смачивая их, снижают общее поверхностное натяжение, в результате капли воды сталкиваются, происходит их коалесценция и осаждение. Что касается метанола и изо-пропилового спирта, то они растворимы в органических кислотах, а также воде. Правильно подобранный растворитель деэмульгатора, помимо снижения его вязкости, влияет на дестабилизацию межфазной пленки.

Исследование влияния различных растворителей деэмульгаторов на обезвоживание нефти показало, что наиболее хорошо растворяет и реагирует о-ксилол, имеющий две

реакционноспособные  $CH_3$  группы. Затем следует толуол и метанол. Чистые разбавители в соотношении 1:1 обеспечили 100% отделение воды. Однако, изопропиловый спирт показал незначительный результат (61,2% за 7 часов 24 минуты), при чем дальнейшего отделения воды не наблюдалось. Изопропиловый спирт ограничен, либо не способен растворить высоковязкий концентрат деэмульгатора.

### Заключение

В заключении можно сказать следующее: содержание асфальтенов в нефти значительно увеличивает стабильность эмульсии. С увеличением обводненности нефти увели-

чивается количество отделившейся водной фазы. Оптимальная температура и значение рН для дестабилизации водонефтяной эмульсии 60°C и рН = 5,5. Что касается содержания хлористых солей, то моновалентные соли (хлорид натрия) незначительно влияет на дестабилизацию эмульсии, двухвалентные хлориды магния и кальция влияют на натяжение межфазной поверхности пленки и снижают ее. Природа растворителя деэмульгатора играет важную роль в процессе обезвожива-

ния нефти. Для высокоасфальтизированной нефти применяются такие растворители, как толуол или о-ксилол. Для легких нефтей с низким содержанием асфальтенов могут применяться спирты с короткими алкильными цепями. Среди наиболее эффективных растворителей можно выделить о-ксилол и толуол. Однако их дороговизна и ограниченность применения ввиду повышенной токсичности не определяет их использования в качестве разбавителя.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Hajivand P., Vaziri A. Optimization of demulsifier formulation for separation of water from crude oil emulsions. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*. – 2015. – Vol. 32, No. 01. pp.107-118.
2. Fortuny M., Oliveira C. B. Z., Melo R. L. F. V., Nele M., Coutinho R. C. C., Santos A. F., Effect of salinity, temperature, water content, and pH on the microwave demulsification of crude oil emulsions. *Energy & Fuels* – 2007. Vol. 21, No. 3. pp.1358-1364.
3. Goual L, Firoozabadi A. Measuring asphaltenes and resins, and dipole moment in petroleum fluids. *AIChE Journal* – 2002. – Vol. 48, No. 11. pp.2646-2663.
4. Gafonova O. V. Role of asphaltenes and resins in the stabilization of water in hydrocarbon emulsions. The University of Calgary, MSc. Thesis – 2000.
5. Al-Sabagh A. M., El-Ghazawy R. A., Noor El-Din M. R., Kandile N. G. Hydrolyzed Fatty Oil Surfactants as Friction Modifiers at Water/Oil Emulsion Interface. *Surfactants in Tribology* – 2011. Vol. 2. pp.191-218.
6. Mugabi J., Igura N., Shimoda M. Effect of Process Parameters on Oil-in-Water Emulsion Droplet Size and Distribution in Swirl Flow Membrane Emulsification. *Journal of Chemical Engineering of Japan* – 2018. – Vol. 51, No. 3. pp.229-236.
7. Malcom A. K. *Production Chemicals for the Oil and Gas Industry* – 2009. pp.291-307.
8. Mohamed A. M. O., Gamal M., Zekri A.Y. Effect of salinity and temperature on water cut determination in oil reservoirs. *Journal of Petroleum Science and Engineering* – 2003. – Vol. 40, No. 3-4. pp.177-188.
9. Lashkarbolooki M., Ayatollahi Sh., Riazi M. Effect of Salinity, Resin, and Asphaltene on the Surface Properties of Acidic Crude Oil/ Smart Water/ Rock System. *Energy & Fuels* – 2014. – Vol. 28, No. 11. pp.6820-6829.

УДК 550.383.7  
МРНТИ 37.00.00

## SOLUTION ANALYSIS OF MAGNETIC ANOMALIES FOR RESEARCH AND FORECASTING OF PETROLEUM FIELDS

E. TAYKULAKOV, K. EDIYEVA, A. IVANKNENKO

*Kazakh-British Technical University*

**Abstract:** magnetic surveying is a geophysical method for solving geological problems, based on the study of the Earth's magnetic field, the Earth, as a cosmic body of a certain internal structure generates a constant magnetic field, called normal or primary. In this research, the mathematical interpretation of magnetic surveying data considered through digitization of maps, creation of new maps of magnetic anomalies, plan curvature map, first and second derivative maps, application of various filters, overlapping maps with the isolated structural elements, and all these information received geological justification. Also, the paper completely describes the relatively simple sequence of application of all methods used in the mathematical interpretation of magnetic surveying data, based on the results of the work performed, the prospects of this method were analyzed, the method is very efficient, and requires absolutely no investments.

**Keywords:** magnetic surveying, magnetic anomaly, mathematical interpretation, map of the regional magnetic anomaly, map of the first derivative, map of the second derivative, magnetization of rocks, plan curvature map

## МҰНАЙ КЕНОРЫНДАР ҮШІН МАГНИТТІК АНОМАЛИЯ ЗЕРТТЕУ МЕН БОЛЖАУДЫҢ ТАЛДАУЫ

**Аңдатпа:** магниттік барлау дегеніміз – жердің магнит өрісіне негізделген геологиялық есептерді шығаратын геофизикалық әдіс. Жер белгілі ішкі құрылысы бар ғарыштық дене ретінде қалыптты немесе бастапқы деп аталатын тұрақты магнит өрісін түрлендіреді.

Аталған жұмыста «Солтүстік Аққар» кенорны үлгісінде магниттік барлау деректерін карталарды цифрлау, магниттік аномалиялардың жаңа карталарын жасау, жоспарлы қисықтықты, бірінші және екінші туынды карталарды құру, түрлі геофизикалық сүзгілерді қолдану, құрылымдық элементтерді бөліп көрсету арқылы карталарды бір-біріне қабаттастыру арқылы математикалық түсіндіру қарастырылған. Сондай-ақ жұмыста магниттік барлаулар деректерін математикалық түсіндіруде пайдаланылған барлық әдістерді қолданудың қарапайым бірізділігі сипатталады, жүргізілген жұмыстардың нәтижелері бойынша аталған әдістің келешегіне талдау жасалған, әдіс нәтижелі болып табылады және ешқандай салымды талап етпейді.

**Түйінді сөздер:** магниттік барлау, магниттік аномалия, математикалық интерпретациялау, аймақтық магниттік аномалия картасы, бірінші туынды картасы, екінші туынды картасы, тау жыныстардың магниттенгендігі, жоспарлы қисықтығы картасы

## АНАЛИЗ ИССЛЕДОВАНИЯ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МАГНИТНЫХ АНОМАЛИЙ ДЛЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

**Аннотация:** магниторазведка – это геофизический метод решения геологических задач, основанный на изучении магнитного поля Земли. Земля, как космическое тело определенного внутреннего строения, генерирует постоянное магнитное поле, называемое нормальным или первичным. В данной работе на примере месторождения «Северный Аккар» рассмотрена математическая интерпретация данных магниторазведки посредством оцифровки карт, создания новых карт магнитных аномалий, плановой кривизны, первой и второй производных, применения различных фильтров, наложения карт

друг на друга с выделением структурных элементов, и самое главное, всей полученной информации дано геологическое обоснование. Также, в работе полностью описывается относительно простая последовательность применения всех методов, использованных в математической интерпретации данных магниторазведки. По результатам проведённой работы были проанализированы перспективы данного метода, который является результативным и не требует абсолютно никаких вложений.

**Ключевые слова:** магниторазведка, магнитная аномалия, математическая интерпретация, карта региональной магнитной аномалии, карта первой производной, карта второй производной, намагниченность горных пород, карта плановой кривизны

### Introduction

According to the magnetic surveying which based on the measurement of the earth's magnetic field, which can be carried out both on land, in water, and in air, structural features of oil and gas deposits and crystalline basement can be predicted. Relying on that the depth of magnetic investigations does not exceed 50 km, accordingly conclusions will be made. By the using magnetic surveying following issues can be solved: 1) exploration of iron ore deposits, because they are distinguished by intense anomalies in hundreds and thousands in nT, also it's of particular importance for polymetallic ores (copper-nickel, manganese ores, bauxites, placer deposits of gold, platinum, tungsten, molybdenum); 2) allocation of contours of mafic and ultramafic rocks; 3) identification and trace such intrusive bodies like dykes, large viens and fault zones in different geological conditions; 4) identification of crystalline basement features such uplifts and deflections; 5) for lithospheric plates researches and geological mapping; 6) conduction of studies at great depths (up to the Curie temperature); 7) allocation of contours of geological massive and differentiate according to magnetic property arrays of ultrabasic rocks among acidic, igneous or sedimentary deposits; 8) making conclusions about the hypsometry of the studied region and the petrographic composition of rocks; 9) getting good results when prospecting diamondiferous kimberlite pipes; 10) obtaining information on the rock fractures based on a micromagnetic survey. All the data listed above, like in this work become informative after they pass through a large number of geophysical filters and mathematical interpretations.

### Main part

Having field coordinates as shown at the picture below mining site of oil field where geophysical prospecting works were conducted can be constructed in Google Earth.



Figure 1 Map of the work region carried out based on known coordinates

Then we constructed a map of the region and marked the field territory in the form of a 6-gon, and the territory was identified on the map of the regional magnetic anomaly.

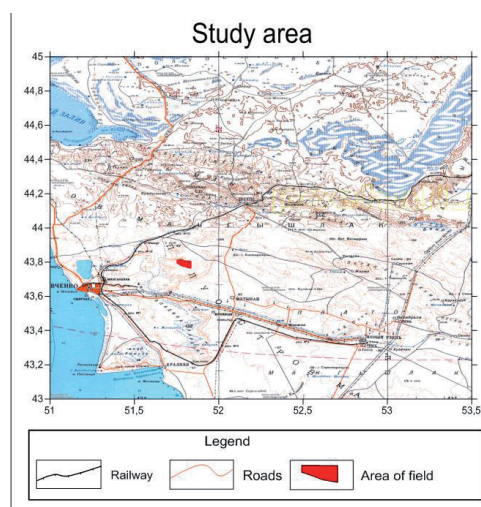


Figure 2 Map of the studied region

The creation of a regional magnetic anomaly map in digital format turned out to be more complicated. An image of the regional magnetic anomaly of the studied region was created using the “sea border” function. In the excel document, according to the color scale of the layer, shown in the magnetic anomaly “EMAG2: Earth Magnetic Anomaly (older version)” indicated in the ArcGIS program was digitized every mm of the studied area (44 profiles, 39 pickets).

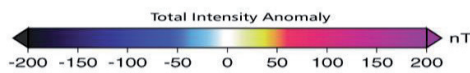


Figure 3 Color scale of magnetic anomaly (nT)

In map creation process we used selecting gridding method. Gridding method in geophysics is a method of averaging. Surfer - the program of creation of a contour, based on a grid. Gridding is the process of creating a Grid (.GRD file) or in other words, the process of calculating Z values for grid points of a regular grid where, in fact, no data exists, using the data stored in the XYZ (.DAT) file. In the process of building a map, it is necessary to choose the gridding method, the list below gives an overview of each gridding method and some advantages and disadvantages in choosing one or the same method.

**Inverse Distance** is fast gridding method, but it tends to generate “target apple” templates of concentric contours around data points.

**Kriging** is one of the more flexible methods and is useful for gridding almost any type of data set. With most data sets, Kriging with a linear variogram is perfectly effective. In general this is the method that would be recommended for the most frequent use. Kriging is the gridding method’s default value. By default, it generates the best full interpretation (decryption) of most data sets. For large datasets, however, Kriging works quite slowly.

**Minimum Curvature** generates smooth surfaces and is fast for most data sets.

**Nearest Neighbor** is useful for converting XYZ data files with regularly available data to Surfer grid files, or when your data is almost a complete grid, with the exception of individual

spaces (lack of data). This method is useful for inserting holes, or creating a grid file with a blanking value assigned to those parts of the map where data is missing.

**Polynomial Regression** processes the data so that in the underlying (main) large-scale trend display trend. This is used to analyze the surface trend. Polynomial Regression is fast method for any amount of data, but local details in the data are lost in the generated grid.

**Radial Basis Functions** is completely flexible, and like Kriging method, generates the best complete interpretation of most data sets. This method produces results that are completely similar to Kriging.

**Shepard’s Method** is similar to the Reverse Distance, but has no tendency to generate templates such as a “bull’s eye” templates, especially when the Smoothing factor is used.

**Triangulation with Linear Interpolation** is fast with all data sets. When you use small data sets, the triangulation generates distinct triangular faces between the data points. One of the advantages of triangulation is that, with sufficient data, the triangulation can store the interrupt lines defined in the data file. For example, if the fault is delineated by sufficient data points on both sides of the fault line, the grid generated by the triangulation will show an inhomogeneity.

In the creation of our map the Kriging method was chosen.

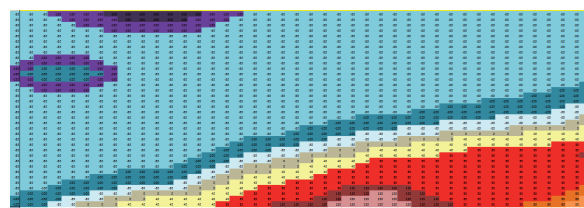


Figure 4 Digitization of data magnetic regional anomaly

Then a map of the regional magnetic anomaly was overlaid on the map of the studied region, the action was carried out using the program “Surfer 13 - Golden Software”, using the “stack maps” function - to apply one to another, using the “opacity” function, we adjust the transparency of the maps, to create lateral

grids indicating the coordinates, the coordinates of the grid studied (top-51 °, 43 ° 166; bottom-53 ° 166, 44 ° 7788) were indicated in the coordinate system window.

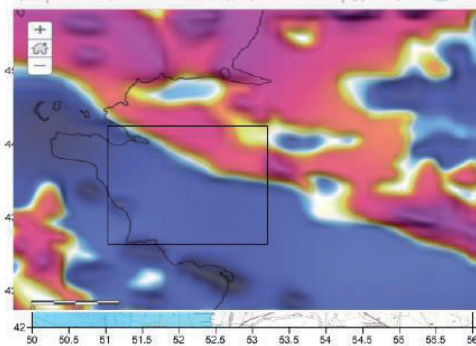


Figure 5 Map of the work area superimposed on the data of the regional anomaly obtained from the layer "EMAG2: Earth Magnetic Anomaly (older version)"

The resulting map of the magnetic anomaly was filtered out, the filters used to align the geophysical data, it is possible to detect and delete data defined as noise, it is possible to cut off the indices with too short wavelength and too large amplitude, it is also possible to remove shortwave geological components such as signals from the surface, etc. The main types of filters presented in Surfer Software:

- High pass filtering - high-pass filtering of the channel (increase in clarity);
- Low pass filtering - low-pass filtering of the channel (anti-aliasing);
- Band pass filtering - filtering of frequencies whose wavelength is greater than the cutoff of the long wave or less than the cutoff of the short wave;
- Convolution filtering - averaging of the spatial domain in the channel. This filtering method can be defined in a filter file or in a comma-delimited string;
- Difference filtering calculates the difference between the values in the channel. To determine the noise, it is useful to calculate the difference in the arithmetic progression of the four given differences;
- Polynomial filtering calculates the trend of the n-th (no more than ninth) order for the channel data by the method of the best polynomial approximation (smallest square). Then this trend

is analyzed and placed in a new channel. You can also create an additional residual channel (trend at the input);

- The B-spline filtering calculates the B-spline data interpolation in the channel. The B-spline function allows you to control the smoothness of the spline and the voltage applied to the ends of the spline;
- Linear regression filtering applies a linear least-squares regression to an array of marked data in the channel and creates a report on the slope and intersection.

During mapping of the regional magnetic anomaly map, the Fourier transform was applied. During application of the filter - if the point is noise, it is simply cut off and replaced by an approximate value based on the surrounding dot data. Parts of the data that are not noise does not change at all.

Fourier Filters perform the following functions:

- Processing of profile data for interpretation and modeling purposes;
- Rapid application of filters to one or more data profiles;
- Interactive selection of filtering parameters, spectral density display and determination of optimal filters for processing and interpretation;
- Automatic analysis of distance or, if necessary, starting points.

Due to the Fourier transform, the data can be analyzed by wave number or wavelength. Thus, a number of operations can be used to improve useful data, and / or delete unnecessary data, and / or transform data.

The map that passed through the filter becomes more distinct, sharp transition between the lines of the magnetic anomaly and their direction is seen. As noted earlier, the filter clears the map from noise, smooth transitions in the values makes it abrupt, and is applicable to the interpretation of structural type objects such as: faults, dislocation systems such as anticlinal zones, shafts, synclinal zones, deflections, tectonic steps, depressions, uplifts, etc. In Surfer Software, the Fourier transform was implemented using the functions grid => filters => Fourier filter => rows-7, cols-7 => number of passes-1.

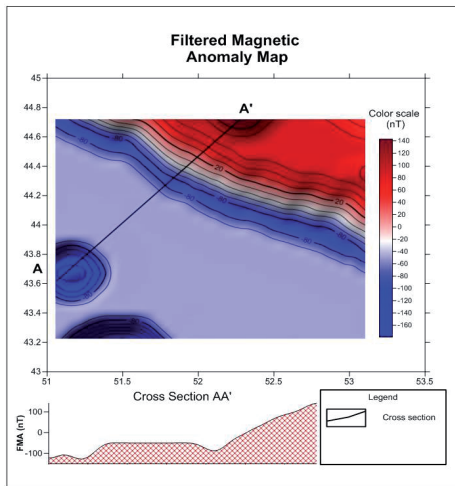


Figure 6 Map of the regional magnetic anomaly passed through the filtering

Map of the regional magnetic anomaly, physical map of the region and the tectonics map covering the field and surrounding area were superimposed on each other, in order to isolate all structural elements and faults using the Surfer program.

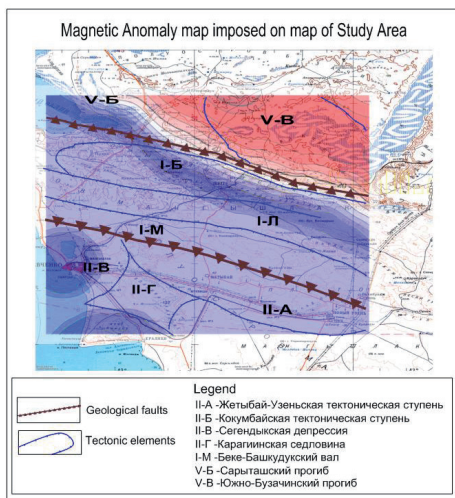


Figure 7 Map of the regional magnetic anomaly imposed on the map of work area, with selected tectonic elements

In Figure 7 three maps superimposed on each other and faults are shown, in the course of the work, to select the structural elements we needed, a polylinefunction, in the range of options for which we selected color, thickness, style of designation, etc.,

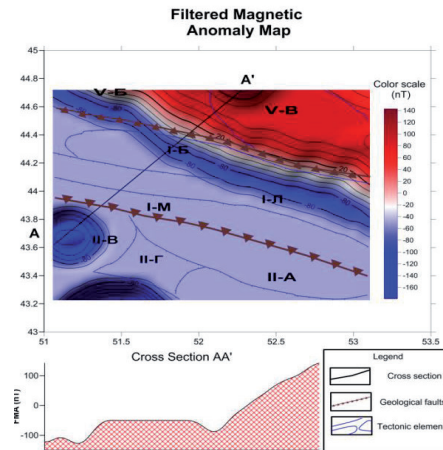


Figure 8 Filtered map of the regional magnetic anomaly with isolated structural elements

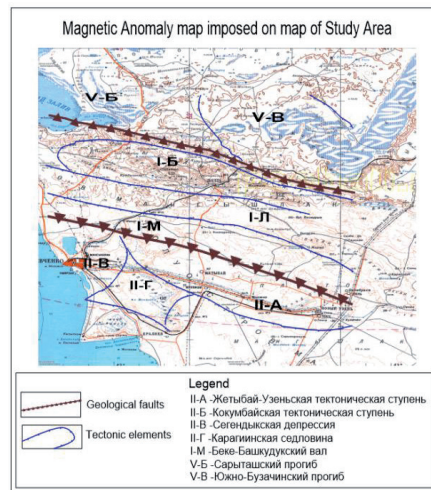


Figure 9 Map of the work area with the highlighted structural elements

Thus, thanks to this function, the location and direction of the structural elements can be traced on the maps of the magnetic anomaly and the map of the region, and help us to come to certain conclusions.

First and second derivatives are very effective during the process of isolating structural and petrophysical features on the magnetic anomaly map, they are used to increase the anomalies, since many of them have small amplitudes and are easily obscured by the magnetic or gravitational field. Application of these methods allows to observe nuances invisible in the filtered map of the regional magnetic anomaly. The first derivative is implemented by a chain of actions: Grid => grid calculus => directional

derivative => first derivative => angle (0); Grid => grid calculus => directional derivative => first derivative => angle (-90). Second derivative can be applied by the following chain of actions: Grid => grid calculus => directional derivative => second derivative. After creating each of the maps, to them was applied Moving Average (7x7; number of passes-1) filter. Moving Average Filter it's a kind of low-pass filtering, usually used to smooth out an array of signals, it takes M input samples at a time and takes the average of these M-samples.

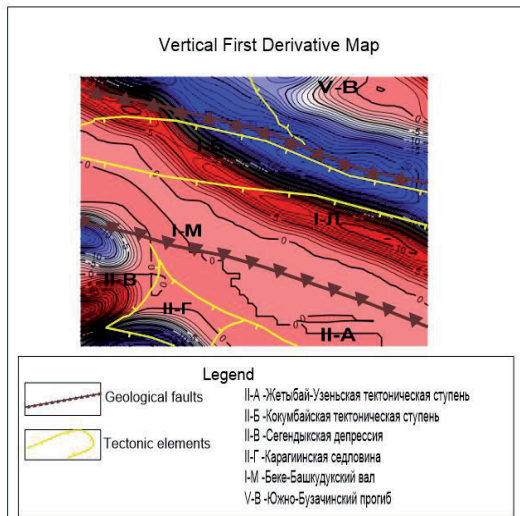


Figure 10 First vertical derivative map

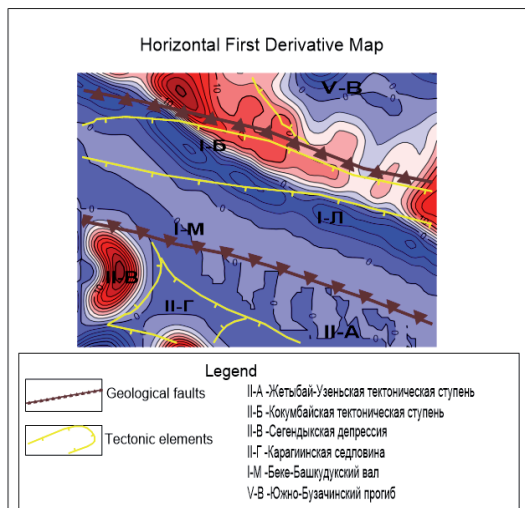


Figure 11 First horizontal derivative map

These maps were filtered by the moving average filter, first derivative map of the regional magnetic anomaly: a) horizontal (0 °) b) vertical (-90 °).

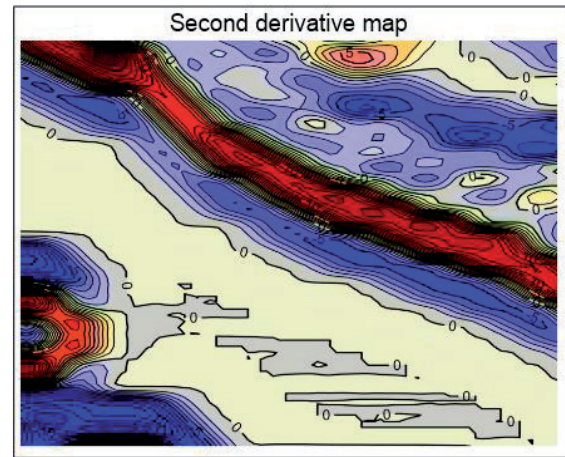


Figure 12 Second derivative map

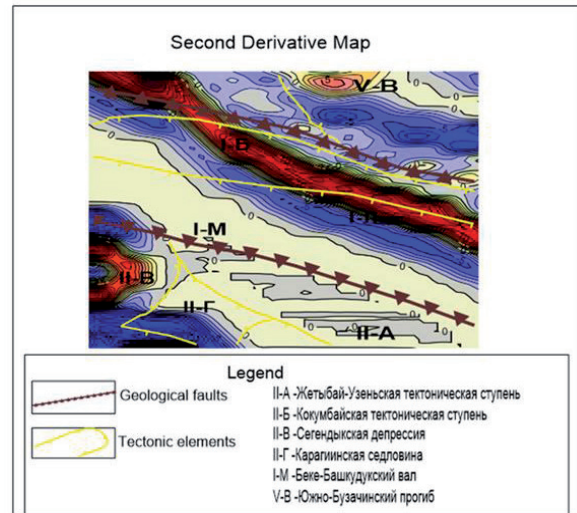


Figure 13 Second derivative map filtered by Moving Average filtering with highlighted structural elements

In addition to the done work, the Plan Curvature method was applied. This method is used in terrain modeling. Plan Curvature reflects the degree of change in the angle of the terrain aspect when viewed in the horizontal plane and it is a measure of the curvature of the isolines on the contour map. Sequence of applied operation: Grid => grid calculus => terrain modeling => plan curvature => angle (0).

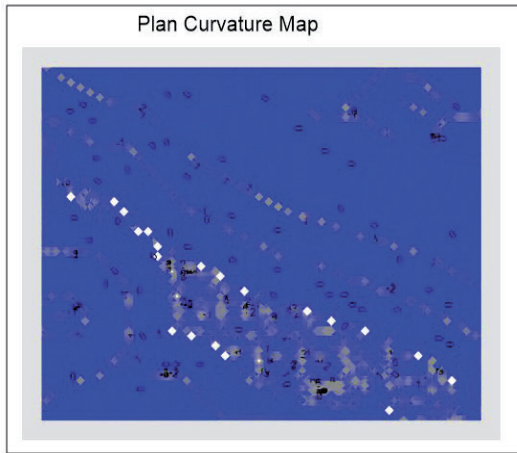


Figure 14 Plan curvature map

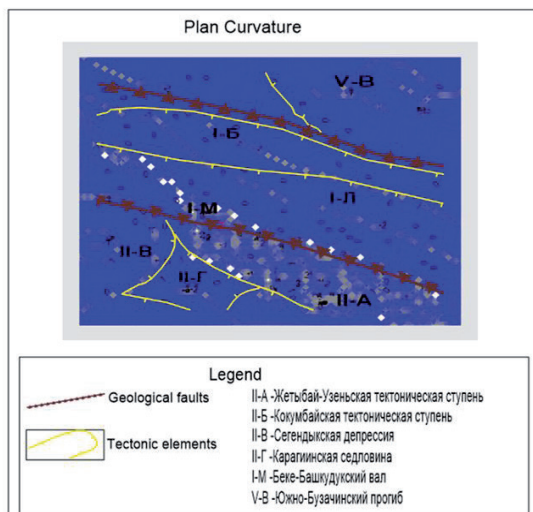


Figure 15 Plan curvature map with highlighted structural elements

### Conclusion

1) When overlaying a tectonics map and a filtered map of a regional magnetic anomaly, one can observe that the direction of the faults and the direction of the magnetic lines coincide.

2) The first derivative (first derivative-gradient) shows the rate of change of the function expressing the anomaly. If in the case of the second derivative map, both the vertical derivative and the horizontal derivative give the detection of small anomalies, then the results of the first and second derivatives are separately important. It is shown that the functions of the magnetic field derivatives in many cases allow much more localization of causative bodies than the initial function of the magnetic field. In this case, the vertical derivatives localize the upper edges of

the causative bodies, while the horizontal derivatives - their lateral boundaries and contacts.

3) In the first horizontal derivative, inflection points are points whose anomaly values are at their maximum, i.e. where the horizontal gradient changes most rapidly. Inflection points can provide useful information about the nature and boundaries of the anomalous body, because the value of the magnetic anomaly is strongly influenced by the rocks of the crystalline basement, because the foundation rocks are highly magnetized with respect to the overlying rocks. Consequently, the inflection points are located at the boundary of the blocks of the crystalline basement which are hypsometrically arranged at different levels.

4) As it was mentioned earlier, the most deep-lying structure that magnetic exploration can show is the hypsometry of the crystalline basement, it can be observed most precisely with the use of the first derivatives. The higher the order of the derivative, the faster the decay process; the higher the degree of attenuation of the anomaly, the less its influence must be transferred to the range of action of other neighboring objects; therefore, on the maps of the derivations of the location of shallow-lying individual objects in the plan, they are clearly localized; influence of deep-lying, even large sources, has little effect on the values of derivatives of higher orders.

The vertical gradient of the first derivative, unlike the horizontal one, dims the zero values, thereby showing a sharper transition between the magnetic lines.

Also, the vertical gradient of the first derivative is closer than the horizontal gradient to the outline and direction of the structural elements.

5) The second derivative map is usually used for interpretation, as it emphasizes the presence of anomalies associated with small-sized bodies.

On the second derivative map, it is obvious that the anomaly zone, the part with pronounced high values after the transformation, shows a lot of small anomalies, which may be due to the presence of small structures whose magnetization values are higher than the rocks surrounding them.

The second derivative map is effective at finding the limiting depth which is the maximum

depth at which the upper part of the body is capable of causing the observed gravitational or magnetic anomaly.

6) Plan Curvature is the method used in terrain modeling, and it was applied on the filtered map of the magnetic anomaly. This method - reflects the degree of change in the angle of the terrain aspect when viewed in the horizontal plane and is a measure of the curvature of isolines on the contour map.

The main distinguishing feature of Plan Curvature Method is its multifunctionality. When the Plan Curvature contour map is obtained in our case, it is possible to obtain data about the direction of the faults, the direction of the magnetic lines, the contoured anomalous areas, zones of elevation or immersion.

Plan Curvature does not show the specific values of the magnetic anomaly in a particular area, but at the same time Plan Curvature generalizes all previously proposed assumptions about the structural and other features of the studied territory.

As shows first derivative, second derivative and Plan Curvature map, in addition to the magnetic lines extending at the top of the map, a clear, rounded anomaly is seen in the lower left corner. According to the tectonics, the area of this anomaly is the Segendykian depression. Segendykian depression looms in the western part of the southern Mangyshlak and opens into the sea. It's dimensions are within the land of

50X40 km. The depth of the crystalline basement is 9000-10000m. In the Segendykian depression, the subduction lithosphere is the main source of hydrocarbon genetics. For the study of subduction zones, the following methods are used: seismology, seismic exploration, gravity prospecting, magnetic surveying, geothermal exploration and magneto-telluric sounding. Subduction zones in the maps of magnetic anomalies are distinguished by linear zones.

In all the above methods, on the northwestern part, the mismatching of structural elements, this discrepancy can be explained:

A) Distortion of the map of the regional magnetic anomaly, which can be explained by the variation of the magnetic field, caused by various factors,

B) Distortion of the tectonics map.

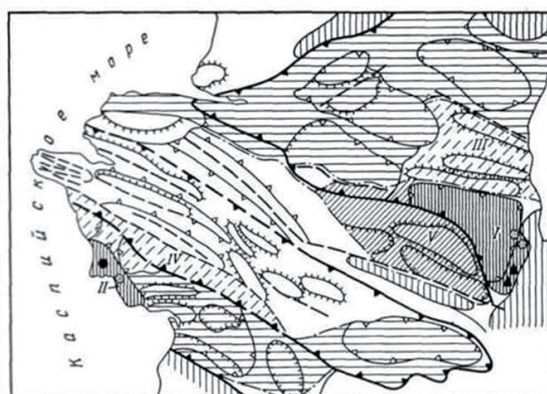


Figure 16 Tectonics map with another faults direction

## REFERENCES

1. <http://www.studfiles.ru/preview/2282020/>
2. [http://industry\\_science\\_en\\_ru.academic.ru/70305/moving\\_average\\_filter](http://industry_science_en_ru.academic.ru/70305/moving_average_filter)
3. уч. Перспективы нефтегазоносности палеозойских отложений запада Туранской плиты
4. <http://www.studfiles.ru/preview/5465145/page:2/>
5. Geophysics, Модуль montaj, разработанный Geosoft 2011
6. Силкин, Геоинформационная Система, GoldenSoftwareSurfer 8, 2008.
7. Маркина М.Н., Лаптина Е.П. Высшие производные магнитного поля, их исследование и возможности практического использования для решения задач магнитометрии, 2013 г.
8. Philip Kearey, Ian Hill, Michael Brooks, An Introduction to Geophysical Exploration, 2002  
Боранбаев К., Герштанский О., Ступак С., Боранбаев А. Краткая геологическая характеристика территории Мангистауской нефтегазоносной области.
9. Тарасенко Г.В., Шарипова Г.Н., Толбаев М.А., Кострыкина С.А., Дуйсенова С.А.  
Сборник статей по материалам XLV международной научно-практической конференции.

«Геология, тектоника и нефтегазоносность Сегендыкской депрессии с позиций тектоники плит». – 2016.

10. <http://www.geoygservis.ru/publishing/oblasti-primeneniya-magnitorazvedki/>

11. Ладынин. Потенциальные геофизические поля в задачах геологии. Г. 2. 2008.

12. Kevin Mickus, Scientific work: Gravity method. Environmental and Engineering application, page-8 Data Enhancement

13. Serguei A. Goussev and John W. Peicre, Gravity and Magnetics exploration Lexicon, 2000

14. Бойков И.В., Рязанцев В.А. Об одном разностном методе продолжения потенциальных полей.

# ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ И ЭКОЛОГИЯ

УДК 661.152.33  
МРНТИ 61.33.35

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕРАБОТКИ МОЛИБДЕНСОДЕРЖАЩИХ КАТАЛИЗАТОРОВ НА СЛОЖНО-СМЕШАННОЕ УДОБРЕНИЕ

Л.Л. БАЛАНОВСКАЯ, С.Т. ТЛЕУОВА, А.С. ТЛЕУОВ, Ж.К. ДЖАНМУЛДАЕВА,  
Б.М. СМАЙЛОВ, В.И. ЯРОЧКИНА

*Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова*

**Аннотация:** В статье приведены сведения о возможности получения сложно-смешанных удобрений, характеризующихся высокой концентрацией питательных веществ и микроэлементов, имеющих высокие впитывающие свойства. Для улучшения свойств сложно-смешанных минеральных удобрений авторами предлагается использование в качестве микроэлементов отработанные молибденсодержащие катализаторы. В результате физико-химических исследований определены поэлементный состав и микроструктура отработанных молибденсодержащих катализаторов, использованных в переработке нефти. Микроструктура соответствует поэлементному составу отработанного катализатора и при увеличении в 1000 раз чётко выражены кристаллы, характеризующие основную массу алюминатного состава в виде зернистых минералов, неправильных шестигранников, а также червеобразных вкраплений оксида алюминия и глинозема. Молибден заполняет межпространственную структуру в виде светлых, округлых кристаллов.

Анализ первичной информации термодинамических исследований рабочей системы  $\text{CoO-NiO-MoO}_3\text{-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  показал о возможности формирования следующих элементов и соединений:  $\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HOCl}$ ,  $\text{CoO}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CoCl}$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{Co}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{NiO}_2\text{H}_2$ ,  $\text{NiCl}$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Mo}_2\text{O}_6$ ,  $\text{Mo}_3\text{O}_9$ ,  $\text{MoO}_4\text{H}_2$ ,  $\text{MoO}_2\text{Cl}$ ,  $\text{Mo}_5\text{O}_{15}$ ,  $\text{MoOCl}_2$ ,  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{MoOCl}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaOHCl}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ . Результаты термодинамического моделирования рабочей системы, характерной для хлорирующего обжига отработанных молибденсодержащих катализаторов показали возможность выделения молибдена, кобальта и никеля в виде их хлоридов в интервале 1300-1500К. Следует отметить, что при уменьшении давления от 0.1 до 0.01 МПа хлоридовозгонка металлов становится более эффективной и достигает образования газообразного  $\text{NiCl}_2$  до 19,45%,  $\text{CoCl}_2$  до 21,7%,  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$  до 58,13%. Причём селективное разделение никеля и кобальта возможно при 1500К и давлении 0,01МПа.

**Ключевые слова:** сложно-смешанное удобрение, молибден, отработанный катализатор, микроструктура, термодинамическое моделирование

## THERMODYNAMIC STUDYS OF THE PROCESSING OF MOLIBDENE-CONTAINING CATALYSTS FOR COMPLEX MIXED FERTILIZER

**Abstract:** The article provides information about the possibility of obtaining complex mixed fertilizers, characterized by a high concentration of nutrients and trace elements that have high absorbing properties. To improve the properties of complex mixed mineral fertilizers, we propose the use of used molybdenum-containing catalysts as trace elements. As a result of physicochemical studies, the element-by-element composition and microstructure of the spent molybdenum-containing catalysts used in oil refining were determined. The microstructure corresponds to the element-by-element composition of the spent catalyst and, with an increase of 1000 times, crystals are pronounced, characterizing the bulk of the aluminate composition in the form of

*granular minerals, irregular hexagons, and worm-like inclusions of aluminum oxide and alumina. Molybdenum fills the interdimensional structure in the form of light, rounded crystals.*

*Analysis of the primary information of thermodynamic studies of the  $\text{CoO-NiO-MoO}_3\text{-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  system showed the possibility of the formation of the following elements and compounds:  $\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HOCl}$ ,  $\text{CoO}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CoCl}$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{Co}_2\text{Cl}_4$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{NiO}_2\text{H}_2$ ,  $\text{NiCl}$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Mo}_2\text{O}_6$ ,  $\text{Mo}_3\text{O}_9$ ,  $\text{MoO}_4\text{H}_2$ ,  $\text{MoO}_2\text{Cl}$ ,  $\text{Mo}_5\text{O}_{15}$ ,  $\text{MoOCl}_2$ ,  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{MoOCl}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaOHCl}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . The results of thermodynamic modeling of the working system, characteristic of the chlorinating roasting of spent molybdenum-containing catalysts, showed the possibility of separating molybdenum, cobalt and nickel in the form of their chlorides in the range of 1300-1500K. It should be noted that with a decrease in pressure from 0.1 to 0.01 MPa, the metal sublimation becomes more efficient and reaches the formation of gaseous  $\text{NiCl}_2$  to 19.45%,  $\text{CoCl}_2$  to 21.7%,  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$  to 58.13%. Moreover, the selective separation of nickel and cobalt is possible at 1500 K and a pressure of 0.01 MPa.*

**Keywords:** complex mixed fertilizer, molybdenum, spent catalyst, microstructure, thermodynamic modeling

### КҮРДЕЛІ-АРАЛАС ТЫҢАЙТҚЫШТЫ ӨҢДЕУДЕ МОЛИБДЕН ҚҰРАМДЫ КАТАЛИЗАТОРЛАРДЫ ҚОЛДАНУДЫҢ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУЛЕРІ

**Аңдатпа:** Мақалада жоғары сіңімді қасиеттері бар қоректік заттар мен микроэлементтердің жоғары концентрациясы бар күрделі аралас тыңайтқыштарды алу мүмкіндіктері туралы ақпараттар берілген, күрделі аралас минералды тыңайтқыштардың қасиеттерін жақсарту үшін пайдаланылған молибден бар катализаторларды микроэлементтер ретінде қолдануды ұсынамыз. Физика-химиялық зерттеулердің нәтижесінде мұнай өңдеуде қолданылатын молибден бар катализаторлардың элементтік құрамы мен микроқұрылымы айқындалды. Микроқұрылым пайдаланылған катализатордың элементтік құрамына сәйкес келеді және 1000 есе ұлғайымен кристалдар анықталады. Алюминий композицияларының түйіршікті минералдар түрінде, тұрақты емес гексагондарда және алюминий оксидінің қабығына ұқсас қосындылары сипатталады. Молибден жарық диаметрі кристалдар түрінде аралық өлшемді құрылымды толтырады.

$\text{CoO-NiO-MoO}_3\text{-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  жүйесіндегі термодинамикалық зерттеулердің негізгі мәліметтерін талдау келесі элементтер мен қосылыстардың:  $\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HOCl}$ ,  $\text{CoO}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CoCl}$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{MoCl}_3$ ,  $\text{Mo}_2\text{O}_6$ ,  $\text{Mo}_3\text{O}_9$ ,  $\text{MoO}_4\text{H}_2$ ,  $\text{MoO}_2\text{Cl}$ ,  $\text{Mo}_5\text{O}_{15}$ ,  $\text{MoOCl}_2$ ,  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{MoOCl}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaOHCl}$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Қолданылған молибден бар катализаторларды хлорлаудың қуаттылығына тән жұмыс жүйесін термодинамикалық үлгілеудің нәтижелері молибден, кобальт пен никельдің 1300-1500K ауқымында олардың хлоридтері түрінде бөліну мүмкіндігін көрсетті. 0,1-ден 0,01 МПа-ға дейінгі қысымның төмендеуімен металл сублимациясы тиімдірек және  $\text{NiCl}_2$  газ тәріздес үлестірімнің 19.45% дейін,  $\text{CoCl}_2$ -дан 21.7% -ға, ал  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$ -ден 58.13% -ға дейін жетеді. Сонымен қатар, никель мен кобальттың селективті бөлінуі 1500 K және қысым 0,01 МПа кезінде болуы мүмкін.

**Түйінді сөздер:** күрделі аралас тыңайтқыш, молибден, өткізілген катализатор, микроқұрылым, термодинамикалық модельдеу

В последние годы производство комплексных удобрений развивается всё более широко. Они содержат в себе основные питательные элементы как азот, фосфор, калий и необходимые микроэлементы. При этом в аграрном секторе всё шире используются как комплексные так и сложно-смешанные удобрения.

Комплексные удобрения характеризуются высокой концентрацией питательных веществ, имеют хорошие физические свойства.

В зависимости от особенностей культуры, почвенно-климатических условий, доз питательных веществ требования к соотношению питательных веществ в удобрении могут быть различными. При средних дозах оптимальным является соотношение 1:1:1, при высоких дозах оно может быть близким к 1:0,7:1 или 1:0,5:1.

Огромное разнообразие условий нашей страны и требований отдельных культур не позволяет ограничиться использованием

только комплексных удобрений. Во многих случаях для создания оптимальных условий питания садовых или огородных растений необходимо применение также сложно-смешанных удобрений с микроэлементами [1-3].

Сложно-смешанные удобрения могут быть получены смешением двух-трёх видов минеральных компонентов (азот, фосфор, калий). Основными ингредиентами, используемыми для получения сложно-смешанных удобрений с микроэлементами являются: сера-S, железо-Fe, кальций-Ca, бор-B, медь-Cu, марганец-Mn, цинк-Zn, молибден-Mo, магний-Mg.

Среди вышеперечисленных составов с микроэлементами особо важное значение имеют молибденсодержащие удобрения в виде: молибдата аммония, молибдата аммония-натрия, молибденизированого гранулированного суперфосфата, молибденизированого двойного гранулированного суперфосфата.

Следует отметить, что получение сложно-смешанных удобрений с микроэлементами представляет определенный экологический и экономический интерес для утилизации отходов, способствующий снижению себестоимости конечной продукции.

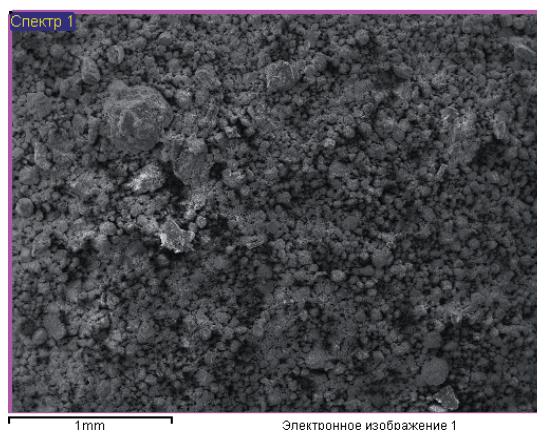
Известно, что катализаторы на основе Mo, Ni, и Co широко используются для гидрокрекинга, гидроизомеризации и депарафинизации нефтяных фракций. Мировой объём их производства составляет более 90 тыс. т/год. Отработанные катализаторы, в том числе и на казахстанских заводах (ТОО «Атырауский НПЗ», АО «Павлодарский нефтехимический завод», ТОО «ПетроКазахстанОйлПродактс») наряду с вредными примесями содержат драгоценные, редкие и цветные металлы, имеющие важное народнохозяйственное значение. В хранилищах накоплены отработанные катализаторы в количествах, достаточных для организации промышленных процессов их переработки. В некоторых странах организовано извлечение из катализаторов драгоценных металлов, однако другие компоненты безвозвратно теряются. Состав отработанных катализаторов позволяет рассматривать их как комплексное сырьё для получения различ-

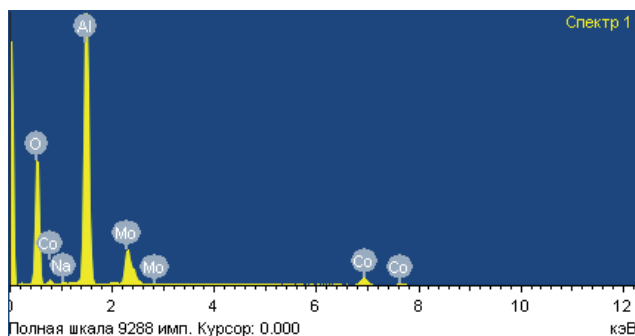
ных новых продуктов или возвращение ценных компонентов на повторное производство катализаторов.

В связи с этим извлечение металлов из отработанных катализаторов является актуальной технологической проблемой, поскольку в отвалы направляются десятки тысяч тонн этого сырья, содержащего 10-15 ценных компонентов. Выделенные металлы могут быть использованы для приготовления новых смесей получения сложно-смешанных удобрений с микроэлементами.

На первом этапе нами исследованы физико-химические особенности молибденсодержащих катализаторов ТОО «ПетроКазахстанОйлПродактс». Результаты анализа микроструктуры и поэлементного состава отработанных молибденсодержащих катализаторов приведены на рисунках 1, 2.

Общая микроструктура соответствует поэлементному составу отработанного катализатора и при увеличении в 50 раз характеризует основную массу алюминатного состава в виде зернистых минералов, неправильных шестигранников и прямоугольников, а также червеобразных вкраплений оксида алюминия и глинозема. Молибден заполняет межпространственную структуру в виде светлых, округлых кристаллов. В общем фоне наблюдаются незначительные темные включения ферросиликатных минералов. Поэлементный состав характеризуется алюминатной основой катализатора с молибденовым составом с включениями кобальтовых элементов.





Элемент	Весовой %	Атомный %
O	46.55	65.78
Na	0.28	0.27
Al	34.30	28.74
Co	5.16	1.98
Mo	13.71	3.23

Рис. 1 – Микроструктура и поэлементный состав отработанных молибденсодержащих катализаторов

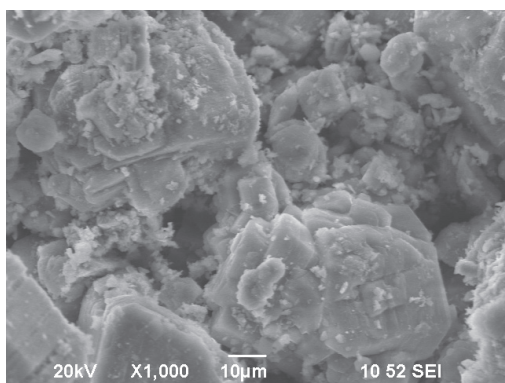


Рис. 2 – Микроструктура при увеличении в 1000 раз

При увеличении в 1000 раз наблюдается четкое очертание минералов глинозема в виде табличатых, слоённых кристаллов, а межпространственные и поверхностные рассыпные игольчатые кристаллы характеризуют молибденовые минералы.

В качестве основного инструмента исследования термодинамических закономерностей выделения металлов, содержащихся в отработанных катализаторах, использован метод расчёта равновесия при помощи программного комплекса «Астра». Программный комплекс «Астра-4», разработанный в МВТУ им. Баумана основан на универсальном термодинамическом методе определения характеристик равновесия гетерогенных систем на

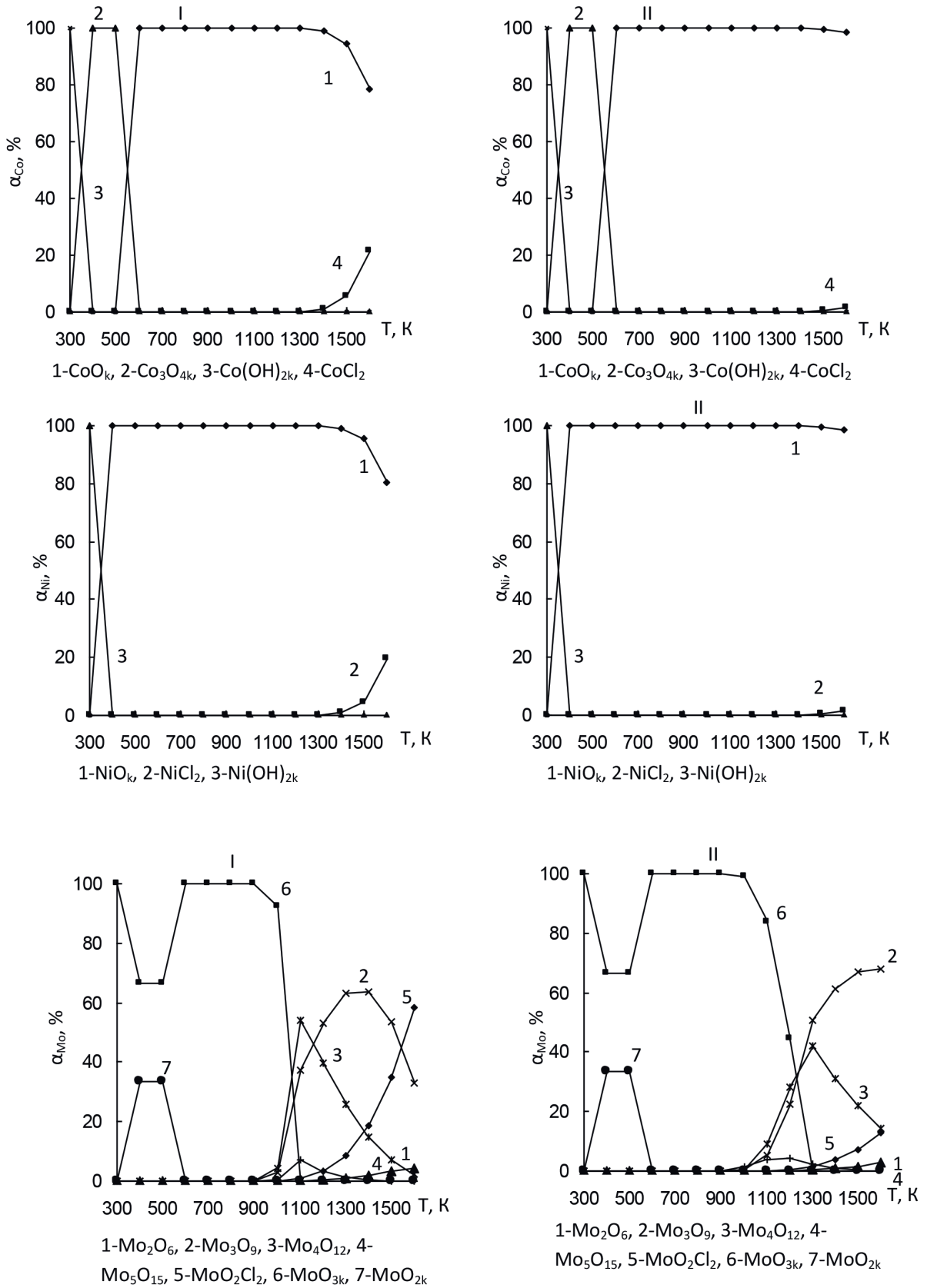
основе фундаментального принципа максимума энтропии [4-5].

Для определения эффективности извлечения цветных металлов из отработанных катализаторов исследована возможность хлорирования Ni, Co и Mo. Хлоридом кальция в присутствии воды, температурном интервале 300-1500К при давлениях 0,1 и 0, 01 МПа.

Анализ первичной информации исследованной рабочей системы  $\text{CoO-NiO-MoO}_3\text{-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  показал о формировании следующих соединений :  $\text{O}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{Cl}$ ,  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{HCl}$ ,  $\text{HOCl}$ ,  $\text{CoO}_2\text{H}_2$ ,  $\text{CoCl}$ ,  $\text{CoCl}_2$ ,  $\text{Co}_2\text{Cl}_4$ ,  $\text{Ni}$ ,  $\text{NiO}_2\text{H}_2$ ,  $\text{NiCl}$ ,  $\text{NiCl}_2$ ,  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{Mo}_2\text{O}_6$ ,  $\text{Mo}_3\text{O}_9$ ,  $\text{MoO}_4\text{H}_2$ ,  $\text{MoO}_2\text{Cl}$ ,  $\text{Mo}_5\text{O}_{15}$ ,  $\text{MoOCl}_2$ ,  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{MoOCl}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{CaOHCl}$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$ . Влияние температуры и давления на равновесное распределение элементов представлен на рисунке 3. В системе  $\text{CoO-NiO-MoO}_3\text{-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$  при уменьшении давления от 0.1 до 0.01 МПа хлоридовозгонка металлов становится более эффективной. Так, начиная с  $T=1300\text{K}$  степень перехода Ni в газообразный  $\text{NiCl}_2$  возрастает от 2,12 до 19,45%, Co в  $\text{CoCl}_2$  от 3,45 до 21,7%, а Mo в  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$  - от 12,63 до 58,13%. Исходя из полученных результатов, коллективную хлоридовозгонку Ni, Co и Mo из смеси оксидов можно проводить при  $P=0,01\text{ МПа}$  и  $T=1300\text{K}$ . Селективно можно получить Mo в виде  $\text{MoO}_2\text{Cl}_2$  при  $T=1000\text{K}$ , а затем (выше  $T=1300\text{K}$ ) возможна коллективная отгонка хлоридов Ni и Co в температурном интервале 1300-1500К.

### Выводы

На основе физико-химических анализов установлено, что основными минералами микроструктуры отработанных молибденсодержащих катализаторов являются минералы глинозёма с включениями молибдена, а также примесей кобальта и никеля. Термодинамическим моделированием рабочей системы  $\text{CoO-NiO-MoO}_3\text{-CaCl}_2\text{-H}_2\text{O}$ , Характерной для хлорирующего обжига установлено, что выделение молибдена, кобальта и никеля в виде их хлоридов возможно в интервале 1300-1500К. Причём селективное разделение никеля и кобальта около 1500К при давлении 0,01МПа.



I – P=0,01 МПа, II – P=0,1 МПа

Рис. 3 – Влияние температуры (T) и давления (P) на равновесное распределение элементов ( $\alpha$ ) в системе CoO-NiO-MoO<sub>3</sub>-CaCl<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O

ЛИТЕРАТУРА

1. Маркина З.Н. Основы агрохимии: Учебно-методическое пособие. – Брянск: БГИТА, 2010. – 121 с.
2. Безуглова О.С. Удобрения и стимуляторы роста. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2000. – 85 с.
3. Соколовский А.А., Унанянц Т.П. Краткий справочник по минеральным удобрениям. – М., Химия, 1980. – 125.
4. Бадирова Н.Б., Шевко В.М., Тлеуова С.Т., Литвишко В. Термодинамическое моделирование хлоридовозгонки металлов из отработанных катализаторов// Труды научно-практического семинара-совещания «Современное состояние и проблемы электротермических, высокотемпературных процессов химической технологии и металлургии». – Шымкент, 2004. – С.39-45.
5. Предпатент РК №19713. Способ переработки отработанного катализатора нефтеперерабатывающего производства// Шевко В.М., Бадирова Н.Б., Тлеуова С.Т., Бердалиева М.Б.; опубл. 22.05.2008. Бюл.№7. – С.3.

УДК 547.992.2  
МРНТИ 61.33.37

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ФОСФОРСОДЕРЖАЩИХ МИКРОУДОБРЕНИЙ

О.К. БЕЙСЕНБАЕВ<sup>1</sup>, А.С. ТЛЕУОВ<sup>1</sup>, Б.М. СМАЙЛОВ<sup>1</sup>, Б.С. ЗАКИРОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова

<sup>2</sup>Институт общей и неорганической химии, г.Ташкент, Республика Узбекистан

**Аннотация:** В данной статье приведена информация о разработке технологии получения фосфорсодержащих микроудобрений на основе гуминовой кислоты, полученной при разложении угольного отхода из Ленгерского месторождения. Также описываются состав коттрельной пыли, угольного отхода и гуминовой кислоты, определенные с помощью РЭМ, ДТА и ИК-спектра. Для обогащения микроэлементами в полученную смесь добавляют борную кислоту, сульфаты меди, железа, марганца и аммония молибденовокислого, а в качестве хелатообразователя – триалкиламин (ТАА).

Полученные фосфорсодержащие микроудобрения характеризуются высоким содержанием гуминовых веществ, которые участвуют в структурообразовании почвы, накоплении питательных элементов и микроэлементов в доступной для растений форме, способствуют регулированию содержания металлов в водных и почвенных экосистемах.

**Ключевые слова:** фосфорсодержащие микроудобрения, коттрельная пыль, угольный отход, гуминовая кислота, почва, растения, микроэлементы, хелатообразователь, триалкиламин

## PHYSICAL AND CHEMICAL RESEARCHES OF RAW MATERIAL FOR RECEIPT OF PHOSPHORORUSCONTAINING MICROFERTILIZER

**Abstract:** In this article is driven technology of receipt chelate microfertilizer on the basis of humic acid, brown coal got at decomposition from Lenger field. Also described chemical composition of cottrel dust, brown coal and humic acid certain with using SEM, Differentially-thermal analysis (DTA), spectra of scanning electron microscopy. For enriching microelements in mixture got add boric acid, sulfates of copper, iron, manganese and ammonium molybdate, and as a achelate appears, trialkilamin (TAA). The got microfertilizers are characterized by high maintenance of humic substances, that participate in gelation of soil, accumulation of nourishing elements and microelements in an accessible for plants form, promote to regulate maintenances of metals in water and soil ecosystems.

**Keywords:** phosphoruscontaining microfertilizer, cottrel dust, brown coal, humic acid, soil, plants, microelements, chelate appears, trialkilamin

## ФОСФОРҚҰРАМДАС МИКРОТЫҢАЙТҚЫШ АЛУҒА ҚАЖЕТТІ ШИКІЗАТТАРДЫ ФИЗИКА-ХИМИЯЛЫҚ ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа:** Бұл мақалада Леңгір кен орнының көмір қалдығын еріту негізінде, алынатын гумин қышқылынан фосфорқұрамдас тыңайтқыштарды алудың технологиясы жайында ақпараттар берілген. Сонымен қатар коттрельді шаң, көмір қалдығы және гумин қышқылдарының құрамдарына РЭМ, ДТА және ИК-спектр көмегімен жасалынған нәтижелер берілген. Алынатын тыңайтқышты байыту мақсатында, қоспаға бор қышқылы, мыстың, темірдің және марганецтің сульфаттары мен аммонийдің молибденқышқылы қосылады да, ал хелат құраушы полимер ретіне органикалық триалкиламин (ТАА) қолданылады.

*Алынған фосфорқұрамдас микротыңайтқыш құрамында гумин қышқылының мөлшері көбейіп, топырақтағы құрылымдық құралуға қатысып, құрамындағы қоректік элементтермен микроэлементтерді өсімдіктерге беріліп, сулы және жер-топырақ экожүйедегі металдардың құрамын реттеп отырады.*

**Түйінді сөздер:** *Фосфорқұрамдас микротыңайтқыш, коттрельді шаң, көмір қалдығы, гумин қышқылы, жер, өсімдік, микроэлементтер, хелатқұраушы, триалкиламин*

### **Введение**

В настоящее время в Казахстане наблюдается тенденция сокращения площади земель сельхозназначения и увеличения площади залежных территорий. Основными причинами подобного положения являются: деградация почвенного покрова в пустынной и полупустынной зоне, засоление почвы в зоне орошаемого земледелия, выведение из сельскохозяйственного оборота малопродуктивных и низкоплодородных земель из-за развития в почве эрозионных процессов, слабая материально-техническая база землепользователей, и, обусловленное этим нежелание определенной их части использовать землю по своему прямому назначению [1].

Устранение негативных воздействий природных рисков, сохранение почвенного плодородия, урожайность сельхозкультур во многом зависят от применения удобрений. Учитывая это, в Казахстане приняты стимулирующие аграрный сектор меры, предусмотрена господдержка на расширение площадей приоритетных сельхозкультур, рост их урожайности, улучшение семенного материала.

Развитие индустрии по всему миру сделало актуальной проблему комплексной переработки техногенных отходов и привлечения в производство некондиционных минеральных ресурсов. Примером является производство фосфора, который широко востребован как в Казахстане, так и за рубежом. Его получение обусловлено образованием больших техногенных отходов в виде шлака, феррофосфора, фосфорного шлама и коттрельной пыли. Только в Жамбылской области накоплено более 30 млн. тонн данных отходов [2].

В результате угледобычи в Казахстане образовались отходы в количестве более 6 млн. т,

а в южном регионе Казахстана расположено Ленгерское месторождение бурого угля. По данным [3-4] запас балансовой части его составляет 33956 тыс.т, забалансовой – 3244 тыс.т.

Триалкиламин (ТАА) – это прозрачная маслянистая жидкость, иногда с желтоватым оттенком. Широко применяется как экстрагент третично-аминовой группы для комплексной очистки промышленных сточных вод, также на предприятиях по производству удобрений в качестве полимер-, хелатообразователя [5].

Для получения фосфорсодержащих микроудобрений в качестве сырья используется коттрельная пыль – отход фосфорного производства, который представляет собой ценное вторичное фосфорное сырье, вполне пригодное к переработке их в фосфор. Более того, для кислотного разложения нет надобности в использовании сильных и достаточно дорогих минеральных кислот. Коттрельную пыль можно разложить слабой гуминовой кислотой, выработанной из угольного отхода Ленгерского месторождения, а в качестве хелатообразователя используется триалкиламин (ТАА).

### **Экспериментальная часть**

Для получения фосфорсодержащего микроудобрения выбраны экспериментальные физико-химические и аналитические методы исследования: электронная микроскопия, ИК-спектроскопия, ДТА, элементный анализ и др.

На рисунках 1 и 2 представлены дериватограммы коттрельной пыли и угольного отхода, полученные с помощью Дериватографа Q-1500.



Рис. 1 – Дериватограмма коттлевой пыли

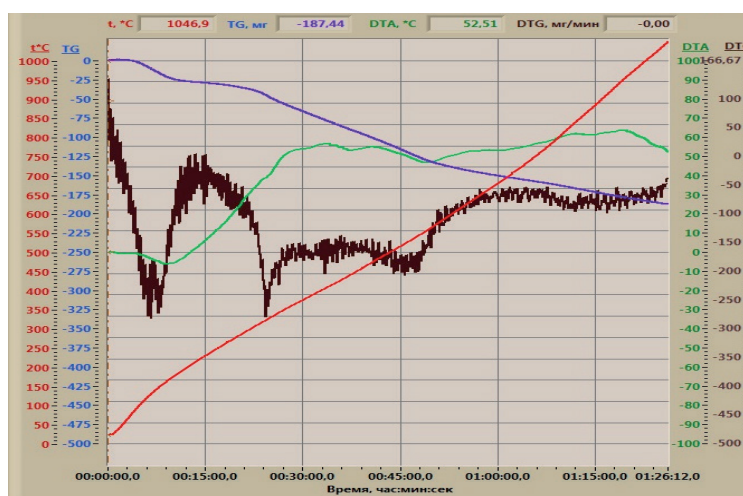


Рис. 2 – Дериватограмма угольного отхода Ленгерского месторождения

Кривая ДТА на рисунке 1 характеризуется неинтенсивными эндоэффектами при 260°C, 580°C, 780°C и 800°C. Первый эндоэффект при 260°C характеризует удаление поверхностной и гидратной влаги. При 580°C происходит удаление остаточной кристаллогидратной влаги. Неинтенсивный эндоэффект при 780-800°C свидетельствует о декарбонизации магнийсодержащих примесных соединений и последний – о разложении карбонатов кальция.

На кривой ДТА наблюдается три последовательных экзоэффекта при 590°C, 835°C и 875°C. Первый экзоэффект характеризуется окислением незначительного свободного фосфора. Два вторых экзоэффекта характерны для разложения фосфорных соединений.

Кривые ДТА на рисунке 2 характеризуются тремя эндоэффектами при 470°C,

730°C и 775°C. Первый при 470°C характеризует удаление кристаллогидратной влаги. Два остальные эндоэффекта характеризуют разложение карбонатных соединений железа и магния, а также карбонатов кальция. Эндоэффекты при 780°C, 810°C и 830°C. Характерны для реакций выгорания сернистых соединений железа и сульфатных примесных металлов.

ИК-спектральный анализ коттлевой пыли был проведен на приборе ИК-Фурье спектрометр Shimadzu IR Prestige-21 с приставкой нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) Miracle фирмы Pike Technologies.

На рисунке 3 представлен ИК-спектр коттлевой пыли, из которого следует, что:

– спектры поглощения с длинами волн 1090-1020 (1033,8)  $\text{см}^{-1}$  характеризуют присутствие в коттлевой пыли соединений си-

ликатов с валентными связями Si-O-Si и Si-O-C, а также в интервале 1100-950 (1033,8)  $\text{см}^{-1}$  характерны для фосфорных соединений;

– интенсивные колебания в интервале 910,4  $\text{см}^{-1}$ , которые характерны для фосфорсодержащих соединений P-F группой;

– менее интенсивные колебания в интервале 840-600 (798,53-732,9-648,08)  $\text{см}^{-1}$ , которые характерны для фосфорсодержащих соединений P=S группой;

– спектры поглощения в области 800-500 (590,2-555,5-543,1)  $\text{см}^{-1}$  характерны для  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  соединений в валентном состоянии Si-O-Al, Si-O-Fe и Si-O;

На рисунке 3 представлен ИК-спектр угольного отхода, из которого следует, что:

– менее интенсивные спектры поглощения 1585,5  $\text{см}^{-1}$  характерны для карбоксильных групп и натрийсодержащих групп –C-ONa;

– спектры поглощения с длинами волн 1090-1020 (1033,8)  $\text{см}^{-1}$  характеризуют присутствие в коттлевой пыли соединений силикатов с валентными связями Si-O-Si и Si-O-C, а также характерны для кислородсодержащих эфирных групп;

– интенсивные колебания в интервале 910,4  $\text{см}^{-1}$  характерны для фосфорсодержащих соединений и бензольной группы C-O-C;

– спектры поглощения в области 794,6-752,2 характерны для органических тиофеновых групп.

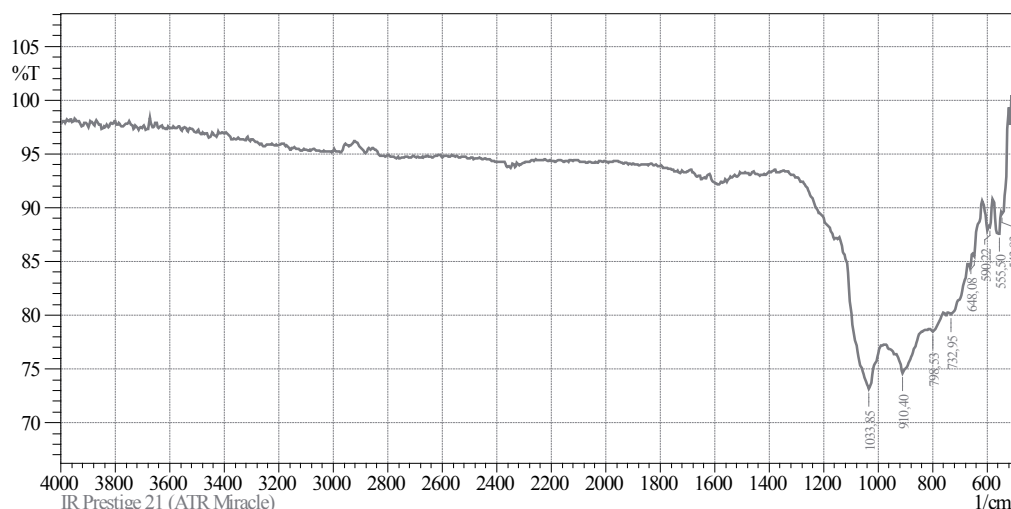


Рис. 3 – ИК-спектр коттлевой пыли

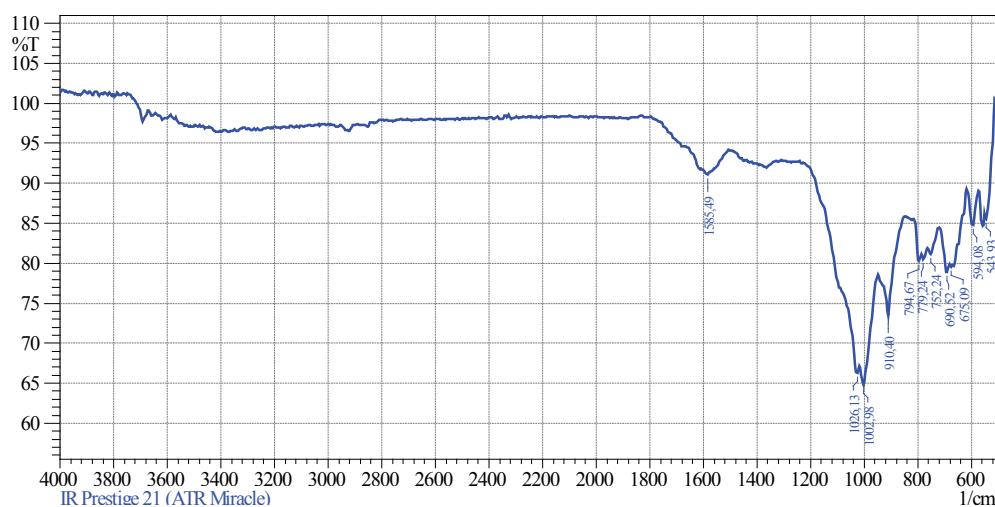


Рис. 4 – ИК-спектр угольного отхода Ленгерского месторождения

В таблицах 1 и 2 представлены элементный и минералогический составы коттрельной пыли угольных отходов.

**Таблица 1 – Элементный и минералогический состав коттрельной пыли**

Элемент	Весовой состав, %	Оксиды	В пересчете на оксиды, %
O	42,1	-	0
Na	0,84	Na <sub>2</sub> O	1,13
Mg	0,91	MgO	1,51
Al	1,05	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,98
Si	7,31	SiO <sub>2</sub>	15,6
P	13,4	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30,7
K	5,91	K <sub>2</sub> O	7,12
Ca	6,35	CaO	8,89
Fe	0,58	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,82
C	17,6	CO <sub>2</sub>	0
Zn	0,55	ZnO	0,68
F	2,99	-	0

Из анализа таблицы 1 следует, что содержание основного полезного компонента в коттрельной пыли P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> находится в пределах 30-31%, что вполне достаточно для их использования в качестве фосфорсодержащего компонента.

**Таблица 2 – Элементный и минералогический состав углеотхода Ленгерского месторождения**

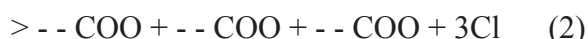
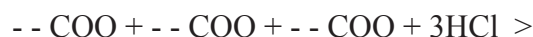
Элемент	Весовой %	Оксиды	В пересчете на оксиды, %
O	55,17	-	-
Na	0,23	Na <sub>2</sub> O	0,31
Mg	0,36	MgO	0,59
Al	10,60	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,03
Si	21,11	SiO <sub>2</sub>	45,15
S	3,34	SO <sub>3</sub>	8,35
K	1,31	K <sub>2</sub> O	1,58
Ca	1,85	CaO	2,59
Ti	0,67	TiO <sub>2</sub>	1,12
Fe	5,39	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,41

Из анализа таблицы 2 следует, что в элементном составе образца отхода угля Ленгерского месторождения содержится в %: Al-10,6, Si-21,11, Fe-5,39, Mg-0,36, Ti-0,67

и т.д. Такое содержание элементов в составе бурого угля достаточно для использования его в качестве исходного сырья для получения гуминовых кислот.

Получение гуматов осуществлено из отходов бурого угля Ленгерского месторождения путем окисления 1%-ным раствором КОН (рН среды 12,0). Процесс окисления проводили при температуре реакционной смеси 80°C в течение двух часов, причем массовое соотношение щелочи и измельченного угля составляло 0,125÷0,150:1. Для получения гуминовой кислоты гуматы осаждали 5% раствором соляной кислоты, затем отфильтровали в нутч-фильтре (рН фильтрата равен 0,85).

Химизм данного процесса можно предоставить следующим образом:



В составе выделенной гуминовой кислоты, помимо органических соединений, содержатся также и минеральные вещества. Для определения неорганической составляющей полученная гуминовая кислота подвергалась прокалке при 500°C. Элементный состав полученного зольного остатка анализировался на растровом электронном микроскопе. Результаты исследований приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Элементный и минералогический состав гуминовой кислоты**

Элемент	Весовой %	Оксиды	В пересчете на оксиды, %
O	23,68	-	-
Na	1,06	Na <sub>2</sub> O	1,43
Al	2,70	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,1
Si	1,28	SiO <sub>2</sub>	2,74
S	1,51	SO <sub>3</sub>	3,77
Cl	34,52	-	-
K	34,97	K <sub>2</sub> O	42,14
Fe	0,28	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40

Из анализа таблицы 3 следует, что наличие серы до 1,51% является обязательным для всех гуминовых кислот, что подтверждается и в данном случае. Отсутствие фосфора, содержание которого обычно доходит до 0,5%, объясняется тем, что исходным сырьем для получения гуминовой кислоты являлись отходы угледобычи.

Как видно из данных рисунка 5 имеются следующие ИК-спектры поглощения:

– широкие полосы интенсивных колебаний в интервалах 3400-3200 см<sup>-1</sup> (3360-3251,8) см<sup>-1</sup>, которые соответственно характерны кар-

боновым кислотам с связанной –ОН-группой и метильным, метиленовым группам;

– интенсивные полосы в интервале 1643,3 см<sup>-1</sup>, которые характерны для органических соединений карбонильной группы ароматического ряда С(ОН)=С-СНО;

– неинтенсивные колебания в интервале 1200-1300(1257,5) см<sup>-1</sup>, которые характерны для ароматических альдегидов, где образуется кислородный мостик С-О-С;

– интенсивные колебания в интервале 682,80-590,08 см<sup>-1</sup>, которые характерны для органических тиофеновых групп.

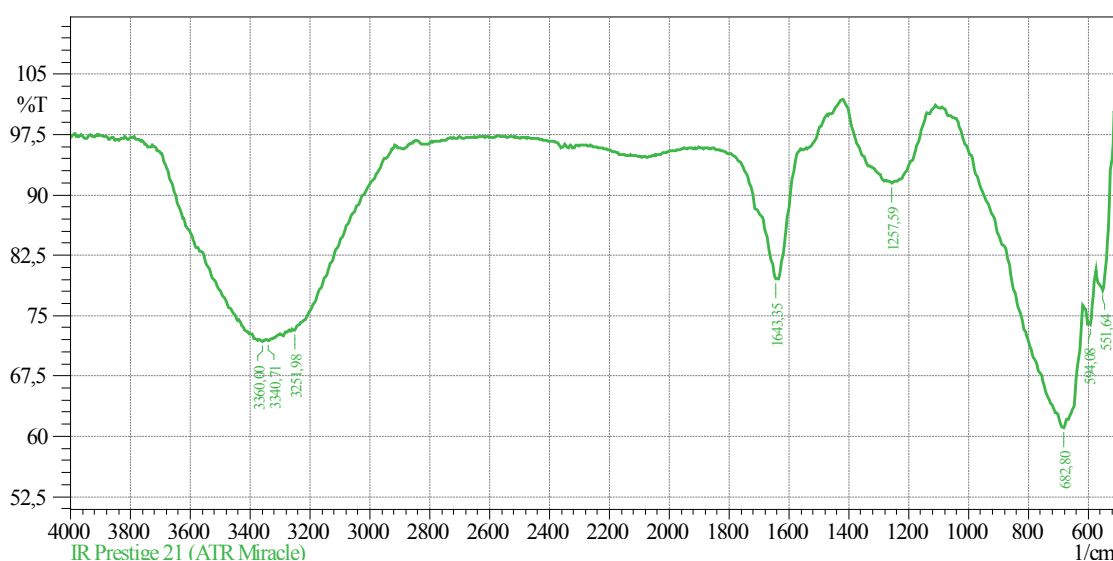
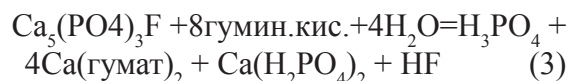


Рис. 5 – ИК-спектр гуминовой кислоты

Гуминовая кислота используется для замены концентрированной серной кислоты при разложении коттрельной пыли. Для проведения процесса разложения коттрельной пыли температуру реакционной смеси при перемешивании поднимали до 80°C в течение 70 минут с добавлением борной кислоты, сульфата меди, железа, марганца, аммония молибденовокислого. Затем к полученному раствору добавляли 0,5% (рН=4,5) триалкиламина (ТАА). В результате получено жидкое хелатное удобрение.

Химизм процесса разложения коттрельной пыли в кислой среде водной гуминовой кислотой может быть описан нижеследующим уравнением:



Применение гуминовой кислоты для разложения коттрельной пыли позволяет исключить из процесса серную кислоту и достичь содержания усвояемых фосфатов в готовом жидком продукте до 12%, в твердом продукте до 15%, а использование триалкиламина (ТАА) в качестве хелатообразователя позволяет сохранить металл от взаимодействия с другими анионами и с легкостью доставляют его в растение.

Элементный состав и микроструктура хелатных полимерсодержащих микроудобрений представлен в таблице 4.

**Таблица 4 – Элементный и минералогический состав хелатного полимерсодержащего микроудобрения**

Элемент	Весовой %	Оксиды	В пересчете на оксиды, %
C	29,7	-	-
O	37,4	-	-
F	1,79	-	-
Na	1,23	Na <sub>2</sub> O	1,66
Mg	0,74	MgO	1,22
Al	0,76	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,44
Si	3,58	SiO <sub>2</sub>	7,66
P	13,34	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	30,56
S	0,22	SO <sub>3</sub>	-
Cl	7,65	-	10,42
K	3,50	K <sub>2</sub> O	4,86
Ca	0,11	CaO	0,14
Mn	0,42	MnO	0,60
Fe	0,28	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40

Из таблицы 4 видно, что полученное полимерсодержащее хелатное микроудобрение также имеет в составе микроэлементы и минералы, необходимые для нормального роста и развития растения (K<sub>2</sub>O – 4,86%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 30,56%). Элементный состав и микроструктура образца хелатного полимерсодержащего микроудобрения представлены на рисунке 6.

Результаты микроскопических снимков (рисунок 6) подтверждают результаты, полученные при проведении элементного анализа. При этом присутствие триалкиламина (ТАА) обеспечивает формирование зернистой кристаллической структуры хелатных микроудобрений.

### Выводы

Полученные хелатные полимерсодержащие микроудобрения на основе техногенных

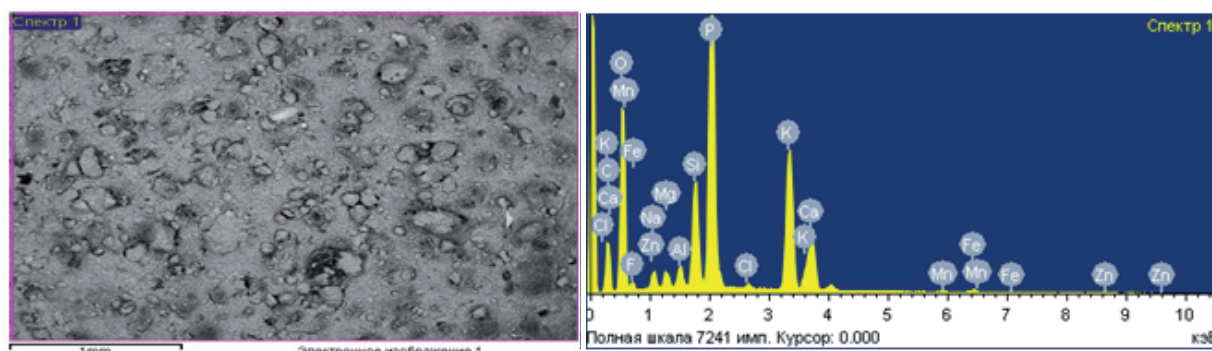


Рис. 6 – Элементный состав и микроструктура хелатного полимерсодержащего микроудобрения

отходов – котельной пыли, бурого угля Ленгерского месторождения с применением триалкиламина (ТАА) в качестве хелатообразователя придает растениям необходимые микроэлементы для их развития.

Полимерсодержащие микроудобрения характеризуются высоким содержанием гуминовых веществ, которые участвуют в структурообразовании почвенного слоя, находящегося вокруг семян, накоплении питательных элементов и микроэлементов в доступной для растений форме, способствуют регулирова-

нию геохимических потоков металлов в водных и почвенных экосистемах.

Таким образом, на основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что хелатное полимерсодержащее микроудобрение активно участвует в биохимических процессах, т.е. активизирует ферменты, проявляет фотосинтетическую активность, участвует в биосинтезе хлорофилла, влияет на углеводный и азотистый обмен, повышает стойкость к болезням, ускоряет рост и развитие растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад Первого Вице-министра сельского хозяйства РК на заседании Правительства РК // <http://mgov.kz/ru>.
2. Маркетинговый справочник KazDATA. Рынок удобрений Республики Казахстан: производство, производители, объемы экспорта и импорта, прогноз развития // <http://kazdata.kz/04/2015-2014-12-kazakhstan-production-udobreniya.html>.
3. Мырзахметова Б.Б. Разработка технологии производства комплексного органоминерального удобрения на основе гуматов местного происхождения: дис. ... докт. филос. PhD: 6D072000/ ЮКГУ им. М. Ауэзова. – Шымкент, 2012. – 152 с.
4. Алтыбаев Ж.М. Научные и технологические основы получения Ni-Co-содержащих агломератов в производстве фосфора: дис. ... докт. филос. PhD: 6D072000/ ЮКГУ им. М. Ауэзова. – Шымкент, 2013. – 115 с.
5. Триалкиламины. Справочник химика 21-chem21.info
6. Ковальчук В.П., Васильев В.Г., Бойко Л.В., Зосимов В.Д. Сборник методов исследования почв и растений – К.; Труд-Гри-Пол-XXIвек, 2010. – 252 с.

УДК 628.218  
МРНТИ 67.53.17

## НҰР-СҰЛТАН (АСТАНА) ҚАЛАСЫНЫҢ ТӘУЛІКТІК ЖАУЫН-ШАШЫН ДЕРЕКТЕРІН ТАЛДАУ

A.ZH. ZHUSSUPBEKOV, Ye.B. ZHARKENOV, A.B. ZHARKENOVA

**Аңдатпа:** Мақалада Нұр-Сұлтан (Астана) қаласының гидрометеорологиялық жағдайы сипатталған. Талданған деректер – 1936-2015 жылдар аралығындағы елорда территориясында болған жауын-шашынның тәуліктік мөлшері. Аталған деректер бастапқы коды ашық болып табылатын R бағдарлама тілінде терең талдаудан өтті. Алынған нәтижелер нөсер кәріз желісін жобалаушы, зерттеуші қызметкерлерге арналады. Ұзақ уақыт арасындағы жауын-шашын көрсеткіштері бастапқы деректер ретінде қолданылып, R бағдарламасының арнайы HydroTSM пакетінде өңделіп жарияланып отыр.

**Түйінді сөздер:** Жауын-шашын мәліметтері, Астана қаласы, R, HydroTSM, деректерді талдау

### ANALYSIS OF DAILY PRECIPITATION DATA OF NUR-SULTAN (ASTANA) CITY

**Abstract:** This article analyzes the hydrometeorological condition of the Nur-Sultan (Astana) city. The data of daily precipitation of Astana in the period 1936-2015 were processed. When processing data, an open-source computer program R was used. The results will be useful for designers and researchers. The data of long-term measurements are fully described using the HydroTSM calculation package.

**Keywords:** Precipitation data, Astana city, R, HydroTSM, data analysis

### АНАЛИЗ ДАННЫХ СУТОЧНЫХ ОСАДКОВ ГОРОДА НУР-СУЛТАН (АСТАНА)

**Аннотация:** В данной статье рассматривается гидрометеорологическое состояние города Нур-Султан (Астана). Сделан анализ данных суточных измерений атмосферных осадков, выпавших на территории столицы в период 1936-2015 г.г. При обработке данных использована компьютерная программа R с открытым исходным кодом. Полученные результаты будут полезны для проектировщиков и научных сотрудников. Данные многолетних измерений полностью описаны с помощью расчетного пакета HydroTSM.

**Ключевые слова:** данные об осадках, город Астана, программа R, HydroTSM, анализ данных

#### Кіріспе

Астана аталғаннан бастап қалада қарқынды құрылыс жұмыстарымен қатар инженерлік желілер де жөндеуден өтіп, жаңартылып келеді.

Осы мақсатпен «Инженерлік-көлік инфрақұрылымын қамтамасыз ете отырып, Астана қаласының жинақы құрылысы жөніндегі 2019-2023 жылдарға арналған кешенді жоспары» Қазақстан Республикасы Үкіметінің № 590 Қаулысымен бекітілді. Осы аралықта тұрғындарға сапалы коммуналдық

қызметтер көрсету мақсатында 150 км ауыз су құбырлары мен 81 км кәріз желілерін салу көзделген (Мухаметкалиев, 2018).

Алайда, осындай шараларға қарамастан, қатты жаңбыр жауған кезде елорда көшелерін су басып қалу жағдайлары орын алып тұрады. Мәселен, 2018 жылдың 20 тамызында елордада болған қатты нөсер салдарынан бірнеше аудандардың көшелерін су басып, қалалық коммуналдық қызмет мекемелері төтенше жағдайда жұмыс істеуге

мәжбүр болды. Сондықтан, жаңадан салынатын нөсерлік кәріз желілері мен ғимараттарын жобалау барысында суды бұру және тазарту процестерін мұқият талдап, модельдеу қажет. Бұл шара болашақта кездесетін техникалық ақауларды жоюға бағытталған.

Елорда тұрғындары санының қарқынды түрде өсуі аталған жобаны кешенді етуді талап етеді. 1-суретте астанамызда 2018 ж. 20 тамызында болған нөсер жаңбырдың салдары көрсетілген (Жулмухаметова, 2018).



1-сурет. Нұр-Сұлтан (Астана) көшелерінің біріндегі жауын-шашын

**1. Бастапқы мәліметтер.** Ол үшін қазіргі таңда елордамыздың гидрометеорологиялық жағдайына талдау жасалады.

Зерттеу кезеңінде Нұр-Сұлтан (Астана) қаласының территориясындағы метеостанцияда өлшенген жауын-шашын мөлшерінің тәуліктік мәндері талданды. Уақыт аралығындағы, дәлірек айтсақ, 1936 ж. 1 қаңтарынан бастап 2015 ж. 31 желтоқсанына дейінгі аралықты қамтитын күнделікті жауын-шашын мөлшері айнымалы мәндер ретінде қарастырылды.

Жауын-шашын мөлшері су қабатының қалыңдығымен (миллиметрмен) анықталады. Мәселен, 1 мм жауын-шашын мөлшері 1 м<sup>2</sup> ауданға түскен 1 л жауынды сипаттайды. Егер де ауданы 100 м<sup>2</sup> болатын елді-мекенде

1 сағатта 5 мм жауын-шашын мөлшері жауса, онда аталған ауданға 500 м<sup>3</sup> жауын жауғанын аңғару қиын емес. Айта кететін жай, жауын-шашынның ең көп үлесі жаңбыр мен нөсер түрінде жауады екен. Қала территориясына жауған тілсіз жауды бұрып алып кету кәріз жүйесінің міндеті болып табылады (Шнееров, 1953).

**2. Өңдеу әдістері.** Уақыттық сериялардың компоненттерін табу рәсімдеріне қысқаша шолу жасайық.

Стохастикалық (корреляциялық) процесс – зерттелетін уақыт қатарына арналған кездейсоқ мәндердің дәйектілігі (Dobge, 2015).

Кездейсоқ процесте біз келесіні анықтаймыз:

– орташа функцияны

$$\mu_t = E(Y_t), t = 0, \pm 1, \pm 2, .. \quad (1)$$

– автоковариация функциясын

$$\gamma_{t,s} = Cov(Y_t, Y_s) = E[(Y_t - \mu_t)Y_s - \mu_s] = E(Y_t Y_s) - \mu_t \mu_s, t, s = 0, \pm 1, \pm 2, .. \quad (2)$$

– автокорреляция функциясы

$$\rho_{t,s} = Corr(Y_t, Y_s) = \frac{Cov(Y_t, Y_s)}{\sqrt{Var(Y_t)Var(Y_s)}} = \frac{\gamma_{t,s}}{\sqrt{\gamma_{t,t}\gamma_{s,s}}}, t, s = 0, \pm 1, \pm 2, .. \quad (3)$$

**1-кесте. Нұр-Сұлтан (Астана) қаласындағы айлық жауын-шашынының 1936 жылдың 1 қаңтарынан бастап 2015 жылдың 31 желтоқсанына дейін қысқаша статистикасы**

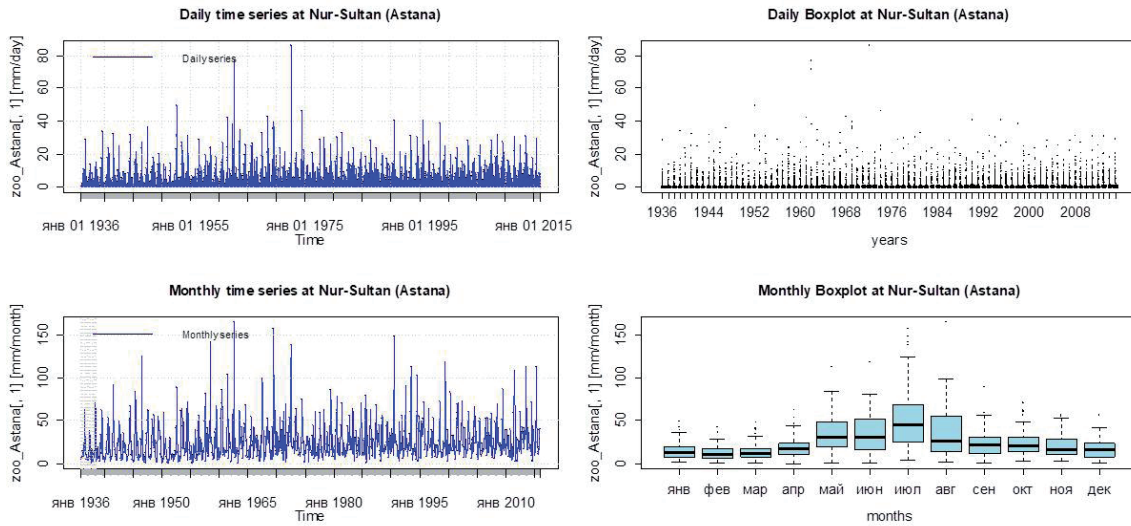
Индекс	Мезгілі	Жауын-шашын	Бақылау
Min.	1936-01-01	0,0000	Минимум
1st Qu.	1956-01-03	0,0000	Бірінші квартиль
Median	1976-01-02	0,0000	Медиана
Mean	1976-01-02	0,8185	Мәндердің орташасы
3rd Qu.	1996-01-01	0,4000	Үшінші квартиль
Max.	2015-12-31	85,8000	Максимум
IQR	<NA>	0,4000	Квартильаралық ауқым=3кв-1кв
sd	<NA>	2,6378	Стандартты қателік
cv	<NA>	3,2226	Вариация коэффициенті
Skewness	<NA>	8,4077	Ассиметрия
Kurtosis	<NA>	131,3262	Эксцесс
NA's	<NA>	13,0000	Өлшенбеген күндер
n	<NA>	29216,0000	Мәндердің жалпы саны

Гидрологияны модельдеу мамандары дәстүрлі құралдарды пайдалана отырып деректерді және нәтижелерді алдын ала және кейінгі өңдеуге көп уақыт жұмсайтыны белгілі. Бұл жұмыста авторлар «R» бағдарламасын және оның HydroTSM атты пакетін өңделмеген гидрологиялық деректердің үлгілерін зерттеу және алу үшін, оның нәтижелерін алдын ала өңдеу үшін құрал ретінде пайдаланды.

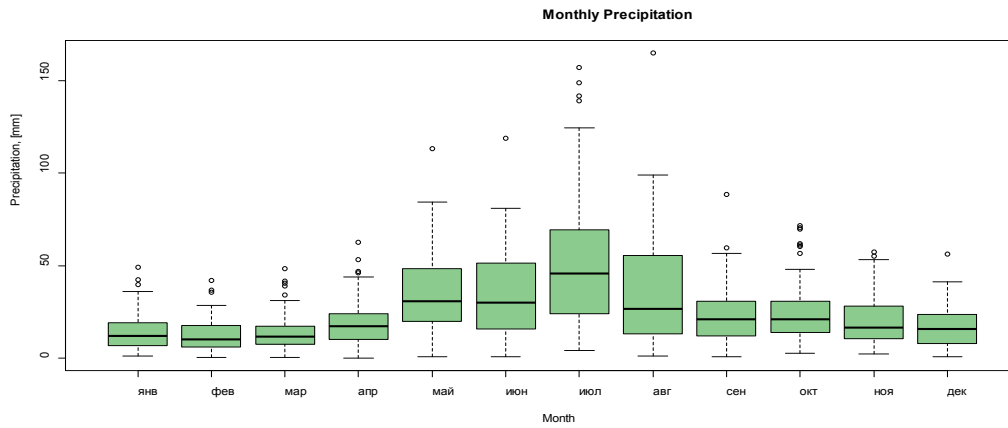
**3.** Талдау нәтижелерін талқылау. Астана станциясындағы жауын-шашынның орта-

ша айлық мәнін талдау үшін, 1936 жылдың 1 қаңтарынан бастап 2015 жылдың 31 желтоқсанына дейін күнделікті деректерді ай сайынғы деректерге айналдырып, 1-кестедегі нәтижелерді алуға болады (Zambrano-bigarini, 2017).

Астанамыздағы ай сайынғы жауын-шашынның сериясын сипаттау үшін әртүрлі графиктер жасадық: уақыттық кестелердің графиктері, қорап диаграммалары және гистограммалар. Олар 2-суретте бейнеленген.



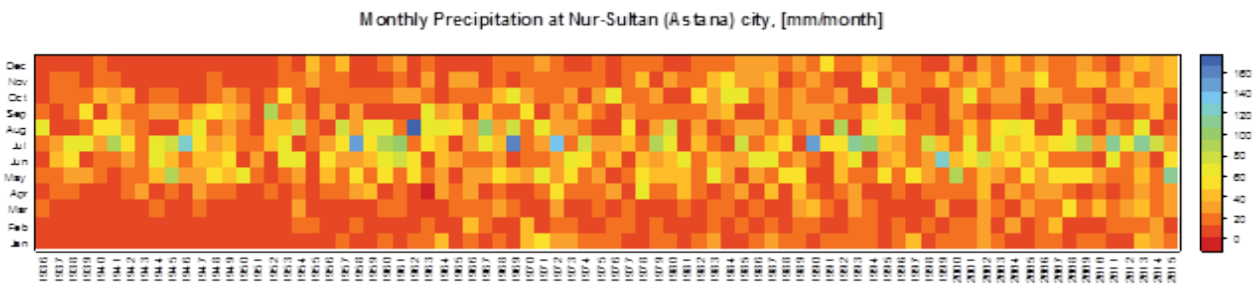
2-сурет. Күнделікті, айлық және жылдық жиілігі бар жауын-шашынның уақыттық сериясы



3-сурет. Айлық жауын-шашынның 1936-2015 жылдар аралығындағы мәндері

Жоғарыдағы 2-ші және 3-ші суреттегі айлық қорашалар жауын-шашынның маусымдық бөлінуін сипаттайды. Желтоқсан мен шілде айларында тенденцияның өсуін және шілде айынан бастап төмендеуін байқауға болады.

Құрғақ немесе ылғалды айларды анықтау үшін біз әр жылдың айына арналған мәндерді белгіледік. Нәтижелерін матрица түрінде 4-суретте келтірдік.



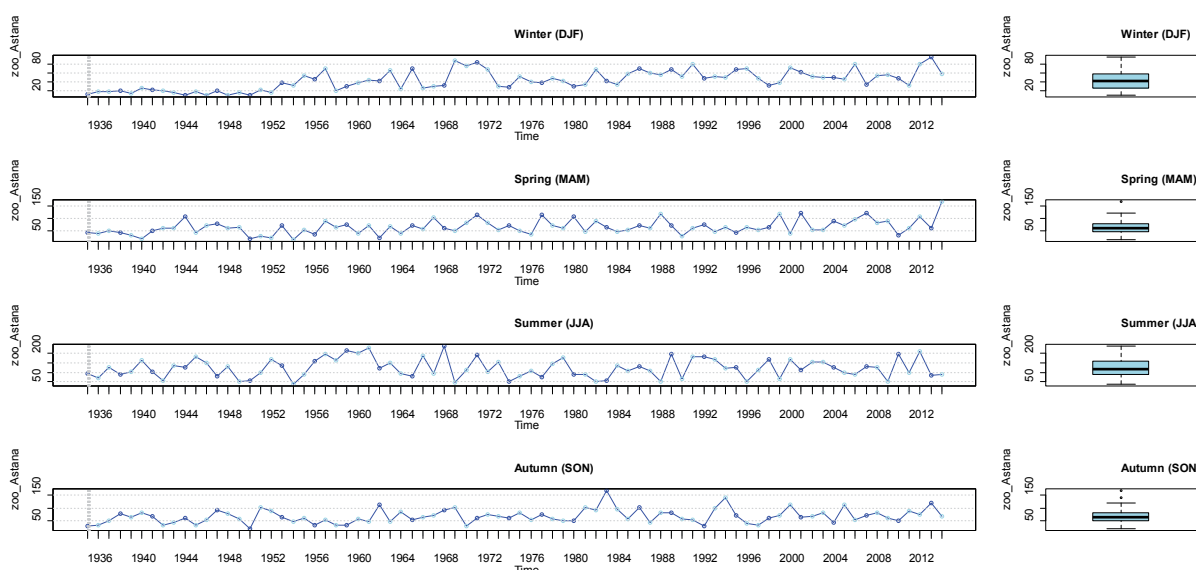
4-сурет. 1936–2015 жылдар арасындағы айлық жауын-шашын мөлшерінің графигі

2-кесте. Жауын-шашынды маусымдық талдаудың нәтижелері

Маусымдар	Жауын-шашынның маусымдық орташа мәндері
DJF (Желтоқсан-Қаңтар-Ақпан)	43,3
MAM (Наурыз-Сәуір-Мамыр)	65,9
JJA (Маусым-Шілде-Тамыз)	121,8
SON (Қыркүйек-Қазан-Қараша)	67,7

HydroTSM пакеті күнделікті, айлық, жылдық және маусымдық деректер арасындағы түрлендірулерді жүзеге асыратын көптеген функцияларды қамтиды.

Маусымдық деректерге келетін болсақ, біз 2-кестедегі және 5-суреттегі мәндерді анықтадық:



5-сурет. Жауын-шашынның 1936-2015 жылдар арасындағы маусымдық мәндері

Жоғарыда көрсетілген 1, 2 кестелерді және 2, 3, 4, 5 суреттерді талқылай отырып, жауын-шашынның ай сайынғы таралуын келесідей қорытамыз: қысқы кезеңде желтоқсан-ақпан айларында тіркелген 43,3 мм ор-

таша жауын-шашынның ең аз 0 мм мөлшері 1936 жылдың қаңтарында, ал жаздағы орташа маусымдық жауын-шашын 121,8 мм, оның максимумы 2015 жылдың желтоқсанында 85,8 мм байқалған.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Dobre, G.-R. (2015) «R Language: Statistical Computing and Graphics for Modeling Hydrologic Time Series», Mathematical Modelling in Civil Engineering. Walter de Gruyter GmbH, 10(4), cc. 9–18. doi: 10.2478/mmce-2014-0018.
2. Zambrano-bigiarini, M. (2017) Tutorial for Introductory Analysis of Daily Precipitation Data with hydroTSM.
3. Жұлмухаметова Ж. (2018) «В Астане за сутки выпала месячная норма осадков, коммунальные службы работают в усиленном режиме», Информбюро. Доступно на: <https://informburo.kz/novosti/v-astane-za-sutki-vypala-mesyachnaya-norma-osadkov-kommunalnye-sluzhby-rabotayut-v-usilennom-rezhime.html> (Просмотрено: 20 март 2019 г.).

4. Мухаметкалиев Р. (2018) Восстановление ливневой канализации Астаны: будет сухо только к 2030 году - Новости Казахстана - свежие, актуальные, последние новости об о всем. Доступно на: <https://kazpravda.kz/news/obshchestvo/vosstanovlenie-livnevoi-kanalizatsii-astani-budet-suho-tolko-k-2030-godu> (Просмотрено: 11 апрель 2019 г.).
5. Шнееров А. И. (1953) Ливневая канализация. Под редакцией А. П. Смирнова. Москва.
6. Razuvayev V.N., Avasova E.G., Martuganov R.A., Steurer P., Vose R., 1993. Daily Temperature and Precipitation Data for 223 U.S.S.R. Stations. ORNL/CDIAC, Numerical data package – 040, Oak Ridge National laboratory, Oak Ridge, Tennessee, USA

УДК 546.766  
МРНТИ 61.39.99

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПЕРЕРАБОТКИ ХРОМСОДЕРЖАЩИХ ШЛАМОВ

В.А. КЛЕПИКОВ, С.Т. ТЛЕУОВА, А.С. ТЛЕУОВ,  
Ж.К. ДЖАНМУЛДАЕВА, Т.А. КАДЫНЦЕВА

*Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова*

**Аннотация:** Гальваношламы, образующиеся при очистке сточных вод гальванических производств, являются промышленные отходы, которые являются основными источниками поступления тяжелых металлов в окружающую среду. Состав гальваношламов не постоянен и зависит от состава очищаемых сточных вод. Объектом исследования явились шламы гальванического производства ЛПЦ-3 «АрселорМиттал Темиртау». Результаты рентгенографического анализа гальванического шлама характеризуются преобладанием основных фаз соединений хрома с железом и примесных компонентов, в частности, цинка с сульфатным составляющим. Общая минералогическая структура хромсодержащих гальванических шламов характеризуется преобладанием тёмной массообразной структуры минералов хромита, хромпикотита. Наблюдаются структуры минералов цинкозита, а также включения хромпика. Результаты термодинамического моделирования рабочей системы показали, что в низкотемпературной области наблюдается максимальное образование  $\text{NiCl}_2$  до 99,5% при  $T=500\text{K}$ . По мере повышения температуры с 1000 до 1500K наблюдается заметное перераспределение кислорода и хлора, которое характеризуется максимумом образования  $\text{NiO}$  –78,3% и  $\text{HCl}$  –76,3% при  $T=1200\text{K}$  и  $p = 0,01$  МПа. Анализ равновесного распределения хрома при давлениях  $p = 0,01$  и  $0,101$  МПа характеризуется незначительными изменениями по степени хлорирования с образованием  $\text{CrOCl}_2$ ,  $\text{CrCl}_2$ ,  $\text{CrCl}_3$ .

**Ключевые слова:** хромсодержащий шлам, термодинамика, растровый электронный микроскоп, хромит, гальваношлам, рентгенограмма

## RESEARCH OF PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF CHROMIUM-CONTAINING SLUDGE

**Abstract:** Galvanic sludge generated during wastewater treatment of electroplating industry, are industrial waste, which are the main sources of heavy metals in the environment. The composition of galvanic sludge is not constant and depends on the composition of the treated wastewater. The object of the study was slimes of galvanic production of LPC-3 “ArcelorMittal Temirtau”. The results of X-ray analysis of galvanic sludge are characterized by the predominance of the main phases of chromium compounds with iron and impurity components, in particular zinc with a sulfate component. The overall mineralogical structure of chrome-containing galvanic slimes is characterized by the predominance of a dark mass-like structure of chromite and chrompicotite minerals. Observed minerals zinc structure, as well as the inclusion of chromic. The results of thermodynamic modeling of the working system showed that in the low-temperature region, the maximum formation of  $\text{NiCl}_2$  is up to 99.5% at  $T = 500\text{K}$ . As the temperature rises from 1000 to 1500 K, a noticeable redistribution of oxygen and chlorine is observed, which is characterized by the formation maximum of  $\text{NiO}$  –78.3% and  $\text{HCl}$  –76.3% at  $T = 1200\text{K}$  and  $p = 0.01$  MPa. Analysis of the equilibrium distribution of chromium at pressures of  $p = 0.01$  and  $0.101$  MPa is characterized by insignificant changes in the degree of chlorination with the formation of  $\text{CrOCl}_2$ ,  $\text{CrCl}_2$ ,  $\text{CrCl}_3$ .

**Keywords:** chromium-containing sludge, thermodynamics, raster electron microscope, chromite, galvanosucide, radiograph

## ХРОМҚҰРАМДЫ ШЛАМДАРДЫ ҚАЙТА ӨНДЕУДІҢ ТЕРМОДИНАМИКАЛЫҚ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН ЗЕРТТЕУ

**Аңдатпа:** Электрластинаның өнеркәсібінің сарқынды суды тазарту кезінде пайда болатын электролиздеу, қоршаған ортаға ауыр металдардың негізгі көздері – өндірістік қалдықтар болып табылады. Гальваникалық шламның құрамы тұрақты емес және тазартылған сарқынды сулардың құрамына байланысты. Зерттеу – нысаны «АрселорМиттал Теміртау» ЖШС-ның ГПК-3 гальваникалық өндірісінің шламдары. Гальваникалық шөгінділердің рентгендік анализінің нәтижелері хромдық темір қосылыстары мен қоспалар компоненттерінің негізгі фазаларының, атап айтқанда, сульфат компоненті бар мырыштың басым болуымен анықталады. Хром құрамындағы гальваникалық шламдардың жалпы минералогиялық құрылымы хромит пен хромикотит минералдарының қараңғы жаппай құрылымы басымдықпен сипатталады. Мырыштың минералды құрылымы байқалып, хромды қосу. Жұмыс жүйесіндегі термодинамикалық модельдеу нәтижелері төмен температуралы аймақта  $\text{NiCl}_2$  максималды түзілуі  $T = 500\text{K}$  кезінде 99,5% -ға дейін жететіндігін көрсетті. Температура 1000-нан 1500 К-ге дейін көтерілгенде, оттегі мен хлордың айтарлықтай қайта бөлінуі байқалады, ол максимум  $\text{NiO} - 78,3\%$  және  $\text{HCl} - 76,3\%$   $T = 1200\text{K}$  және  $p = 0,01\text{ МПа}$  кезінде сипатталады.  $P = 0,01$  және  $0,101\text{ МПа}$  қысымындағы хромның тепе-теңдік таралуын талдау  $\text{CrOCl}_2$ ,  $\text{CrCl}_2$ ,  $\text{CrCl}_3$  түзуімен хлорлау дәрежесінде шамалы өзгерістермен айқындалады.

**Түйінді сөздер:** хромды шлам, термодинамика, растрлық электронды микроскоп, хромит, гальваносукцин, рентген

Проблемы техногенного загрязнения окружающей природной среды с каждым годом все более обостряются и начинают приобретать глобальный масштаб. Главной задачей в этом плане остается внедрение малоотходных экологически безопасных технологий, а также разработка процессов утилизации промышленных отходов, снижающих антропогенную нагрузку на биосферу и обеспечивающих рациональное использование природных ресурсов [1]. Гальваношламы, образующиеся при очистке сточных вод гальванических производств, являются промышленными отходами 2-3 классов опасности и основными источниками поступления тяжелых металлов в окружающую среду в связи с отсутствием в большинстве регионов полигонов для захоронения, соответствующих. Гальваношламы представляют собой суспензию или пасту гидроксидов различных тяжелых металлов (никеля, хрома, цинка, меди, железа и др.), которые оказывают вредное воздействие на организм человека и окружающую среду. Состав гальваношламов не постоянен и зависит от состава очищаемых сточных вод. Объектом исследования явились шламы гальванического производства ЛПЦ-3 «АрселорМиттал Темиртау». Все известные методы переработки гальваношламов, особенно внедренные в произ-

водство, относятся к переработке обедненных шламов. Особую проблему представляет переработка гальваношламов сложного состава. В этой связи авторами была предложена комплексная технология переработки хромсодержащих шламов сложного состава, содержащих цинк, хром и другие металлы [2,3].

Технология включает приготовление и обжиг сырьевой смеси на основе хромсодержащего шлама с добавкой хлорида кальция для обеспечения выхода хлоридов металлов. Для реализации предлагаемой технологии выполнены физико-химические исследования хромсодержащих шламов на растровом электронном микроскопе (фирмы JEOL JSM – 6490 LV) и на Дрон-3.

На рисунке 1 представлена рентгенограмма гальванического шлама. Она характеризуется преобладанием основных фаз соединений хрома с железом и примесных компонентов, в частности, цинка с сульфатным составляющим. Анализ рентгенограммы показал, что более интенсивные дифракционные максимумы характерны для фаз цинкозита с  $d = 2,45; 2,65; 3544\text{ \AA}$ . Менее интенсивные пики характерны фазе хромпикотита с  $d = 1,46; 2,499; 2,93\text{ \AA}$ , наблюдаются также менее интенсивные дифракционные максимумы хрома с  $d = 1,46; 1,908; 2,052\text{ \AA}$ .

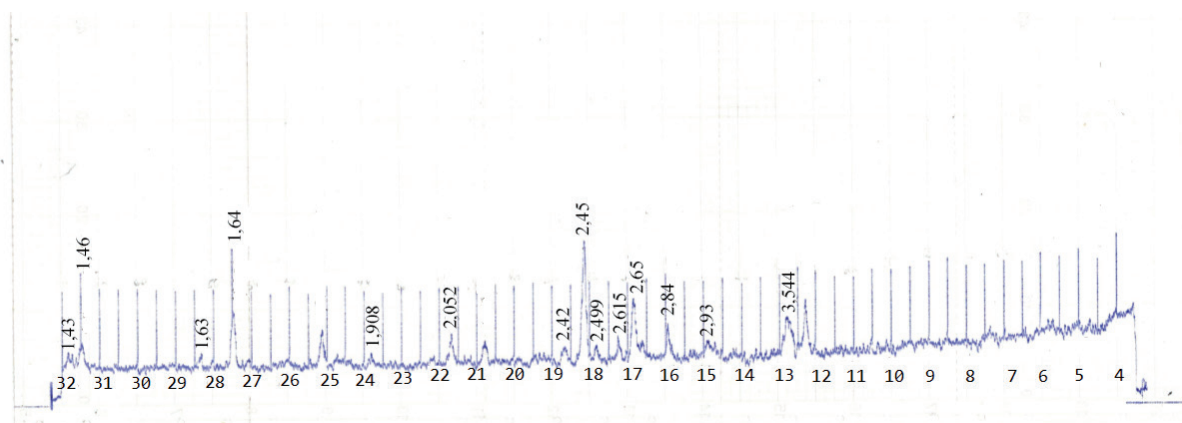
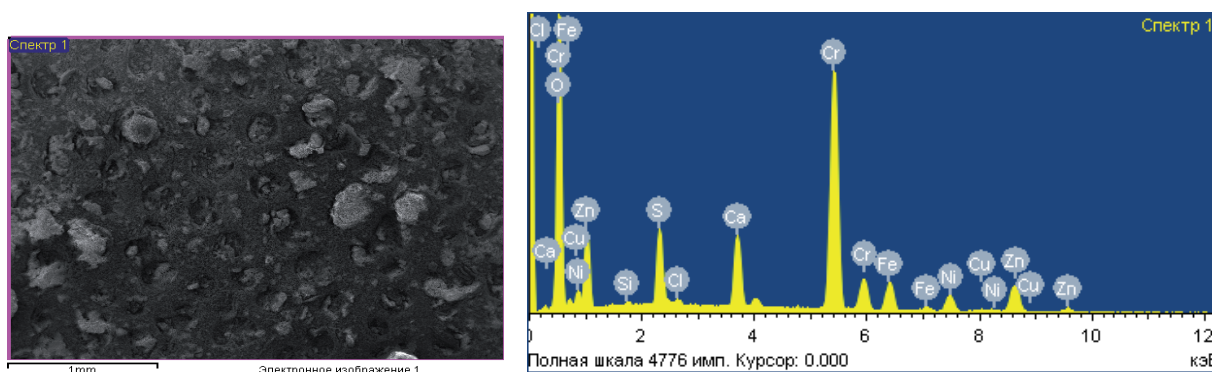


Рис. 1 – Рентгенограмма хромсодержащего гальванического шлама

Общая минералогическая структура хромпикотита. Наблюдаются светлые, неправильной осколочной структуры минералы хромсодержащих гальванических шламов характеризуется преобладанием тёмной мас- цинкозита, а также мелкие осколочные тём- сообразной структуры минералов хромита, ные включения хромпика (рис.2).



Элемент	Весовой %	Атомный%
O	30.12	58.09
Si	0.21	0.23
Ca	5.30	4.08
Cr	35.19	20.88
Fe	5.75	3.18
Ni	4.81	2.53
Cu	0.61	0.30
Zn	13.44	6.34
S	4.26	4.10

Рис. 2 – Микроструктура и поэлементный состав хромсодержащего гальваношлама

Известно, что хлорирование цветных металлов полнее протекает в присутствии газо- образного хлора, образование которого при использовании хлорида кальция возможно. В этой связи для определения термодинами- ческой вероятности хлорирования гальвани- ческих никель-, хромсодержащих отходов с

помощью программного комплекса «Астра-4» исследованы следующие системы:



Равновесное распределение элементов и соединений и состав газовой фазы изучали при давлениях  $p = 0,01$  и  $0,101$  МПа в тем-

пературной области 500-1500К. Результаты термодинамического моделирования системы NiO– 2HCl в исследуемых условиях характеризуются образованием следующих соединений: NiO, NiO(к), NiCl<sub>2</sub>, NiCl<sub>2</sub>(к), NiCl, H<sub>2</sub>O, HCl, H<sub>2</sub>, Cl<sub>2</sub>, Cl, O<sub>2</sub>, OH, H, NiOH, HOCl, NiO<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, значительная часть этих соединений находится в пределах 0,2-0,6·10<sup>-3</sup>-10<sup>-5</sup>.

Анализ равновесного распределения никеля при давлениях p = 0,01 и 0,101 МПа не имеет существенных изменений (рисунок 3).

Равновесное распределение кислорода в той же высокотемпературной области 100-1500К характеризуется заметным перераспределением между H<sub>2</sub>O и NiO, что в свою очередь влияет на максимум образования HCl .

Состав газовой фазы системы NiO – 2HCl при давлениях p=0,01 и 0,101 МПа характеризуется образованием паров H<sub>2</sub>O до 99-98,0% при T=500-600К. В области 1000-1100К наблюдается максимум образования HCl –80-81,0%. Степень хлорирования оксида никеля характеризуется образованием NiCl<sub>2</sub> до 25-26,3% при T=1500К.

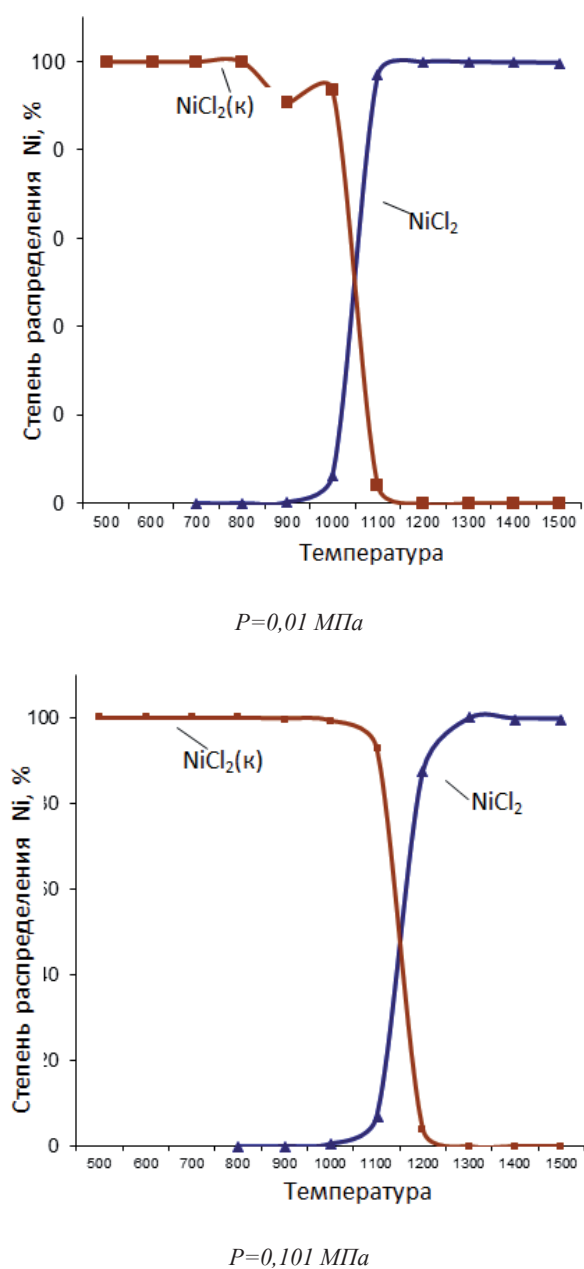


Рис. 3 – Равновесное распределение в системе NiO-2HCl

Равновесное распределение никеля при всех давлениях характеризуется максимальным переходом  $Ni \rightarrow NiCl_2(k)$ , начиная от 500 до 1000К. При повышении температуры от 1100-1500К степень хлорирования с образованием  $NiCl_2$  достигает 98-99%.

Степень распределения хлора в высокотемпературной области 1100-1500К при  $p = 0,01$  характеризуется максимальным образованием атомарного до 2,6%, что способствует образованию  $NiCl$  до 1,5% при  $T=1500K$ . Выше 1000К наблюдается максимальная степень хлорирования оксида никеля с образованием  $NiCl_2$  до 43-45,3% при  $T=1500K$ .

Анализ термодинамического моделирования хлорирования оксида хрома хлоридом водорода в системе  $Cr_2O_3 - 6HCl$  носит аналогичный характер предыдущей системе.

Анализ равновесного распределения хрома при давлениях  $p = 0,01$  и  $0,101$  МПа характеризуется незначительными изменениями по степени хлорирования с образованием  $CrOCl_2$ ,  $CrCl_2$ ,  $CrCl_3$ .

Степень хлорирования оксида хрома в высокотемпературной области характеризуется образованием  $CrCl_3$  до 3,0-4,6% при  $T=1500K$ . Равновесное распределение водорода при  $T=500K$  характеризуется образованием паров

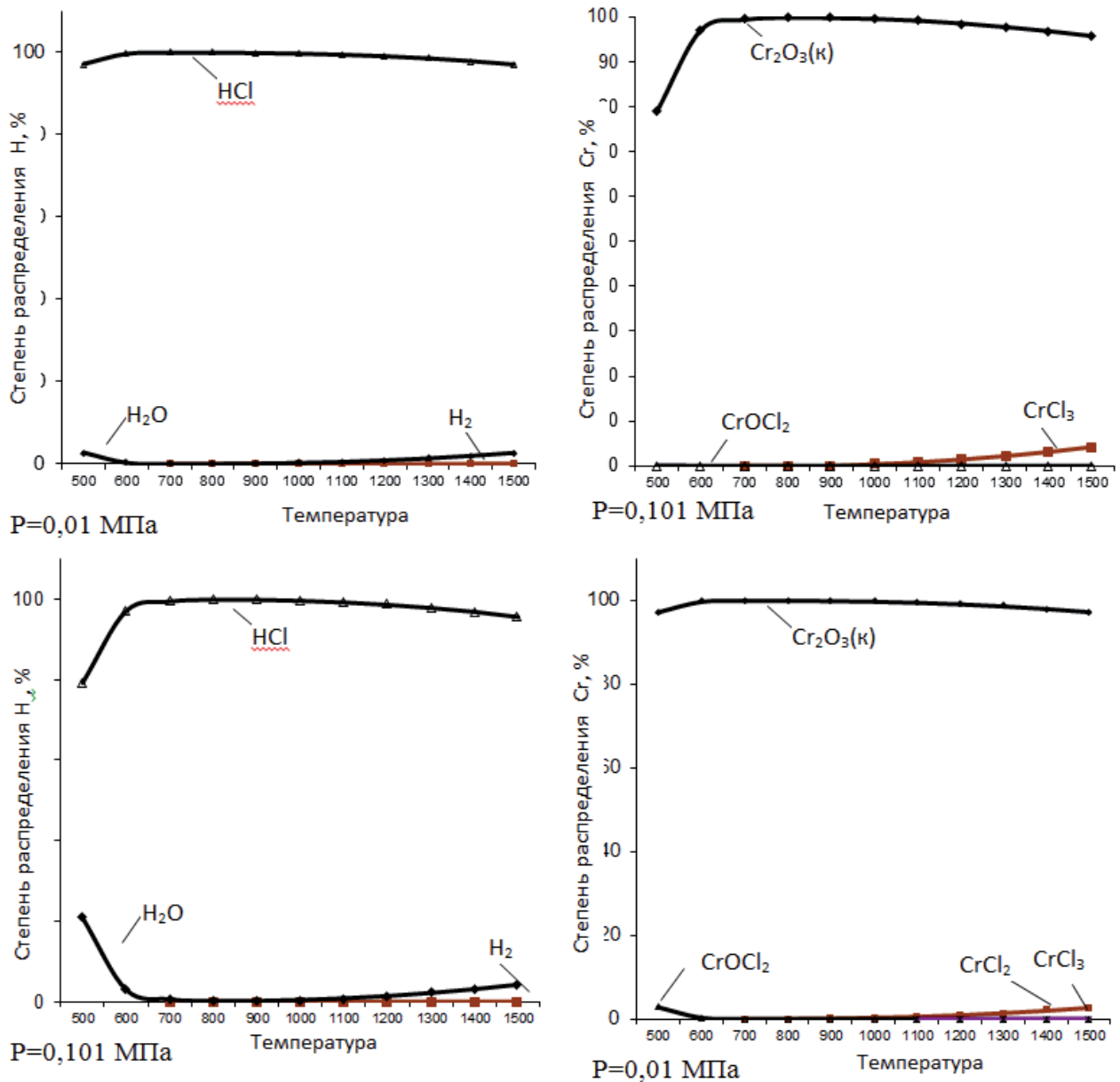


Рис. 4 – Равновесное распределение в системе  $Cr_2O_3 + 6HCl$

$H_2O$  до 21,4%, а при  $T=1500K$  образованием  $H_2$  до 2,8-3,0%.

Состав газовой фазы системы  $Cr_2O_3 - 6HCl$  характеризуется наличием  $HCl$  до 92-96%,  $H_2O$  – 12-2,0% и  $CrCl_3$  до 2,8-3,0%, что в целом свидетельствует о низкой степени хлорирования  $Cr_2O_3$   $HCl$  во всей исследуемой области температур и давлений.

Степень хлорирования хрома характеризуется образованием конденсированного  $CrCl_3$  на 99,6% до 900K при давлениях  $p = 0,01$  и 0,101 МПа. Выше 1000 до 1500K характеризуется образованием  $CrCl_3$  на 99-98,9%.

### Вывод

Результаты физико-химических исследований хромсодержащих шламов показали наличие фаз соединений хрома с железом и примесных компонентов, в частности

цинка с сульфатным составляющим. В том числе анализ рентгенограммы показал, что более интенсивные дифракционные максимумы характерны для фаз цинкозита. Менее интенсивные пики характерны для фаз хромпикотита. Минералогическая структура хромсодержащих гальванических шламов характеризуется структурой минералов хромита и хромпикотита. Наблюдаются светлые, неправильной осколочной структуры минералы цинкозита.

Результаты термодинамического моделирования систем  $NiO - 2HCl$ ,  $Cr_2O_3 - 5HCl$  в температурном интервале 500-1500K и давлениях 0.01 и 0.101 МПа показали возможность степени хлорирования  $Ni$  до 45,3% и  $Cr$  до 4,6%. Причём уменьшение давления благоприятствует увеличению степени хлорирования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Котас Д., Статика З. Комментарии: Распространение хрома в окружающей среде и методы его спецификации. Загрязнение окружающей среды. – 2000. – 107/263-283.
2. Трифонова Т.А., Селиванова Н.В., Селиванов О.Г., Ширкин Л.А., Михайлов В.А. Утилизация гальваношламов сложного состава. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Т. 14. – №5(3). – 2012 г.
3. Михеев И.И. Хром и его соединения // Вредные вещества в промышленности. – Ленинград. – 1977. – Т.3. – С.15-17.
4. Тлеуов А.С., Шевко В.М., Каратаева Г.Е., Ескендинова М.М., Елубаев Т. Исследование комплексной переработки гальванических отходов. Труды РНПК «Проблемы и перспективы развития Прибалхашья». – Балхаш, 2007. – С. 72-73.

ӘОЖ 544.77  
МРНТИ 31.15.33

## ВИСМУТ СЕЛЕНИДІ ЕКІ ӨЛШЕМДІ АТОМДЫ КРИСТАЛЫНЫҢ НАНОҚҰРЫЛЫМЫН МЕҢГЕРМЕЛІ ӨСІРУ

М. ЕСЖАНҰЛЫ<sup>1</sup>, Б. БЕКТҰРҒАНҚЫЗЫ<sup>1</sup>, Д.Х. ҚАМЫСБАЕВ<sup>2</sup>, Б.А. СЕРІКБАЕВ<sup>2</sup>,  
Ә.Қ. ҚОҚАНБАЕВ<sup>2</sup>, Л.К. КУДРЕЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Гле педагогикалық университеті, Құлжа, ҚХР  
<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ Ұлттық университеті

**Аңдатпа:** Мақалада висмут селенидін даярлаудың біраз заманауи әдістерін пайдалану арқылы оның наносызықты, наножолақты құрылымдарын өсіру әдістеріне әдебиеттік шолу жасалды.

Жоғары сапалы висмут селенидінің ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) екі өлшемді кристалын өсірудің жаңа әдісі ұсынылды. «Газ-қатты» фаза өсіру механизміне сәйкес мыс торын слюда бетіне қаптау әдісі бойынша висмут селенидінің екі өлшемді атомды кристалының наноқұрылымдары (ұзындығы 8  $\mu\text{m}$ , қалыңдығы 5 нм болатын) 490<sup>0</sup> температурада, уақыты 40 мин, газ ағу жылдамдығы 30  $\text{cm}^3/\text{с}$  ÷ 80  $\text{cm}^3/\text{с}$ -ке дейін өзгертіліп отыратын жағдайда меңгермелі өсірілді.

Алынған үлгілер атомдық күштік микроскоп (Bruker Atomic Force Microscope (AFM), АҚШ), сканерлеуші электронды микроскоп (SEM, Hitachi S-4800, Жапония), Раман спектрометрі (HORIBA LabRAM HR800, АҚШ), UV-VIS және сәуле түсіру электронды микроскоп (TEM) сияқты заманауи қондырғыларда алынған мәліметтер негізінде сипатталды.

Наноқұрылымдардың жасалу сапасына, өсу формасына және қалыңдығына температура мен газ ағу жылдамдығының әсерлері зерттелді. Алынған екі өлшемді атомдық кристалдар ішінде тор формалы үлгінің сәуле өтімділігі басқалардан жоғары екендігі анықталды.

**Түйінді сөздер:** висмут селениді, меңгермелі өсіру, слюда, атомдық кристалл, фаза

## MANAGED SYNTHESIS OF A NANOSTRUCTURED TWO-DIMENSIONAL ATOMIC CRYSTAL OF BISMUTH SELENID

**Abstract:** The paper analyzes the literature of modern methods for producing nanosuspensions and the orderly growth of nanofilms. A new method for the controlled synthesis of a high-quality nanostructured two-dimensional atomic crystal of bismuth selenide is discussed.

Using the “gas-solid” growth mechanism, the influence of such factors as temperature, gas supply rate on the controlled growth of a nanostructured two-dimensional atomic crystal of bismuth selenide 8  $\mu\text{m}$  in length and 5 nm thick on mica having a lattice similar to copper taken as a matrix was investigated.

It is shown that the optimal conditions for conducting controlled synthesis of high-quality bismuth selenide are 490<sup>0</sup>, time 40 minutes, gas flow rate within 30  $\text{cm}^3/\text{s}$  - 80  $\text{cm}^3/\text{s}$ .

The structural characteristics of the obtained samples of bismuth selenide were studied by modern methods of atomic force microscopy (Bruker Atomic Force Microscope, AFM, USA), scanning electron microscopy (SEM, Hitachi S-4800, Japan), optical microscopy (Olimpus, DX-51, Japan), Raman spectroscopy (HORIBA LabRAM HR 800, USA), UV-VIS, transmission electron microscopy (TEM).

The forms and properties of the synthesized samples of nanostructured atomic crystals of bismuth selenide are established.

**Keywords:** bismuth selenide, controlled synthesis, mica, atomic crystal, phase

## УПРАВЛЯЕМЫЙ СИНТЕЗ НАНОСТРУКТУРНОГО ДВУХМЕРНОГО АТОМНОГО КРИСТАЛЛА СЕЛЕНИДА ВИСМУТА

**Аннотация:** В работе проведен анализ литературы современных методов получения наносuspензий и упорядоченного роста нанопленок. Обсужден новый способ управляемого синтеза высококачественного наноструктурного двухмерного атомного кристалла селенида висмута.

С использованием механизма роста «газ-твердое» исследовано влияние таких факторов как температура, скорость подачи газа на управляемое выращивание наноструктурного двухмерного атомного кристалла селенида висмута длиной 8 мкм и толщиной 5 нм на слюде, имеющей решетку, подобную медной, взятой в качестве матрицы.

Показано, что оптимальными условиями проведения управляемого синтеза высококачественного селенида висмута являются температура – 490°C, время – 40 минут, скорость подачи газа – в пределах 30 см<sup>3</sup>/с ÷ 80 см<sup>3</sup>/с.

Структурные характеристики полученных образцов селенида висмута исследованы современными методами как атомно-силовая микроскопия (Bruker Atomic Force Microscope, AFM, США), сканирующая электронная микроскопия (SEM, Hitachi S-4800, Япония), оптическая микроскопия (Olimpus, DX-51, Япония), Раман-спектроскопия (HORIBA LabRAM HR 800, США), UV-VIS, просвечивающая электронная микроскопия (ТЕМ).

Установлены формы и свойства синтезированных образцов наноструктурных атомных кристаллов селенида висмута.

**Ключевые слова:** селенид висмута, контролируемый синтез, слюда, атомный кристалл, фаза

### Кіріспе

Висмут селениді ( $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ) екі өлшемді атомды кристалды наноматериалдар қатарына жатады, сондықтан оның беттік эффект, кіші өлшемді эффект, квант өлшемді эффект, макроквантты тоннельді эффект сияқты ерекше қасиеттері болуымен қатар, жылу, жарық, дыбыс, сәуле, магниттілік қасиетке ие болғандықтан, қазіргі таңда ғалымдар оған ерекше қызығушылық танытып отыр. Болашақта  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  электроника, информация, энергетика, жаңа материалдар, катализ, биология және медицина саласында кең көлемде қолданылу келешегі зор наноматериал ретінде қарастырылуда. Ғалымдар висмут селенидің дайындау әдісі туралы көптеген зерттеулер жүргізді. Мысалы, молекулалық шоғыр эпитаксиялық (МВЕ) технология әдісі [1], микромеханикалық ажырату әдісі [2-3] сияқтылар. Бұл әдістерді қолдану арқылы, атом дәрежесіндегі жоғары сапалы, әрі біркелкі болатын висмут селенидінің қабыршығын жасаған. Аталған әдістер қарапайым, әрі қолдануға ыңғайлы жасалған висмут селениді жоғары сапалы болса да, жасалу шарт-жағдайы өте жоғары вакуумдық органы қажет етеді, әрі қолданылатын қондырғының бағасы өте қым-

бат. Механикалық ажырату барысы өте ретсіз болғандықтан, ажыратып алынған жұқа жапырақшаның қабат санын, формасын, өлшемін, бағытын және өнімділігін меңгеруге ыңғайсыз. Qihua Xiong сұйық фазада синтездеу әдісі арқылы қалыңдығы 4 нм болатын висмут селениді наножапырақшасын жасаған [4]. Zhongfan Liu [5-6] “газ-сұйық-қатты” (V-L-S) механизмінің газ фазадан қатты фазаға айналдыру әдісі арқылы формасы біркелкі болатын висмут селенидінің наносызықша, наножолақты құрылымдарын өсіріп жасаған.

Висмут селениді екі өлшемді атомды кристалының сыртқы бетінде қосалқы байланыс болмайды, тек қана өте әлсіз Ван-дер-Ваальс күшінің әсері сақталады. Басқа наноматериалдарды жасау әдісімен салыстырғанда, селенді висмутта қабатталған кристалдық күйдегі Ван-дер-Ваальстік күштері сыртқа кеңею рөлі кең көлемде сақталғандықтан, өсу параметрлерін жоғары дәрежеде меңгеруге мүмкіндік береді. Ал слюда төтенше үйлесімді болған Ван-дер-Ваальс күштері сыртқа кеңею рөлі бар матрица түрінде саналады. Слюда изоляторлық қасиетке ие болғандықтан, температураға төзімді,

жалтырауық, жылу өткізгіштігі төмен әрі жарық өткізгіштігі жоғары артықшылықтарға ие. Осыған байланысты ол наноматериалдар дайындауда матрица ретінде үнемі алынады [7-10]. Фторлы алтын слюданың жарық өткізгіштігі ақ слюданың жарық өткізгіштігінен жоғары, әрі тәжірибе барысында жапырақшаларды бір-бірінен аршыған кезде беттері өте таза, сондықтан біз фторлы алтын слюданы матрица материалы ретінде пайдаландық [11].

### Тәжірибелік бөлім

Экспериментте алынған висмут селениді ұнтағын (99.999%) “Alfa Aesar” компаниясы қамдады. Матрицаға қолданылатын фторлы алтын слюда (молекулалық формуласы  $\text{KA}_2[\text{Si}_3\text{AlO}_{10}]\text{F}_2$ , көлемі 10 мм×10 мм, қалыңдығы 0.05-0.1 нм), жаңадан дайындалған. Висмут селениді наноматериалы Thermo Scientific Lindberg/Blue M (TF55035KC-1, АҚШ) қондырғысында дайындалды. Висмут селениді наноматериалының құрылымдық сипаттамаларын анықтауда оптикалық микроскоп (Olympus, DX-51, Жапония), сканерлеуші электронды микроскоп (SEM, Hitachi S-4800, Жапония), атомдық күштік микроскоп (Bruker Atomic Force Microscope (AFM), АҚШ) және UV-VIS, сәуле түсіру электронды микроскоп (TEM), Scanning Tunneling Microscope (STM), Раман спектрометрі (HORIBA LabRAM HR800, АҚШ) аппараттары пайдаланылды.

Висмут селениді наноқұрылымын дайындау диаметрі 30 см кварц құбырлы пеште жүргізілді. Кварц құбырлы пештің екі басы төмен температуралы аймақ, ортаңғы бөлігі жоғары температуралы аймақ болып саналады.

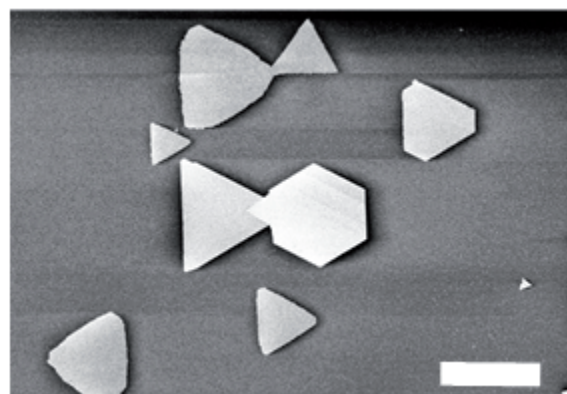
Әрбір тәжірибеде 0.2 г висмут селениді ұнтағы өлшеп алынып, құбыр пештегі кварц құбырдың дәл орталығындағы кварц бөлшектің үстіне қойылады. Содан соң жаңадан аршып алған фторлы алтын слюда матрица жапырақшасы кварц құбырдың ішіндегі кварц бөлшекпен параллель, температурасы 400-480°C болатын аймаққа қойылады. Мұздатқыш қондырғыға көлемі 1/2-дей изопропил спиртіні құйып, артынан көп мөлшерде көпіршік шықпағанша, әрі араласпа

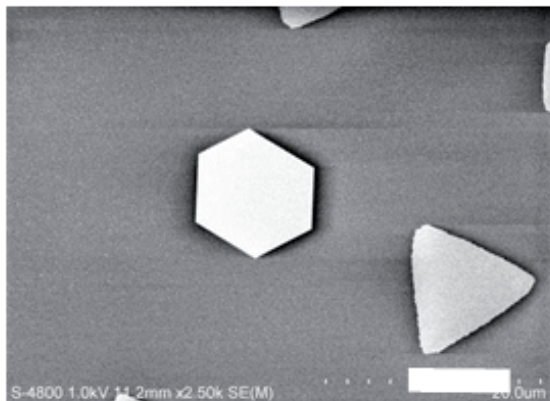
зат қоюланғанға дейін құрғақ мұз ( $\text{CO}_2$ ) салынады. Висмут селениді жоғары температурада оңай тотығатындықтан, ішіндегі ауаны сорып тастау үшін вакуумды сорғы іске қосылып, кварц құбыры ішіндегі қысым 100 мм.с.б (13300.3 Pa) дейін төмендетілген соң вакуумды сорғы бекітіліп, газ жолы ашылады да аргон газы толтырылады, бұл үдеріс 3-4 рет қайталанып оттегінің қалдықтары сыртқа толық шығарылады. Аргон газының қозғалу жылдамдығы 30-90  $\text{см}^3/\text{с}$ , қысымы 50 мм.с.б тұрақтанғаннан соң пеш қосылады, температура 490°C-қа көтеріліп 40 минуттан кейін қыздыру тоқтатылып, пеш бөлме температурасына дейін өздігінен суытылады.

Дайындалған висмут селениді наноқұрылымының өлшемі микрометр дәрежесіне жеткендіктен, оның сыртқы тұлғалық ерекшеліктерін оптикалық және сканерлеуші электронды микроскоптар арқылы анализдеуге болады.

### Нәтижелер және оларды талқылау

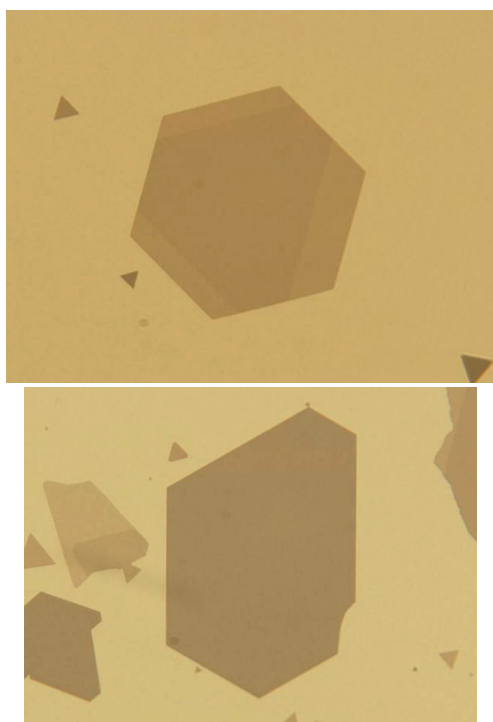
Жұмыста, температура 490°C, уақыты 40 мин шарт-жағдайды меңгере отырып, газ ағу жылдамдығы өзгертілді. Газ ағу жылдамдығы 30  $\text{см}^3/\text{с}$  кезде слюда матрицасы бетінде аз мөлшерде жапырақшалар пайда бола бастайды, газ ағу жылдамдығы 50  $\text{см}^3/\text{с}$ -та бағыттары біршама көрнекті, ұзындығы 10 мкм-ге дейін жететін висмут селениді жапырақшасына алдық, 1-суретте оның сканерлеуші электронды микроскоптағы суреті көрсетілген.





1-сурет. Висмут селениді наножапырақшасының сканерлеуші электронды микроскоптағы суреттері (10  $\mu\text{m}$ )

Газ ағу жылдамдығы  $80 \text{ cm}^3/\text{c}$  болған кезде бағыттары біршама көрнекті, ұзындығы 60 мкм - ден аз емес висмут селениді жапырақшасы алынды, 2-суретте оның оптикалық микроскоптағы суреті көрсетілген.



2-сурет. Висмут селениді наножапырақшасының оптикалық микроскоптағы суреттері (50  $\mu\text{m}$ )

Берілген газдың ағу жылдамдығының өзгерісіне сәйкес висмут селениді екі өлшемді атомды кристалының өсу үлкен-кішілігіде бірдей болмайды, бұл жағдайды “газ-қатты”-фаза (V-S) өсіру механизмі арқылы түсіндіру-

ге болады, яғни слюда матрицасын белгілі болған температура аумағына қойған кезде, газдың ағу жылдамдығы кішірейген сайын, газ мөлшері үлгінің өсу қажетін қанағаттандыра алмайды, ал газдың ағу мөлшерін үлкейтсек, өте қысқа уақыттың ішінде өскен висмут селенидінің кристалдары ережесіз орналасып, өлшемге толатын кристалл түзілмейді.

Тәжірибе нәтижесіне сүйенсек, түзілген висмут селениді наноқұрылымды кристалдардың белгілі бағыт бойынша, үшбұрышты жапырақшалардың, 60 градустың еселік санының бағыты бойынша өзара ретті өскені байқалады. Бұл құбылыс тәжірибе барысындағы Ван-дер-Ваальстік сыртқы кеңейіп өсудің негізін әйгілейді.

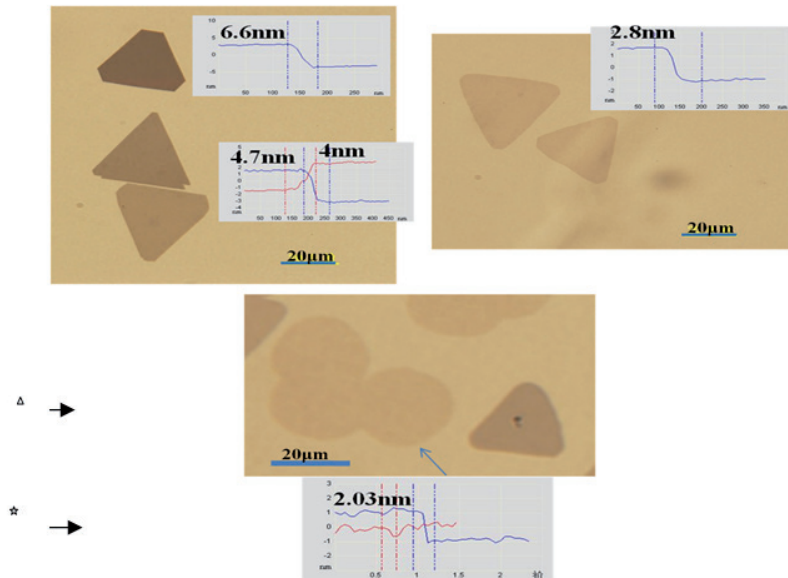
Өлшемі  $300 \mu\text{m} \times 300 \mu\text{m}$ -лік бір жапырақ слюда матрицасында өскен үшбұрышты висмут селениді наножапырақшасына қарата есептеу жүргізілді. Есептеу нәтижесіне сүйенсек, үшбұрышты висмут селениді наноқұрылымының бағытты өскендігі ерекше толымды екендігі байқалады.

Висмут селениді наноқұрылымының оптикалық микроскоп арқылы түсірілген суретіне талдау жасасак, оның өсу біркелкілігі мен қалыңдығы өзара сәйкес келеді. Енді осы сәйкестікті пайдаланып, дайындалған үлгідегі қабат санының таралу ақпаратына негізделе отырып, әрбір жеке қабыршықтарды атомдық күштік микроскоп арқылы талдау жасаудың қажетсіз екенін байқаймыз. Ең алдымен атомдық күштік микроскоп арқылы, висмут селенидін 2-10 қабатқа дейінгі дара қабыршықтарының биіктігі мен оның слюда матрицасындағы орнын тұрақтандырып аламыз, содан соң оптикалық микроскоп арқылы суретке түсіріп, оның өсу біркелкілігі жөніндегі ақпаратқа ие боламыз. Алынған нәтиже тәжірибе барысында қолданған газдың ағу жылдамдығы мен температурасын реттеу арқылы, висмут селениді екі өлшемді атомды кристалының наноқұрылымы (2-3 қабатты негіз еткен) өскендігін растайды.

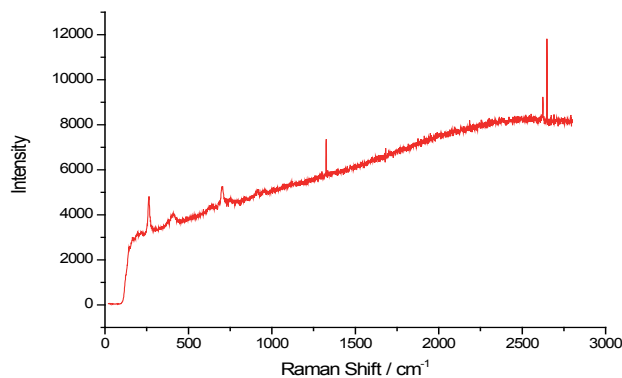
Раман спектрі жасалған наноқұрылымды үлгінің құрылысы мен қасиетін жылдам анықтайтын әдіс болып есептеледі. Біз слюда матрицасында өскен висмут селенидінің на-

ноқұрылымының қабат саны мен Раман спектрінде көрінген сигналдың қарқындылығы арасындағы байланысқа талдау жасадық. Висмут селениді екі өлшемді атомды кристалының жоғарыда оптикалық микроскопта байқалған суреті негізінде, өсу біркелкілігі өзгеше болған бірнеше дара қабыршықтар талдап алып, жеке-жеке суретке түсірдік (3-сурет). Әрі оптикалық микроскоптағы ақпаратқа негізделе отырып, атомдық күштік микроскоп арқылы дара қабыршықтардың қалыңдығы жеке-жеке өлшенді. Висмут селениді екі өлшемді атомды кристалының параметрлері арқылы дара қабыршықтардың қалыңдығы мен қабат саны арасындағы сәйкестік табылды. Содан соң Раман спектрі оптикалық

микроскоп арқылы дара қабыршықтардың орны тұрақтанып, толқын ұзындығы 633 нм болатын лазер сәулесі арқылы, толқын саны  $200\text{ cm}^{-1}$ - $400\text{ cm}^{-1}$  аумағында сканерлеп Раман спектрі сигналының ақпараты табылды. Әдебиетте [12] висмут селениді дара кристалының Раман спектрі сипаттаған шыңдары  $75\text{ cm}^{-1}$ ,  $131.5\text{ cm}^{-1}$  және  $171.5\text{ cm}^{-1}$  болатындығы көрсетілген. Біз қолданған слюда матрицасының Раман спектрі айқындаған шыңы 4-суретте көрсетілген. Тәжірибеге сүйенсек пайда болған шың  $100\text{--}200\text{ cm}^{-1}$  аумағында өте көрнекті болмайды, сондықтан бұл жағдай висмут селенидінің Раман спектр сипаттама-сына ешқандай әсер тудырмайды.



3-сурет. Қабат саны әртүрлі болған висмут селениді наножапырақшасының (Δ) оптикалық микроскоптағы суреті мен (☆) атомдық күштік микроскопта өлшенген нәтижесі

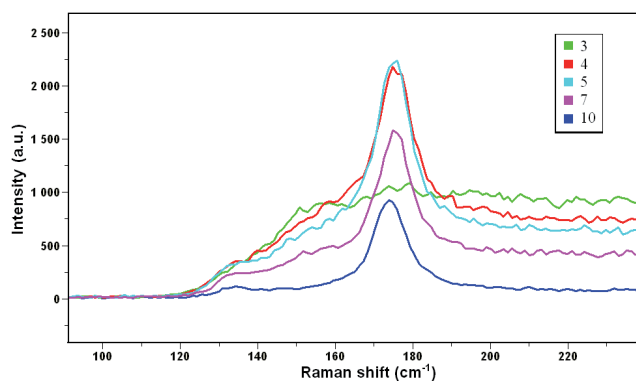


4-сурет. Слюда матрицасының Раман спектрі

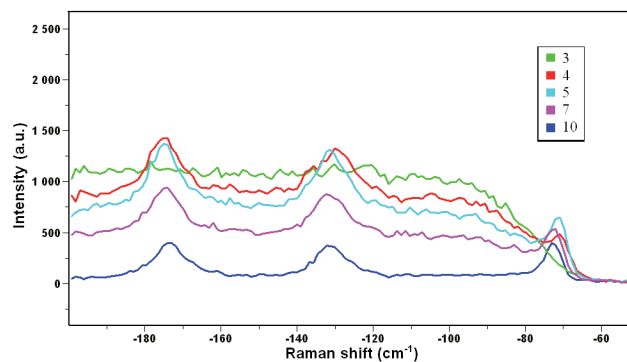
Висмут селениді әрбір 5 қабатының биіктігі шамамен 0.95 нм болатындығы әдебиетте көрсетілген [5], сондықтан AFM қондырғысымен қалыңдығын өлшеу арқылы, висмут селениді наножапырақшасындағы 5 қабаттың санын білуге болады. Тәжірибеге негізделсек 6.6 нм 7 қабатқа 4.7 нм 5 қабатқа 4 нм 4 қабатқа 2.8 нм 3 қабатқа сәйкес келеді. Раман спектрі оптикалық микроскопы арқылы 4-суретте көрсетілген дара жапырақшаны, толқын саны  $200\text{ см}^{-1}$ — $400\text{ см}^{-1}$  аумағында, толқын ұзындығы 633 нм лазер сәулесімен сканерлеп, 5-сурет пен 6-суреттегі нәтижелер алынды. Соның ішіндегі  $131.5\text{ см}^{-1} \pm 171.5\text{ см}^{-1}$  және  $-75\text{ см}^{-1}$  тең 4 дана сіңіру шындары мен висмут селенидін сипаттайтын сіңіру шындары өзара сәйкес келеді. Байқалған бұл құбылыс түзілген наноқұрылымның химиялық құрамы шынында висмут селениді екенін дәлелдейді, әрі өсу барысында висмут селенидінде мүлде химиялық ыдыраудың болмағанын, V-S өсу ме-

ханизімінде тек қана газдың қатты күйге айналған физикалық үдеріс жүргенін көрсетеді. Сонымен бірге  $265\text{ см}^{-1}$  орнында өте әлсіз байқалған сіңіру шыңы мен слюда матрицасында сипатталған сіңіру шыңы өзара сәйкес келеді.

5-сурет пен 6-суреттегі нәтижелерді салыстырсақ, қабат саны 10- нан төмен болған висмут селениді екі өлшемді кристалының Раман спектр сигналының қарқындылығы, қабат санының артуына сәйкес артпайды: 4,5-қабаттарда Раман спектр сигналы ең күшті болады, ал 5 қабаттан асқаннан кейін қабат санының артуына сәйкес Раман спектр сигналы әлсірейді, әрі 3-қабаттың Раман спектр сигналы 4,5- қабаттарға қарағанда ең әлсіз болатындығы байқалады. Әдебиеттерге [5] сүйенсек, бұл құбылыс графеннің сыртқы бетіне өскен висмут селенидінің сипаттамасымен сәйкес келеді.



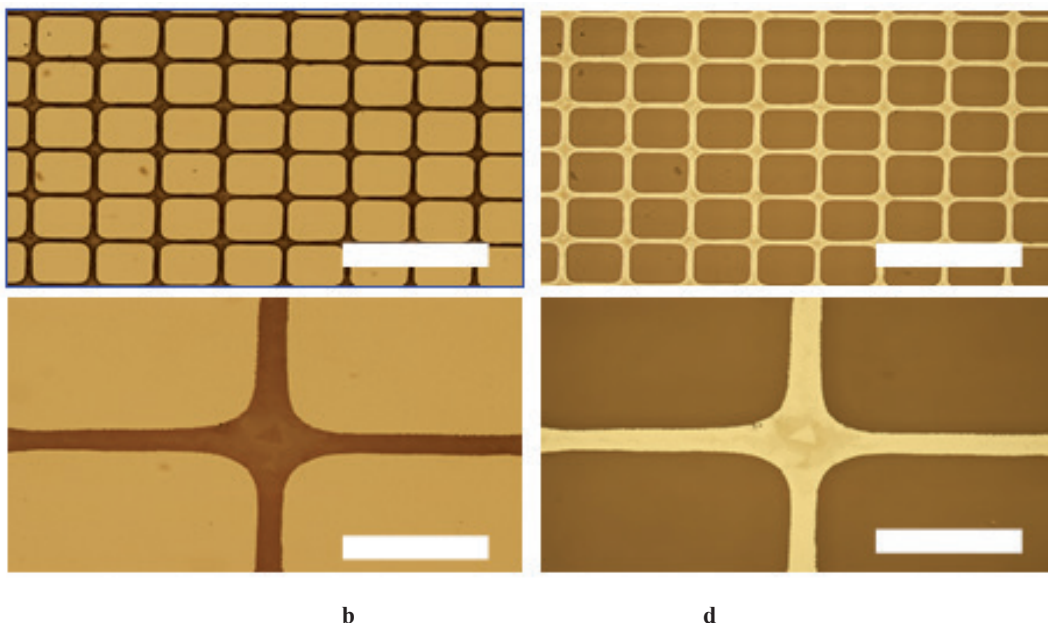
5-сурет. Қабат сандары әртүрлі болатын висмут селенидінің екі өлшемді атомды кристалының Раман спектрі сигналы ( $100\text{ см}^{-1}$ — $240\text{ см}^{-1}$ )



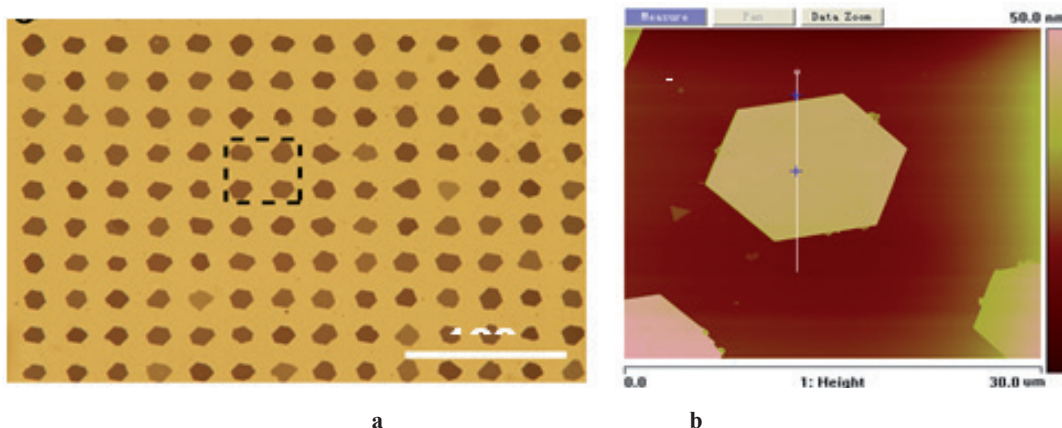
6-сурет. Қабат сандары әртүрлі болатын висмут селениді екі өлшемді атомды кристалының Раман спектрі сигналы ( $-200\text{ см}^{-1}$ — $-50\text{ см}^{-1}$ )

Мыс торын слюда бетіне қаптау мақсатымыз, слюда матрицасының бетіне графикалық бейне түсіру болып табылады. Ол үшін, жаңадан аршып алған слюданың бетіне бірнеше тал мыс торын тегістеп қойып, ауа плазма қондырғысында 90 W-тық электр қуаты арқылы 5 минут өңделді. Өңделгеннен кейін мыс торын алып тастап, температура 490°C, газ ағу жылдамдығы 80-500 см<sup>3</sup>/мин, өсу уақыты 5-10 минут болатын шарт-жағдайда

висмут селениді өсіріледі. Бұл әдістің ең басты артықшылығы қолданылуы қарапайым, үлгіні өсірудің алдында тек қана 5-10 минут плазма қондырғысында өңделеді. Өңделгеннен кейінгі слюда жапырақшасының сыртқы бетінде ешқандай өзгеріс байқалмайды, бірақ ауа плазмалық кезінде слюда жапырақшасының сыртқы бет аумағында суға бейімделгіштік қасиетінде өзгеріс туылады.



7-сурет. Мыс торын слюда бетіне қаптау әдісі арқылы меңгермелі өсірілген висмут селениді наноқұрылымының оптикалық микроскоптағы суреті: (a) және (c) – сәуле өткізу моделі; (b) және (d) – сәуле шағылту моделі



8-сурет. (a) Мыс торын слюда бетіне қаптау әдісі арқылы меңгермелі өсірілген висмут селениді наноқұрылымының оптикалық микроскоптағы суреті; (b) дайындалған үлгі дара жапырақшаның атомдық күштік микроскоптағы суреті

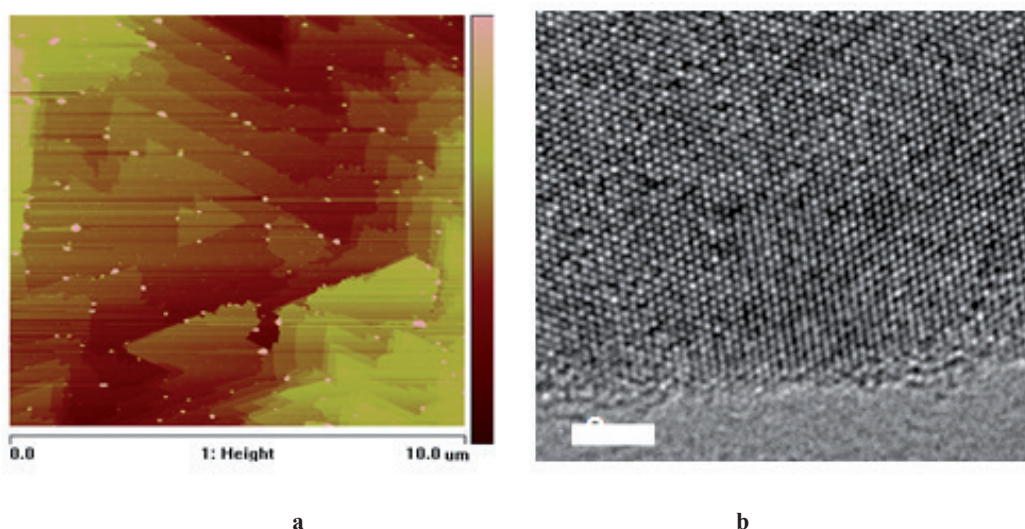
7-сурет пен 8-суретте нүктелі өсірілген висмут селениді екі өлшемді наноқұрылымының оптикалық микроскоптағы суреті көрсетілген. 7-суреттегі көрініс біз қолданған мыс торының құрылысына ұқсайды, әрі олар-

дың өлшемдері мен үлкен-кішілігі де бірдей. 7a және 7d-сурет болса үлкейтілген көрінісі, бұл суреттен висмут селенидінің үшбұрышты арал түріндегі құрылысы байқалады. Әрі нүктелі өсірілген висмут селениді екі өлшемді

наноқұрылымының Ван-дер-Ваальс күштері сыртқа кеңею арқылы өскенін, кристалл бөлшектердің слюда матрицасының сыртқы бетіне ретсіз өспегенін түсіндіреді. 8-суретте висмут селениді алдымен өзіне ыңғайлы орынға ядро қалыптастырып, содан соң 60 градустық бұрышты бойлап сыртқа кеңею арқылы өсіп, қабырғалары ретті болған алты бұрышты құрылысқа айналатындығы байқалады. 8b-суретте дайындалған үлгі дара жапырақшаның атомдық күштік микроскоптағы суреті көрсетілген. Бұл суреттен дайындалған үлгі дара жапырақшаның сыртқа

кеңею арқылы өскенін, дара жапырақшаның қалыңдықтары біркелкі, әрі 30 нм шамасында болатынын көреміз.

Дайындалған үлгінің сапасына қатысты сенімді ақпараттар алу үшін, жұмыста 7-суретте көрсетілген үлгілерге атомдық күштік микроскоп пен сәуле түсіру электронды микроскоптар арқылы олардың құрылымдық сипаттамаларына анализ жасалды (9-сурет). 9a-суреттегі атом күштік микроскоп арқылы түсірілген суреттен 60 градустық бұрыш пен қабаттың құрылысын анық көруге болады.



9-сурет. (a) Мыс торын слюда бетіне қаптау әдісі арқылы меңгермелі өсірілген висмут селениді наноқұрылымының атомдық күштік микроскоптағы суреті; (b) Меңгермелі өсірілген висмут селенді наноқұрылымының сәуле түсіру электронды микроскоптағы суреті

### Қорытынды

Мақалада, “газ-қатты” өсу механизмін қолданып, мыс торын слюда бетіне қаптау әдісі арқылы слюда матрицасында ұзындығы 80  $\mu\text{m}$ , қалыңдығы 5нм болатын селенді висмут селенидінің наножапырақшасы Ван-дер-Ваальстік сыртқа кеңею арқылы меңгермелі өсірілді. Үлгінің өсу формасына және қалың-

дығына температура, газдың ағу жылдамдығы сияқты факторлардың әсері анықталды. Слюда матрицасында висмут селенидінің әртүрлі формадағы екі өлшемді атомды кристалдары меңгермелі өсіріліп, соның ішінде тор формалы үлгінің сәуле өткізгіштігі басқаларына қарағанда жоғары екендігі анықталды.

*Ескерту:* Бұл жұмыс «China scholarship fund»тың демеуімен орындалды.

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Zhang Y., He K., Chang C. Z. Crossover of three-dimensional topological insulator of  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  to the two-dimensional limit // From arXiv.org, e-Print Archive, Condensed Matter. – 2009, 1-17, arXiv:0911.3706v1.
2. Novoselov K. S., Geim A. K., Morozov S. V. Electric field effect in atomically thin carbon films // Science.–2004.–V.306.–№5696.–P.666-669.

3. Teweldebrhan D., Goyal V., Balandin A. A. Exfoliation and characterization of bismuth telluride atomic quintuples and quasi-two-dimensional crystals // *Nano Letters*.–2010.–V.10.–№4 .–P.1209-1218.
4. Xiong Q. H. Raman spectroscopy of few-quintuple layer topological insulator  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  Nanoplatelets // *Nano. Lett.*–2011.–V.11.–№6.–P.2407–2414.
5. Kong D. S., Dang W. H., Cha J. J. Few-layer nanoplates of  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  and  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$  with highly tunable chemical potential // *Nano Letters*.–2010.–V.10.–P.2245-2250.
6. Cha J. J., Williams J. R., Kong D. S. Magnetic doping and Kondo effect in  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$  Nanoribbons // *Nano Letters*.–2010.–V.10.–№3.–P.1076-1081.
7. Dumont J., Wiame F., Ghijsen J., Sporken R. Growth of atomically flat Ag on mica // *Surface Science*.–2004.–V.572(2-3).–P.459-466.
8. Higo M., Fujita K., Mitsushio M. Epitaxial growth and surface morphology of aluminium films deposited on mica studied by transmission electron microscopy and atomic force microscopy // *Thin Solid Films*.–2007.–V.516.–№1.–P.17-24.
9. Kojima N. Structural characterization of Mg-doped  $\text{C}_{60}$  thin films // *Journal of Physics: Conference Series*.–2009.–V.159.–№1.–P.012018.
10. Stephens C. J., Mouhamad Y., Meldrum F. C. Epitaxy of calcite on mica // *Crystal Growth & Design*.–2009.–V.10.–№2.–P.734-738.
11. Yunfan Guo, Mahaya Aisijiang, Kai Zhang. Selective-Area Van der Waals Epitaxy of Topological Insulator Grid Nanostructures for Broadband Transparent Flexible Electrodes // *Adv. Mate.*–2013. –V.25.–P.5959–5964.
12. Richter W., Becker C. R. A Raman and far-infrared investigation of phonons in the rhombohedral  $\text{V}_2\text{-VI}_3$  compounds  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Bi}_2\text{Se}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$  and  $\text{Bi}_2(\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x)_3$  ( $0 < x < 1$ ),  $(\text{Bi}_{1-y}\text{Sb}_y)_2\text{Te}_3$  ( $0 < y < 1$ ) // *Physica Status Solidi (B)*.–1977.–V.84.–№2.–P.619-628.

УДК 544.723.22  
МРНТИ 31.15.35

## КОМПОЗИТНЫЙ МАТЕРИАЛ НА ОСНОВЕ ЦЕОЛИТА, МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛЕМ ДЛЯ ОЧИСТКИ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ОТ ИОНОВ $Pb^{2+}$ И $Cd^{2+}$

Г.Е. МЕНДИГАЛИЕВА<sup>1</sup>, Г.А. СЕЙЛХАНОВА<sup>1,2</sup>, А.Б. РАХЫМ<sup>1</sup>, А.Н. ИМАНГАЛИЕВА<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский Национальный университет им. аль-Фараби

<sup>2</sup>Центр физико-химических методов исследования и анализа

**Аннотация:** В данной работе был получен сорбент на основе природного цеолита Шанканайского месторождения (Алматинская область), модифицированный полиэтиленгликолем для извлечения ионов  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  из водных растворов. Были определены оптимальные условия приготовления сорбента и проведения процесса сорбции. Максимальные степени извлечения ионов кадмия и свинца составили  $(87 \pm 8,04)\%$  и  $(97 \pm 9,24)\%$  соответственно. Также были исследованы текстурные характеристики исходного материала и полученного сорбента методом СЭМ, определены площади удельной поверхности методом БЭТ, построены изотермы адсорбции согласно моделям Ленгмюра и Фрейндлиха и рассчитаны соответствующие константы (константа Ленгмюра, константа Фрейндлиха, предельная адсорбция) и определены кинетические характеристики (скорость процесса, константа скорости, энергия активации процесса).

**Ключевые слова:** цеолит, полиэтиленгликоль, свинец, кадмий, сорбция, композитные материалы

## COMPOSITE MATERIAL BASED ON ZEOLITE MODIFIED WITH POLYETHYLENE GLYCOL FOR THE PURIFICATION OF AQUEOUS SOLUTIONS FROM $Pb^{2+}$ AND $Cd^{2+}$ IONS

**Abstract:** Sorbent was obtained on the basis of a natural zeolite of the Shankanay local place (Almaty region), modified with polyethylene glycol to extract  $Pb^{2+}$  and  $Cd^{2+}$  ions from aqueous solutions. Optimal conditions for the preparation of the sorbent and the sorption process were determined. The maximum degrees of extraction of cadmium and lead ions were  $(87 \pm 8.04)\%$  and  $(97 \pm 9.24)\%$ , respectively. The textural characteristics of the source material and the resulting sorbent were also investigated by the SEM method, the specific surface areas were determined by the BET method, the adsorption isotherms were constructed according to the Langmuir and Freundlich models and the corresponding constants were calculated (Langmuir constant, Freundlich constant, limiting adsorption) and the kinetic characteristics were determined (the maximum temperature) rate constant, process activation energy).

**Keywords:** zeolite, polyethylene glycol, lead, cadmium, sorption, composite materials

## $Pb^{2+}$ ЖӘНЕ $Cd^{2+}$ ИОНДАРЫНЫҢ СУ ЕРІТІНДІЛЕРІН ТАЗАРТУ ҮШІН ПОЛИЭТИЛЕНГЛИКОЛМЕН МОДИФИКАЦИЯЛАНҒАН ЦЕОЛИТ НЕГІЗІНДЕГІ КОМПОЗИЦИЯЛЫҚ МАТЕРИАЛ

**Аңдатпа:** Бұл жұмыста сорбент Шанқанайлы кен орнының (Алматы облысы) табиғи цеолит негізінде алынған, су ерітіндісінен  $Pb^{2+}$  және  $Cd^{2+}$  иондарын алу үшін полиэтиленгликольмен модификацияланған. Сорбент пен сорбция процесін дайындаудың оңтайлы шарттары анықталды. Кадмий және қорғасын иондарының экстракциясының максималды дәрежелері тиісінше  $(87 \pm 8.04)\%$  және  $(97 \pm 9.24)\%$  болды. Бастапқы материалдардың және алынған сорбенттердің текстуралық сипаттамала-

*ры СЭМ әдісімен зерттелді, ерекше беткейлері БЭТ әдісімен және Ленгмюр мен Фрейндлих әдісімен адсорбция изотермалары құрастырылды және тиісті константалар есептелді (Ленгмюр константасы, Фрейндлих константасы, шектеу адсорбциясы) және кинетикалық сипаттамалар анықталды (процесс жылдамдығы, тұрақты жылдамдық, процесті активтендіру энергиясы).*

**Түйінді сөздер:** цеолит, полиэтиленгликоль, қорғасын, кадмий, сорбция, композициялық материалдар

В связи с активным ростом антропогенной нагрузки на природную среду очистка сточных вод от ионов металлов является одной из важных экологических проблем современности. В списках наиболее опасных загрязняющих веществ одно из первых мест занимают соединения ионов тяжелых металлов, которые не подвергаются деструкции в водоеме. Формы их миграции незначительно изменяются, из-за чего их и причисляют к веществам, токсичным для гидробионтов и человека. Общеизвестно, что сточные воды загрязняются в результате технической обработки различного сырья на предприятиях [1]. Поэтому в настоящее время ученые мира пытаются разработать эффективные технологические процессы, которые позволят использовать воду рационально и проводить вторичную обработку сточных вод.

Тяжелые металлы являются особой группой элементов, в химии почв их выделяют из-за токсического действия, оказываемого на растения при высоких концентрациях. Мнения о числе металлов, причисляемых к тяжелым, рознятся, но оно точно превышает 40. К ним относят металлы с атомной массой более 50 а.е.м. [2]. Тяжелые металлы проявляют довольно высокую токсичность для живых организмов даже при относительно низких концентрациях [3]. Среди токсичных металлов наиболее опасными для организма элементами являются металлы следующей группы: кадмий, медь, мышьяк, никель, ртуть, свинец, цинк и хром; где ртуть, свинец и кадмий – самые токсичные [4]. Существует большое количество способов очистки сточных вод, но к достаточно дешевому, очень эффективному и доступному причисляют сорбционный метод очистки.

В основном все мелкодисперсные твердые вещества, имеющие развитую поверхность, могут служить в роли естественных

сорбентов. Наибольшей удельной поверхностью обладают тонкодисперсные и пористые сорбенты. Поры сорбентов категорируют на микропоры, супермикропоры, мезопоры и макропоры [5]. Среди природных сорбентов естественного происхождения можно выделить бентонитовые глины, цеолиты, шунгиты и другие глинистые породы, характеризующиеся довольно высокой сорбционной емкостью, катионнообменными свойствами, относительно низкой стоимостью и доступностью [6].

Авторами [7] были изучены сорбционные свойства цеолитов в статических и динамических условиях, а также эффективность флокуляционно-сорбционной схемы очистки сбросовых вод от тяжелых металлов. На основании проведенных лабораторных исследований было показано, что схема доочистки сбросовых вод, содержащих тяжелые металлы с фильтрацией через цеолитовую загрузку, является перспективной.

В статье [8] авторами исследована возможность очистки сточных вод от фосфатов в динамических условиях при использовании в качестве фильтрующей загрузки природного цеолита Бадинского месторождения (Россия). В результате, регулирование скорости фильтрования модельного раствора через колонку с цеолитом от 0,7 до 25 мл/мин позволило найти наиболее оптимальные условия для удаления фосфатов, а именно, эффективность удаления фосфат-ионов при скорости фильтрования 0,7 мл/мин составила 78%.

В связи с тем, что в настоящее время экологическое загрязнение происходит очень быстро, то остро стоит необходимость разработки дешевых, доступных и эффективных сорбентов.

Целью данной работы является получение полимерных композиций-сорбентов, обладающих высокими сорбционными свой-

ствами в отношении ионов токсичных металлов, а также определение их физико-химических и морфологических характеристик.

### Экспериментальная часть

**Материалы и методы.** В работе использованы следующие вещества: природный цеолит Шанканайского месторождения (Алматинская область) и полиэтиленгликоль (молекулярная масса 6000 г/моль, производитель – AppliChem (Германия)),  $\text{CdCl}_2$  марки х.ч.,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  марки х.ч.

#### Оборудование:

Сканирующая электронная микроскопия проводилась на микроскопе высокого разрешения FEI Magellan 400L.

Концентрацию ионов металлов определяли атомно-абсорбционным методом на оборудовании Спектрометр «АА-6200», Shimadzu.

Для измерения удельной поверхности по методу БЭТ (теория полимолекулярной адсорбции Брунауэра, Эммета и Теллера), а также анализа размеров пор и их распределения по размерам был использован прибор серии NOVA 3200E, Quantachrome.

Методика модификации и получения сорбента. Цеолит природного происхождения измельчают в ступке, предварительно очистив от механических примесей (мусора). Навеску цеолита смешивают с 1% раствором ПЭГ. Далее полученную смесь перемешивают в дина-

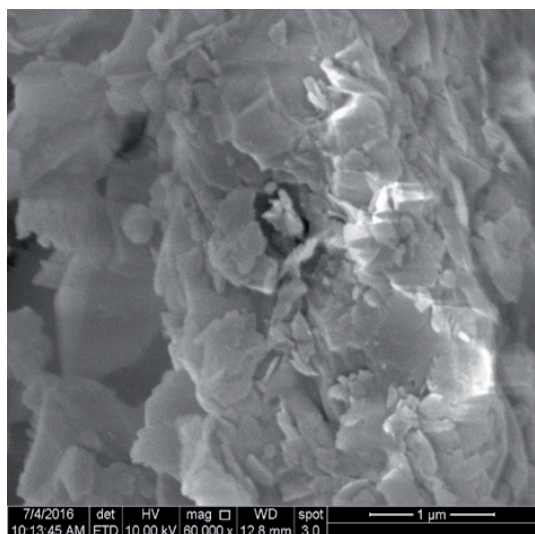
мической мешалке в течение 1 часа. Раствор отфильтровывают и проводят процесс сушки при  $t=85-100$  в течение 3-4 часов. Полученный сорбент подвергают измельчению.

**Проведение процесса сорбции и методы исследования.** Полученный сорбент добавляют к водному раствору, содержащему от 100-500 мкг/мл ионов свинца и кадмия при температурах 289 К, 298 К и 308 К. Раствор отфильтровывают и в фильтрате через определенные промежутки времени отбирают пробы для анализа содержания ионов тяжелых металлов.

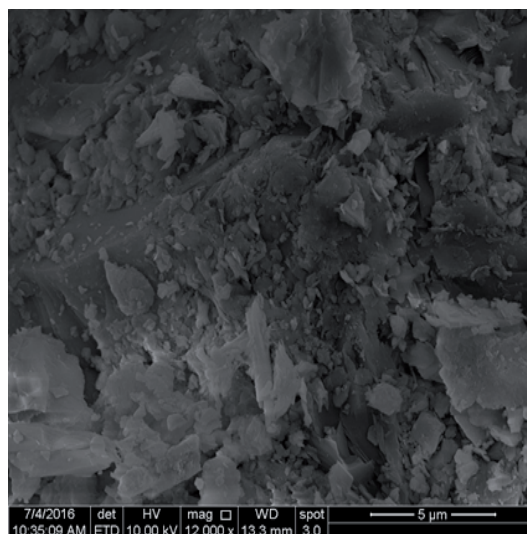
### Результаты и их обсуждение

Для описания морфологии сорбента и его модифицированной формы использован метод сканирующей электронной микроскопии, результаты которого представлены на рисунке 1.

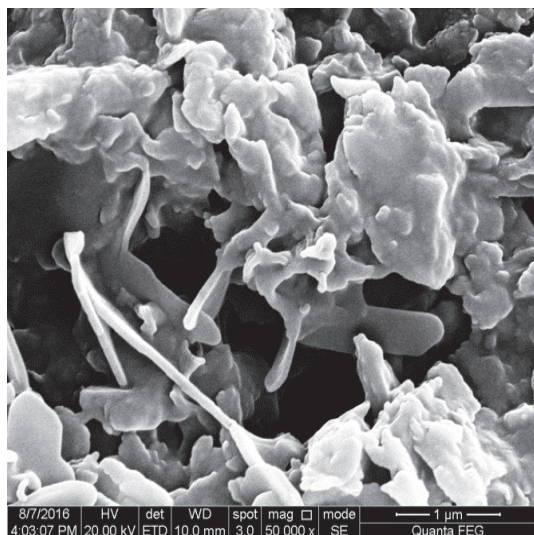
Из рисунка 1 следует, что образцы природного цеолита имеют плотную структуру с прочными агломератами и частицами неправильной формы различных размеров (а, б). В результате физико-механических воздействий на цеолит (измельчение) и модифицирования полимером (полиэтиленгликоль) происходит изменение поверхностной структуры материала: образец становится более пористым, происходит незначительное укрупнение сферических частиц (в, г).



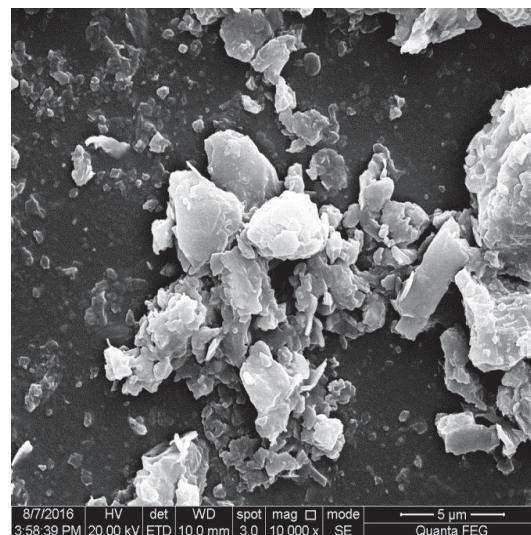
а



б



В



Г

Рис. 1 – Фрагменты СЭМ изображений природного цеолита Шанканайского месторождения (а,б) и цеолита, модифицированного полимером – полиэтиленгликоль (в, г) при различных увеличениях

На рисунке 2 представлена изотерма адсорбции азота для природного цеолита, выражающая соотношение между количеством адсорбата и давлением при постоянной температуре, полученная методом БЭТ.

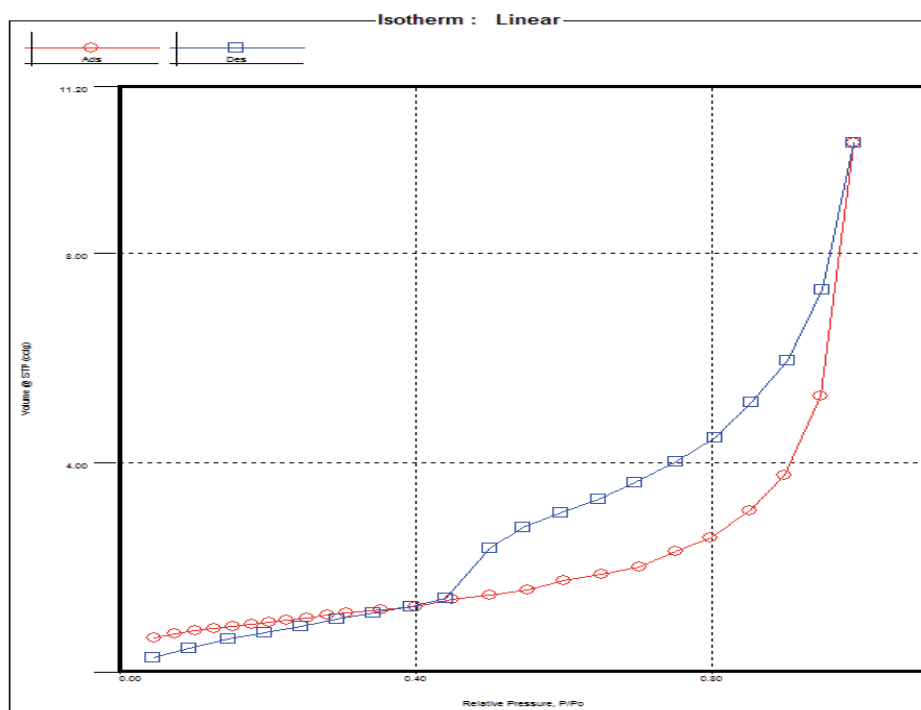


Рис. 2 – Изотерма адсорбции для природного цеолита

Такая изотерма относится к I типу (изотермы Лэнгмюра) [9]. Данная изотерма вогнута относительно оси  $P/P_0$ . На изотерме присутствует горизонтальное плато, которое может подходить к оси  $P/P_0 = 1$  практически

под прямым углом или иметь вблизи неё резкий подъём. Такого типа изотермы присущи, в основном, микропористым образцам. Ширина микропор не превышает нескольких диаметров молекулы, силовые поля соседних

стенок пор перекрываются, и энергия взаимодействия твёрдого тела с молекулой газа возрастает. Это вызывает отклонение изотермы, особенно в области малых относительных давлений в область больших величин адсорбции. Подобного рода взаимодействия достаточно сильны, чтобы полное заполнение пор

происходило при очень низком относительном давлении.

В таблице 1 представлены данные, полученные методом БЭТ для природного цеолита и цеолита, модифицированного полиэтиленгликолем (ЦПЭГ).

**Таблица 1 – Результаты, полученные методом БЭТ для природного цеолита и ЦПЭГ**

Величина	Цеолит	ЦПЭГ
Константа БЭТ (constant, C)	58.969	70.147
Площадь поверхности (surface area), м <sup>2</sup> /г	3.511	2.015
Средний размер пор (average pore radius), Å	89,074	69,355
Общий объем пор (total pore volume), см <sup>3</sup> /г	0,016	0,007

Константа БЭТ (C) относится к энергии адсорбции в первом адсорбированном слое и, следовательно, ее значение характеризует взаимодействие адсорбент/адсорбат [10]. Согласно данным таблицы 1 следует, что при модификации природного цеолита ПЭГ происходит увеличение значения константы с 58.969 до 70.147, что говорит об увеличении сил взаимодействия между сорбентом и адсорбируемым веществом. Также можно заметить уменьшение остальных параметров: площадь поверхности, средний размер пор и общий объем пор. Модифицирование цеолита полимером возможно приводит к частичному забиванию пор и, следовательно, уменьшению их размера и пор, что способствует лучшему удержанию частиц в порах.

В работе также определены некоторые физико-химические характеристики исследуемых сорбентов, такие как суммарная пористость по ацетону и активность по йоду [11] (таблица 2).

**Таблица 2 – Физико-химические характеристики сорбентов**

Характеристика	Цеолит	ЦПЭГ
Суммарный объем пор по ацетону, см <sup>3</sup> /г	18,53	18,35
Адсорбционная активность по йоду, %	36,81	74,80

Из таблицы 2 можно сделать вывод, что модифицирование природного цеолита Шанканайского месторождения в два раза повышает значение адсорбционной активности по йоду, а значение суммарного объема пор по ацетону остается практически неизменным. Следовательно, можно предположить, что модифицированный сорбент характеризуется мезо- и микропорами, что и увеличивает адсорбцию ионов тяжелых металлов.

Сорбционные характеристики ЦПЭГ были изучены по отношению к одним из наиболее токсичных ионов металлов – ионам Рb<sup>2+</sup> и Cd<sup>2+</sup>.

Результаты исследований, представленные на рисунках 3, 4, показывают, что с ростом длительности контакта модифицированного сорбента (ЦПЭГ) с водной фазой, содержащей ионы металлов, степень их извлечения на начальном этапе повышается, далее становится практически постоянной. Период насыщения сорбента зависит от природы иона металла. Как видно из представленных графиков, сорбционное равновесие при извлечении ионов свинца и кадмия наступает в течении 30 минут.

Поглотительная способность сорбентов по отношению к одинаково заряженным ионам металлов зависит от их ионного радиуса [12]. Большую сорбционную способность проявляют ионы

с большим радиусом, так как они менее склонны к образованию гидратной оболочки, снижающей силы электростатического притяжения. Так как свинец имеет больший ионный радиус (0,112 нм) по сравнению с ионами кадмия (0,099 нм), он должен сорбироваться лучше на полярных сорбентах, что хорошо согласуется с экспериментальными данными (рис. 3,4). Наибольшая степень извлечения для ионов свинца – 97%, а для ионов кадмия – 87%.

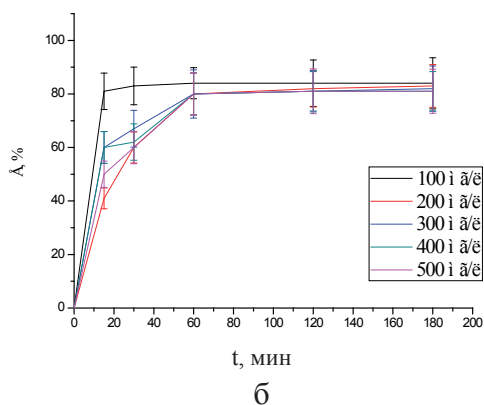
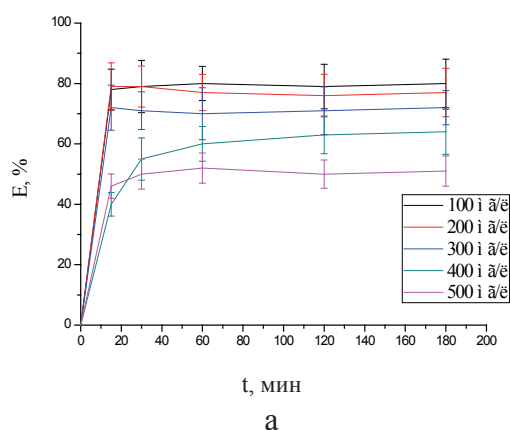


Рис. 3 – Зависимость степени извлечения ионов  $Cd^{2+}$  (а) и  $Pb^{2+}$  (б) композитным материалом при различных концентрациях ионов от времени сорбции (кинетика сорбции)

Также, в ходе работы была определена оптимальная масса сорбента, необходимая для наиболее полного извлечения ионов металлов, которая составила 1 г на 100 см<sup>3</sup> раствора соли металла для ионов  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  (рисунок 4).

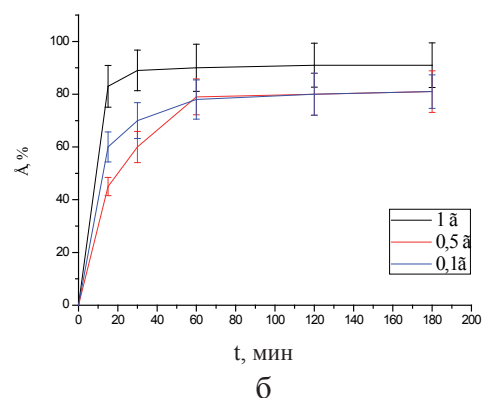
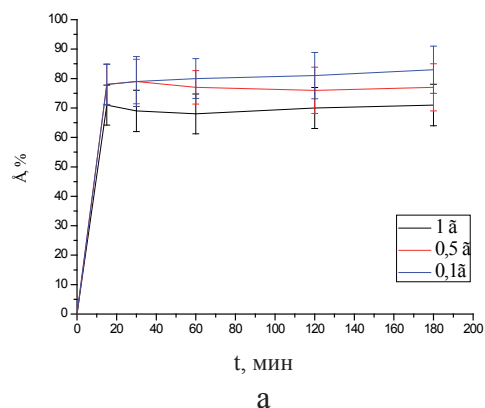


Рис. 4 – Зависимость степени извлечения ионов  $Cd^{2+}$  (а) и  $Pb^{2+}$  (б) от времени при различных массах ЦПЭГ

При описании процесса сорбции важны изотермы сорбции, которые показывают, как ионы металла распределены между адсорбентом и жидкой фазой при равновесии в зависимости от концентрации. Для построения изотерм сорбции в данной работе были применены две наиболее часто используемые модели – теория мономолекулярной адсорбции Ленгмюра и теория полимолекулярной адсорбции Фрейндлиха.

Согласно теории Ленгмюра, активные центры сорбента способны адсорбировать только одну частицу, вследствие чего образуется один слой. Кроме того, активные центры энергетически однородны и адсорбированные частицы не взаимодействуют между собой:

$$A = A_{\infty} \frac{KC}{1 + KC}; \quad (1)$$

где  $K$  – константа равновесия адсорбции Ленгмюра;

$A_{\infty}$  – предельная адсорбция;

A – адсорбция;

C – концентрация адсорбата.

Согласно модели Фрейндлиха, извлечение ионов металлов происходит в гетерогенной системе с неравномерным заполнением активных центров и заметными силами взаимодействия между адсорбированными частицами:

$$A = \beta C^n; \quad (2)$$

где  $\beta$  – Константа Фрейндлиха, равная адсорбционной емкости при концентрации адсорбата  $C = 1$ ,

$n$  – экспонента, относящаяся к внутренней энергии адсорбции растворенного вещества [13].

На рисунке 5 изображены изотермы Ленгмюра и Фрейндлиха, которые получены на основе экспериментальных данных при различных исходных концентрациях ионов исследуемых металлов, а в таблице 4 представлены значения констант, рассчитанные согласно двум моделям.

Как видно из таблицы 4 изотерма Фрейндлиха более точно описывает процесс сорбции обоих металлов, что подтверждается значениями коэффициентов корреляции  $R^2$ , близких к единице ( $R^2=0,9664$  для  $Cd^{2+}$  и  $R^2=0,9814$  для  $Pb^{2+}$ ). Уравнение Фрейндлиха исторически было представлено как эмпирическое, вследствие чего возможность интерпретирования смысла констант отсутствует либо ограничена [14]. Значения экспоненты  $n$  обычно меньше единицы (что правдиво для полученных значений: 0,847 для кадмия и 0,869 для свинца), так как изотерма адсорбции вогнута относительно абсциссы (C) и варьируется в зависимости от степени адсорбции (A). Как было указано выше, коэффициент  $\beta$  может давать информацию об адсорбционной емкости сорбента. Так, значение  $\beta$  для свинца значительно превышает  $\beta$  для кадмия ( $\beta = 0,120$  для  $Cd^{2+}$ ,  $\beta = 0,640$  для  $Pb^{2+}$ ), т.е. адсорбция свинца полученным ЦПЭГ проходит значительно легче.

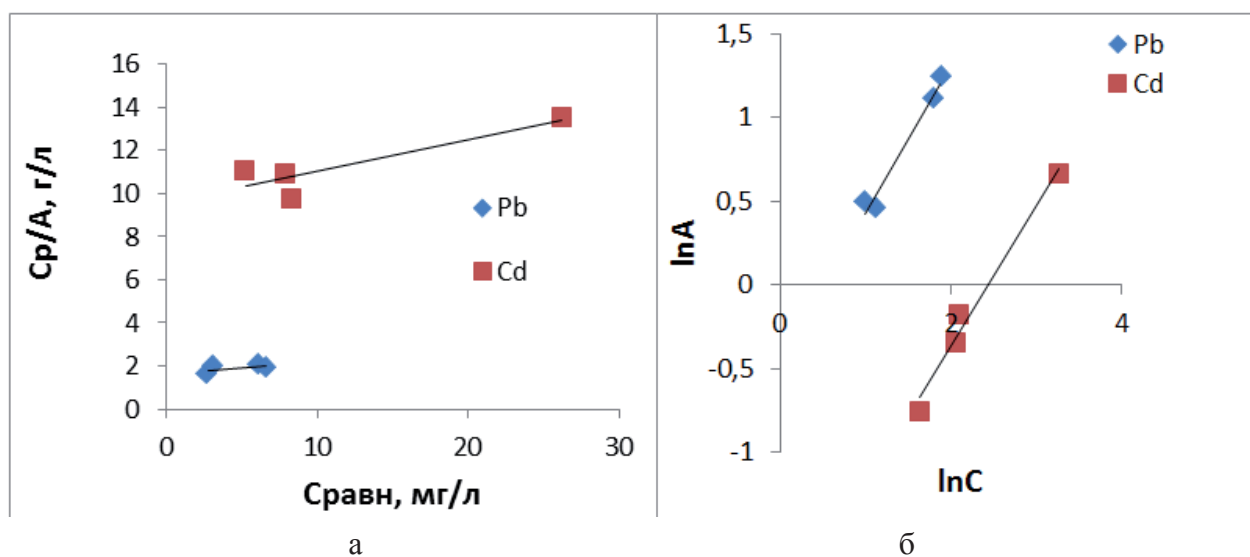


Рис. 4 – Модели изотерм адсорбции ионов  $Pb^{2+}$  и  $Cd^{2+}$  согласно теориям Ленгмюра (а) и Фрейндлиха (б)

Таблица 4 – Константы изотерм процесса сорбции, рассчитанные согласно теориям Ленгмюра и Фрейндлиха

Ион металла	Теория Ленгмюра			Теория Фрейндлиха		
	K	A <sub>z</sub> , мг/л	R <sup>2</sup>	β	n	R <sup>2</sup>
Cd <sup>2+</sup>	0,028	4,484	0,8016	0,120	0,847	0,9664
Pb <sup>2+</sup>	0,112	7,937	0,2190	0,640	0,869	0,9814

Также в ходе работы были рассчитаны кинетические характеристики, такие как скорость, константа скорости, энергия активации. Для определения влияния температуры на процесс сорбции были проведены эксперименты при  $T_1 = 289$  К,  $T_2 = 298$  К и  $T_3 = 309$ , что позволило рассчитать энергию активации процесса, результаты которых представлены в таблице 6.

**Таблица 5 – Кинетические характеристики процесса сорбции**

Ион металла	T, К	K, мин <sup>-1</sup>	w, мг/л*мин	E <sub>a</sub> , кДж/моль
Cd <sup>2+</sup>	289	0,035	0,024	11,9
	298	0,058	0,068	
	308	0,096	0,112	
Pb <sup>2+</sup>	289	0,059	0,066	22,9
	298	0,113	0,103	
	308	0,148	0,116	

Данные, приведенные в таблице 5, свидетельствуют о том, что с ростом температуры увеличиваются константы скорости процесса. Увеличение скорости сорбции, предположительно, связано с:

1) изменением размера пор в структуре сорбента и ростом активных участков сорбции из-за нарушения некоторых внутренних связей на поверхности цеолита;

2) при повышении температуры возможно увеличение доли и активности ионов тяжелых металлов в растворе, а также увеличение потенциала заряда поверхности цеолита;

3) увеличение температуры ускоряет диффузию ионов в поры цеолита;

4) энергия активации характеризует отношение критических размеров частиц и входа в микропоры [15]. Упомянутые выше малые значения энергии активации лишь подтверждают адсорбцию при малых температурах.

Таким образом, в работе получен сорбент на основе цеолита Чанканайского месторождения, модифицированный полиэтиленгликолем (ЦПЭГ). Установлено, что модифицированный цеолит характеризуется высокой сорбционной активностью по отношению к ионам Cd<sup>2+</sup> и Pb<sup>2+</sup>, степень извлечения которых из водных растворов достигает (87±8,04)% и (97±9,24)% соответственно. На основе полученных результатов определены оптимальные условия проведения сорбции ионов Cd<sup>2+</sup> и Pb<sup>2+</sup> модифицированным цеолитом: масса сорбента – 1 г на 100 см<sup>3</sup> раствора, T = 298 К.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Клименко Т.В. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов // Современные научные исследования и инновации. – 2013. – № 11 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2013/11/28484> (дата обращения: 03.03.2016).
2. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах. – Москва, 2009. – 94 с.
3. <http://biology.karelia.ru/misc/hydro/mon5>
4. Будников Г.К. Тяжелые металлы в экологическом мониторинге водных систем // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 5. – С. 23-29.
5. Карнаухов А.П. Иометрическое строение, классификация и моделирование дисперсных и пористых тел // Адсорбция и пористость: тр. 4 Всесоюз. конф. по теоретическим вопросам адсорбции. – М.: Наука, 1976. – С. 7-15.
6. Струнникова Н.А., Джаманбаева М.Дж., Сагиева С.Т. Механоактивация природных алюмосиликатов как способ повышения их сорбционной активности // [izvestiya@ktu.aknet.kg](mailto:izvestiya@ktu.aknet.kg).
7. Красильникова С.Д. Результаты лабораторных и натурных исследований по доработке технологической схемы очистки гальванических стоков на ОАО «КнААПО» // Ученые

- записки Комсомольска-на-Амуре государственного технического университета. – Т.1-1 (13). – 2013. – С.99-105.
8. Назарко О.Б., Зарубина Р.Ф. Применение бадинского цеолита для удаления фосфатов из сточных вод // Известия Томского политехнического университета. – Т. 322. – Вып.3. – 2013. – С. 11-14.
  9. Марков В.Ф., Иканкина Е.В. Исследование ионообменных свойств композиционного сорбента на основе катионита КУ-2х8 и гидроксида железа (III) по отношению к ионам меди (II) // Сорбционные и хроматографические процессы. – 2010. – Т.10. – Вып. 6. – С. 830-839.
  10. Вячеславов А.С., Померанцева В.А. Измерение площади поверхности и пористости методом капиллярной конденсации азота. Методическая разработка. МГУ им. М.В. Ломоносова. – Москва. – 2006. – 55 с.
  11. ГОСТ ISO 1304-2013 Ингредиенты резиновой смеси. Углерод технический гранулированный. Определение числа адсорбции йода. Введен с 2008.07.01. – М.: Стандарт информ, 2009.
  12. Ларионов Н.С., Боголицын К.Г., Богданов М.В., Кузнецова И.А. Характеристика сорбционных свойств верхового торфа по отношению к d- и p- металлам // Химия растительного сырья. – 2008. – №4. – С. 147-152.
  13. Cary T.Chiou Partition and Adsorption of Organic Contaminants in Environmental Systems. – 2002. ISBN: 0-471-23325-0
  14. Skopp, J. (2009). Derivation of the Freundlich Adsorption Isotherm from Kinetics. Journal of Chemical Education, 86(11), 1341. doi:10.1021/ed086p1341
  15. Николаев К.М., Поляков Н.С. Дискуссия // Адсорбция и пористость: тр.4 Всесоюз. Конф. По теоретическим вопросам адсорбции. – М.: Наука, 1976. – С. 278-279.

УДК 537.311:322  
 МРНТИ 29.19.22:47.09.48

## СТРУКТУРНЫЕ СВОЙСТВА ПЛЕНКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ, СИНТЕЗИРОВАННОЙ МЕТОДОМ ЗАМЕЩЕНИЯ АТОМОВ

К.Х. НУСУПОВ, Н.Б. БЕЙСЕНХАНОВ, Д.И. БАКРАНОВА, С. КЕЙНБАЙ

*Казахстанско-Британский технический университет*

**Аннотация:** В работе в приповерхностной области пластины Si(100) методом замещения атомов синтезированы монокристаллические пленки карбида кремния, содержащие кристаллические фазы  $\beta$ -SiC и 2H-SiC. Синтез пленок осуществлен в специальной лабораторной электропечи при температуре 1250°C в течение 20 минут в потоке газа CO при давлении 0.8 Па. Методами высокочувствительной рентгеновской дифракции и инфракрасной спектроскопии показано присутствие нанокристаллов SiC с высокой степенью совершенства структуры. Эти нанокристаллы могут располагаться как на границе раздела «пленка SiC-подложка Si», так и внутри кремниевой подложки, покрывая внутреннюю поверхность пор. Показано, что около 80% Si-C-связей содержатся в составе кристаллической фазы карбида кремния, включая монокристаллический слой, нанокристаллы и их зародыши. Аморфная фаза карбида кремния (9,3%) в пленке представляет собой смесь сильно дефектных деформированных нанокристаллов. Максимумы компонент при 785,5 см<sup>-1</sup> и 788,0 см<sup>-1</sup> аморфной фазы смещены близко в сторону 795,9 см<sup>-1</sup>, характерной для кристаллической фазы  $\beta$ -SiC (3C-SiC). Это обусловлено повышенной температурой синтеза (1250°C) пленки карбида кремния. Также часть Si-C-связей (10,4%) включены в состав SiC-кластеров и дилатационных диполей.

**Ключевые слова:** карбид кремния, структура, кристаллизация, синтез, метод замещения атомов

## STRUCTURAL PROPERTIES OF A SILICON CARBIDE FILM SYNTHESIZED BY THE ATOM SUBSTITUTION METHOD

**Abstract:** In this work, the atomic substitution method was used to synthesize a single-crystal silicon carbide film containing crystalline  $\beta$ -SiC and 2H-SiC phases in the surface region of a Si (100) wafer. The films were synthesized in a special laboratory electric furnace at a temperature of 1250°C for 20 minutes in a flowing CO gas at a pressure of 0.8 Pa. Using the methods of high-sensitivity X-ray diffraction and infrared spectroscopy, the presence of SiC nanocrystals with a high degree of structural perfection has been shown. These nanocrystals can be located both at the interface “SiC film - Si substrate” and inside the silicon substrate, covering the inner pore surface. It was shown that about 80% of Si – C bonds are contained in the crystalline phase of silicon carbide, including the single crystal layer, nanocrystals, and their nuclei. The amorphous phase of silicon carbide (9.3%) in the film is a mixture of highly defective deformed nanocrystals. The maxima of the components at 785.5 cm<sup>-1</sup> and 788.0 cm<sup>-1</sup> of the amorphous phase are shifted close to 795.9 cm<sup>-1</sup>, which is characteristic of the crystalline  $\beta$ -SiC (3C-SiC) phase. This is due to the increased synthesis temperature (1250°C) of silicon carbide film. Also, part of the Si–C bonds (10.4%) are included in the composition of SiC clusters and dilatation dipoles.

**Keywords:** silicon carbide, structure, crystallization, synthesis, magnetron sputtering, atom substitution method

## АТОМДЫ АЛМАСТЫРУ ӘДІСІ АРҚЫЛЫ СИНТЕЗДЕЛГЕН, КРЕМНИЙ КАРБИДІ ҚАБЫРШАҒЫНЫҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ҚАСИЕТТЕРІ

**Аңдатпа:** Бұл жұмыста, құрамында кристалды  $\beta$ -SiC және 2H-SiC фазалары бар монокристалды кремний карбидті қабыршақтар атомды алмастыру әдісі арқылы Si (100) плитасының беткі ай-

мағында синтезделді. Қабыршақтар арнайы зертханалық электр пешінде 20 минут бойы 0,8 Па қысымда CO газының ағысында 20 минут ішінде синтезделді. Қабыршақтар арнайы зертханалық электр пешінде 0,8 Па қысымда CO газының ағысында 1250°C температурасында 20 минут ішінде синтезделді. Жоғары сезімталды рентгендік дифракция және инфрақызыл спектроскопия әдістерін қолдана отырып, құрылымдық жетілдірудің жоғары дәрежесі бар SiC нанокристалдарының болуы көрсетілген. Бұл нанокристалдар “SiC пленка - Si субстрат” интерфейсында де, кеуектердің ішкі беттерін жабу үшін кремний субстратының ішінде де орналасуы мүмкін. Si-C байланыстарының шамамен 80% кремний карбиді кристалды фазасында, оның ішінде монокристалды қабатында, нанокристалдарда және олардың ядроларында екендігі көрсетілген. Қабыршақтағы кремний карбидінің аморфты фазасы (9,3%) - бұл өте ақаулы деформацияланған нанокристалдардың қоспасы. Аморфты фазаның  $785,5 \text{ см}^{-1}$  және  $788,0 \text{ см}^{-1}$  толқын сандарындағы компоненттерінің максимумдары кристалды  $\beta$ -SiC (3C-SiC) фазасына тән  $795,9 \text{ см}^{-1}$  деңгейіне жақын жылжытылды. Бұл кремний карбиді қабыршағының синтез температурасының жоғарылауына (1250°C) байланысты. Сондай-ақ Si-C байланыстарының бір бөлігі (10,4%) SiC кластерлері мен дилатация дипольдерінің құрамына кіреді.

**Түйінді сөздер:** кремний карбиді, құрылым, кристалдану, синтездеу, атомды алмастыру әдісі

### Актуальность

В последние годы резко вырос интерес к тугоплавким широкозонным полупроводникам, таким как SiC, GaN, AlN, BN, ZnO. Высокая подвижность электронов, большая величина электрического поля пробоя в сочетании с отличными термохимическими характеристиками обуславливают значительные перспективы использования этих материалов для изготовления полупроводниковых приборов различного назначения [1-4]. Для выращивания монокристаллических слоев вышеуказанных материалов необходимо иметь подложки, у которых параметры решеток отличались бы менее, чем на 4%. Параметры решеток традиционно используемой кремниевой подложки и данных материалов отличаются более чем на 19%. Например, между карбидом кремния и кремнием разница в параметрах решеток достигает 19% [5]. Поэтому выращивание эпитаксиальных слоев SiC на подложке Si является нетривиальной задачей [6]. Например, методом ионной имплантации удается получить аморфные пленки SiC с последующей их кристаллизацией в процессе отжига (900-1300°C) [7].

Были достигнуты успехи по синтезу тонких эпитаксиальных пленок SiC на Si методом замещения атомов [8,9]. В основе этого метода лежит идея замещения части атомов кремния на атомы углерода внутри кремниевой подложки. Для реализации данного подхода в межузельную позицию

решетки кремния предварительно внедряют атом углерода, а соседний с ней атом кремния удаляют, создавая кремниевую вакансию. Образуется ансамбль дилатационных диполей – устойчивых комплексов, состоящих из центров дилатации – атома углерода в межузельной позиции и кремниевой вакансии: (C–V<sub>Si</sub>). В кристалле кубической симметрии эти два центра дилатации упруго взаимодействуют друг с другом. Синтез упругих диполей осуществляется при помощи химической реакции (1) [8]:



Если атомы углерода из межузельных позиций сместятся в положения, занимаемые вакансиями, то в приповерхностном слое кремния образуется карбид кремния [8,9].

В данной работе методом рентгеновской дифракции и инфракрасной спектроскопии исследуется структура нанослоев SiC, синтезированных методом замещения атомов на поверхности монокристаллического кремния ориентации (100).

### Экспериментальная часть

Для синтеза эпитаксиальных пленок SiC использованы полированные пластины монокристаллического кремния ориентации (100), размерами  $7 \times 7 \times 0,3$  мм и удельным сопротивлением 4-5 Ом·см [7,10]. Синтез пленок SiC

проводился в специальной электропечи [11] при температуре 1250°C в течение 20 минут в потоке газа СО при давлении 0.8 Па.

Состав и структура пленок исследовались с использованием ИК-спектрометра Nicolet iS-50 (ThermoScientific, USA). Программное обеспечение к Nicolet iS-50 позволяет использовать программы по разложению спектров на компоненты и определять их положение, амплитуду и площадь.

Фазовый состав и структура пленок исследовались методом высокочувствительной рентгеновской дифракции с использованием узкоколлимированного ( $0.05 \times 1.5 \text{ mm}^2$ ) монокроматического ( $\text{CuK}_\alpha$ ) пучка рентгеновских лучей [7,10]. Интенсивность рентгеновских отражений вдоль дебаеграммы измерялась на микроденситометре MD-100 через каждые 0.05°.

### Результаты и обсуждение

#### *Исследования методом*

#### *ИК-спектроскопии*

Для определения структурного совершенства пленок были сняты ИК-спектры поглощения пленок SiC и выполнено их разложение на компоненты. Разложение спектров на составляющие дало возможность определить положение компонент в спектре и вычислить их площадь. Это, в свою очередь, позволило определить фазовый состав пленок. Полученные данные в ходе исследования ИК-спектров пленок приведены на рисунке 1.

В ИК-спектре образца наблюдается ряд четко видимых узких пиков при 788,0  $\text{cm}^{-1}$ , 794,1  $\text{cm}^{-1}$ , 800,5  $\text{cm}^{-1}$ , 803,4  $\text{cm}^{-1}$ , 807,3  $\text{cm}^{-1}$ , 811,3  $\text{cm}^{-1}$ , 814,6  $\text{cm}^{-1}$ , 819,0  $\text{cm}^{-1}$ , 825,9  $\text{cm}^{-1}$ , 834,5  $\text{cm}^{-1}$ , 838,0  $\text{cm}^{-1}$ , 841,8  $\text{cm}^{-1}$ , отнесенные к кристаллической фазе карбида кремния. Согласно данным, приведенным в [12], теоретические величины пиков инфракрасного поглощения для кубической, гексагональной и ромбической модификаций следующие: 795,9  $\text{cm}^{-1}$  для  $\beta\text{-SiC}$  (3C-SiC), 799,5  $\text{cm}^{-1}$  для 2H-SiC, 797,6  $\text{cm}^{-1}$  для 4H-SiC, 797,0  $\text{cm}^{-1}$  для 6H-SiC, 797,5  $\text{cm}^{-1}$  для 15R-SiC. Учитывая, что экспериментальные значения могут незначительно отличаться от расчетных значений [12], можно

утверждать, что в образце в качестве кристаллической фазы карбида кремния присутствует монокристаллический кубический политип 3C-SiC, которому приблизительно соответствует наблюдаемый интенсивный пик при 794,1  $\text{cm}^{-1}$ . Судя по наличию пика при 800,5  $\text{cm}^{-1}$ , можно говорить о присутствии редкой гексагональной фазы 2H-SiC, наличие которого было установлено ранее [9,13]. Отметим, что пики 3C-SiC и 2H-SiC являются достаточно узкими (рис. 1) и это свидетельствует о кристаллическом совершенстве слоев различных политипов SiC [10,12]. В эти монокристаллические фазы по предварительным оценкам включены 11,4% Si-C-связей пленки (см. таблицу).

Компоненты в спектре с максимумами при 785,5  $\text{cm}^{-1}$  и 788,0  $\text{cm}^{-1}$  были отнесены к Si-C-связям в сильно дефектных деформированных нанокристаллах (таблица). В их состав включены оценочно 9,3% количества SiC-связей. Действительно, при исследовании аморфных ионно-синтезированных слоев карбида кремния [7,10,14-16], положение максимума SiC-пика находилось в пределах 700-760  $\text{cm}^{-1}$ . После отжига (900°C) пик смещается до ~795-800  $\text{cm}^{-1}$ , увеличивает свою амплитуду и сужается, указывая на доминирование Si-C-связей тетраэдрической ориентации поликристаллической фазы SiC. Наблюдаются включения мелкокристаллической, крупнокристаллической и аморфной фазы SiC после отжига [16]. В пленках, синтезированных методом замещения атомов, максимумы компонент 785,5  $\text{cm}^{-1}$  и 788,0  $\text{cm}^{-1}$  аморфной фазы смещены близко в сторону 795,9  $\text{cm}^{-1}$ , характерной для кристаллической фазы  $\beta\text{-SiC}$  (3C-SiC). Это обусловлено повышенной температурой синтеза (1250°C) пленки карбида кремния.

В ИК-спектре наблюдается ряд узких пиков с волновыми числами 803,4  $\text{cm}^{-1}$ , 807,3  $\text{cm}^{-1}$ , 811,3  $\text{cm}^{-1}$ , 814,6  $\text{cm}^{-1}$ , 819,0  $\text{cm}^{-1}$ , 825,9  $\text{cm}^{-1}$ , 834,5  $\text{cm}^{-1}$ , 838,0  $\text{cm}^{-1}$ , 841,8  $\text{cm}^{-1}$ , которые могли появиться вследствие поглощения мелкими нанокристаллами, и первые пять из которых уже наблюдались ранее в [9,13]. Действительно, Н. Mutschke et.al [12], анализируя работы по изучению эмиссии малых частиц SiC ди-

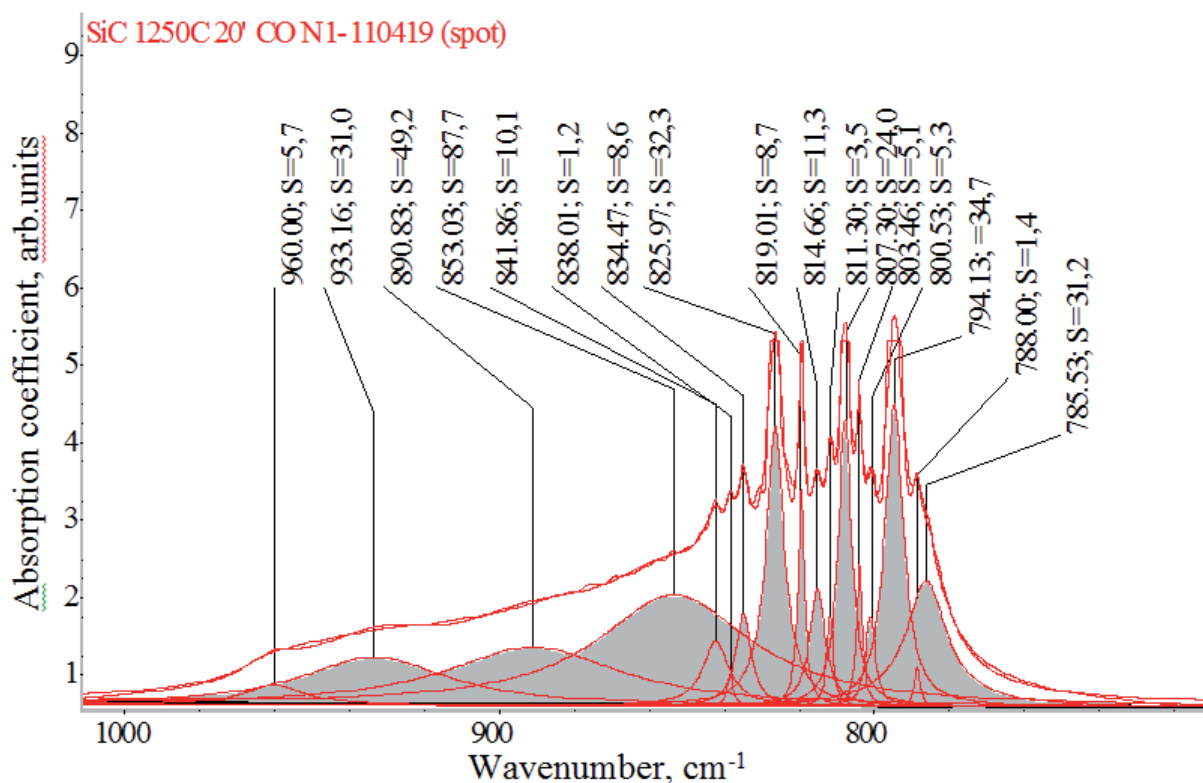


Рис. 1 – Математическое разложение ИК-спектра поглощения пленки SiC, синтезированной в атмосфере газа CO при температуре 1250°C и давлении 0,8 Па в течение 20 минут методом замещения атомов (S - площадь компоненты)

аметром 0,3-3  $\mu\text{m}$  в космических объектах, отмечают, что широкий пик в области 11,3  $\mu\text{m}$  ( $\sim 885\text{ cm}^{-1}$ ) был интерпретирован различными авторами как эмиссия малых частиц SiC между частотами поперечных ( $\sim 795\text{ cm}^{-1}$ ) и продольных ( $\sim 960\text{ cm}^{-1}$ ) оптических фононов. В связи с этим, острые пики в интервале 803-842  $\text{cm}^{-1}$  могут указывать на присутствие групп мелких нанокристаллов SiC, отличающихся размерами. Как следует из таблицы, доля Si-C-связей, включенных в эти нанокристаллы, составляют величину около 29,9% от их общего количества в пленке.

Помимо этого, присутствует также широкие гауссовы пики с максимумами при волновых числах 853,0  $\text{cm}^{-1}$  и 890,8  $\text{cm}^{-1}$  (39%), которые можно отнести к Si-C-связям на поверхности зародышей очень мелких нанокристаллов SiC широкого спектра размеров с доминированием нанокристаллов, поглощающих при 853,0  $\text{cm}^{-1}$  [7,10,12]. Нанокристаллы карбида кремния и их зародыши могут распо-

лагаться как на границе раздела «пленка SiC – подложка Si», так и внутри кремниевой подложки, покрывая внутреннюю поверхность пор [9,13]. В целом, в кристаллическую фазу карбида кремния, включая зародыши мелких нанокристаллов, объединены оценочно атомы углерода и кремния, образующие 80,3% Si-C-связей пленки карбида кремния.

Пик с максимумом в области 933,1  $\text{cm}^{-1}$  (8,8%) может быть отнесен к укороченным Si-C-связям в карбидо-кремниевых кластерах. Пик с максимумом в области 960,0  $\text{cm}^{-1}$  (1,6%), наблюдавшийся ранее в [9,13,17], соответствует особой механической связи энергии колебаний упругого дилатационного диполя (C-V<sub>Si</sub>).

Количественные оценки Si-C-связей, включенных в состав монокристаллических слоев, дилатационных диполей, кластеров, нанокристаллов и их зародышей требуют последовательного анализа и дальнейшего развития этого метода.

**Таблица – Площади S компонент SiC-пика при волновых числах  $w$  для ИК-спектров, подвергнутых разложению, от пленок SiC на c-Si, полученных методом замещения атомов**

Т, °С	Параметр	Расположение максимума компоненты SiC-пика												ΣS
		SiC-аморфный (~700-794 $cm^{-1}$ )		SiC-кристаллы (795-800 $cm^{-1}$ ), нанокристаллы и их зародыши (~800-900 $cm^{-1}$ )							SiC-кластеры и дилатационные диполи (900-965 $cm^{-1}$ )			
1250°С, 20 мин	w, $cm^{-1}$	785,5	788,0	794,1	800,5	803,4	807,3	811,3	814,6					
	S, о.е.	31,2	1,4	34,7	5,3	5,1	24,0	3,5	11,3					
	S, %	8,9	0,4	9,9	1,5	1,5	6,8	1,0	3,2					
	w, $cm^{-1}$			819,0	825,9	834,4	838,0	841,9		853,0	890,8	933,1	960,0	
	S, о.е.			8,7	32,3	8,6	1,2	10,1		87,7	49,2	31,0	5,7	
	S, %			2,5	9,2	2,5	0,3	2,9		25,0	14,0	8,8	1,6	
	ΣS	32,6=9,3%		281,7 = 80,3%							36,7=10,4%		100%	

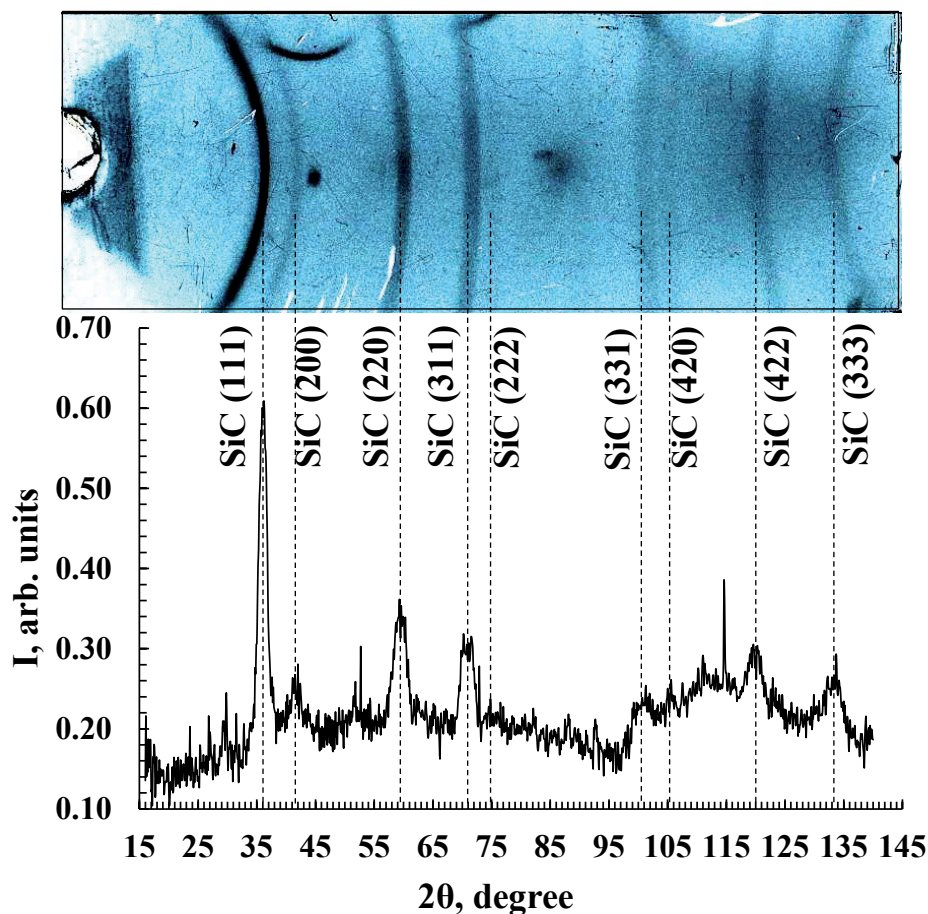


Рис. 2 – Дебаеграмма и интенсивность рентгеновских отражений  $I(2\theta)$  тонкой пленки карбида кремния, синтезированной при температуре 1250°С и давлении 0,8 Па в течение 20 минут методом замещения атомов

Исследования методом чувствительной рентгеновской дифракции

Рисунок 2 показывает, что рентгеновская дебаеграмма пленки SiC содержит девять из

десяти известных линий  $\beta$ -SiC. Это указывает на формирование систем плоскостей отражения и высокую степень совершенства структуры нанокристаллов  $\beta$ -SiC. Нанокристаллы

карбида кремния могут располагаться как на границе раздела «пленка SiC-подложка Si», как показано в [8,9], так и внутри кремниевой подложки, покрывая внутреннюю поверхность пор.

Рентгеновские линии имеют однородную интенсивность за исключением линии (220), в центральной части которой наблюдается рефлекс повышенной интенсивности. Это указывает на наличие крупного кристалла, система плоскостей (220) которого находится в положении отражения в соответствии с уравнением Вульфа-Брегга. Большие размеры рефлекса указывают на наличие монокристаллического слоя  $\beta$ -SiC.

### Выводы

Методом замещения атомов в специальной электропечи при температуре 1250°C в течение 20 минут в потоке газа CO при давлении

0.8 Па в приповерхностной области пластины Si(100) синтезирована монокристаллическая пленка карбида кремния, содержащая фазы  $\beta$ -SiC и 2H-SiC. Показано присутствие нанокристаллов SiC высокой степени совершенства структуры, которые могут располагаться как на границе раздела «пленка SiC-подложка Si», так и внутри кремниевой подложки, покрывая внутреннюю поверхность пор.

Показано, что около 80% Si-C-связей содержатся в составе кристаллической фазы карбида кремния, включая монокристаллический слой (11,4%), нанокристаллы (29,9%) и их зародыши (39%). Аморфная фаза карбида кремния (9,3%) представляет собой смесь сильно дефектных деформированных нанокристаллов. Также часть Si-C-связей (10,4%) включена в состав SiC-кластеров и дилатационных диполей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. E. Tschumak, K. Tonisch, J. Pezoldt, D.J. Comparative Study of 3C-GaN Grown on Semi-insulating 3C-SiC/Si (100) Substrates // *As. Mater. Sci. Forum.* – 2009. – 615–617. – P.943–946.
2. K.C. Kim, C.H. Park, J.H. Roh, K.S. Nahm, Y.H. Seo. Formation mechanism of interfacial voids in the growth of SiC films on Si substrates // *J. Vac. Sci. Technol. A.* – 2001. – 19 (5) . – P.2636–2641.
3. Y.H. Zhu, J.C. Zhang, Z.T. Chen, T. Egawa. Demonstration on GaN-based light-emitting diodes grown on 3C-SiC/Si (111) // *J. Appl. Phys.* – 2009. – 106. – P.124506-1–124506-4.
4. F. Iacopi, G. Walker, Li Wang, L. Malesys, Shujun Ma, B.V. Cuning, A. Iacopi. Orientation-dependent stress relaxation in hetero-epitaxial 3C-SiC films // *Appl. Phys. Lett.* – 2013. – 102. – P.011 908-1–011 908-4.
5. S.A. Kukushkin, A.V. Osipov, and N. A. Feoktistov. Synthesis of Epitaxial Silicon Carbide Films through the Substitution of Atoms in the Silicon Crystal Lattice: A Review // *Physics of the Solid State.* – 2014. – Vol. 56 (8). – P.1507–1535.
6. Calcagno L., Musumeci P., Roccaforte F., Bongiorno C., Foti G. Crystallization mechanism of amorphous silicon carbide. // *Appl. Surf. Sci.* – 184. – 2001. – P. 123–127.
7. Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Zharikov S.K., Beisembetov I.K., Kenzhaliev B.K., Akhmetov T.K., Seitov B.Zh. Structure and Composition of Silicon Carbide Films Synthesized by Ion Implantation. // *Phys. Solid State.* – 56(11). – 2014. – P. 2307–2321.
8. Kukushkin S.A., Osipov A.V., Feoktistov N.A. Synthesis of epitaxial silicon carbide films through the substitution of atoms in the silicon crystal lattice: a review. // *Phys. Solid State.* – 56 (8). – 2014. – P. 1507–1535.
9. Kukushkin S.A., Nussupov K.Kh., Osipov A.V., Beisenkhanov N.B., Bakranova D.I. Structural properties and parameters of epitaxial silicon carbide films, grown by atomic substitution on the high-resistance (111) oriented silicon. // *Superlattices and Microstructures.* – 111. – 2017. – P. 899-911.

10. Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B. The Formation of Silicon Carbide in the SiC<sub>x</sub> Layers (x = 0.03–1.4) Formed by Multiple Implantation of C Ions in Si. In book: Silicon carbide – Materials, Processing and Applications in Electronic Devices. – 2011. – Ed. Moumita Mukherjee. – InTech. – Chapter 4. – P. 69 – 114.
11. Нусупов К.Х., Бейсенханов Н.Б., Бакранова Д.И., Кейінбай С., Турахун А.А., Султан А.А. Разработка и изготовление вакуумной электропечи для термообработки и синтеза наноструктур и материалов. // Вестник КБТУ. – 3(46). – 2018. – С. 134–144.
12. Mutschke H., Andersen A.C., Clément D., Henning T. Peiter. Infrared properties of SiC particles // Astron. Astrophys. – 1999. – V. 345. –P. 187–202.
13. S.A. Kukushkin, K.Kh. Nusupov, A.V. Osipov, N.B. Beisenkhanov and D.I. Bakranova. X-Ray Reflectometry and Simulation of the Parameters of SiC Epitaxial Films on Si(111), Grown by the Atomic Substitution Method. Physics of the Solid State. 2017. 59(5). 1014–1026.
14. Borders J.A., Picraux S.T., Beezhold W. Formation of SiC in silicon by ion implantation. Appl. Phys. Lett. 1971. V. 18. 11. P. 509–511.
15. Баранова Е.К., Демаков К.Д., Старинин К.В., Стрельцов Л.Н., Хайбуллин И.Б. Исследование монокристаллических пленок SiC, полученных при бомбардировке ионами C<sup>+</sup> монокристаллов Si. // Доклады АН СССР. – 1971. – 200. – С. 869-870.
16. Chen D., Cheung W.Y., Wong S.P. Ion beam induced crystallization effect and growth kinetics of buried SiC layers formed by carbon implantation into silicon. // Nuclear Instruments and Methods in Phys.Res. B. 148. – 1999. – P. 589–593.
17. S.A. Grudinkin, V.G. Golubev, A.V. Osipov, N.A. Feoktistov and S.A. Kukushkin. Infrared Spectroscopy of Silicon Carbide Layers Synthesized by the Substitution of Atoms on the Surface of Single-Crystal Silicon // Physics of the Solid State. 2015. 57 (12), pp. 2543–2549.

УДК 537.311:322  
МРНТИ 29.19.22:47.09.48

## ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ ТОЛСТОЙ ПЛЕНКИ КАРБИДА КРЕМНИЯ, ПОЛУЧЕННОЙ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

К.Х. НУСУПОВ, Н.Б. БЕЙСЕНХАНОВ, Д.И. БАКРАНОВА,  
С. КЕЙНБАЙ, А.А. СУЛТАН

*Казахстанско-Британский технический университет*

**Аннотация:** В работе методом магнетронного распыления при одновременном распылении мишени кремния и мишени графита в высокочастотном режиме 13,56 МГц осуществлен синтез толстых пленок карбида кремния на поверхности c-Si. Параметры магнетронного распыления были следующие: мощность магнетрона – 150 Вт, расход газа аргона 2.4 л/ч, давление в камере 0.4 Па, температура кремниевой подложки – 100°C, длительность осаждения 3 часа. Впервые показано доминирование укороченных Si-C-связей в аморфной пленке карбида кремния сразу после осаждения, приведшее к смещению максимума ИК-спектра в область выше 800 см<sup>-1</sup> – вплоть до 870 см<sup>-1</sup>. Результаты трактуются интенсивным зародышеобразованием в процессе осаждения. Показано, что после осаждения пленки почти половина (49,2%) Si-C-связей находится в составе очень мелких зародышей нанокристаллов с размерами менее 3 нм. Быстрый отжиг в течение 5 минут осуществлен при температуре 970°C, которая достигалась в течение 10 с. Наблюдалось смещение максимума пика SiC из коротковолновой области (870 см<sup>-1</sup>) в длинноволновую область (820 см<sup>-1</sup>) ИК-спектра после быстрого отжига пленки. Выявлено, что кристаллизация толстой пленки карбида кремния происходит не за счет кристаллизации аморфной фазы, а за счет увеличения размеров и упорядочения структуры мелких зародышей SiC и их трансформации в нанокристаллы SiC.

**Ключевые слова:** карбид кремния, структура, кристаллизация, синтез, магнетронное распыление

## IR SPECTROSCOPY OF A THICK SILICON CARBIDE FILM OBTAINED BY THE MAGNETRON SPUTTERING

**Abstract:** In this work, a thick silicon carbide films were synthesized on the c-Si surface by simultaneous magnetron sputtering of a silicon target and a graphite target in the high-frequency mode of 13.56 MHz. The magnetron sputtering parameters were as follows: magnetron power - 150 W, argon gas flow rate 2.4 l/h, chamber pressure 0.4 Pa, silicon substrate temperature - 100°C, deposition time 3 hours. The domination of shortened Si-C-bonds in an amorphous silicon carbide film immediately after deposition was shown for the first time, which led to a shift in the maximum of the IR spectrum to a region above 800 cm<sup>-1</sup> – up to 870 cm<sup>-1</sup>. The results are interpreted by intensive nucleation during the deposition process. It was shown that after film deposition, almost half (49.2%) of Si-C bonds are contained in very small nuclei of nanocrystals with sizes less than 3 nm. Rapid annealing for 5 minutes was carried out at a temperature of 970°C, which was reached within 10 s. A shift of the maximum of the SiC peak of the IR spectrum from the short-wavelength region (870 cm<sup>-1</sup>) to the long-wavelength region (820 cm<sup>-1</sup>) of the IR spectrum was observed after rapid annealing of the film. It was revealed that the crystallization of a thick film of silicon carbide does not occur due to crystallization of the amorphous phase, but due to an increase in the size and ordering of the structure of small SiC nuclei and their transformation into SiC nanocrystals.

**Keywords:** silicon carbide, structure, crystallization, synthesis, magnetron sputtering

## МАГНЕТРОНДЫҚ ҮДЫРАТУ ӘДІСІМЕН АЛЫНҒАН КРЕМНИЙ КАРБИДІ ҚАЛЫҢ ҚАБЫРШАҚТАРЫНЫҢ ИҚ-СПЕКТРОСКОПИЯСЫ

*Аңдатпа:* Бұл жұмыста 13,56 МГц жоғары жиілікті режимде кремнийлі нысанды және графитті нысанды бір уақытта магнетронды ыдыратумен c-Si бетіне қалың кремний карбидті қабыршақтарының синтездеуі жүргізілді. Магнетронның ыдыратуының параметрлері келесідей болды: магнетронның қуаты – 150 Вт, аргон газының шығыны 2,4 л/сағ, камералық қысымы – 0,4 Па, кремний субстраттың температурасы – 100°C, тұндыру уақыты 3 сағат. Тұндырудан кейін бірден аморфты кремний карбиді қабыршағында қысқартылған Si-C байланыстарының сан жағынан басымдығы алғаш рет көрсетілді, бұл ИҚ спектрінің максимумының 800 см<sup>-1</sup> – ден жоғары 870 см<sup>-1</sup> - ге дейінгі аймаққа ауысуына әкелді. Нәтижелер тұндыру процесінде нанокристалды ядролардың қарқынды қалыптасуымен түсіндіріледі. Қабыршақтың орналастырғаннан кейін бірден Si-C байланыстарының жартысына жуығы (49,2%) мөлшері 3 нм-ден аз нанокристалдардың өте кішкентай ядроларында болатындығы көрсетілген. 5 минут ішінде жылдам күйдіру 970°C температурада жүзеге асырылды, оған 10 секунд ішінде қол жеткізілді. Қабыршақты жылдам күйдіргеннен кейін SiC шыңының максимумының ИҚ спектрінің қысқа толқын аймағынан (870 см<sup>-1</sup>) ұзын толқын аймағына (820 см<sup>-1</sup>) жылжу байқалды. Кремний карбидінің қалың қабыршақтарының кристалдануы аморфты фазаның кристалдануынан емес, кішкентай SiC ядроларының мөлшерінің жоғарылауымен, құрылымдарының ретке келтіруімен және SiC нанокристалдарына айналуымен жүретіні анықталды.

*Түйінді сөздер:* кремний карбиді, құрылым, кристалдану, синтездеу, магнетрондық ыдырату

### Введение

Карбид кремния (SiC) является очень перспективным материалом, который по характеристикам уступает только алмазу при применении в мощных микроэлектронных устройствах. Ценные физико-химические свойства карбида кремния, такие как широкая запрещенная зона ( $E_g = 2,3-3,5$  эВ), высокие температура плавления (2830°C), химическая стойкость, теплопроводность, подвижность носителей заряда и твердость (33400 Мн/м<sup>2</sup>) способствовали расширению перспектив его применения в высокотемпературной электронике, радиационно-стойкой электронике, высокочастотной электронике, оптоэлектронике [1,2]. Карбид кремния также широко применяется в качестве жаростойких материалов при изготовлении нарезных дисков и буров. Важными преимуществами электронных приборов на основе SiC являются высокое быстродействие и возможность работы при температурах до 600°C [3,4]. Однако, традиционные методы производства не могут удовлетворить потребности в крупных размерах, высокой чистоте, хорошем кристаллическом качестве и легкости дальнейшей обработки для новых применений.

Различие в параметрах решеток карбида кремния и монокристаллического кремния составляет ~19%, а разница в их термических коэффициентах расширения ~8%. Это создает существенные трудности при выращивании эпитаксиальных слоев SiC на подложке Si [5]. Применение метода ионной имплантации (<sup>12</sup>C в Si) позволяет получить аморфные пленки SiC с последующей их трансформацией в нанокристаллические структуры в процессе отжига (900-1300°C) [6]. Более качественные кристаллические структуры могут быть получены при имплантации в разогретые подложки. При высоких температурах (1250-1330°C) были также достигнуты успехи по синтезу тонких эпитаксиальных пленок SiC на Si методом замещения атомов [7,8]. Метод магнетронного распыления находит широкое применение благодаря относительно большим скоростям роста, хорошей адгезии пленок SiC и достаточно низкой стоимости технологического процесса [9]. Например, в [10] предложен метод осаждения аморфного a-Si<sub>1-x</sub>C<sub>x</sub> с помощью радиочастотного магнетронного со-распыления двух или нескольких мишеней.

В данной работе методом инфракрасной спектроскопии анализируются особенности структуры и состава аморфных и нанокристаллических толстых пленок карбида кремния на кремнии, синтезированных методом магнетронного распыления и подвергнутых быстрому отжигу.

### Экспериментальная часть

Синтез толстой аморфной пленки SiC на монокристаллической подложке Si осуществлен при одновременном распылении мишеней кремния и графита в высокочастотном режиме 13,56 МГц. Параметры магнетронного распыления были следующие: мощность магнетрона – 150 Вт, расход газа аргона 2.4 л/ч, давление в камере 0.4 Па, температура подложки – 100°C, длительность осаждения 3 часа. Быстрый отжиг в течение 5 минут осуществлен при температуре 970°C, которая достигалась в течение 10 с.

В качестве подложек использованы пластины монокристаллического кремния ориентации (100), размерами 7×7×0.3 мм и удельным сопротивлением 4-5 Ом·см [6,11].

Состав и структура пленок исследовались с использованием ИК-спектрометра Nicolet iS-50 (ThermoScientific, USA). Программное обеспечение к Nicolet iS-50 позволяет использовать программы по разложению спектров на компоненты.

### Результаты и обсуждение

Анализ ИК-спектра пленки SiC<sub>x</sub> показывает наличие интенсивного SiC-пика в области 416 – 1250 см<sup>-1</sup> (рис. 1), имеющего максимум в области ~870 см<sup>-1</sup> и амплитуду 0,473 отн. ед. Полуширина пика составила 320 см<sup>-1</sup>, что указывает на аморфную природу пленки SiC [4-6, 11]. В спектре также наблюдается пик естественного окисла SiO<sub>2</sub> с максимумом при 110 см<sup>-1</sup> и амплитудой 0,047.

Особенностью SiC-пика (рис. 1) является расположение максимума в области 870 см<sup>-1</sup>, т.е. выше значения 795,9 см<sup>-1</sup>, характерного для тетраэдрически ориентированных Si-C-связей. Это предполагает преобладание

укороченных SiC-связей в прочных и плотных нанокластерах, а также на поверхности мелких зародышей нанокристаллов, поглощающих в области выше 800 см<sup>-1</sup> [11].

Выполнено разложение пика SiC на компоненты (рис. 1), определены их площадь и положение в спектре. Наблюдаются интенсивные пики с максимумами при 750,2 см<sup>-1</sup>, 814,4 см<sup>-1</sup>, 879,1 см<sup>-1</sup>, 962,7 см<sup>-1</sup>.

Компонента с максимумом при 750,2 см<sup>-1</sup> (рис. 1) была отнесена к слабым удлиненным Si-C-связям аморфного карбида кремния. Действительно, при исследовании аморфных ионно-синтезированных слоев карбида кремния [4,6,11], положение максимума SiC-пика находилось в пределах 700-760 см<sup>-1</sup>. После отжига при температуре 900°C пик смещался до ~795-800 см<sup>-1</sup>, увеличивал свою амплитуду и сужался, указывая на преобладание Si-C-связей тетраэдрической ориентации поликристаллической фазы SiC. Наблюдались включения мелкокристаллической, крупнокристаллической и аморфной фазы SiC после отжига [12].

Компоненты с максимумом при 814,4 и 879,1 см<sup>-1</sup> (рис. 1) были отнесены к поглощению укороченных Si-C-связей, преобладающих на поверхности мелких зародышей нанокристаллов. Действительно, Mutschke и др. [13], анализируя работы по изучению эмиссии малых частиц SiC в космических объектах, отмечают, что широкий пик в области 11,3 μm (~885 см<sup>-1</sup>) был интерпретирован различными авторами как эмиссия малых частиц SiC между частотами поперечных (~795 см<sup>-1</sup>) и продольных (~960 см<sup>-1</sup>) оптических фононов. В связи с этим, компоненты с максимумами при 814,3 см<sup>-1</sup> и 879,1 см<sup>-1</sup> могут указывать на присутствие групп мелких зародышей нанокристаллов SiC (таблица) с размерами менее 3 нм, а компонента с максимумом при 962,7 см<sup>-1</sup> на присутствие ансамблей дилатационных диполей – устойчивых комплексов, состоящих из центров дилатации – атома углерода в межузельной позиции и кремниевой вакансии: (C–V<sub>Si</sub>) [7,8].

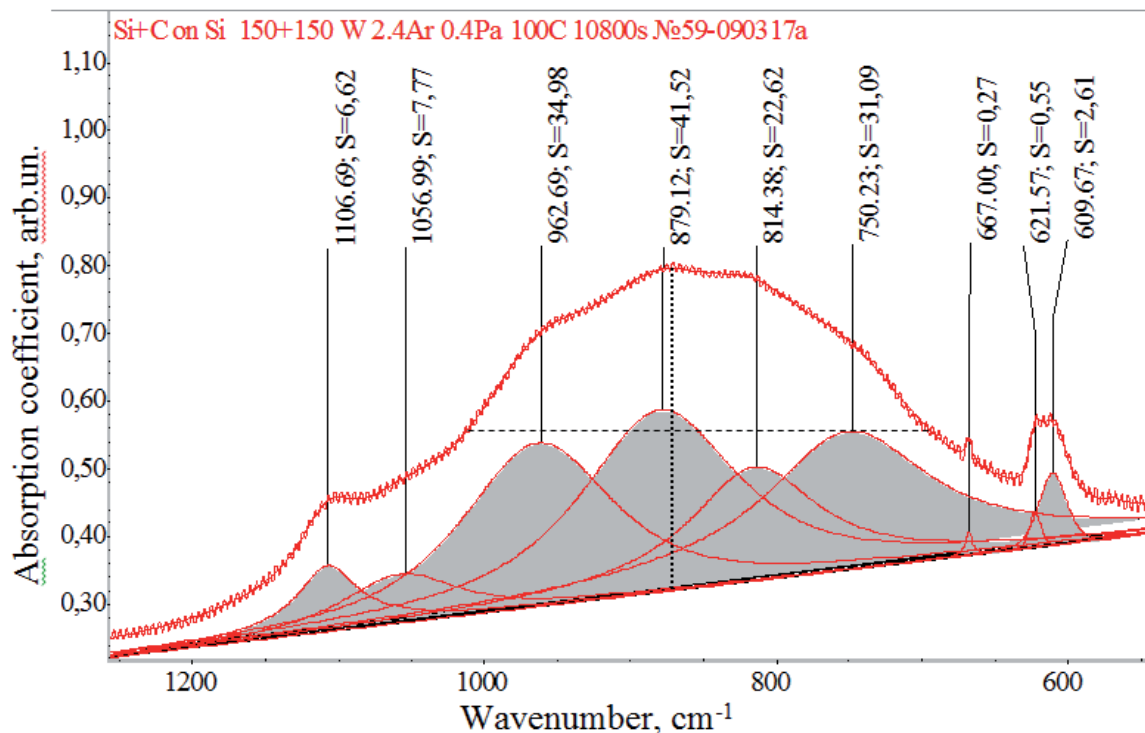


Рис. 1 – Разложение ИК-спектра поглощения пленки  $\text{SiC}_x$ , осажденной на поверхности пластины Si магнетронным распылением в высокочастотном режиме (13,56 МГц, 150 Вт, 3 часа, Ar – 2,4 л/ч, 0,4 Па)

Исходя из вышеизложенного, почти половина (49,2%, таблица) Si-C-связей находятся в составе очень мелких зародышей нанокристаллов [11]. При этом мелкие зародыши нанокристаллов имеют размеры меньше 3 нм и структура их недостаточно сформирована для кристаллической структуры [11], которая могла бы давать, например, рентгеновские отражения SiC сразу после осаждения пленки. Это можно отнести к необычному результату, так как пленка не была подвергнута отжигу. Формирование мелких зародышей нанокристаллов может быть трактовано воздействием высокочастотного поля, способствующего упорядочению структуры пленки в процессе ее «утрамбовки».

Как сказано выше, на рисунке 1 имеется компонента с максимумом при  $1106,69 \text{ см}^{-1}$ , отражающая присутствие междуузельного кислорода в исследуемом образце [14].

В [14] было показано, что основная полоса поглощения окисла является, в основном, суммой четырех профилей, обусловленных поперечными (TO) валентными колебаниями мостикового кислорода, входящего в состав таких молекулярных комплексов, как  $\text{SiOSi}_3$  ( $995 \text{ см}^{-1}$ ),  $\text{SiO}_2\text{Si}_2$  ( $1033 \text{ см}^{-1}$ ),  $\text{SiO}_3\text{Si}$  ( $1067 \text{ см}^{-1}$ ),  $\text{SiO}_4$  ( $1100 \text{ см}^{-1}$ ). Полосы, связанные с продольными валентными колебаниями связи Si-O также обусловлены движениями атомов мостикового кислорода, входящего в состав комплексов  $\text{SiOSi}_3$  ( $1145 \text{ см}^{-1}$ ) и  $\text{SiO}_2\text{Si}_2$  ( $1205 \text{ см}^{-1}$ ). На рисунке 1 положение максимума при  $1106,69 \text{ см}^{-1}$  свидетельствует о превалировании в слое окисла комплексов  $\text{SiO}_4$  ( $1100 \text{ см}^{-1}$ ). Также предполагается присутствие молекулярных комплексов  $\text{SiO}_3\text{Si}$  ( $1067 \text{ см}^{-1}$ ), обусловивших появление компоненты с максимумами при  $1056,99 \text{ см}^{-1}$ .

Таблица – Площади  $S$  компонент SiC-пика при волновых числах  $w$  для ИК-спектров, подвергнутых разложению, от пленок SiC на  $c$ -Si, осажденных в течение 3 часов

T, °C	Параметр	Расположение максимума компоненты SiC-пика					
		SiC-кластеры и дилатационные диполи (900-965 $cm^{-1}$ )	SiC-кристаллы (795-800 $cm^{-1}$ ), нанокристаллы и их зародыши (~800-900 $cm^{-1}$ )		SiC-аморфный (~700-794 $cm^{-1}$ )	$\Sigma S$	
100°C	$w, cm^{-1}$	962,69		879,12	814,38	750,23	
	$S, o.e.$	34,98		41,52	22,62	31,09	130,2
	$S, \%$	26,9		31,8	17,4	23,9	100,0
	$\Sigma S$	34,98=26,9%		64,14=49,2%		31,09=23,9%	100%
970°C, 5 min	$w, cm^{-1}$	962,00		879,00	814,00	750,00	
	$S, o.e.$	42,77		46,17	40,36	37,58	166,9
	$S, \%$	25,6		27,7	24,2	22,5	100,0
	$\Sigma S$	42,77=25,6%		86,53=51,9%		37,58=22,5%	100%

Проведен быстрый отжиг толстых пленок в вакууме при температуре 970°C в течение 5 минут. Подъем температуры осуществлен в течение 10 секунд. Быстрый отжиг привел к увеличению амплитуды SiC-пика от 0,473 до 0,732 отн. ед., уменьшению полуширины от 320 до 247  $cm^{-1}$  и смещению максимума пика от 870 до 820  $cm^{-1}$  (рис. 2).

Для кристаллической структуры карбида кремния (3C-SiC) характерна тетраэдрическая Si-C-связь, поглощающая при 795,9  $cm^{-1}$ . Уменьшение полуширины и сдвиг максимума SiC-пика в направлении к 795,9  $cm^{-1}$  после отжига свидетельствуют об упорядочении структуры пленки и формировании нанокристаллов SiC [6,11]. Однако в данном случае положение максимума SiC-пика (820  $cm^{-1}$ ) указывает на превалирование мелких нанокристаллов SiC, поглощающих при повышенных волновых числах. Величина полуширины SiC-пика (247  $cm^{-1}$ ), существенно превосходящая величины 70-130  $cm^{-1}$ , характерные для SiC-пика от нанокристаллических пленок [11], свидетельствует о присутствии аморфной составляющей и кластеров. Увеличение температуры отжига должно увеличить

размеры мелких нанокристаллов и вызвать смещение положения максимума ИК-спектра вплоть до 795,9  $cm^{-1}$ .

Для сравнения с вышеизложенными результатами по формированию Si-C-связей было проведено разложение на компоненты пика SiC образца после быстрого отжига при температуре 970°C в течение 5 минут (рис. 2). При этом положение компонент при разложении было зафиксировано в соответствии с их положением в ИК-спектре сразу после осаждения (рис.1). Пик SiC в ИК-спектре разложен на компоненты с максимумами при 750,00  $cm^{-1}$ , 814,00  $cm^{-1}$ , 879,00  $cm^{-1}$ , 962,00  $cm^{-1}$ . Определены площади компонентов спектра, количество которых также не менялось.

Интегральное поглощение пика SiC (см. таблицу) после отжига превосходит по площади на 28% величину пика SiC до отжига (166,7/130,2=1,282). Это свидетельствует о росте количества оптически активных Si-C-связей вследствие распада оптически неактивных углеродных и углеродно-кремниевых кластеров в процессе быстрого отжига. При этом произошло увеличение количества оптически активных Si-C-связей как в аморф-

ной, так и в кристаллической фазе и в составе кластеров и диполей (таблица). Более интенсивное формирование кристаллической фазы, поглощающей вблизи  $800\text{ см}^{-1}$ , привело к таким факторам, как рост амплитуды пика, сдвиг его максимума и уменьшение полуширины, свидетельствуя об упорядочении структуры пленки и интенсивном формирова-

нии Si-C-связей тетраэдрической ориентации [6,8,11,15]. Согласно данным, приведенным в [13], теоретические величины пиков инфракрасного поглощения для кубической, гексагональной и ромбической модификаций следующие:  $795,9\text{ см}^{-1}$  для  $\beta$ -SiC (3C-SiC),  $799,5\text{ см}^{-1}$  для 2H-SiC,  $797,6\text{ см}^{-1}$  для 4H-SiC,  $797,0\text{ см}^{-1}$  для 6H-SiC,  $797,5\text{ см}^{-1}$  для 15R-SiC.

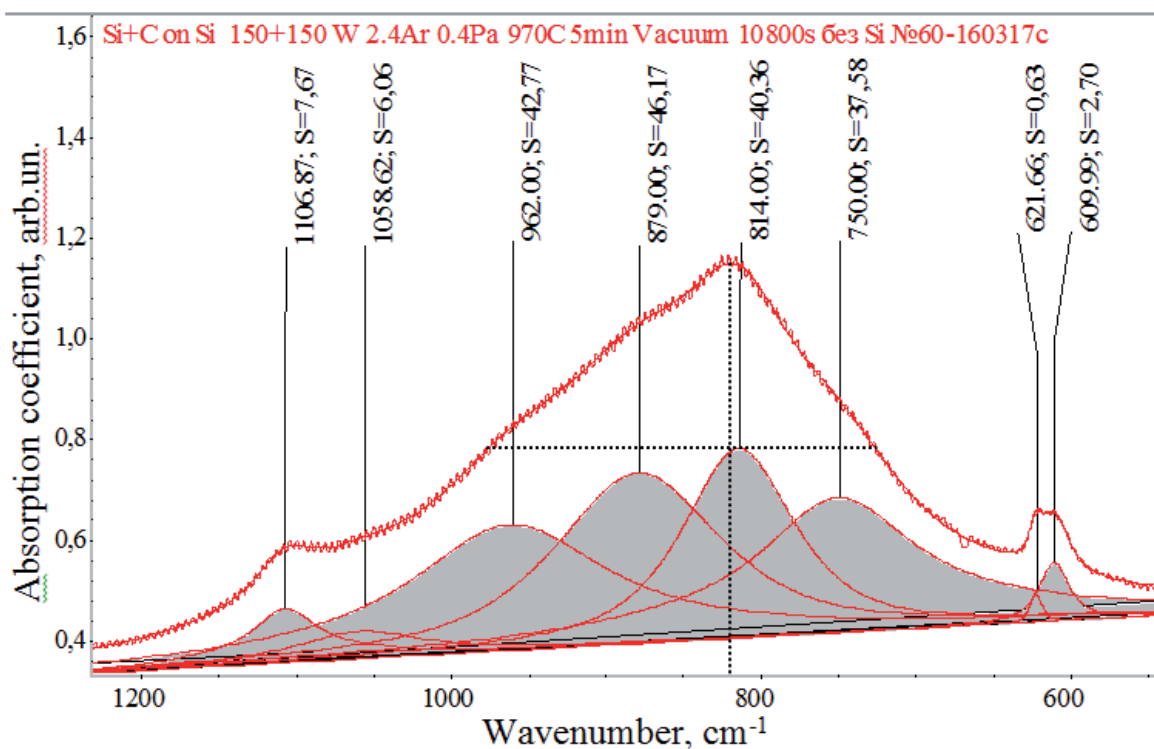


Рис. 2 – Разложение ИК-спектра поглощения пленки SiC, осажденной на поверхности пластины c-Si магнетронным распылением (150 Вт, 10800 с, Ar – 2,4 л/ч, 0,4 Па) после быстрого отжига (970°C, 5 минут, вакуум)

Как весьма интересный факт можно рассматривать слабое уменьшение доли аморфной составляющей, к которой отнесена компонента с максимумом при  $750\text{ см}^{-1}$  – от 23,9% до 22,5%. Из этого следует, что формирование кристаллической фазы происходит не за счет аморфной фазы и это нетрадиционно. Доля кластеров SiC и диполей также уменьшилась незначительно – от 26,9% до 25,6%. Как ясно видно из таблицы, увеличение доли (от 17,4% до 24,2%) нанокристаллов SiC, поглощающих вблизи  $814\pm\Delta\omega\text{ см}^{-1}$ , произошло за счет уменьшения доли (от 31,8% до 27,7%) мелких зародышей SiC, поглощающих в области  $879\pm\Delta\omega\text{ см}^{-1}$ .

Таким образом выявлено, что кристаллизация толстой пленки карбида

кремния происходит не за счет кристаллизации аморфной фазы, а за счет увеличения размеров и упорядочения структуры мелких зародышей SiC с их трансформацией в нанокристаллы SiC.

### Выводы

Методом магнетронного распыления при одновременном распылении мишени кремния и мишени графита в высокочастотном режиме 13,56 МГц осуществлен синтез толстых пленок карбида кремния на поверхности c-Si. Впервые показано превалирование укороченных Si-C-связей в аморфной пленке карбида кремния сразу после осаждения, приведшее к смещению максимума ИК-спектра в область выше  $800\text{ см}^{-1}$  – вплоть до  $870\text{ см}^{-1}$ . Результаты

тракуются интенсивным зародышеобразованием в процессе осаждения. Наблюдалось нестандартное смещение максимума SiC-пика ИК-спектра из коротковолновой области ( $870\text{ см}^{-1}$ ) в длинноволновую область ( $820\text{ см}^{-1}$ ) спектра после быстрого отжига при темпе-

ратуре  $970^\circ\text{C}$  в течение 5 минут. Выявлено, что кристаллизация толстой пленки карбида кремния происходит за счет увеличения размеров и упорядочения структуры мелких зародышей SiC с их трансформацией в нанокристаллы SiC.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Liao F., Girshick S.L., Mook W.M., Gerberich, W.W., Zachariah, M.R. Superhard nanocrystalline silicon carbide films // *Appl. Phys. Lett.* – 2005. – 86. – P. 171913 – 171915.
2. Афанасьев А.В., Ильин В.А., Корляков А.В., Лебедев А.О., Лучинин В.В., Таиров Ю.М. Карбид кремния. Вклад СПбГЭТУ «ЛЭТИ». Признание и перспективы // В кн. Физика и технология микро- и наносистем. – 2011. – С. 50-86 /под ред. В.В. Лучинина и В.В. Малиновского – Санкт-Петербург: Изд. Русская коллекция. – 2011. – 239 с.
3. Yan H., Wang B., Song X.M., Tan L.W., Zhang S.J., Chen G.H., Wong S.P., Kwok R.W.M., Leo W.M.L. Study on SiC layers synthesized with carbon ion beam at low substrate temperature // *Diamond and related materials.* – 2000. – 9. – P. 1795 – 1798.
4. Chen D., Wong S.P., Yang Sh., Mo D. Composition, structure and optical properties of SiC buried layer formed by high dose carbon implantation into Si using metal vapor vacuum arc ion source // *Thin Solid Films.* – 2003. – 426. – P. 1 – 7.
5. Calcagno L., Musumeci P., Roccaforte F., Bongiorno C., Foti G. Crystallization mechanism of amorphous silicon carbide. // *Appl. Surf. Sci.* – 184. – 2001. – P. 123–127.
6. Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Zharikov S.K., Beisembetov I.K., Kenzhaliev B.K., Akhmetov T.K., Seitov B.Zh. Structure and Composition of Silicon Carbide Films Synthesized by Ion Implantation. // *Phys. Solid State.* – 56(11). – 2014. – P. 2307–2321.
7. Kukushkin S.A., Osipov A.V., Feoktistov N.A. Synthesis of epitaxial silicon carbide films through the substitution of atoms in the silicon crystal lattice: a review. // *Phys. Solid State.* – 56 (8). – 2014. – P. 1507–1535.
8. Kukushkin S.A., Nussupov K.Kh., Osipov A.V., Beisenkhanov N.B., Bakranova D.I. Structural properties and parameters of epitaxial silicon carbide films, grown by atomic substitution on the high-resistance (111) oriented silicon. // *Superlattices and Microstructures.* – 111. – 2017. – P. 899-911.
9. Перекрестов В.И., Корнющенко А.С., Загайко И.В. Получение пленок карбида кремния методом магнетронного распыления составной углерод-кремниевой мишени // *Журнал нанота электронной фізики.* – 7 (2). – 2015. – 02016(5с).
10. Joung Y.-H., Kang H.I., Kim J.H., Lee H.-S., Lee J., Choi W.S. SiC formation for a solar cell passivation layer using an RF magnetron co-sputtering system. // *Nanoscale Res. Lett.* – 2012. – 7(1):22.
11. Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B. The Formation of Silicon Carbide in the SiC<sub>x</sub> Layers (x = 0.03–1.4) Formed by Multiple Implantation of C Ions in Si. In book: *Silicon carbide – Materials, Processing and Applications in Electronic Devices.* – 2011. – Ed. Moumita Mukherjee. – InTech. – Chapter 4. – P. 69 – 114.
12. Chen D., Cheung W.Y., Wong S.P. Ion beam induced crystallization effect and groth kinetics of buried SiC layers formed by carbon implantation into silicon // *Nuclear Instruments and Methods in Phys.Res. B.* – 148. – 1999. – P. 589–593.
13. Mutschke H., Andersen A.C., Clément D., Henning T. Peiter. Infrared properties of SiC particles // *Astron. Astrophys.* – 1999. – V. 345. –P. 187–202.

14. Лисовский И.П., Индутный И.З., Гненный Б.Н., Литвин П.М., Мазунов Д.О., Оберемок А.С., Сопинский Н.В., Шепелявый П.Е. Фазово-структурные превращения в пленках SiO<sub>x</sub> в процессе вакуумных термообработок // Физика и техника полупроводников. – 2003. – Т. 37, вып.1. – С. 98-103.
15. Nussupov K.Kh., Beisenkhanov N.B., Valitova I.V., Mit' K.A., Mukhamedshina D.M., Dmitrieva E.A. Structure properties of carbon implanted silicon layers // J. of Materials Science: Materials in Electronics. – 2008. – 19. – P. 254–262.

УДК 669.053.4  
МРНТИ 53.03.01

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ ШЛАКОВ МЕДНОЙ ПЛАВКИ

Р.Х. ШАРИПОВ, У.А. БАЛГИМБАЕВА, Б.Т. УТЕЛБАЕВ, Э.Н. СУЛЕЙМЕНОВ

*Казахстанско-Британский технический университет*

**Аннотация:** В статье приведены экспериментальные результаты по определению влияния нестационарных энергетических воздействий на транспорт электрического тока через расплавы металлургических шлаков (электролитов по современным понятиям). Показано, что транспортные свойства расплавов зависят не только от химического состава и температуры, но структурных особенностей жидкости. Сделан вывод, что аномалии в электропроводности расплавов можно пояснить только влиянием ориентационных эффектов в надмолекулярных (молекулярных) элементах структуры расплавов и физико-химическими взаимодействиями в расплавах при изменении температуры (молекулярное движение, межмолекулярные химические реакции и т.п.).

Сделан вывод об электронном типе проводимости расплавов металлургических шлаков и отсутствии самопроизвольной электролитической диссоциации (при расплавлении и растворении) при фазовом переходе первого рода.

**Ключевые слова:** расплавы оксидов, металлургические шлаки, электропроводность, нестационарные энергетические воздействия

## EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE INFLUENCE OF AN ELECTROMAGNETIC FIELD ON THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF COPPER FOUR SLAGS

**Abstract:** The article presents experimental results on determining the influence of unsteady energy effects on the transport of electric current through melts of metallurgical slag (electrolytes according to modern concepts). It is shown that the transport properties of the melts depend not only on the chemical composition and temperature, but also on the structural features of the liquid. It is concluded that the anomalies in the electrical conductivity of the melts can only be explained by the influence of orientation effects in the supramolecular (molecular) elements of the structure of the melts and by physicochemical interactions in the melts when the temperature changes (molecular motion, intermolecular chemical reactions, etc.).

The conclusion is drawn about the electronic type of conductivity of metallurgical slag melts and the absence of spontaneous electrolytic dissociation (during melting and dissolution) during a first-order phase transition.

**Keywords:** oxide melts, metallurgical slag, electrical conductivity, non-stationary energy impacts

## МЫС БАЛҚЫТУ ШЛАКТАРЫНЫҢ ЭЛЕКТР ӨТКІЗГІШТІГІНЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ӨРІСТІҢ ӘСЕРІН ЭКСПЕРИМЕНТТІК АНЫҚТАУ

**Аңдатпа:** Мақалада металлургиялық шлактардың балқымалары арқылы электр тогының тасымалына стационарлы емес энергетикалық әсерлердің тигізетін әсерін анықтау бойынша эксперименталды нәтижелер келтірілген (қазіргі түсініктер бойынша электролиттер). Балқытпалардың тасымалдау қасиеттері тек химиялық құрамы мен температурасына ғана емес, сұйықтықтың құрылымдық ерекшеліктеріне байланысты екені көрсетілген. Қорытпалардың электрөткізгіштігіндегі аномалияларды тек балқымалар құрылымының молекулалық элементтеріндегі бағдарлау әсерлерінің әсерімен және температураның өзгеруі кезінде (молекулалық қозғалыс, молекулааралық химиялық реакциялар және т.б.) балқымаларда физикалық-химиялық өзара әсерлердің әсерімен түсіндіруге болады деген тұжырым жасалды.

*Металлургиялық қождар балқымаларының өткізгіштігінің электрондық түрі және бірінші текті фазалық өту кезінде өздігінен электролиттік диссоциацияның болмауы (балқу және еріту кезінде) туралы қорытынды жасалды.*

**Түйінді сөздер:** оксидтердің балқымалары, металлургиялық шлактар, электрөткізгіштігі, стационарлық емес энергетикалық әсер ету

### Введение

В настоящее время уже не вызывает сомнений, что макроскопическое поведение расплавов (как, впрочем, и водных растворов) во многом определяется их внутренней структурой или, иными словами, микроструктурой. Необходимо отметить, что, несмотря на активные исследования последних лет, сохраняется положение, когда не существует единой (или хотя бы в чем-то сходящейся) точки зрения на механизм и принцип формирования структурных элементов как расплавов, так и водных растворов. Тем не менее можно утверждать, что сам факт влияния микроструктуры на макроскопическое поведение жидких систем находится в противоречии с существующей в настоящее время моделью транспорта электрического тока через растворы и расплавы. Действительно, теория электролитической диссоциации, призванная пояснить механизм транспорта электрического тока через жидкость и, согласно которой, в растворе и расплаве образуются свободные ионы, скорее наоборот говорит о деструктурировании составляющих раствора, нежели об образовании каких-либо более сложных агрегатов. Комплексом исследований нами было установлено, что стационарное энергетическое влияние в конечном итоге приводит к стабилизации системы с достижением статического или динамического равновесия в зависимости от характера энергетического воздействия и его природы. В таком случае анализировать механизм и отдельные ступени физико-химических процессов в реальных системах становится затруднительным. Так, при исследовании электропроводности конденсированных фаз, особенно жидкости, достаточно быстрое достижение псевдоравновесного состояния не дает возможности увидеть всю гамму межатомных и межмолекулярных трансформаций в такой, на первый взгляд, простой системе, как пара электродов-электролит [1-5].

Поэтому нами проводились исследования по особенностям фазовых переходов в жидких расплавах – шлаках медной плавки - под влиянием переменных комбинированных электромагнитных полей.

Мы хотели показать возможность управления электропроводностью жидкости с помощью переменных электромагнитных полей, что дало бы основание сделать вывод об электронном типе проводимости расплавов (электролитов по современным представлениям).

Запланированные эксперименты по исследованию влияния переменных электромагнитных полей на электропроводность и, следовательно, на структурные преобразования [3] «естественных» металлургических оксидно-сульфидных расплавов проводились при температурах выше температуры плавления образцов шлаков. Ниже приводятся некоторые результаты систематических исследований этих расплавов.

Методика эксперимента приведена в [2]. Как ранее нами указывалось, недостатком методики, который пока преодолеть не удастся, является совмещение нагрева, и влияния переменных электромагнитных полей. Эти действия выполняются одним и тем же соленоидом из графита. Поэтому численные значения показаний электропроводности в последующих экспериментальных данных превышают таковые, полученные в условиях обычных экспериментов из-за немедленного смещения компонентов расплава относительно друг друга в начале расплавления металла.

Следует отметить, что пересчет показаний вольтметра измерительной схемы, которые демонстрируют изменение сопротивления расплава на значения электропроводности, приводит к значительному нивелированию показаний, особенно в случае их нестабильности. Поэтому в табличных дан-

ных приведены показания вольтметра наряду с вычисленными значениями электропроводности расплавов.

В таблице 1 приведены данные по электропроводности шлаков «медленного» пирометаллургического процесса – отражательной плавки необожженных медных концентратов Балхашского медьзавода. Как следует из данных таблицы 1, при медленном повышении температуры в интервале 1350-1450°C показания электропроводности отличались существенной нестабильностью и удерживались на уровне 0,21-0,3 Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>. При отключении магнитного поля электропроводность увеличивалась скачком до значения 1,37-1,41 Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>, т.е. увеличение происходило в 4,5-6,7 раза. Очевидно, что переменные электромагнитные поля вызывали изменения в ориентации надмолекулярных комплексов и уменьшение величины электропроводности расплава. Нестабильность показаний вызывается, очевидно, термическими влияниями на структуру и ориентацию надмолекулярных соединений.

При определении влияния электромагнитных полей на электропроводность рас-

плавов шлака «быстрого» процесса – плавки Ванюкова – балхашских необожженных медных концентратов в жидкой оксидной ванне установлено, что электропроводность шлака плавки Ванюкова значительно отличается по характеристикам от шлака отражательной плавки. Ориентационные эффекты проявляются здесь более ярко. При сравнительно стабильной температуре в интервале 1548-1563°C электропроводность постоянно уменьшалась от начального значения 0,5 Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup> до 0,2 Ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>. При отключении тока на соленоид электропроводность скачком выросла в 23,75 раза. Нестабильность показаний при уменьшении электропроводности под влиянием электромагнитного поля (последовательное уменьшение-увеличение-уменьшение) также более выражена, чем у шлака «медленного» процесса. По данным наших предыдущих исследований (рентгеноструктурный и петрографический анализы) шлаки ПВ имеют более выраженную кристаллическую структуру, чем шлаки отражательной плавки. Что и поясняет большую способность к перемене ориентации под влиянием электромагнитных полей.

**Таблица 1 – Влияние электромагнитного поля на электропроводность шлака отражательной плавки БГМК**

τ, замера от реперной точки	T,°C	ε, мВ	ε, Ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>	τ, замера от реперной точки	T,°C	ε, мВ	ε, Ом <sup>-1</sup> см <sup>-1</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>0</b>	1405	ниже предела шкалы		30 сек	1237	1,22	1,40
<b>1 мин</b>	1416	->-		45 сек	1218	1,30	1,32
<b>2 мин</b>	1416	6,95	0,25	<b>9 мин</b>	1195	1,40	1,22
15 сек	1426	5,60	0,31	15 сек	1178	1,50	1,14
30 сек	1426	5,75	0,30	30 сек	1162	1,76	0,97
45 сек	1427	6,24	0,27	45 сек	1125	1,90	0,90
<b>3 мин</b>	1429	5,74	0,3	<b>10 мин</b>	1106	2,08	0,82
15 сек	1430	5,86	0,29	15 сек	1093	2,26	0,76
30 сек	1430	5,18	0,33	30 сек	1082	2,47	0,69
35 сек	1433	6,00	0,29	45 сек	1065	2,96	0,58
45 сек	1438	5,76	0,30	<b>11 мин</b>	1052	3,27	0,52
<b>4 мин</b>	1438	6,28	0,27	15 сек	1040	3,43	0,50
15 сек	1436	6,00	0,29	30 сек	1013	4,0	0,43
30 сек	1438	6,15	0,28	45 сек	1001	4,45	0,38
45 сек	1439	6,55	0,26	<b>12 мин</b>	980	5,0	0,34
<b>5 мин</b>	1438	6,91	0,25	15 сек	970	6,11	0,28

1	2	3	4	5	6	7	8
15 сек	1444	6,07	0,28	30 сек	960	6,84	0,25
30 сек	1441	6,40	0,27	45 сек	950	8,55	0,20
45 сек	1442	6,38	0,27	<b>13 мин</b>	930	9,59	0,18
выключено э/м поле				включено э/м поле			
<b>6 мин</b>	1452	1,25	1,37	<b>14 мин</b>	900	ниже уровня шкалы	
15 сек	1453	1,25	1,37	<b>15 мин</b>	875	->-	
30 сек	1445	1,24	1,38	<b>16 мин</b>	950	->-	
45 сек	1430	1,25	1,37	<b>17 мин</b>	1091	->-	
<b>7 мин</b>	1390	1,23	1,39	<b>18 мин</b>	1192	->-	
15 сек	1369	1,23	1,39	<b>19 мин</b>	1255	->-	
30 сек	1340	1,23	1,39	45 сек	1284	9,85	0,17
45 сек	1320	1,25	1,37	<b>20 мин</b>	1293	9,16	0,19
<b>8 мин</b>	1300	1,22	1,40	15 сек	1303	8,68	0,20
15 сек	1275	1,22	1,40	30 сек	1320	7,95	0,22
45 сек	1327	7,90	0,22	45 сек	1414	1,24	1,38
21 мин	1328	7,80	0,22	<b>31 мин</b>	1390	1,27	1,35
15 сек	1330	7,74	0,22	15 сек	1366	1,26	1,36
30 сек	1337	7,19	0,24	30 сек	1341	1,25	1,37
45 сек	1346	7,16	0,24	45 сек	1321	1,20	1,43
<b>22 мин</b>	1354	7,27	0,24	<b>32 мин</b>	1303	1,20	1,43
15 сек	1362	7,18	0,24	15 сек	1278	1,22	1,40
30 сек	1362	6,84	0,25	30 сек	1237	1,32	1,30
45 сек	1369	6,80	0,25	45 сек	1221	1,55	1,10
<b>23 мин</b>	1372	6,75	0,25	<b>33 мин</b>	1203	1,69	1,01
15 сек	1380	6,60	0,26	15 сек	1182	1,58	1,10
30 сек	1384	6,72	0,25	30 сек	1147	2,07	0,83
45 сек	1387	6,90	0,25	45 сек	1129	2,26	0,76
<b>24 мин</b>	1390	7,23	0,24	<b>34 мин</b>	1100	2,49	0,69
15 сек	1397	7,10	0,24	15 сек	1090	2,76	0,62
30 сек	1399	7,38	0,23	30 сек	1080	3,40	0,50
45 сек	1404	7,24	0,24	45 сек	1055	3,80	0,45
<b>25 мин</b>	1406	7,80	0,22	<b>35 мин</b>	1050	4,25	0,40
15 сек	1409	7,10	0,24	15 сек	1040	4,75	0,36
30 сек	1413	7,70	0,22	30 сек	1020	5,31	0,32
45 сек	1416	7,14	0,24	45 сек	1010	6,70	0,26
<b>26 мин</b>	1416	7,45	0,24	<b>36 мин</b>	1000	7,57	0,23
15 сек	1416	7,57	0,23	15 сек	980	8,60	0,20
30 сек	1422	7,08	0,24	30 сек	970	9,72	0,18
45 сек	1423	7,60	0,23	45 сек	950	ниже предела шкалы	
<b>27 мин</b>	1426	7,05	0,24	<b>37 мин</b>	940		
15 сек	1429	7,28	0,23	включено э/м поле			
30 сек	1429	6,89	0,25	15 сек	925	ниже предела шкалы	
45 сек	1430	7,23	0,24	<b>38 мин</b>	900		
<b>28 мин</b>	1433	6,92	0,25	<b>39 мин</b>	970		
15 сек	1433	7,15	0,24	<b>40 мин</b>	1090		
30 сек	1435	7,10	0,24	<b>41 мин</b>	1189		
45 сек	1435	6,76	0,25	<b>42 мин</b>	1255		

1	2	3	4	5	6	7	8
<b>29 мин</b>	1436	7,18	0,24	45 сек	1292	9,96	0,17
15 сек	1438	7,00	0,24	<b>43 мин</b>	1300	9,67	0,18
30 сек	1439	6,28	0,27	15 сек	1307	9,20	0,19
45 сек	1445	7,30	0,23	30 сек	1314	8,95	0,19
выключено э/м поле				45 сек	1329	8,75	0,20
<b>30 мин</b>	1452	1,18	1,45	<b>44 мин</b>	1333	8,47	0,20
15 сек	1452	1,21	1,41	15 сек	1337	8,32	0,21
30 сек	1445	1,2	1,43	30 сек	1346	8,12	0,21
45 сек	1348	8,00	0,21	<b>47 мин</b>	1393	7,85	0,22
<b>45 мин</b>	1357	6,90	0,25	15 сек	1401	8,00	0,21
15 сек	1359	8,00	0,21	30 сек	1405	8,05	0,21
30 сек	1371	7,35	0,23	45 сек	1405	8,00	0,21
45 сек	1375	7,80	0,22	выключено э/м поле			
<b>46 мин</b>	1375	7,89	0,22	<b>48 мин</b>	1414	1,29	1,33
15 сек	1383	7,85	0,22	15 сек	1416	1,24	1,38
30 сек	1386	7,38	0,23	30 сек	1413	1,24	1,38
45 сек	1390	7,65	0,22	45 сек	1405	1,26	1,36
				<b>49 мин</b>	1386	1,27	1,35

При исследовании электропроводности шлака шахтной плавки Карсакпайского медно-цинкового завода установлено, что показания электропроводности при 1420<sup>0</sup>С и несколько более, оказались ниже предела чувствительности шкалы прибора. При отключении тока на соленоид на 10 секунд электропроводность скачком выросла до 0,27 ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup> и после подачи тока вернулась на прежнюю позицию также скачком. После достижения 1430<sup>0</sup>С был выключен ток на соленоид, однако электропроводность скачком выросла только до 0,23 ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup> и затем со значительной скоростью (порядка 0,003 ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup> в секунду) увеличилась до 0,45 ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup>. После этого электропроводность спонтанно уменьшалась по мере охлаждения расплава. После повторения процедуры нагрева до 1450<sup>0</sup>С электропроводность также была ниже предела шкалы. После отключения тока на соленоид характер изменения электропроводности отличался от первого измерения. Электропроводность скачком выросла до 0,41 ом<sup>-1</sup>см<sup>-1</sup> и сразу же начала спонтанно снижаться до нулевого значения. Очевидно, что в данном случае наблюдается выраженное структурное преобразование системы под влиянием переменных электромагнитных полей.

Влиянию электромагнитных полей на проводимость шлака шахтной плавки Иртышского медного завода резко отличается от предыдущих данных. Электропроводность также нестабильна, но ее значение при 1472<sup>0</sup>С очень велико. Характер изменения электропроводности говорит о высокой концентрации проводящих элементов в межэлектродном пространстве измерительной ячейки. Установлено, что концентрация высокопроводящих компонент расплава между электродами может вызвать своеобразное «короткое замыкание» с неоправданно высоким значением электропроводности по сравнению литературными данными.

### Выводы

Исследовалось влияние переменных электромагнитных полей на «естественные» оксидно-сульфидные расплавы – шлаки различных медных плавков.

Показано, что аномалии в зависимости электропроводности от температуры для промышленных расплавов аналогичны аномалиям в поведении синтетических оксидных систем. Экспериментально установлено, что наличие ориентационных эффектов может оказывать значительное влияние на измене-

ния электропроводности при изменении температуры. Обнаружен эффект «запирания» электропроводности переменными электромагнитными полями. Показано, что изменения электропроводности по схеме уменьшение-увеличение-уменьшение при сравнительно стабильных температурах характерны и для оксидно-сульфидных расплавов, также как и для синтетических оксидных жидкостей. Показано, что молекулярное движение может вызвать своеобразное «короткое замыкание» электродов измерительной ячейки с неоправданно (по литературным данным) высоким значением проводимости. Как и для синтетических оксидных расплавов для шлаков может быть характерно повышение электропроводности при охлаждении расплава и наличие электропроводности при температурах ниже температуры плавления.

Указанные аномалии можно пояснить только влиянием ориентационных эффектов в надмолекулярных (молекулярных) элементах структуры расплавов и физико-химическими взаимодействиями в расплавах при измене-

нии температуры (молекулярное движение, межмолекулярные химические реакции и т.п.).

Сделан вывод об электронном типе проводимости расплавов металлургических шлаков и отсутствии самопроизвольной электролитической диссоциации (при расплавлении и растворении) при фазовом переходе первого рода.

Аномалии в поведении электропроводности шлаковых расплавов под влиянием переменных электромагнитных полей подтверждают вывод об анизотропии, а, следовательно, о молекулярной структуре проводящих компонент оксидно-сульфидных расплавов, который сделан на основе физико-математического анализа.

Такой вывод имеет далеко идущие практические и научные последствия. Он может служить теоретической базой для расширения арсенала средств практического влияния на механизм и скорость химических реакций, т.е. базой для создания новых технических решений в металлургии и химической технологии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Утелбаев Б.Т., Сулейменов Э.Н., Утелбаева А.Т. Взаимосвязь энергетических воздействий и формирования структуры веществ. ПУТЬ НАУКИ (ISSN 2311 – 2158). – № 4(4). – 2014. – С. 27 -32.
2. Suleimenov E.N. Microstructure of Electrolytes, Electrolytic Dissociation: Key Issues of Modern Natural Science. Program Book IUPAC – 2015 Busan, 45-th World Chemistry Congress, August 9-14, 2015, Vexco, Busan, Korea. PosterPC 10, P. 53.
3. Утелбаев Б.Т., Маркаев Е.К., Мырзаханов М.М., Сулейменов Э.Н. Изменение структуры жидких систем под влиянием физических воздействий. Scienceandworld. – 2015. – № 8 (24). Vol.I, P. 40 – 45.
4. Красиков С.А., Утелбаев Б.Т., Сулейменов Э.Н. Влияние нестационарного электрического тока на систему оксидный расплав–газовая фаза. Сборник докладов «Первой международной конференции по интеллектоемким технологиями в энергетике (физическая химия и электрохимия расплавленных и твердых электролитов). – Екатеринбург, 2017 г. – С. 377-379.
5. R. Sharipov, M. Myrzakhanov, B. Utelbayev, E. Suleimenov. Organizations of unusual chemical reactions under the influence of unsteady impacts. 6th International Conference on Environment (ICENV 2018) 11-13th December 2018, Malaysia. – P. 122. Cite as: AIP Conference Proceedings 2124, 030015 (2019); <https://doi.org/10.1063/1.5117137>. Published Online: 24 July 2019

УДК 546.85  
МРНТИ 31.17.15

## ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ВЕРОЯТНОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ ФОСФОРНО-КАЛИЙНОГО УДОБРЕНИЯ ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ КОТТРЕЛЬНОГО МОЛОКА

А. ШОЛАК, А.Н. НУРЛЫБАЕВА, С.М. КАНТАРБАЕВА, Х.Р. САДИЕВА,  
Г.К. МАТНИЯЗОВА, Э.А. БАЙБАЗАРОВА

*Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати*

**Аннотация:** В данной работе были получены соединения  $K_2CaP_2O_7$  и  $KCaP_3O_9$ . Проведена экспериментальная проверка полученных соотношений и показана термодинамическая вероятность образования двойных пиро- и метафосфатов из соединений, являющихся компонентами печного газа  $K_2O$ ,  $KPO_3$ ,  $CaO$ ,  $P_2O_5$ .

**Ключевые слова:** коттрельное молоко, шламонакопители, двуокись кремния, двойной пирофосфат калия-кальция, двойной метафосфат калия-кальция

## THERMODYNAMIC PROBABILITY OF FORMATION PHOSPHORUS-CALINAL FERTILIZER WHEN TREATING COTTER MILK

**Abstract:** In this work, the compounds  $K_2CaP_2O_7$  and  $KCaP_3O_9$  were obtained. Experimental verification of the obtained relations has been carried out and the thermodynamic probability of formation of double pyro- and metaphosphates from compounds, which are components of the  $K_2O$ ,  $KPO_3$ ,  $CaO$ , and  $P_2O_5$  furnace gas, has been shown.

**Keywords:** Cottrel milk, sludge collectors, silicon dioxide, double potassium calcium pyrophosphate, double potassium calcium metaphosphate

## КОТТРЕЛЬДІ СҮТТІ ӨНДЕУ АРҚЫЛЫ ТҮЗІЛГЕН ФОСФОРЛЫ-КАЛИЙ ТЫҢАЙТҚЫШТЫҢ ТҮЗІЛУ ТЕРМОДИНАМИКАСЫНЫҢ ҰҚТИМАЛДЫЛЫҒЫ

**Аңдатпа:** Бұл жұмыста  $K_2CaP_2O_7$  және  $KCaP_3O_9$  қосылыстары синтезделген. Алынған қатынастарына тәжірибелік тексерулер жүргізілді және  $K_2O$ ,  $KPO_3$ ,  $CaO$ ,  $P_2O_5$  пештік газының компоненттері болып табылады, осы қоспадан қос пиро- және метафосфатты қосылыстардың термодинамикалық ықтималдығы анықталды.

**Түйінді сөздер:** Коттрельді сүт, шлам жинағыштар, кремний диоксиді, қос калий-кальций пирофосфаты, қос калий-кальций метафосфаты

Наиболее важной составной частью национальной экономики, где производится жизненно важная для общества продукция и сосредоточен огромный экономический потенциал, является агропромышленный комплекс. Развитие его в решающей мере определяет состояние всех отраслей экономики, уровень продовольственной безопасности государства и социально-экономическую обстановку в обществе [1].

В процессе развития промышленного производства одно из ведущих мест занимает проблема охраны окружающей среды и рациональное использование сырьевых ресурсов. Большое количество техногенных отходов создает технические и экологические проблемы их удаления и обезвреживания, приводит к значительным экологическим нагрузкам [1].

В процессе электротермического производства фосфора газовый поток, выходящий

из фосфорной печи, содержит значительные количества пыли. На 95-99% пыль осаждается в электрофильтрах и при гидроудалении пыли, формируя коттрельное «молоко», а остальное количество пыли, конденсируясь совместно с фосфором, принимает активное участие в образовании фосфорного шлама. Коттрельное молоко может частично использоваться в процессе шихто-подготовки, а дебаланс его совместно с фосфорсодержащим известковым шламом сбрасывается в специальные хранилища – шламонакопители. Осветленная часть молока коттрельного из шламоотстойников по мере отстаивания возвращается на повторное использование в отделение нейтрализации. Плотность молока коттрельного (1180-1260) г/см<sup>3</sup> (1,18 - 1,26) кг/м<sup>3</sup>). Выход молока коттрельного на тонну желтого фосфора 0,6 тонн.

Использование коттрельного молока для дальнейшей переработки на фосфорно-калийное удобрение (РК) обусловлено его химическим составом, в частности, содержанием в коттрельном молоке элементарного фосфора, калия и его окислов, других элементов.

Химический состав сырья и продуктов электротермической переработки представлен в таблице 1. В таблицу включены все элементы, содержание которых в одном из продуктов не ниже 0,1%. Содержание элементов: В – в агломерате, шлаке и коттрельной пыли ~ 0,01%. Мо и Ве в агломерате и пыли - 0,001 – 0,0001%. В пыли концентрируются не обнаруживаемые в агломерате Zn - до 1%, Se ~ до 0,001%. Остальные элементы отсутствуют. Расходные коэффициенты (расход на 1 т фосфора), взятые по данным, составили [2]:

- Агломерат – 11,5 т
- Кремнистое сырье – 0,9 т
- Кокс – 1,4 т
- Феррофосфор – 0,14 т
- Шлак – 9,45 т
- Коттрельная пыль – 0,15 т

Количество коттрельной пыли определено опытным путем по измерениям плотности и количества коттрельного молока. Так как для определения количества выпускаемого шлака не существует прямых методов измерения, то данные, приведенные в [3] по количеству шлака – 8,3 т, не коррелируются с количеством израсходованного сырья. Поэтому на основе данных по количеству исходного сырья и полученной коттрельной пыли расчетным путем (в основном по содержанию СаО) было уточнено количество шлака, которое составило 9,45 т. Распределение элементов при электротермической переработке агломерата на желтый фосфор в печах мощностью 80 МВА на НДФЗ представлено в таблице 1.

На данных таблицы 1 видно, что на 1 т получаемого фосфора расходуется 1,17 т Р<sub>4</sub>, вносимого в печь с агломератом и кремнистым сырьем. Потери фосфора (без учета потерь со шлаком) составляет 12,4%. Потери со шлаком составляют 14,8-25,5% от выработанного фосфора.

По абсолютному значению потери фосфора по сравнению с данными [20] увеличились на 3%. Наибольшие потери – 7,4% происходят со шлаком, это связано с нарушением технологического режима, несвоевременной корректировкой состава шихты.

Так за весь анализируемый период среднее содержание Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> в шлаках составило 2,04%. Необходимо указать также на неучтенные потери в виде элементарного фосфора с

**Таблица 1 – Химический состав коттрельной пыли**

$\frac{P_2O_5}{P_4}$	$\frac{CaO}{Ca}$	$\frac{MgO}{Mg}$	$\frac{SiO_2}{Si}$	$\frac{Al_2O_3}{Al}$	$\frac{Fe_2O_3}{Fe}$	$\frac{K_2O}{K}$	$\frac{Na_2O}{Na}$
40,0	12,0	3,0	23,5	26,0	0,6	15,0	2,5
17,6	8,5	1,8	10,3	12,0	0,4	12,5	1,8
C	Mn	Cr	V	Ba	Pb	Ti	Cu
2,0	0,1	0,01	0,01	0,1	0,1	0,01	0,1

коттрельным молоком, достигающие 1-2%, которые не поддаются точному учету из-за невозможности измерений и виде  $P_2O_5$ , выбрасываемые сливом на свечу из-за отсутствия данных по регулярным измерениям.

Потери с коттрельным молоком в виде фосфора оказывают существенное влияние на процесс переработки коттрельного молока на НРК – удобрения, создавая дополнительно сложности при разработке технологии переработки.

Разработка методов управления процессом пылеобразования невозможна без сведений о механизме реакций, приводящих к образованию отдельных компонентов пыли в целом. В литературе отсутствуют сведения такого рода. До недавнего времени в литературе имелись лишь разрозненные и не всегда пол-

ные данные по составу пыли [4]. Результаты исследования фазового состава пыли, проведенного в лаборатории, и сопоставление их с данными, полученными ранее другими авторами, позволили достаточно надежно диагностировать фазовый состав пыли. Установлено, что пыль различных фосфорных заводов содержит одни и те же основные компоненты, меняется лишь соотношение между ними. Таковыми компонентами являются: двуокись кремния, двойной пирофосфат калия-кальция и двойной метафосфат калия-кальция.

Суммарное содержание этих компонентов в пыли достигается нередко 30% мас. Усредненный фазовый состав пыли различных фосфорных заводов приведен в таблице 2.

**Таблица 2 – Усредненный фазовый состав пыли**

Фаза	Содержание, (% мас.)
SiO <sub>2</sub> (аморф.)	31
K <sub>2</sub> CaP <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	20
KCaP <sub>3</sub> O <sub>9</sub>	38
C	
CaF <sub>2</sub>	
K <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>	11
KCl	
Ca <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	
KCaPO <sub>4</sub>	

С целью изучения условий образования двойных пиро- и метафосфатов калия-кальция были проведены расчеты термодинамической вероятности образования названных солей из

соединений, являющихся компонентами печного газа – K<sub>2</sub>O, KPO<sub>3</sub>, CaO, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> [5].

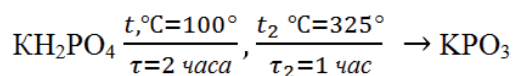
Результаты расчета приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Термодинамические характеристики реакций между компонентами печного газа**

№ п/п	Реакция	$\Delta H_{298^\circ K}$ ккал/моль	$\Delta G_{-298^\circ K}$ ккал/моль	$\Delta G_{1773^\circ K}$ ккал/моль
1	$K_2O + CaO + P_2O_5 \rightarrow K_2CaP_2O_7$	-187,0	-185,0	-159
2	$2KPO_3 + CaO \rightarrow K_2CaP_2O_7$	-45,0	-44,7	43,0
3	$K_2O + 2CaO + 3P_2O_5 \rightarrow 2KCa(PO_3)_3$	-294,0	X*	-
4	$3KPO_3 + CaO \rightarrow KCa(PO_3)_3 + K_2O$	+66,0	+67,0	-
5	$KPO_3 + CaO + P_2O_5 \rightarrow KCa(PO_3)_3$	-76,0	-73,6	-

Таким образом термодинамически наиболее вероятными в печном процессе являются реакции образования двойного пирофосфата и двойного метафосфата из  $K_2O$ ,  $CaO$ ,  $P_2O_5$  (реакции 1 и 3). Реакции с участием  $HPO_3$  менее вероятны, а в отсутствии  $P_2O_5$  не реализуются.

В соответствии с результатами термодинамических расчетов был определен синтез названных двойных соединений. Предварительно был получен метафосфат калия путем нагревания  $KH_2PO_4$  двухстадийным методом:



При  $t=100^\circ C$  происходит удаление  $H_2O$ , затем тигель медленно охлаждали, после чего нагрев проводили до  $325^\circ C$ , выдерживая 1 час.

Методами ИК-спектроскопии и рентгенофазовым диагностировали получение чистого  $KPO_3$  [6].

В соответствии с реакциями (2) и (5) таблицы 8 проводили синтез двойных пиро- и метафосфата калия-кальция методом сплавления  $KPO_3$  и  $CaCO_3$  при  $800^\circ C$ . Использование  $CaCO_3$  и  $CO_2$  обусловлено тем, что при  $800^\circ C$  происходит разложение его на  $CaO$  и  $CO_2$ , причем идет образование активной окиси кальция.

Таким образом показана термодинамическая вероятность образования двойных пиро- и метафосфатов из соединений, являющихся компонентами печного газа  $K_2O$ ,  $KPO_3$ ,  $CaO$ ,  $P_2O_5$ . Проведена экспериментальная проверка полученных соотношений, синтезированы соединения  $K_2CaP_2O_7$  и  $KCaP_3O_9$ . Сведений о физико-химических свойствах названных солей не обнаружено [7].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Программа по развитию агропромышленного комплекса в РК на 2013-2020 годы «Агробизнес-2020».
2. Баткаев Р.И. Разработка технологии получения товарной продукции из техногенных отходов производства фосфора. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Южно-Казахстанский государственный университет им. М.Ауэзова. – Шымкент, 2010 г. – 64 с.
3. Шиманский К.А., Белов В.П., Ермаков В.Ф., Ершов В.А., Султанова И.Г., Харламова И.П. Изучение физико-химических свойств пыли, образующейся при электровозгонке фосфора. – М.: МГУ, 2004. – 570 с.
4. Технология фосфорных и комплексных удобрений /Под ред. С.Д. Эвенчика и А.А. Бродского. – Изд. «Химия», 1987. – С. 36-38.
5. Методики по анализу коттрельного молока. Методики разработаны зав. ХАС ВФ ЛЕННИИГИПРОХИМА Л.Н. Гордеевой и ст. и.с. Л.И. Устелемовой. г. Тольятти, 1986 г. – 97 с.
6. Алдашов Б. Коттрельное молоко / Б. Алдашов, А. Лисица. – Алматы, 2007 г. – С. 80-120.
7. Окнина В.А. Методы анализа фосфатного сырья, фосфорных удобрений, кормовых фосфатов, комплексных удобрений /В.А. Окнина. – М.: Химия, 1975 г. – С. 57-89.

# ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

---

УДК 004.891  
МРНТИ 28.23.35

## COMPARING BIG DATA ANALYTIC TOOLS USING MUSIC DATASET

R.I. BEKTEMIROV, U.T. NURKEY

*Suleyman Demirel University*

**Abstract:** A huge repository of petabytes of data is generated each day from modern information systems and digital technologies such as scientific data analysis, social media data mining, recommendation systems, and analysis on web service logs. The data has a huge power to directly guide us to knowledge detection. Big data in turn requires whole new approach and tools to handle it. Analysing these massive data requires a lot of efforts to extract knowledge for decision making. Huge volumes of data and its unstructured nature raise new challenges and issues regarding its management and processing. This paper covers some of the most popular tools for analyzing big data. Hadoop, Spark and Pig are major and modern tools in big data analytics. Thus and so these tools were chosen for comparison. Results of this research show that various tasks require different tools and there is no all-in-one solution. Any big data problems stand in need developers to use proper tool to make job done in a way better and quicker.

**Keywords:** big data, Hadoop, Spark, Pig, comparison of big data platforms

## ҮЛКЕН ДЕРЕКТЕРДІ ТАЛДАУ ҚҰРАЛДАРЫН ӘНДЕР ЖИЙНТЫҒЫН ҚОЛДАНА САЛЫСТЫРУ

**Аңдатпа:** Деректердің петабайттарының үлкен репозиторийі күн сайын заманауи ақпараттық жүйелерден және ғылыми деректерді талдаудан, әлеуметтік медиа деректерін өңдеуден, ұсыныс жүйесінен және веб-қызмет журналдарынан талдау сияқты цифрлық технологиялардан жасалады. Деректер білімді анықтауға тікелей бағыттайтын зор күшке ие. Үлкен деректер, өз кезегінде, жаңа тәсілмен өңделуге арналған құралдарды қажет етеді. Бұл массивтік деректерді талдап маңызды деректерді табу және соған сәйкес шешімдер қабылдау көп күш жұмсауды талап етеді. Деректердің үлкен көлемі және оның құрылымдық емес сипаты оны басқару мен өңдеуге қатысты жаңа мәселелерді тудырады. Бұл мақала үлкен деректерді талдаудың ең танымал құралдарының кейбірін қамтиды. Hadoop, Spark және Pig деректерді талдауға бағытталған негізгі және заманауи құрал болып табылады, сондықтан бұл құралдар салыстыру үшін таңдалды. Осы зерттеудің нәтижелері әртүрлі тапсырмалардың әрқилы құралдарды талап ететінін көрсетеді және барлығы бірдей бір платформамен шешілмейді. Үлкен деректермен байланысты кез келген мәселелер бағдарламашылардың сапалы және жылдам жұмыс жасаулары үшін тиісті құралды пайдалануларын қажет етеді.

**Түйінді сөздер:** үлкен деректер, Hadoop, Spark, Pig, үлкен деректерді талдау құралдарын салыстыру

## СРАВНЕНИЕ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ БОЛЬШИХ ДАННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАБОРА ТЕКСТА ПЕСЕН

**Аннотация:** Огромное хранилище размерами в петабайты данных генерируется каждый день из современных информационных систем и цифровых технологий, таких как анализ научных данных, анализ данных в социальных сетях, системы рекомендаций и анализ журналов веб-служб. Данные обладают огромной силой, чтобы напрямую направлять нас к обнаружению знаний. Большие данные, в свою очередь, требуют совершенно нового подхода и инструментов для их обработки. Анализ этих массивных данных требует много усилий на разных уровнях для извлечения знаний и дальнейшего принятия решений. Огромные объемы данных и их неструктурированный характер порождают новые проблемы и вопросы, связанные с их управлением и обработкой. В этой статье рассматриваются некоторые из самых популярных инструментов для анализа больших данных – Hadoop, Spark и Pig являются основными и современными инструментами для анализа больших данных, в связи с чем эти инструменты были выбраны для сравнения. Результаты этого исследования показывают, что для различных задач требуются разные инструменты и нет единого решения. Любые проблемы с большими данными нуждаются в том, чтобы разработчики использовали соответствующий инструмент, чтобы сделать работу более качественной и быстрой.

**Ключевые слова:** большие данные, Hadoop, Spark, Pig, сравнение платформ для больших данных

### 1. Introduction

Crucial changes in traditional data analyzing platforms are being made by Big data in information era. 4V's of Big data (Volume, Velocity, Variety, Variability) is increased to 5V: value is added. Since we have general knowledge about big data's other characteristics, Value is the main point which we need to consider when any kind of data is analyzed. Thus, to play out any sort of analysis on such voluminous and complex information, scaling up the hardware stages winds up fast approaching and picking the correct tool turns into a significant choice if the client's prerequisites should be fulfilled in a sensible measure of time. There are a few major big data analysing platforms accessible with various attributes and picking the correct tool requires an inside and out learning about the abilities of each [1]. Choosing the right platform that can handle expanding amount of data and analyse them by satisfying client's demand is the main aim of this paper. In this paper we will focus on Apache Hadoop, Pig and Spark; will be provided some characteristics on each tool, highlighting advantages and disadvantages of each, followed by practical experiments with music dataset by comparing mentioned tools on:

- Iterative task support;
- Computing time, how fast results will be computed;

- Data access by I/O performance;

- Real time processing and fault tolerance

Song lyrics dataset for experiment will be used from [2], which consists from 57650 items of song and were gained from LyricsFreak. Dataset consists from only 4 columns: artist name, song name, URL reference as a link and unmodified lyrics of this song.

In this paper, we will compare mentioned tools by analysing results for each of the following tasks that will be done on Hadoop Mapreduce, Pig and Spark:

1. Finding the most popular word for each artist; (multiple transformations)
2. Finding similar songs, consists of 2 sub-tasks:
  - 1) Shingling documents by length of 5 words (iteration)
  - 2) Reducing with Jaccard Similarity (computation)

### 2. Literature Review

#### A. Apache Hadoop

Apache Hadoop is an open-source software framework for parallel processing huge sets of data on large clusters (consisting from thousands of nodes) , built from reliable commodity hardware, by using simple programming model called MapReduce. Hadoop divides files into indepen-

dent blocks, then distributes them to nodes, where they are summarized separately. Data is stored in HDFS, which is a distributed file system, where all files are neighboring set of bytes. Hadoop first implements map operations to each block of data from HDFS by sorting and redistributing results depending on key values, then second part (reducer) consists from collecting data items with same keys. Reducers can aggregate the intermediate results from mapper to generate final result and write them again to HDFS. Thousands of map and reduce tasks run across different nodes in each cluster parallelly. YARN is one more component of Hadoop which is responsible for coordinating applications runtime. Survey about parallel data processing with MapReduce is accessible in [3].

There are diverse coding approaches besides Hadoop MapReduce, like Pig script and Hive interface, but both works on top of Hadoop Mapreduce.

#### B. Apache Pig

Apache Pig is a platform that was built on top of MapReduce by Yahoo Company, providing developers better control on MapReduce. As java has jvm, pig uses pig runtime as an execution environment. Fact says that 10 lines of code in pig will do the same as MapReduce with 200 lines java code. However, compiler converts pig latin into MapReduce, creating consecutive set of jobs. Developers can write functions in Python, Java, JavaScript and Ruby, also in Groovy to extend Pig latin code, if needed. Storing, manipulating and executing data is allowed in Pig.

#### C. Apache Spark

Apaches product, which also parallelly process data across clusters, was invented in 2012 at the AMPLab. Spark uses system memory, which makes it a way faster than Hadoop MapReduce, which reads and writes data to HDFS. Process of writing data to RAM is completed by using RDD (Resilient Distributed dataset). Spark Core plays significant role in coordinating scheduling, applying abstraction of RDD, optimizing and connecting Spark to proper file system. However, data transfer (I/O) between nodes still creates some network congestion.

#### D. Apache Hive

Hive was created by Facebook for programmers who are fluent with SQL to work in Hadoop environment. It can process structured data in tables. Hive uses HiveQL, which is SQL-like query language, that supports basic operations like select, join, project, aggregate and union all. Users can load data from external sources and insert data operators (DML), respectively.

According to paper by Dr. Urmila R. Pol, author explains working principles of Hadoop Mapreduce, Pig and Hive by comparing them between each other. Author mentions that writing Mapreduce code with Java would require writing several lines of code, and would take more time if user is not good familiar with Java. In this case, using another approach to write Mapreduce tasks like by writing them in Pig Latin or Hive SQL language would reduce development and testing time overall. As stated in the paper, even if Pig or Hive do not run as fast as MapReduce's native Java, using them boosted data analysts productivity. It is because writing Pig script takes only 5 percent of that time which is needed to write in Java, however decreasing runtime performance. Thus, Hive and Pig are considered performance boosting tools for data analysts, according to this paper [4]. Writing join functionality in java will be very complicated while using Hive SQL with several levels of nested FROM clauses.

Some cases where pure Hadoop MapReduce is preferable than Pig or Hive is discussed in article [5], like:

- job where complicated form of distributed cache is required;
- Job where optimization is needed in mapper or reducer level ;
- Job where is needed some form of partitioning;
- Performance of Hadoop is much better than other two, even if they enhancing their functionality kit and etc.

Other technologies (*Hadoop, Spark, Graphics Processing Unit (GPU)* , High Performance Computing Clusters (*HPC*), Multicore processors and Field Programmable

Gate Arrays (*FPGA*)) that can handle big

data is reviewed in paper [6], where authors first explained vertical and horizontal scaling, types of platforms/technologies along with their strength and weaknesses. Practical applications with general idea when scaling up and scaling out should be preferred is given along with explanation of improving systems by selecting appropriate platform. Authors claim that cases where expandable platform, which can support huge amount of data, Hadoop MapReduce and Spark is perfect, especially if there is no need for real-time responses; whereas cases where queries are processed in real-time - vertical scaling is needed. We can add that if application needs to be processed not in real-time with high velocity, Spark is the best option; but if volume matters, Hadoop can handle far more than that of Spark, since it stores data in disk memory. Which of them should be used in exact situation is given in [7], highlighting each's dignity.

Performance comparison between Hadoop and Spark was observed in article [8], which

states that Spark runs in-memory 100 times faster and 10 times on disk; for 100TB of data Spark has been recorded 3 times quicker than MapReduce; also for k-means and Naive Bayes algorithms has been found to be faster. Advantage of Spark by its cyclic connection is also mentioned along with prices of each tool: Hadoop is less costly than Spark. In terms of security and fault tolerance, Hadoop is recommended to be more secure and reliable.

### 3. Proposed Method

Comparing tools should be built on platform dependent and algorithm dependent, giving general view about strengths and weaknesses of big data systems based on tendency of each. However, it also should be counted that application based comparing strongly depends on problem that needs to be solved.

Table below represents theoretical comparison of each big data analyzing tool by its characteristics.

	<i>Language</i>	<i>Abstraction level</i>	<i>Development effort</i>	<i>Code efficiency</i>	<i>Data access/ data I/O performance</i>	<i>fault tolerance</i>	<i>real-time processing</i>	<i>iterative task support</i>
<b>MapReduce</b>	Compiled	Low	Challenging	High	External memory	5	2	3
<b>Spark</b>	Compiled	Medium	Hard	High	In-memory cache	5	5	5
<b>Pig</b>	scripting	High	Easy	Less	External memory	5	2	3
<b>Hive</b>	SQL-like	High	Easier than Pig	Less	External memory	5	2	3

Table 1 Theoretical comparison of Big data tools

Table 1 shows more qualitative relation between tools than quantitative, comparing characteristics like *I/O performance for iterative processing, real-time processing, language, abstraction level, code efficiency and development effort*. MapReduce, Pig and Hive are not basically used for real-time processing tasks, because they are slow in transferring data Input/output between nodes. Therefore they receive only 2 out of 5.

All of the frameworks can be scaled up to tens of thousands of nodes and fault tolerant.

MapReduce, Pig and Hive are not designed for iterative processing, because data has to be

written onto disk after each iteration, which creates a huge bottleneck while disk I/O. However MapReduce has developed tools and frameworks, one of it is improved by Hadoop development, which is for improving iterative tasks, therefore they received 3 out of 5. Decision between Hadoop and Spark lays between whether user needs a off-the-shelf instruments or he needs optimization of cluster performance.

Data has been processed in Amazon EMR cloud cluster, which provides managed frameworks like Hadoop, Spark, Presto and HBase

with Jupiter based notebook. Amazon EMR is used due to its reliability, easiness, flexibility and elasticity, also to set same conditions for compared platforms. Instances that were applied for master- m4.large, has 4 cores with 16 GB RAM, and for workers-c4.xlarge with 4 cores and 8 GB RAM each. Furthermore no tuning was done on MapReduce, Spark and Pig, so that they have default settings. However, since Spark is not using all available cores that were given, it needs to be set manually to use them; therefore some additional improvements on clusters were done.

Before starting comparison mentioned tools, lyric dataset was preprocessed by:

- deleting new lines in each row of song, so that each song takes one row;
- All stop words and common words were deleted, like *chorus*, *bridge*, etc.

First task is to find the most repeated (beloved) word for each singer, was done by simple word count example in Picture 1 with Pig Latin language:

```
REGISTER bigdata.jar;
all_data = LOAD 'songdata_tabbed.csv' USING PigStorage('\t') as (singer:chararray, song:chararray, lyrics:chararray);
tokenized = FOREACH all_data GENERATE singer, kz.sdu.bdt.pig.Tokenizer(lyrics) as tokens;
flat = foreach tokenized generate singer, flatten(tokens);
grp = group flat by ($0, $1);
cnt = foreach grp generate flatten(group) as (singer, word), COUNT($1);

g = group cnt by singer;
result = foreach g {
    prods = order cnt by $2 desc;
    top_prods = limit prods 1;
    generate flatten(top_prods);
};
--sorted = order result by $0;

dump result;
```

Pic.1 Popular word among singers with Pig

As second task checking lyrics for plagiarism was chosen. That is necessity is to find pairs of song that have similar lyrics. Main concern of this problem is how to compare two documents efficiently, as direct comparison is not an option, due to possible small changes in the song. There are some approaches to solve this issue, such as MinHash[11], SimHash[12], Word2Vec[13]. However purpose of this research is to compare tools and implementation of such advanced algorithms might interfere with results. This is the reason why simple approach with Jaccard Similarity was chosen.

Jaccard similarity [10] is equal to division of the size of the intersection of A and B sets to the size of their union:

$$J(A,B) = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} = \frac{|A \cap B|}{|A| + |B| - |A \cap B|}$$

where elements of the set are words in songs.

Despite that Jaccard similarity works perfect for most of the time, this approach cannot be used alone while comparing text, because it does not take into consideration position of words in songs. For example: sentences “Alex loves Beth” and “Beth loves Alex” are considered exactly similar by plain Jaccard similarity algorithm, but are not. To address this issue Shingling of lyrics is used[9]. Song is divided in shingles of 5 consecutive words. However it is easy to see that final size of shingled song is much bigger, so to slightly reduce memory usage all sentences are hashed to some Integer. For purposes of this research simple java String.hashCode() is used.

Thereby second task is splitted into two different subtasks: Shingling of lyrics and finding Jaccard similarity of song regarding all other songs in dataset.

**Shingling songs**

Algorithm for shingling is simple:

First, lyrics converted to lowercase. Then all non-letter characters are removed. Third,

sub-sentences of 5 words are created. Finally, these sentences are hashed and outputted.

Code below is in Pig script, which allows hashing shingles despite its amount.

```
REGISTER bigdata.jar;
all_data = LOAD 'songdata_tabbed.csv' USING PigStorage('\t') as (singer:chararray, song:chararray, lyrics:chararray);
min_hashed = FOREACH all_data GENERATE CONCAT(singer, '|', song), kz.sdu.bdt.pig.MinHasher(lyrics) as hashes;
dump min_hashed;
```

Pic. 2 Hashing shingles

**Jaccard similarity**

To calculate jaccard similarity, *Cartesian product* was used for all hashed shingles in joiner, and only those lyrics that got jaccard similarity higher than 0.7 have been taken into account

as the most similar pairs. Pig and Spark has pre-defined function for finding Cartesian product, whereas in MapReduce it needs to be implemented from scratch.

```
REGISTER bigdata.jar;
all_data = LOAD 'song_hashes' USING PigStorage('\t') as (song:chararray, hashes:chararray);
all_data2 = FOREACH all_data GENERATE song as song2, hashes as hashes2;
crossed = CROSS all_data, all_data2;
jac_sim = FOREACH crossed GENERATE song, song2, kz.sdu.bdt.pig.JaccardSimilarity(hashes, hashes2) as jaccard_similarity:double;
result = FILTER jac_sim BY song != song2 AND jaccard_similarity > 0.7;
dump result;
```

Pic. 3 Jaccard similarities with Pig

**4. Experimental results**

**A. Popular word among singers with Pig**

Fig. 1 shows time distribution in seconds. As it can be seen launching distributed jobs on small dataset provides no advantages over local mode. This might happen due to overhead of running task on distributed systems. Very likely that situation changes drastically on huge datasets.

Table 2 shows the sample of the result of running first task, which lists the most repeated word in all songs for every singer. There are totally 643 singers in the dataset.

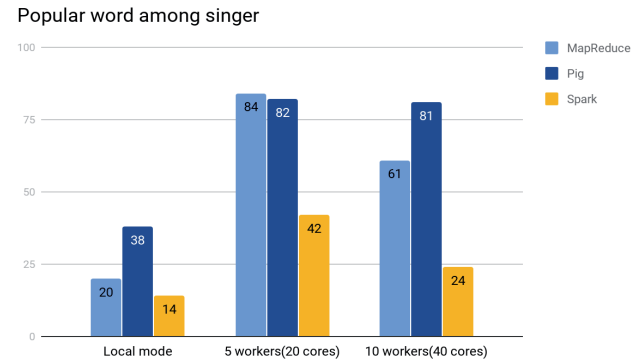


Fig. 1 Time for "Popular word among singer" task

n Sync	love(298)
ABBA	love(189)
Ace Of Base	love(112)
Adam Sandler	like(74)
Adele	love(161)
Aerosmith	yeah(401)
Air Supply	love(514)
Aiza Seguerra	love(60)
Alabama	love(367)
Alan Parsons Project	know(78)

Table 2. Result of "Popular word among singer" task

**B. Shingling songs**

Figure 2 shows that due to overhead of running jobs on distributed systems all tools perform better on local mode. However it can be seen that with increase of worker cores processing time decreases for all tools except Pig.

While previous two tasks took seconds for calculation, finding Jaccard similarity takes hours because each job needs to compare each hashed shingled sets with others, by applying [10] formula.

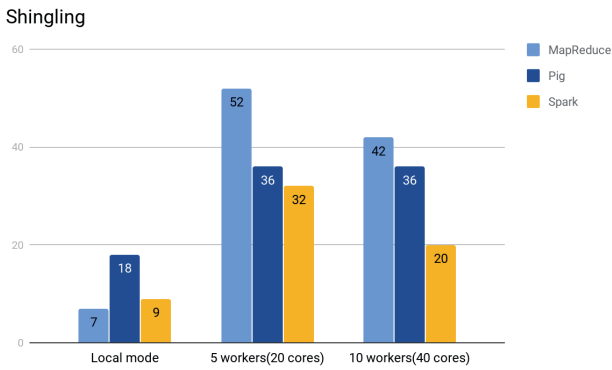


Fig. 2 Time for Shingling task

### C. Jaccard similarity

It means that this task requires a lot of calculations. This is where power of distributed systems shines. Fig. 3 shows that distributed systems perform more that 2 times better for MapReduce and Spark. More processing power added, less time required to process task. First surprise here is that MapReduce performs better on 10 workers than Spark, but Spark outperforms MapReduce on lesser workers. Reason might be that Spark limits processing power to some percent of available cores, whereas MapReduce takes all free processors.

Second interesting outcome is that Pig takes same time to process the task regardless cluster size. Problem is in default configuration where Pig launches only two reducers to complete job. This nullifies all advantages of distributed processing. Therefore Pig requires additional configuration to run smoothly.

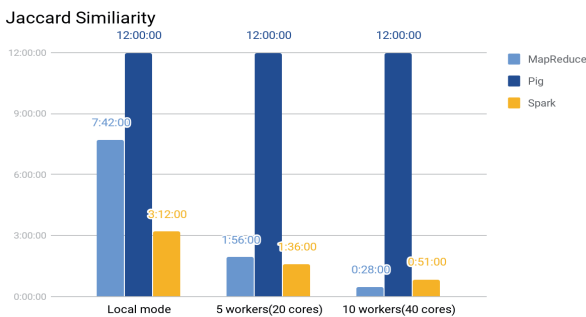


Fig. 3 Time for Jaccard Similarity

Sample of results of finding plagiarism between singers is given in Table 4.

ABBA - We Wish You A Merry Christmas	Harry Belafonte - We Wish You A Merry Christmas
Kenny Chesney - Pretty Paper	Randy Travis - Pretty Paper
James Taylor - I Didn't Know What Time It Was	Ella Fitzgerald - I Didn't Know What Time It Was
Robbie Williams - Do Nothing Till You Hear From Me	Ella Fitzgerald - Do Nothing' Till You Hear From Me
Rihanna - Golden Girl	Chris Brown - Golden Girl
Lady Gaga - Nature Boy	Natalie Cole - Nature Boy
Lady Gaga - White Christmas	Vince Gill - White Christmas
Lady Gaga - Winter Wonderland	Faith Hill - Winter Wonderland
Johnny Cash - Cindy	Nick Cave - Cindy
Avril Lavigne - Imagine	The Beatles - Imagine
Backstreet Boys - Cinderella	Lionel Richie - Cinderella
James Taylor - Santa Claus Is Coming To Town	Harry Connick, Jr. - Santa Claus Is Coming To Town
Rihanna - We Found Love	Coldplay - We Found Love

Table 4. Result of running Jaccard similarity task

All three tasks with amount of workers with time consumed are written in table below. Green labels indicate the fastest tool for each task. So in first's simple word count task Spark calculates faster than other two. In constructing hashes from shingles Spark works faster while using 5-10 cores due to its iterative processing ability. In the last task where computing is needed Spark performed better in local mode and with 20 processing cores, whereas with 40 cores Hadoop MapReduce processed data 2 times faster than Spark. Red labels indicate the worst tool in each situation.

	Popular word among singer	Min hash	Jaccard similarity
Local mode			
MapReduce	20s	7s	7.7h
Pig	38s	18s	12h
Spark	14s	9s	3.2h
5 workers (20 cores)			
MapReduce	84s	52s	1.8h
Pig	82s	36s	12h
Spark	42s	32s	1.6h
10 workers (40 cores)			
MapReduce	61s	42s	28m
Pig	81s	36s	12h
Spark	24s	20s	51m

Table 3. Comparison by time taken for processing on each tool

Table 4 shows code amount for each mentioned tool for every task. MapReduce takes a lot effort from data analyzer, it requires writing more than twice of code of Spark and around 18 times more lines of code than it could be written in Pig for current task. This could be because Pig is scripting language, and needs minimum number of code lines.

Code amount	Popular word among singer	Min hash	Jaccard similarity
MapReduce	148	88	128
Pig	16	5	7
Spark	56	34	43

Table 4. Amount of code needed for each tool

### 5. Conclusion and future works

Pig looks as total outsider on these tasks. The only advantage of Pig over other tool is abstraction. Pig latin very concise language and needs a few lines of code for all tasks. Pig can

be considered only in cases when there is no programmer available.

Spark is considered best all-around tool to process big data due to its in-memory caching capabilities. However results of research show that in some cases MapReduce can outperform Spark. Spark provides greater abstraction level than MapReduce, thus requires much less code to complete tasks. Even though

Spark showed worse results in some cases, for most tasks it performed the best. Adding here abstraction level and amount of languages available for working with Spark, makes Spark most preferable tool for processing such tasks out of compared ones.

However, all experiments were done on tools without any tuning. Adjusting launching parameters can radically change whole picture. Optimizing settings for tools and comparing them for performance with new conditions could be the next future work.

### REFERENCES

1. Agneeswaran VS, Tonpay P, Tiwary J (2013) Paradigms for realizing machine learning algorithms. *Big Data* 1(4):207–214
2. <https://www.kaggle.com/mousehead/songlyrics>
3. Lee K-H, Lee Y-J, Choi H, Chung YD, Moon B (2012) Parallel data processing with MapReduce: a survey. *ACM SIGMOD Record* 40(4):11–20
4. *Big Data Analysis: Comparison of Hadoop MapReduce, Pig and Hive*. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/308074477\\_Big\\_Data\\_Analysis\\_Comparision\\_of\\_Hadoop\\_MapReduce\\_Pig\\_and\\_Hive](https://www.researchgate.net/publication/308074477_Big_Data_Analysis_Comparision_of_Hadoop_MapReduce_Pig_and_Hive)
5. MapReduce vs. Pig vs. Hive - Comparison between the key tools of Hadoop, Available article from: <https://www.dezyre.com/article/mapreduce-vs-pig-vs-hive/163>
6. Dilpreet Singh and Chandan K. Reddy, “A Survey on Platforms for Big Data Analytics”, *Journal of Big Data*, 1:1, 8, 2014.
7. <https://www.scnsoft.com/blog/spark-vs-hadoop-mapreduce>
8. <https://dzone.com/articles/hadoop-vs-spark-a-head-to-head-comparison>
9. <https://www.todaysoftmag.com/article/1553/finding-similar-entities-in-bigdata-models>
10. <https://neo4j.com/docs/graph-algorithms/current/algorithms/similarity-jaccard/>
11. Szmit R. (2013) Locality Sensitive Hashing for Similarity Search Using MapReduce on Large Scale Data. In: Kłopotek M.A., Koronacki J., Marciniak M., Mykowiecka A., Wierzchoń S.T. (eds) *Language Processing and Intelligent Information Systems. IIS 2013. Lecture Notes in Computer Science*, vol 7912. Springer, Berlin, Heidelberg
12. C. Sadowski and G. Levin. Simhash: Hash-based Similarity Detection. Technical report, Technical report, Google, 2007.
13. Tom Kenter, Maarten de Rijke, Short Text Similarity with Word Embeddings, *Proceedings of the 24th ACM International on Conference on Information and Knowledge Management*, October 18-23, 2015, Melbourne, Australia

УДК 519.24  
МРНТИ 81.96.00

**ПЕРСПЕКТИВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ХИ-КВАДРАТ  
МОЛЕКУЛЫ ПИРСОНА ДЛЯ ПРОВЕРКИ СТАТИСТИЧЕСКИХ ГИПОТЕЗ НА  
МАЛЫХ ВЫБОРКАХ**

**В.И. ВОЛЧИХИН<sup>1</sup>, Б.Б. АХМЕТОВ<sup>2</sup>, Ж.К. АЛИМСЕЙТОВА<sup>3</sup>,  
Г.С. БЕКЕТОВА<sup>4</sup>, Л.О. ЖАХАН<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>ФБГОУ ВПО «Пензенский государственный университет»

<sup>2</sup>Есенов университет

<sup>3</sup>Алматинский университет энергетики и связи

<sup>4</sup>Кызылординский государственный университет имени Коркыт Ата

**Аннотация:** Целью работы является усиление мощности хи-квадрат критерия на малых выборках. Актуальность обусловлена тем, что данных биометрии и других ряда других практических приложений для классического статистического анализа недостаточно. Предложено воспользоваться средствами имитационного моделирования и численно получить плотность распределения значений хи-квадрат критерия для малых выборок. При синхронизации интервалов гистограммы с математическим ожиданием выборки спектр состояний хи-квадрат становится дискретным. При вычислениях удается поддерживать эффект квантовой суперпозиции анализируемых данных, применяя обычные компьютеры. В отличие от континуально-квантовых уравнений Шредингера, континуально-квантовые уравнения Пирсона оказались гораздо более удобными для реализации программными методами континуально-квантовой суперпозиции. Сделано предположение, что возможно создать усилитель хи-квадрат критерия, позволяющий увеличить его мощность в несколько раз. Дан подсчет числа промежуточных данных такого континуально-квантового вычислителя для выборки из 16 примеров.

**Ключевые слова:** квантовая суперпозиция, хи-квадрат критерий Пирсона, дискретный спектр состояний, статистический анализ малых выборок

**THE PERSPECTIVE OF THE USE OF MATHEMATICAL CHI-SQUARE PEARSON  
MOLECULE TO CHECK STATISTICAL HYPOTHESIS IN SMALL ELECTIONS**

**Abstract:** The aim of the work is to increase the power of the chi-square criterion on small samples. The relevance is due to the fact that data from biometrics and other a number of other practical applications for classical statistical analysis is not enough. It is proposed to use simulation tools and numerically obtain the distribution density of the chi-square test for small samples. When synchronizing histogram intervals with the expectation of a sample, the spectrum of chi-square states becomes discrete. In calculations, it is possible to maintain the effect of quantum superposition of the analyzed data, using ordinary computers. In contrast to the continual-quantum Schrödinger equations, the continual-quantum Pearson equations turned out to be much more convenient for the implementation of the continuum-quantum superposition by the program methods. It has been suggested that it is possible to create an amplifier chi-square criterion, which allows to increase its power several times. Given the number of intermediate data of such a continually quantum calculator for a sample of 16 examples.

**Keywords:** quantum superposition, Chi-square Pearson criterion, discrete spectrum of states, statistical analysis of small samples

**ШАҒЫН ІРІКТЕМЕЛЕРДЕ СТАТИСТИКАЛЫҚ ГИПОТЕЗАЛАРДЫ  
ТЕКСЕРУ ҮШІН ПИРСОН МӨЛЕКУЛАСЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ  
ХИ-КВАДРАТЫН ПАЙДАЛАНУ ПЕРСПЕКТИВАСЫ**

*Аңдатпа:* Жұмыстың мақсаты шағын іріктемелерде хи-квадрат критерийдің күшін нығайту. Өзектілігі биометрияның және басқа да практикалық қосымшалардың деректері классикалық статистикалық талдау үшін жеткіліксіз болғанынан шығады. Шағын іріктемелер үшін хи-квадрат критерий мәндерінің таралу тығыздығын сан ретінде алуға имитациялық модельдеу құралдарын қолдану ұсынылған. Гистограмма интервалдарын іріктеменің математикалық күтуімен синхронизациялау кезінде хи-квадрат күйлерінің спектрі дискретті болады. Есептеулер кезінде талданатын деректердің кванттық суперпозиция эффекті кәдімгі компьютерлерді қолданамыз. Континуалды-кванттық суперпозицияны бағдарламалық әдістермен жүзеге асыру үшін Шредингердің континуалды-кванттық теңдеулеріне қарағанда Пирсонның континуалды-кванттық теңдеулері әлдеқайда ыңғайлы болып шықты. Хи-квадрат критерийдің күшін бірнеше ретке жоғарылататын күшейткішті жасауға болатыны туралы болжам жасалған. 16 мысалдан тұратын іріктеме үшін сондай континуалды-кванттық есептеуіш аралық деректер санын есептеу берілген.

*Түйінді сөздер:* кванттық суперпозиция, Пирсонның хи-квадрат критерийі, күйлердің дискреттік спектрі, шағын іріктемелердің статистикалық талдауы

Критерий хи-квадрат был предложен Карлом Пирсоном в 1900 году и по своей сути является фундаментом современной математической статистики [1, 2]. Важнейшим для практики свойством хи-квадрат критерия является простота его вычисления:

$$\chi^2 = N \cdot \sum_{i=1}^k \frac{\left( \frac{b_i}{N} - P_i \right)^2}{P_i} \quad (1),$$

где N – размер тестовой выборки, k – число интервалов гистограммы,  $P_i$  – теоретическая вероятность попадания в i-тый интервал гистограммы,  $b_i$  – частота появления данных в i-том интервале гистограммы.

Популярность критерия хи-квадрат обусловлена тем, что для больших выборок Карл Пирсон нашел аналитическое описание закона распределения значений этого критерия:

$$p(\chi^2) = \frac{1}{2^{\frac{m}{2}} \Gamma\left\{\frac{m}{2}\right\}} \cdot x^{\left(\frac{m}{2}-1\right)} \cdot \exp\left\{-\frac{x}{2}\right\} \quad (2),$$

где m – число степеней свободы,  $\Gamma\{.\}$  – гамма функция.

Так как мы знаем число опытов – N, то имеем возможность выбирать число интервалов гистограммы –  $k = \text{round}(N/5)$  и, соответственно, определить число степеней свободы –  $m=k-3$ . В итоге, воспользовавшись соотношением (2), можем найти доверительные вероятности принятия того или иного статистического решения [1, 2].

Основной проблемой хи-квадрат критерия является то, что Пирсон нашел асимптотическое решение (2), применимое для больших выборок. Обычно, применяя асимптотическое решение (2), стараются использовать выборки, имеющие от 200 до 400 опытов. В этом случае удается достаточно надежно оценивать вероятности ошибок первого и второго рода  $P_1 \approx P_2 \approx P_{EE} \approx 0.01$ .

Очевидно, что в жизни возникает множество ситуаций, когда получить несколько сотен опытов технически и/или организационно невозможно. Такие ситуации регулярно возникают в экономике, медицине, биометрии, биологии, химии. Наиболее остро ситуация складывается в биометрии [3, 4], для которой вероятность ошибок первого рода (ошибочный отказ в доступе «Своему») составляет  $P_1 \approx 0.05$  при допустимой вероятности ошибок второго рода (ошибочный пропуск «Чужого»)  $P_2 \approx 0.00001$ .

В данной статье авторы пытаются показать, что огромные вычислительные сложности «счастливые» игроки преодолевают, организовывая на подсознательном уровне квантовые вычисления. Естественные и искусственные нейронные сети [5] оказались очень удобны для поддержки эффектов квантовой суперпозиции.

Классические квантовые вычисления [6] и квантовые вычисления нейросетевого подсознания игрока в карты [5] имеют много общего. В связи с этим, по аналогии с планетарной моделью молекулы водорода, введем математическую молекулу Пирсона. Обе эти конструкции иллюстрируются рисунком 1.

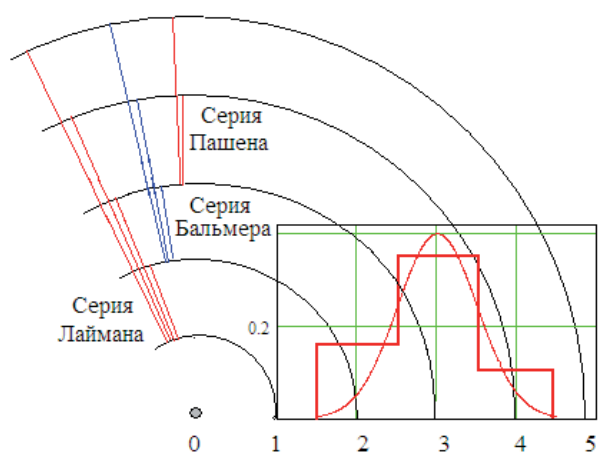


Рис. 1 – Планетарная модель молекулы водорода, построенная исходя из гипотезы нормального закона распределения значений континуума состояний электрона, с квантованием данных по 3 орбитам (по 3 столбцам гистограммы математической молекулы Пирсона)

В планетарной модели атома водорода электрон излучает фотон света, перескакивая с одной орбиты на другую. Как следствие, спектр (поглощения, излучения) водорода содержит линии (серии линий). В левой части рисунка 1 даны соответствующие названия серий линий спектра водорода.

Математическая молекула Пирсона не должна точно соответствовать физической реальности. Она соответствует некоторому приближению физических процессов, в соответствии с которыми скорость электронов молекулы имеет нормальное распределение значений, число орбит равно шести и соот-

ветствует гистограмме распределения скоростей электронов с шестью интервалами. Всего математическая молекула имеет число электронов, равное числу опытов в тестовой выборке, подвергаемой статистическому анализу.

Очевидно, что таких математических молекул должно существовать множество. Нас будут интересовать только математические молекулы Пирсона, соответствующие малым тестовым выборкам, для которых предельное аналитическое описание (2) очень плохо работает.

Синтезируя математическую молекулу, мы заменили электроны числом опытов и функцию пространственно-волнового квантования уравнения Шредингера на куда более простую функцию пространственного квантования данных, классического построения гистограмм. При этом уравнения, соответствующие этим двум конструкциям молекул должны сохранять некоторое подобие.

Следует отметить то, что при больших объемах выборки хи-квадрат критерий имеет очень много состояний и его спектр действительно можно считать непрерывным. Однако положение меняется, когда объем выборок катастрофически падает [6-8]. Одной из причин, по которой ранее не удавалось наблюдать дискретный характер спектра, состоит в отсутствии синхронизации между столбцами гистограммы и параметрами выборки. Обычно осуществляют нормирование опытных данных и находят интервал между максимальным и минимальным значением в тестовой выборке. Далее вычисляют ширину интервала для нормированной гистограммы. В нашем случае будем вычислять ширину трех столбцов гистограммы по следующей формуле:

$$\Delta = \frac{6 \cdot \sigma(x)}{3} \quad (3).$$

Синхронизацию данных будем осуществлять через привязку минимального значения выборки к правой границе крайнего правого интервала гистограммы. То есть, границы ин-

тервалов гистограммы зададим следующим образом:

$$\{\min(x), \min(x) + \Delta, \min(x) + 2\Delta\} \quad (4)$$

Тогда молекула Пирсона с 9 электронами, имеющими нормальный закон распределения, будет иметь дискретный спектр с 64 возможными дискретными состояниями, отображенными в верхней части рисунка 2.

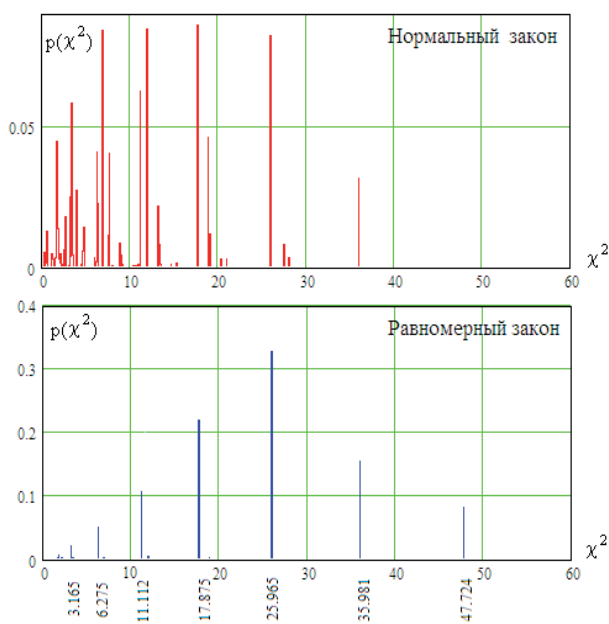


Рис. 2 – Спектры состояний хи-квадрат молекулы с нормальным и равномерным законами распределения континуума 9 состояний по 3 уровням

Как видно из нижней части рисунка 2, спектр состояний хи-квадрат молекулы имеет всего 13 состояний, если континуум внутренних состояний имеет равномерный закон распределения значений.

Семь наиболее мощных спектральных компонент хи-квадрат молекулы с равномерным внутренним спектром, отмечены цифрами значений хи-квадрат в нижней части рисунка 2, они появляются с вероятностью 0.965 (вероятность ошибки первого рода  $P_1=0.045$ ). Те же спектральные компоненты хи-квадрат молекулы для нормального закона распределений внутреннего состояния появляются с вероятностью 0.329 (вероятность ошибки второго рода  $P_2=0.671$ ).

Очевидно, что увеличение числа опытов в анализируемой выборке позволяет усложнить спектр состояний хи-квадрат молекулы и одновременно снизить вероятность ошибок проверки статистических гипотез. На рисунке 3 даны спектры хи-квадрат молекул с 16 электронами, случайно размещаемых на 3 орбиталях.

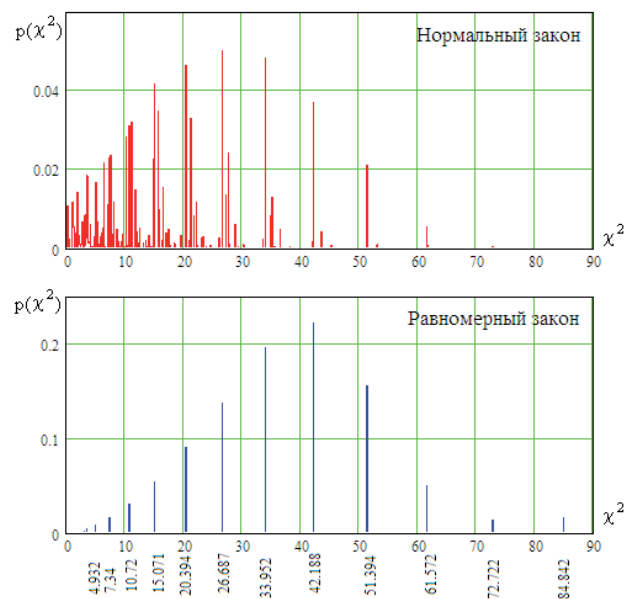


Рис. 3 – Спектры состояний хи-квадрат молекулы с нормальным и равномерным законами распределения континуума 16 состояний по 3 уровням

Увеличение числа примеров в выборке до 16 примеров приводит к незначительному росту мощности спектральных состояний, отмеченных в нижней части рисунка 3. При этом вероятность появления 13 состояний составляет 0.991 (вероятности ошибок первого рода  $P_1=0.009$ ).

Если появление одного из этих 13 состояний считать обнаружением равномерного закона, то появление любого иного состояния для нормального закона будет возникать с вероятностью 0.321 (вероятность ошибки второго рода  $P_2=0.679$ ).

Рассмотренное выше решающее правило примитивно, однако оно позволяет в первом приближении найти оценку равновероятных ошибок. Они оказываются сопоставимы:

$$\frac{0.045+0.671}{2} = 0.358 > 0.344 = \frac{0.009+0,679}{2} \quad (5)$$

В первом приближении мы получили подтверждение давно известного факта о низкой эффективности хи-квадрат критерия для одиночных ациклических вычислительных процедур. Почти двукратное увеличение малой тестовой выборки с 9 до 16 опытов приводит к снижению равновероятной ошибки  $P_1 \approx P_2 \approx P_{EE}$  примерно на 5%. Для того, чтобы сделать ошибку приемлемой приходится многократно увеличивать размеры тестовой выборки. В этом отношении ациклические квантовые машины имеют возможности, сопоставимые с ациклическими машинами, рассматривающими спектр хи-квадрат критерия как непрерывный [9, 10].

Если попросить человека сравнить спектры в верхней и нижней части рисунка 3, то человек их никогда не перепутает. То есть вероятности ошибок  $P_1 \approx P_2 \approx P_{EE}$  оказываются практически нулевыми. То же самое относится и к спектрам рисунка 2, для человека эксперта эти спектральные образы абсолютно разные. То есть, мы можем заранее обучить две нейронные сети распознаванию двух разных образов, используя данные 200 000 опытов [4]. Далее уже при меньшем числе опытов можно проанализировать выходные данные первой и второй нейронной сети и решить, на сколько анализируемое распределение близко к нормальному или равномерному.

При этом будем исходить из размеров тестовой выборки в 16 примеров. В этом случае из полной тестовой выборки можно получить достаточно много частных подвыборок меньшего размера по 9 опытов  $C_{16}^9 = 11440$ . Если использовать и другие подвыборки, то получится:

$$C_{16}^9 + C_{16}^8 + C_{16}^7 + C_{16}^6 + C_{16}^5 + C_{16}^4 + C_{16}^3 + C_{16}^2 + C_{16}^1 = 26332 \quad (6)$$

Если бы все 26 332 были бы независимы, то вероятности ошибок были бы пренебрежимо малы, однако независимость данных, получаемых из одной выборки, невозможна. Тем не менее, воспользовавшись 26 332 опытами, мы можем построить спектры выходных состояний, похожие на спектры, приведенные на рисунках 2 и 3 и обучать на этих образах искусственные нейронные сети [4]. Сильные корреляционные связи в исходных данных не мешают, а помогают распознаванию образов [8].

### Заключение

Дискретный спектр состояний хи-квадрат молекулы делает эту математическую конструкцию перспективной для создания квантовых вычислителей, ориентированных на работу с малыми тестовыми выборками. Предположительно использование перспективного квантового усилителя мощности хи-квадрат критерия позволит снизить требования к тестовой выборке с 2000 примеров до 20 примеров при сохранении тех же вероятностей ошибок первого и второго рода.

Еще одним важным моментом рассмотренной темы является то, что трехуровневая молекула Пирсона является некоторым аналогом физически существующей молекулы водорода. То есть уравнения Пирсона (1) и (2) и уравнение Шредингера являются топологическими аналогами. Однако континуально-квантовое уравнение хи-квадрат Пирсона намного удобнее для реализации квантового вычислителя, чем уравнение Шредингера. Моделировать уравнение Шредингера при 9 и 16 электронах намного сложнее, чем моделировать уравнения хи-квадрат Пирсона.

То, что для уравнения Шредингера удалось построить более удобный для реализации математический аналог в виде уравнений Пирсона, является важным шагом в проектировании перспективных квантовых вычислителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абезгауз Г.Г., Тронь А.П., Копенкин Ю.Н., Коровина И.А. Справочник по вероятностным расчетами. – М.: Воениздат, 1970 г. – 536 с.
2. Р 50.1.037-2002 Рекомендации по стандартизации. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим. Часть I. Критерии типа  $\chi^2$ . Госстандарт России. – Москва. – 2001 г. – 140 с.
3. Болл Руд и др. Руководство по биометрии. / Болл Руд, Коннел Джонатан Х., Панканти Шарат, Ратха Налини К., Сеньор Эндрю У. // Москва: Техносфера, 2007. – 368 с. (перевод с английского).
4. Язов Ю.К. и др. Нейросетевая защита персональных биометрических данных. //Ю.К.Язов (редактор и автор), соавторы: В.И. Волчихин, А.И. Иванов, В.А. Фунтиков, И.Г. Назаров // – М.: Радиотехника, 2012 г. – 157 с.
5. Иванов А.И. Многомерная нейросетевая обработка биометрических данных с программным воспроизведением эффектов квантовой суперпозиции. Издательство АО «ПНИЭИ», Пенза-2016 г. – 133 с. Свободный доступ <http://пниэи.рф/activity/science/BOOK16.pdf>
6. Нильсон М., Чанг И. Квантовые вычисления и квантовая информация. – М.: Мир, 2006 г. – 821 с.
7. Ахметов Б.Б., Иванов А.И., Серикова Н.И., Фунтикова Ю.В. Дискретный характер закона распределения хи-квадрат критерия для малых тестовых выборок // Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан. – Алматы, 2015. – № 1. – С. 17-25.
8. Иванов А.И. Квантовые компьютеры: прошлое, настоящее, будущее. // «Защита информации. INSAID». – № 2. – 2015 г. – С. 29-32.
9. Ахметов Б.Б., Иванов А.И. Оценка качества малой выборки биометрических данных с использованием более экономичной формы хи-квадрат критерия. // Надежность. №2 (57) . – 2016 г. – С. 43-48. DOI: 10.21683/1729-2640-2016-16-2-43-48.
10. Иванов А.И., Газин А.И., Вятчанин С.Е., Перфилов К.А. Сравнение мощности хи-квадрат критерия и критерия Крамера-фон Мезиса для малых тестовых выборок биометрических данных «Надежность и качество сложных систем». – №2. – 2016. – С. 67-73.

УДК 004.823  
МРНТИ 20.19.27

## ҚАЗАҚ ТІЛІНДЕГІ КЛИНИКАЛЫҚ МӘТІННІҢ СЕМАНТИКАЛЫҚ РӨЛІН БЕЛГІЛЕУ

А.Б. ДЖАКСЫЛЫКОВА, А.А. ЗИЯДЕН, Ж. РАХЫМБЕКҰЛЫ,  
А. ҚАЛИЕВА, П. КОМАДА

*Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК  
Казахский Национальный университет им. аль-Фараби  
КГКП «Региональная инфекционная больница г.Талдыкорган»  
Технический университет «Люблинская политехника», Польша*

**Аңдатпа:** Семантикалық рөлдік таңбалау (SLR) әртүрлі мәтіндерден олардың мағыналары мен қатынастарын үстірт бейнелейді, семантикалық қабат табиғи тілді түсіну үшін маңызды. Медицина саласында негізінен аннотацияланған клиникалық корпусстардың, әсіресе қазақ тілінде болмауына байланысты, семантикалық рөлдердің таңбалануы бойынша бірнеше зерттеулер жүргізілді. Бұл жұмыстың мақсаты – өнімділікті жоғарылату және шығындарды үнемдеу, сонымен қатар болжамды медицинаның сапасын жақсарту үшін тәжірибелік клиницист дәрігерлердің құрған корпусын қолдана отырып, клиникалық корпусстарға арналған семантикалық рөлдерді белгілеу үшін негіз жасау. Материалдар мен әдістер: клиникалық тәжірибелер, атап айтқанда, асқазан-ішек жолдары, жүрек-қан тамырлары аурулары және басқалары негізінде жасырын жасалынған мәліметтер базасы доменнің деректер жиынтығы ретінде пайдаланылды. Жазбалар қолмен талданып, белгіленді. Семантикалық белгілеу шеңбері және семантикалық рөлдердің қолданылуы мен олардың нақты клиникалық жағдайларға қатынасы туралы мәліметтер келтірілген.

**Түйінді сөздер:** семантикалық рөлді белгілеу, таяз семантикалық талдау, табиғи тілді клиникалық өңдеу, доменге бейімделу

## SEMANTIC ROLE MARKING FOR CLINICAL TEXT IN KAZAKH

**Abstract:** semantic role labeling (SLR) extracts a superficial representation of meanings and their relationships from various texts, the semantic layer is important for understanding natural language. Few studies in the labeling of semantic roles have been conducted in the field of medicine, mainly due to the lack of annotated clinical buildings, especially in Russian. The aim of this work is to develop a framework for marking semantic roles for clinical notes using the corps created by practicing clinicians to increase productivity and save costs, as well as improve the quality of predictive medicine. Materials and methods: an anonymous database, collected on the basis of clinical practice, in particular, diseases of the gastrointestinal tract, cardiovascular system and others, was used as a data set of the target domain. Records were manually analyzed and tagged. The framework of semantic markup is presented and the analysis of the applicability of semantic roles and their relationships with respect to real clinical cases is given.

**Keywords:** semantic role marking, shallow semantic analysis, clinical processing of natural language, domain adaptation

## СЕМАНТИЧЕСКАЯ РОЛЕВАЯ МАРКИРОВКА ДЛЯ КЛИНИЧЕСКОГО ТЕКСТА НА КАЗАХСКОМ ЯЗЫКЕ

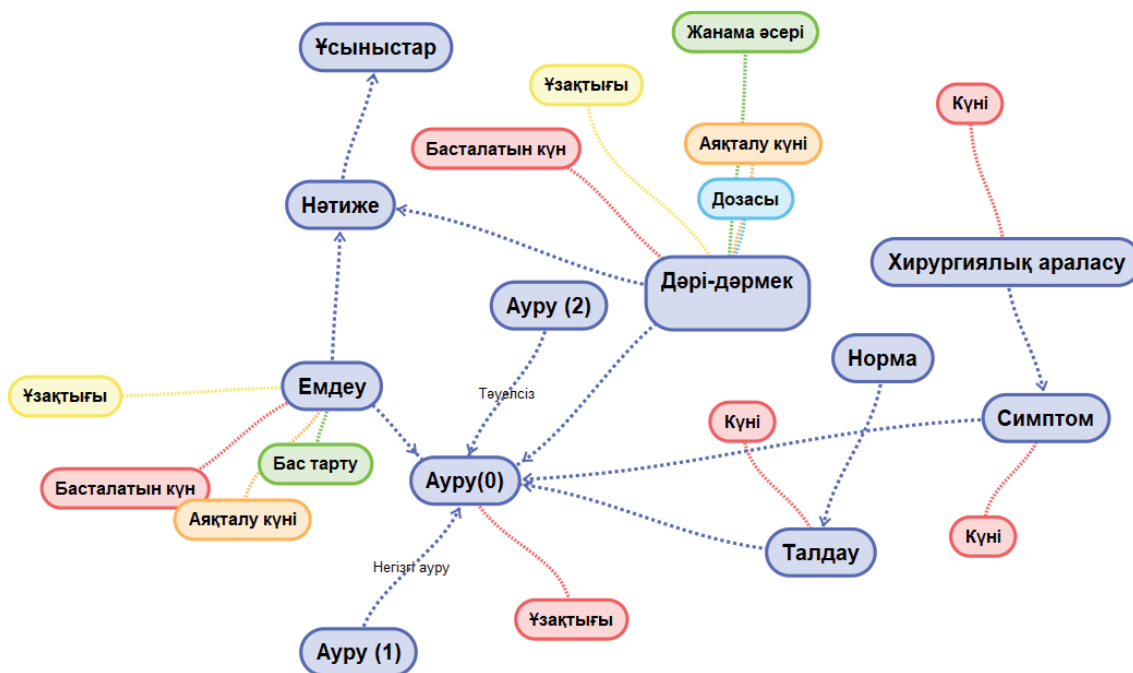
**Аннотация:** Маркировка семантических ролей (Semantic Role Labeling, SLR) извлекает поверхностное представление смыслов и их отношений из различных текстов, семантический слой важен для понимания естественного языка. Исследований в маркировке семантических ролей в области медицины было проведено мало, в основном, из-за отсутствия аннотированных клинических корпусов, особенно на русском языке. Целью настоящей работы является разработка каркаса маркировки семантических ролей для клинических заметок с использованием корпуса, созданного практикующими врачами клиницистами, для повышения производительности и экономии затрат, а также повышения качества предиктивной медицины. Материалы и методы: в качестве набора данных целевого домена использовалась обезличенная база данных, собранная на основе клинической практики, в частности, по болезням желудочно-кишечного тракта, сердечно-сосудистой системы и других. Записи были вручную проанализированы и помечены. Представлен каркас семантической разметки и приведен разбор применимости семантических ролей и их отношений относительно реальных клинических случаев.

**Ключевые слова:** семантическая ролевая маркировка, неглубокий семантический анализ, клиническая обработка естественного языка, адаптация домена

### КІРІСПЕ

Табиғи тілді өңдеу (NLP) технологиялары электронды медициналық есепке алу жүйелерінде клиникалық есептерде сақталған ақпаратты өңдеу үшін маңызды, дегенмен, әртүрлі компьютерлік қосымшаларды, мысалы, био бақылау және клиникалық шешімдерді қолдау сияқты компьютерлік медициналық қосымшаларды қолдана отырып, семантикалық маңызды ақпаратты алу үшін әртүрлі NLP жүйелері жасалған. Дәстүрлі жүйелер семантикалық рөлдік таңбалауды (SRL) қолданады [1], (семантикалық деп те аталады) синтаксистік талдау) [2], бұл предикаттар мен олардың дәлелдерін әртүрлі мәтіндерден алады. Қазіргі SRL жүйесі ашық домендерде және әртүрлі биомедициналық субдомендерде ақпаратты алу үшін жасалынған және қолданылған [3–12]. Алайда клиникалық салада, SRL зерттеулері өте аз [13,14], мүмкін, бұл аннотацияланған үлкен корпустардың болмауына, әсіресе қазақ тілі үшін осындай корпустардың болмауы мәселенің туындауына себепші болып отыр. Мұндай SRL клиникалық корпусын жасау көп уақытты қажет етеді және қымбатқа түседі. Бұл зерттеуде біз SRL-ді клиникалық белгілеуге сілтеме ретінде предиктивті медицинаның мәселесі ретінде қарастырамыз. Мақсатымыз – SRL әдістемесін қазақ тілі үшін клиникалық аймағына бейімдеу [15,16]. SRL-нің міндеті

– сөйлемдегі семантикалық қатынастарды сөйлемдерді ұсынуға арналған предикативті актантикалық құрылым (PAS) ретінде белгілеу [17]. PAS анықтамасы семантика теориясындағы сөйлемдерді білдіру үшін негізгі логикадан туындады. Ағылшын тіліне арналған биомедициналық мәтіндерде семантикалық қатынастарды алу туралы көптеген жұмыстар бар [4-12,18-22]. Әдетте, медицина сияқты жабық доменде бастапқы семантикалық типтердің шектеулі саны және әртүрлі семантикалық аргументтердің мағыналық қатынастарды қалай байланыстыруға болатындығын анықтайтын шектеулер бар. Екі жоба бар, атап айтсақ, лингвистикалық құрылым жобасы (Linguistic String Project, LSP) [20] және медициналық тілдерді шығару және кодтау жүйесі (Medical Language Extraction and Encoding System, MedLEE) [21], олар тілдік грамматиканың қосалқы жүйесін қолданады – бұл NLP екі ерте жүйе медициналық салада семантикалық қатынастарды алуға арналған. SemRep – бірыңғай медициналық тіл жүйесінде анықталған семантикалық болжамдарды шығаратын тағы бір биомедициналық семантикалық қарым-қатынас жүйесі. Биомедициналық әдебиеттің семантикалық желісі. PennBioIE корпусы, анықтаған болатын және семантикалық тұрғыдан шектеулі доменде де синтаксистік вариациялар көп



1-сурет. Клиникалық мәтіндерді белгілеуге арналған мағыналық рөлдердің, предикаттар мен атрибуттардың байланыс диаграммасы

кездесетінін және әртүрлі болатындығын анықтады. Қазіргі уақытта, NLP -ге негізделген көптеген клиникалық жүйелер, көбінесе ережеге негізделген әдістерді қолдана отырып заңдылықтарды қолмен алу арқылы семантикалық қатынастарды таниды. Ол семантикалық фреймдерде алдыңғы қайта іздеуден [25] және семантикалық рөлдер мен синтаксистік іске асырудың арасындағы байланысты шабыттандырады [23, 24]. [25] Қазіргі кездегі SRL тәсілдері негізінен ашық жерлерде дамытылғанымен (осылайша семантикалық рөлдер немесе дәлелдемелер түрлері жеткіліксіз немесе медициналық практика үшін жарамсыз болуы мүмкін), оларды балама түрде қамтамасыз етіп, медициналық салада кеңейтуге болады [13,14] немесе клиникалық-семантикалық қатынасты алу үшін қосымша тәсілдер.

### КЛИНИКАЛЫҚ МӘТІНДЕРДІҢ СЕМАНТИКАЛЫҚ БЕЛГІЛЕНУІ

SRL-де предикат, әдетте атрибутты немесе қатынасты көрсететін сөзге сілтеме жасайды, ал дәлелдер предикат үшін әртүрлі семантикалық рөлдер ретінде әрекет ететін синтаксистік компоненттерге сілтеме жасай-

ды. Негізгі дәлелдер – бұл предикаттың негізгі аргументтері, ал қосымша дәлел уақыт пен орын сияқты предикаттың жалпы қасиеттерін білдіреді.

1-суретте келесі элементтер үшін семантикалық рөлдердің диаграммасы көрсетілген:

Symptom –клиникалық немесе басқа зерттеулерде анықталған симптомдар, белгілер мен ауытқулар;

Illness – халықаралық аурулар жіктеуіші бойынша нозологиялық өлшем (МКБ -10);

Drug – пациент қабылдаған дәрілер;

Drug\_Duration –қабылдау ұзақтығы;

Drug\_Start\_date – препаратты қабылдауды бастаған күн;

Drug\_End\_date – препаратты қабылдауды тоқтатқан күн;

Side\_effects – жанама әсерлері;

Dousage – препараттың дозасы;

P\_Cause – аурудың себебі;

Result – емдеудің динамикалық дамуы;

Result\_Duration – соңғы нәтиженің ұзақтығы;

Recomm – дәрігердің ұсынысы;

Surgical\_intervention – хирургиялық араласу;

Surgery\_Date – ота жасалған күн;

Treatment – емдеу, атап айтқанда шаралар жиынтығы;

Treatment\_Start\_date – емдеудің басталу күні;

Treatment\_End\_date – емдеудің аяқталған күні;

Denial – науқастың дәрігер тағайындаған қажетті шаралардан бас тартуы;

Treatment\_Duration – емдеудің ұзақтығы;

Dispensery – науқасты (созылмалы) аурулары бойынша есепке алу;

Duration\_Illness – аурудың ұзақтығы;

Illness\_date – аурудың басталу күні;

Symptom\_date – белгілердің басталу күні;

Analyses – талдау түрлері;

Date\_Medical\_Operation – медициналық тексеру күні;

Norma – норма

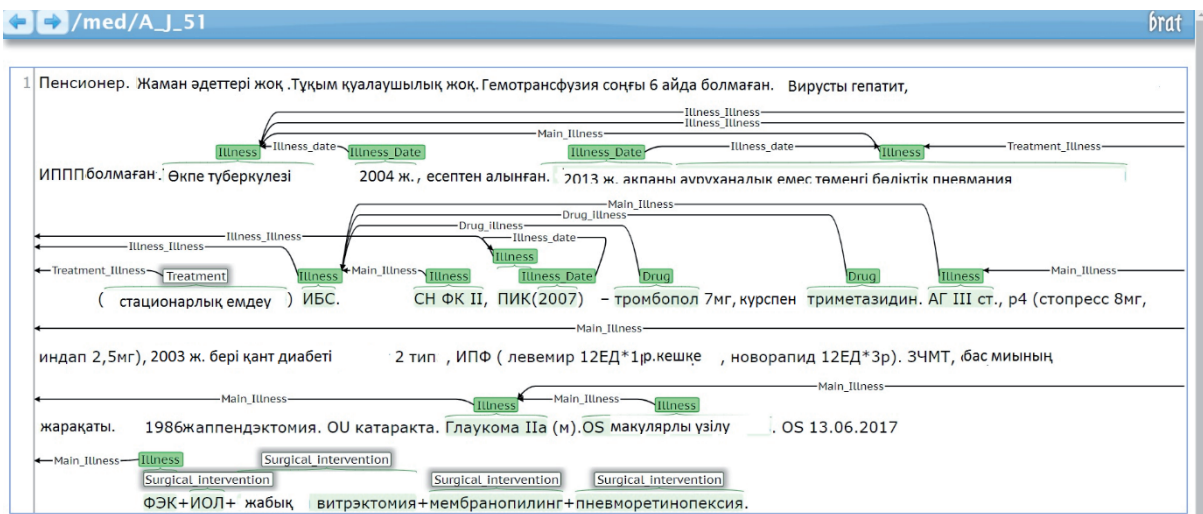
Symptom\_Duration – симптомдардың ұзақтығы

Төмендегі 2-суретте дискуляциялық энцефалопатияның нақты клиникалық жағдайларына түсініктеме беру мысалы келтірілген.

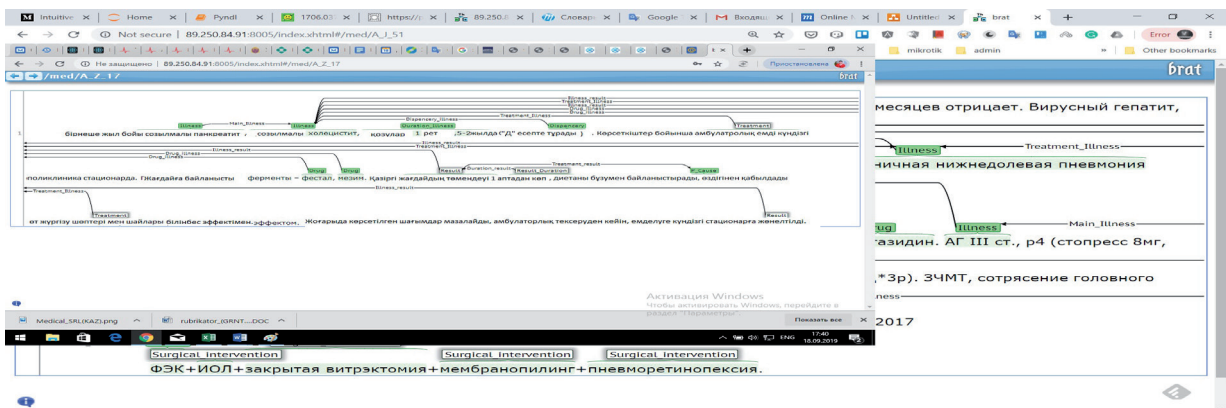
Бұл мысалда келесі аңғартпалар пайдаланылады: Illness және Duration\_Illness, сонымен қатар Main\_Illness қатынасы.

Қарапайым типтелген мәтін ауқымының категориясы реляциялық ақпаратты шығарудың қарапайым міндеттері үшін аталған нысандарды және бинарлық қатынастарды тану үшін аңғартпалар құруға жарамды.

Brat аннотациясы [сілтеме] сонымен қатар белгілі рөлдерге қатысқан басқа аннотациялардың кез келген санын біріктіре алатын n-дық қауымдастықтарының аннотациясын қолдайды. Бұл аннотация санатын, мысалы, келесі мысалда Illness сияқты оқиғаларға түсініктеме беру үшін пайдаланылады: басқа аннотациялардың ұқсас түрлері мен қасиеттерін аннотацияларда орнатуға болатын төл-



2-сурет. Белгілеу мысалы – Қант диабеті



3-сурет. Белгілеу мысалы – созылмалы холецистит және панкреатит

сипаттарды қолдану арқылы одан әрі анықтауға болады.

Медициналық деректерді белгілеудің негізгі буыны жарақат немесе ауру болып табылады (тәг Illness). Ауру жалғыз болуы мүмкін, сонымен қатар басқа аурулармен қатар жүруі мүмкін. Аңғартпаларда мұндай қатынастар Independent және Main\_Illness арқылы көрсетіледі (1,3 суретті қарау).

### ҚОРЫТЫНДЫЛАР МЕН ТАЛҚЫЛАУ

Медициналық жазбалар мен ескертпелер дұрыс диагноз қою үшін негізгі ақпарат көздерінің бірі болып табылады және медициналық диагноз қою үшін сапалы болжам бола алады. Медициналық мәтіндердің белгіленуі медицинаның белгілі бір саласы үшін нақтыланған семантикалық рөлдерді білдіреді, бұл жұмыста біз сан түрлі ауруларды немесе әртүрлі нозологиялық бірліктерді қамтитын жалпыланған семантикалық түзуді ұсындық. Атап айтқанда, келесі медициналық категорияларға талдау жасалды:

Бастапқы домендерден алынған білімді клиникалық аймаққа бейімдеуге болатынына қарамастан, клиникалық мәтіннің бірегей

### 1-кесте. Медициналық жазбаларды санат бойынша бөлу

Ауру аттары	64
асказан-ішек жолдары	65
Инфекция	33
Онкология	7
Ішкі аурулар	21
Жүрек-қан- тамырлары	207
Барлығы	397

сипаттамалары SRL жүйесін одан әрі жетілдіру үшін арнайы ресурстар мен шешімдерді қажет етеді. Ерекше белгілердің бірі – клиникалық лексика және олардың арасындағы семантикалық қарым-қатынас. «Аралас генездің дискулиративті энцефалопатиясы (тамырлы, дисметаболикалық) 1 тип», «дискуляторлық энцефалопатия» алтын стандартта ауру немесе жарақат ретінде көрсетілген. Клиникалық білім осы семантикалық қатынастарды дәл түсіндіру үшін қолданылуы керек. Клиникалық мәтіннің тағы бір ерекшелігі – үзінділердің жоғары жиілігі; яғни грамматикалық жағынан аяқталмаған сөйлемдер. Осылайша, қазақ тіліндегі клиникалық мәтіндерге семантикалық түзету нақты медициналық саланы ескере отырып, қосымша зерттеуді қажет етеді.

*Бұл жұмыс «AP05132760» жобасы бойынша гранттық қаржыландыру негізінде Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігі Ғылым комитеті ШЖҚ РМК «Ақпараттық және есептеу технологиялары институтында» жасалды.*

### ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР

1. Pradhan SS, Ward WH, Hacıoglu K, et al. Shallow semantic parsing using support vector machines / In: Proceedings of Human Language Technology Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics.-Boston, Massachusetts, USA: Association for Computational Linguistics July 21-26, 2004.-P.233–240.
2. Allen J. Natural Language Understanding. /2nd ed. Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings.,-1995.
3. Surdeanu M, Harabagiu S, Williams J, et al. Using predicate-argument structures for information extraction. // In: Proceedings of the 41st Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Sapporo, Japan: Association for Computational Linguistics July 7-12, 2003.-P.8–15.
4. Akane Y, Yusuke M, Tomoko O, et al. Automatic construction of predicate- argument structure patterns for biomedical information extraction. In: Proceedings of the 2006 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. Seattle, Washington, USA: Association for Computational Linguistics July 22-23, 2006.-P.284–292.
5. Yakushiji A, Miyao Y, Tateisi Y, et al. Biomedical information extraction with predicate-argument structure patterns. In: Proceedings of the First International Symposium on Semantic Mining in

- Biomedicine. Hinxton, Cambridge, UK: European Bioinformatics Institute April 10-13, 2005.-P.60–69.
6. Nguyen NTH, Miwa M, Tsuruoka Y, et al. Open information extraction from biomedical literature using predicate-argument structure patterns. // In: Proceedings of the 5th International Symposium on Languages in Biology and Medicine. Zurich, Switzerland December 12-13, 2013.
  7. Wattarujeekrit T, Shah PK, Collier N. PASBio: predicate-argument structures for event extraction in molecular biology. BMC Bioinformatics 200.-P.155.
  8. Kogan Y, Collier N, Pakhomov S, et al. Towards semantic role labeling & IE in the medical literature. AMIA Symposium October 22-26, 2005.-P.410–414.
  9. Shah PK, Bork P. LSAT: learning about alternative transcripts in MEDLINE. Bioinformatics 2006.-P.857–865.
  10. Bethard S, Lu Z, Martin JH, et al. Semantic role labeling for protein transport predicates. BMC Bioinformatics 2008.-P.277.
  11. Barnickel T, Weston J, Collobert R, et al. Large scale application of neural network based semantic role labeling for automated relation extraction from biomedical texts. PloS One 2009.-P.e6393.
  12. Paek H, Kogan Y, Thomas P, et al. Shallow semantic parsing of randomized controlled trial reports. AMIA Symposium November 11-15, 2006.-P.604–608.
  13. Albright D, Lanfranchi A, Fredriksen A, et al. Towards comprehensive syntactic and semantic annotations of the clinical narrative. J Am Med Inform Assoc. 2013.-P.922–930.
  14. Wang Y, Pakhomov S, Melton GB. Predicate argument structure frames for modeling information in operative notes. Stud Health Technol Inform. 2013.-P.783–787.
  15. Meyers A, Reeves R, Macleod C, et al. Annotating noun argument structure for NomBank. In: Proceedings of the Language Resources and Evaluation Conference. Lisbon, Portugal: European Language Resources Association May 26-28, 2004.-P.803–806.
  16. Meyers A, Reeves R, Macleod C, et al. The NomBank Project: an interim report. In: Proceedings of the HLT-NAACL 2004 Workshop: Frontiers in Corpus Annotation. Boston, Massachusetts, USA: Association for Computational Linguistics May 6, 2004.-P.24–31
  17. Palmer M, Gildea D, Kingsbury P. The proposition bank: an annotated corpus of semantic roles. Comput Linguist. 2005.-P.71–106.
  18. Rindfleisch TC, Fiszman M. The interaction of domain knowledge and linguistic structure in natural language processing: interpreting hypernymic propositions in biomedical text. J Biomed Inform. 2003.-P.462–477.
  19. Kilicoglu H, Shin D, Fiszman M, et al. SemMedDB: a PubMed-scale repository of biomedical semantic predications. Bioinformatics 2012.-P.3158–3160.
  20. Sager N. Natural Language Information Processing. UK; Addison-Wesley,1981.
  21. Chen ES, Hripcsak G, Xu H, et al. Automated acquisition of disease–drug knowledge from biomedical and clinical documents: an initial study. J Am Med Inform Assoc. 2008.-P.87–98.
  22. Simpson MS, Demner-Fushman D. Biomedical text mining: a survey of recent progress. In: Aggarwal CC, Zhai C, eds. Mining Text Data. USA; Springer 2012.-P.465–517.
  23. Schuler KK. VerbNet: A Broad-Coverage, Comprehensive Verb Lexicon. ProQuest Paper AAI3179808, 2005.
  24. Ruppenhofer J, Ellsworth M, Petruck MRL, et al. FrameNet II: extended the ory and practice. <http://framenet.icsi.berkeley.edu/> Accessed 10 March 2014.
  25. Levin B. English Verb Classes and Alternations: a Preliminary Investigation. -Chicago, USA: University of Chicago Press 1993.

УДК 004.056.55  
МРНТИ 81.93.29

## MDS-МАТРИЦЫ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В КРИПТОГРАФИИ

Т.К. ЖУКАБАЕВА, Е. МАРДЕНОВ

*Институт информационных и вычислительных технологий*

**Аннотация:** Безопасность информации является одним из важнейших аспектов коммуникаций, который из-за повышения опасности взлома в приложениях реального времени требует улучшения существующих и разработки новых криптосистем с высокой степенью безопасности и производительности. Криптосистемы, основанные на MDS-матрицах, являются формальными моделями вычислительных устройств, могут быть эффективно реализованы на программном и аппаратном уровнях. На сегодняшний день MDS-матрицы занимают особое место и являются важными компонентами при проектировании линейных диффузионных слоев многих блочных шифров и хеш-функций. В последнее время была проделана большая работа по построению облегченных MDS-матриц, большинство из которых основано на матрицах специальных типов над конечными полями. В данной статье рассматривается аналитический обзор применения MDS-матриц для криптографических алгоритмов. Рассматривается применение матрицы MDS для диффузии, а также сравнение их с другими алгоритмами.

**Ключевые слова:** криптография, MDS-матрицы, алгоритмы шифрования, блочные шифры, AES, SHARK, Square, Twofish, Anubis, KHAZAD, Manta, Hierocrypt, Kalyna

## MDS MATRIX APPLIED IN CRYPTOGRAPHY

**Abstract:** The security of information is one of the most important aspects in communications, which always demands to improve the existing cryptosystems, and design new ones with high security and performance in real-time applications due to enhancing the danger of hacking efforts. Since MDS matrix are formal models of computing devices, cryptosystems based on them can be efficiently implemented at software and hardware levels. Today, MDS matrices occupy a special place and are important components in designing the linear diffusion layers of many block ciphers and hash functions. Recently, a lot of work has been done on the construction of lightweight MDS matrices, most of which are based on special types of matrices over finite fields. This article provides an analytical overview of the use of MDS matrices for cryptographic algorithms. The use of the MDS matrix for diffusion is considered, as well as their comparison with other algorithms.

**Keywords:** cryptography, MDS matrix, encryption algorithms, block ciphers, AES, SHARK, Square, Twofish, Anubis, KHAZAD, Manta, Hierocrypt, Kalyna

## MDS МАТРИЦАЛАРЫН КРИПТОГРАФИЯДА ҚОЛДАНУЫ

**Аңдатпа:** Ақпарат қауіпсіздігі сөзсіз коммуникациядағы ең маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Ақпаратты қорғау үшін әртүрлі криптографиялық жүйелер қолданылады. MDS матрицалары негізіндегі криптожүйелер бағдарламалы және аппаратты деңгейлерде тиімді жүзеге асырылуы мүмкін, себебі есептеуіштердің формалды моделі болып есептеледі. Бүгінгі таңда көптеген блоктық шифрлерде және хеш функцияларында сызықты диффузиялық қабаттарын жобалауда MDS матрицалары ерекше орын алады және маңызды компоненттері болып саналады. Соңғы уақытта жеңілдетілген MDS матрицаларын құру бойынша көптеген жұмыстар жасалды, олардың көпшілігі ақырлы өрістерге негізделген. Бұл мақалада криптографиялық алгоритмдер үшін MDS матрицаларын пайдалану туралы аналитикалық шолу берілген. Диффузияға арналған MDS матрицасын қолдану, сондай-ақ оларды басқа алгоритмдермен салыстыру қарастырылады.

**Түйінді сөздер:** криптография, MDS матрицалары, шифрлау алгоритмдері, блоктық шифрлар, AES, SHARK, Square, Twofish, Anubis, KHAZAD, Manta, Hierocrypt, Kalyna

**Введение**

Для обеспечения защиты информации необходимы простые в реализации, быстродействующие алгоритмы шифрования. В рамках парадигмы повсеместных вычислений основной тенденцией в криптографии является эффективность аппаратной реализации. В последнее время было предложено много криптографических алгоритмов, в частности, блочные шифры и хеш-функции.

MDS-матрицы имеют применение не только в теории кодирования, но также имеют большое значение при разработке блочных шифров и хеш-функций. MDS-матрицы очень широко используются при разработке современных криптографических алгоритмов [1], [2], [3], [4].

MDS-матрица (Maximal Distance Separable matrix) – проверочная матрица линейного блочного кода с максимальной дистанцией (расстоянием). Структура MDS-матрицы обеспечивает максимальное рассеивание и используется при создании SPN-шифров в качестве линейных рассеивающих преобразований. MDS-матрицы широко используется при разработке линейных диффузионных слоев блочного шифра. Диффузионные слои являются важной частью большинства симметричных шифров. Цель диффузии – максимально расширить внутренние зависимости. В некоторых разработках используется слабый, но быстрый диффузионный слой, основанный на простой операции XOR, сложении и сдвиге, но другой тенденцией является использование матриц сильной линейной диффузии, таких как MDS-матрицы. Причиной использования MDS-матрицы при разработке блочных шифров является то, что они обеспечивают оптимальный диффузионный эффект для обеспечения безопасности функции округления блочного шифра. С другой стороны, конструкции диффузионных слоев могут быть различными. С точки зрения безопасности и эффективности при выборе диффузионного слоя для блочного

шифра необходимо определить надлежащий диффузионный слой. Важную роль занимает номер ветви диффузионного слоя, который представляет скорость диффузии и измеряет степень защиты [5,6].

Многие блочные шифры в качестве диффузионных слоев используют коды с разделением по максимальному расстоянию (MDS) и с максимально бинарно-линейным расстоянием (MDBL) [1],[7]. В своей конструкции в качестве диффузионных слоев AES и Khazad используют MDS-матрицы, а Camellia и ARIA используют MDBL (таблица 1).

**Таблица 1 – Блочные шифры и соответствующий диффузионный слой**

Блочный шифр	Диффузионный слой
AES	4×4 MDS $GF(2^8)$
Khazad	8×8 MDS $GF(2^8)$
Camellia	8×8 $GF(2^8)$
ARIA	16×16 $GF(2^8)$

Как показано в таблице 1, ARIA и Khazad используют инволюционные диффузионные слои. Инволюционные отображения снижают стоимость реализации операций шифрования и дешифрования и подразумевают, что оба преобразования имеют одинаковую криптографическую стойкость [8].

Развитие тенденции MDS-матрицы описано в работах [2,4], которые применяются для проектирования легковесных криптографических алгоритмов. MDS-матрицы часто используются для построения оптимальных линейных диффузионных слоев во многих легковесных шифрах. Современные легковесные криптографические алгоритмы применяют линейные слои для диффузии. Например, в хэш-функции PHOTON [9] был предложен новый тип матрицы MDS, который может быть вычислен последовательным или рекурсивным способом. Данная конструкция значительно уменьшает временную память (и, следовательно, аппаратную часть), необходи-

мую для вычисления матрицы. Такие матрицы позже были использованы в блочном шифре LED [7], в схеме шифрования с аутентификацией PRIMATE [10] и были дополнительно изучены и обобщены в работах [11, 12]. Последовательные матрицы за счет увеличения числа циклов применения матрицы обеспечивают оптимальное использование площади. Данный вариант отлично подходит для реализации с округлением или с низкой задержкой.

Важно отметить еще одно интересное свойство матрицы MDS – использование одной и той же диффузионной матрицы для шифрования и дешифрования. Такие шифры как PRINCE, ANUBIS, ICEBERG, KHAZAD использовали идею инволюции, определив функцию округления, которая состоит из операций инволюции, и где свойство неинволюции шифра, в основном, обеспечивается расписанием ключей.

Существует несколько способов построения MDS-матрицы [13-16], распространенным методом является использование цирку-

лянтной конструкции как для блочного шифра AES, так и для хеш-функции WHIRLPOOL. Преимущество циркулянтной матрицы для аппаратных реализаций состоит в том, что все ее строки похожи (с точностью до правого смещения), и можно тривиально использовать схему умножения для экономии затрат на реализацию. В работе [17] было доказано, что циркулянтные матрицы 4-го порядка не могут быть одновременно MDS и инволютивными. Авторы [18] доказали, что циркулянтные инволютивные MDS-матрицы не существуют. Поиск облегченных матриц, которые являются одновременно и MDS, и инволюционными, является непростой задачей, и эта тема привлекла внимание научного сообщества.

В работе [19] авторы рассматривают матрицы Вандермонда или Адамара, а в работе [20] – матрицы Коши. Эти конструкции позволяют строить инволютивные матрицы MDS для больших размеров. Типы MDS-матриц: Матрица Вандермонда, Матрица Адамара, Инволютивная матрица (одна и та же

Таблица 2 – Сравнение MDS-матрицы над GF (2<sup>8</sup>)

инволютивные MDS-матрицы			неинволютивные MDS-матрицы		
Типы матриц	Конечное поле	Коэффициенты	Типы матриц	Конечное поле	Коэффициенты
матрица 4x4					
Матрица Адамара	GF(2 <sup>8</sup> )/0x11d	(0x01; 0x02; 0x04; 0x06)	Циркулярная матрица	GF(2 <sup>8</sup> )/0x11b	(0x02; 0x03; 0x01; 0x01)
Матрица Коши	GF(2 <sup>8</sup> )/0x11b	(0x01; 0x12; 0x04; 0x16)			
Матрица Адамара-Коши	GF(2 <sup>8</sup> )/0x11b	(0x01; 0x02; 0xfc; 0xfe)			
матрица 8x8					
Матрица Адамара	GF(2 <sup>8</sup> )/0x11d	(0x01; 0x03; 0x04; 0x05; 0x06; 0x08; 0x0b; 0x07)	Циркулярная матрица	GF(2 <sup>8</sup> )/0x11d	(0x01; 0x01; 0x04; 0x01; 0x08; 0x05; 0x02; 0x09)
Матрица Адамара-Коши	GF(2 <sup>8</sup> )/0x11b	(0x01; 0x02; 0x06; 0x8c; 0x30; 0xfb; 0x87; 0xc4)	Циркулярная матрица	GF(2 <sup>8</sup> )/0x11d	Похоже на WHIRLPOOL
матрица 16x16					
Матрица Адамара-Коши	GF(2 <sup>8</sup> )/0x11b	(0x01,0x03,0x08,0xb2,0x0d, 0x60,0xe8,0x1c, 0x0f,0x2c,0xa2,0x8b, 0xc9,0x7a,0xac,0x3)	Матрица Адамара- Коши	GF(2 <sup>8</sup> )/0x1c3	0xb1; 0x1c; 0x30; 0x09; 0x08; 0x91; 0x18; 0xe4; 0x98; 0x12; 0x70; 0xb5; 0x97; 0x90; 0xa9; 0x5b
матрица 32x32					
Матрица Адамара-Коши	GF(2 <sup>8</sup> )/0x11b	0x01,0x02,0x04,0x69,0x07,0xec,0x5c,0x72, 0x0b,0x54,0x29,0xbe,0x74,0xf9,0xc4,0x87, 0x0e,0x47,0xc2,0xc3,0x39,0x8e,0x1c,0x85, 0x58,0x26,0x1e,0xaf,0x68, 0xb6,0x59,0x1f)	Матрица Адамара- Коши	GF(2 <sup>8</sup> )/0x1c3	0xb9; 0x7c; 0x93; 0xbc; 0xbd; 0x26; 0xfa; 0xa9; 0x32; 0x31; 0x24; 0xb5; 0xbb; 0x06; 0xa0; 0x44; 0x95; 0xb3; 0x0c; 0x1c; 0x07; 0xe5; 0xa4; 0x2e; 0x56; 0x4c; 0x55; 0x02; 0x66; 0x39; 0x48; 0x08

MDS-матрица для шифрования и расшифрования), Матрица Коши, Циркулярная матрица (как в AES) приведены в таблице 2.

В работе [21] приведено сравнение типов MDS-матриц, они были разделены на инволютивные MDS-матрицы и неинволютивные MDS-матрицы как показано в таблице 2. Распространенным способом построения MDS-матрицы является запуск с циркулянтной матрицы, причина в том, что вероятность нахождения матрицы MDS будет выше, чем у нормальной квадратной матрицы. Интересным свойством циркулянтных матриц является то, что каждая строка отличается от предыдущей строки смещением вправо, пользователь может просто реализовать одну строку умножения матриц аппаратно и повторно использовать схему умножения для последующих строк, просто сдвигая вход.

В последнее время несколько исследований [22,23] было посвящено построению рекурсивных MDS-матриц из матриц обобщенной структуры Фейстеля (GFN). Такой метод позволяет применять MDS-матрицу, используя итеративный процесс, который выглядит

как сеть Фейстеля с линейными функциями вместо нелинейных. Также важно отметить преимущество построения MDS-матриц на основе матриц GFN, которое проявляется в двух аспектах. Во-первых, рекурсивная GFN MDS-матрица может быть реализована путем параллельных вычислений, что сократит время выполнения. Во-вторых, обратная матрица рекурсивной GFN MDS-матрицы, также является рекурсивной GFN MDS-матрицей, и они имеют одинаковое число XOR.

### Выводы

В последнее время большое внимание уделяется поиску эффективно реализуемых MDS-матриц для криптографических алгоритмов. В работе было рассмотрено использование матрицы MDS для диффузии в таких блочных шифрах, как AES, SHARK, Square, Twofish, Anubis, KHAZAD, Manta, Hierocrypt, Kalyna, а также в потоковом шифре MUGI и криптографической хэш-функции Whirlpool. Были описаны MDS-матрицы, применяющиеся в легковесных криптографических алгоритмах PHOTON, LED, PRIMATE.

### ЛИТЕРАТУРА

1. B. W. Koo, H. S. Jang, J. H. Song. Constructing and Cryptanalysis of a 16x16 Binary Matrix as a Diffusion Layer, Proceedings of Information Security Applications: 4th International Workshop (WISA2003), Lecture Notes in Computer Science, Vol. 2908, pp. 489-503, Springer-Verlag, 2003.
2. Duval S., Leurent G. MDS matrices with lightweight circuits //IACR Transactions on Symmetric Cryptology. – 2018.
3. Andreeva, E., Bilgin, B., Bogdanov, A., Luykx, A., Mendel, F., Mennink, B., Mouha, N., Wang, Q., Yasuda, K.: PRIMATES v1. Submission to the CAESAR Competition (2014)
4. Christof Beierle, Thorsten Kranz, and Gregor Leander. Lightweight multiplication in GF(2<sup>n</sup>) with applications to MDS matrices. In Matthew Robshaw and Jonathan Katz, editors, CRYPTO 2016, Part I, volume 9814 of LNCS, pages 625–653. Springer, Heidelberg, August 2016
5. E. Biham and A. Shamir, Differential cryptanalysis of DES-like cryptosystems, Proceedings of CRYPTO'90, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 537, pp. 2-21, Springer-Verlag, 1991
6. M. Matsui, Linear cryptanalysis method for DES cipher, Proceedings of EUROCRYPT 93, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 765, pp. 386-397, Springer-Verlag, 1994.
7. Jian Guo, Thomas Peyrin, Axel Poschmann, and Matthew J. B. Robshaw. The LED Block Cipher. In CHES, pages 326–341, 2011.
8. J. Nakahara Jr., E. Abrahão, A new Involutory MDS Matrix for the AES, International Journal of Network Security, Vol. 9, n. 2, pp. 109-116, 2009.
9. Guo, J., Peyrin, T., Poschmann, A.: The PHOTON family of lightweight hash functions. In: Rogaway, P. (ed.) CRYPTO 2011. LNCS, vol. 6841, pp. 222–239. Springer, Heidelberg (2011)

10. Andreeva, E., Bilgin, B., Bogdanov, A., Luykx, A., Mendel, F., Mennink, B., Mouha, N., Wang, Q., Yasuda, K.: PRIMATES v1. Submission to the CAESAR Competition (2014)
11. Augot, D., Finiasz, M.: Direct construction of recursive MDS diffusion layers using shortened BCH codes. In: Cid, C., Rechberger, C. (eds.) FSE 2014. LNCS, vol. 8540, pp. 3–17. Springer, Heidelberg (2015)
12. Augot, D., Finiasz, M.: Exhaustive search for small dimension recursive MDS diffusion layers for block ciphers and hash functions. In: ISIT, pp. 1551–1555 (2013)
13. Kishan Chand Gupta and Indranil Ghosh Ray. On Constructions of Involutory MDS Matrices. In AFRICACRYPT, pages 43–60, 2013.
14. K. Khoo, T. Peyrin, A. Poschmann, and H. Yap. FOAM: Searching for Hardware- Optimal SPN Structures and Components with a Fair Comparison. In Cryptographic Hardware and Embedded Systems CHES 2014, volume 8731 of Lecture Notes in Computer Science, pages 433–450. Springer Berlin Heidelberg, 2014
15. M.i Sajadieh, M. Dakhilalian, H. Mala, and B. Omoomi. On construction of involutory MDS matrices from Vandermonde Matrices in  $GF(2^q)$ . Des. Codes Cryptography, 64(3):287–308, 2012.
16. Joan Daemen and Vincent Rijmen. The Design of Rijndael: AES - The Advanced Encryption Standard. Springer, 2002.
17. Pascal Junod and Serge Vaudenay. Perfect Diffusion Primitives for Block Ciphers. In Helena Handschuh and M. Anwar Hasan, editors, Selected Areas in Cryptography, volume 3357 of LNCS, pages 84–99. Springer, 2004.
18. Kishan Chand Gupta and Indranil Ghosh Ray. On Constructions of Circulant MDS Matrices for Lightweight Cryptography. In ISPEC, pages 564–576, 2014
19. M.i Sajadieh, M. Dakhilalian, H. Mala, and B. Omoomi. On construction of involutory MDS matrices from Vandermonde Matrices in  $GF(2^q)$ . Des. Codes Cryptography, 64(3):287–308, 2012.
20. Kishan Chand Gupta and Indranil Ghosh Ray. On Constructions of Involutory MDS Matrices. In AFRICACRYPT, pages 43–60, 2013.
21. Sim S. M. et al. Lightweight MDS involution matrices //International Workshop on Fast Software Encryption. – Springer, Berlin, Heidelberg, 2015. – C. 471-493
22. Augot, D., Finiasz, M.: Direct construction of recursive MDS diffusion layers using shortened BCH codes. In: Cid, C., Rechberger, C. (eds.) FSE 2014. LNCS, vol. 8540, pp. 3–17. Springer, Heidelberg (2015).
23. Qiuping Li, Baofeng Wu, Liu Zhuojun Liu. Lightweight Recursive MDS Matrices with Generalized Feistel Network: 13th International Workshop on Security, IWSEC 2018, Sendai, Japan, September 3-5, 2018, Proceedings Advances in Information and Computer Security

УДК 624.154  
МРНТИ 67.21.19

## CONTROL OF INTEGRITY OF BORED PILES USING OF NON-DESTRUCTIVE METHODS: LOW STRAIN METHOD AND CROSS-HOLE SONIC LOGGING

A.ZH. ZHUSSUPBEKOV<sup>1</sup>, N.U. SHAKIROVA<sup>1</sup>, G.K. TANYRBERGENOVA<sup>1</sup>,  
I.T. ZHUMADILOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Civil and Structural Engineering  
<sup>2</sup>L.N.Gumilyov Eurasian National University

**Abstract:** At the present time, in Nur-Sultan city is going on works by construction public transport system LRT (Light Railway Transport). LRT is an overhead road with two railway lines. The first stage of construction is including construction of overhead road (bridge) with 22,4 km length and 18 stations. The foundation of bridge is the bored piles with cross-section 1.0÷1.5 m and length 8÷55 m. Design bearing capacity of piles is 4500÷12000 kN. For boring soil using Chinese drilling rigs Zoomlion without casing. To maintain the walls of boreholes in sand and gravel soils using polymer slurry. In these conditions, very important to control integrity of concrete body of each bored piles. For checking integrity applying two methods - Low Strain Method and Cross-Hole Sonic Logging. The aim of this paper is to discuss the advantages and disadvantages of each method using the examples of a real application.

**Keywords:** integrity, LRT, construction, concrete, foundation

## ТОЛТЫРЫЛЫП ҚҰЙЫЛҒАН ҚАДАЛАРДЫҢ ТҮТАСТЫҒЫН ҚИРАМАУ ӘДІСТЕРІН ҚОЛДАНА ОТЫРЫП БАҚЫЛАУ: ТӨМЕНГІ ЖҮКТЕМЕЛЕУ ЖӘНЕ ҰҢҒЫМААРАЛЫҚ ДЕФЕКТОСКОП

**Аңдатпа:** Қазіргі уақытта Нұр-Сұлтан қаласында LRT (жеңіл теміржол көлігі) қоғамдық көлік жүйесі құрылысы бойынша жұмыстар жүргізілуде. LRT – екі теміржол желісі бар үстірт жол. Құрылыстың бірінші кезеңі ұзындығы 22,4 км және 18 станциясы бар жер үсті (көпір) құрылысын қамтиды. Көпірдің іргетасының диаметрі- 1,0 ÷ 1,5 м және ұзындығы 8 ÷ 55 м-лік көлденең қадалар. Қаданың есептік көтергіштік қабілеті 4500 ÷ 12000 кН. Бұрғылау үшін қаптамасы жоқ Zoomlion қытайлық бұрғылау қондырғылары пайдаланылған. Полимерлі суспензияны қолданатын құм және қиыршық топырақтардағы ұңғылардың қабырғаларын сақтау. Мұндай жағдайларда әрбір ұңғымаларды нақты дененің бүтіндігін бақылау өте маңызды. Тұтастықты тексеру үшін екі әдіс – төмен жүктеме әдісі және ұңғымааралық дефектоскоп алынады. Осы мақаланың мақсаты нақты әдістердің мысалдарын негізге ала отырып, әрбір әдістің артықшылығы мен кемшіліктерін талқылау.

**Түйінді сөздер:** тұтастылық, LRT, құрылыс, бетон, іргетас

## КОНТРОЛЬ ЦЕЛОСТНОСТИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕРАЗРУШАЮЩИХ МЕТОДОВ: МЕТОД ПРИ НИЗКОЙ НАГРУЗКЕ И МЕЖСКВАЖИННОЙ ДЕФЕКТОСКОПИИ

**Аннотация:** В настоящее время в городе Нур-Султан ведутся работы по строительству системы общественного транспорта LRT (Light Railway Transport). LRT – это подвесная дорога с двумя железнодорожными линиями. Первый этап строительства включает в себя строительство наземной дороги (моста) длиной 22,4 км и 18 станций. Основанием моста являются буронабивные сваи сечением 1,0 ÷ 1,5 м и длиной 8 ÷ 55 м. Расчетная несущая способность свай составляет 4500 ÷ 12000 кН. Для бурения грунта используют китайские буровые установки Zoomlion без обсадной колонны. Для

поддержания стенок скважин на песчано-гравийных почвах используют полимерную пульпу. В этих условиях очень важно контролировать целостность бетонного тела каждой буронабивной сваи. Для проверки целостности применяют два метода – метод при низкой нагрузке и межскважинная дефектоскопия. Целью данной работы является обсуждение преимуществ и недостатков каждого метода с использованием примеров реального применения.

**Ключевые слова:** целостность, LRT, строительство, бетон, фундамент

### Introduction

In the spring of 2017, in Nur-Sultan city was started works by construction public transport system LRT (Light Railway Transport). The cost of the project is about 1.9 billion dollars. Construction work produce a Chinese state-owned company «China Railway Asia-Europe Construction Investment Co». LRT is an overhead road with two railway lines. The first stage of construction is including construction of overhead road (bridge) with 22,4 km length and 18 stations. Height of the bridge is 7÷14 m above the ground. Overhead road based on columns every 30 meters. The foundation of each column is include 4 or 6 bored piles with cross-section 1.0÷1.5 m and length 8÷55 m. Design bearing capacity of each bored piles is from 4500 to 12000 kN.

In order to reduce the time for construction and cost of piling works Chinese companies are use Chinese drilling rigs Zoomlion without casing. To maintain the walls of boreholes in sand and gravel soils using polymer slurry. Application of polymer slurry allow reducing time for drilling, allow to use less powerful drilling rigs and equipment, but at the same time increase the risk of collapsing soil during drilling or concreting piles. In these conditions, very important to control integrity of concrete body of each bored piles. For checking integrity of bored piles applying two methods - Low Strain Method and Cross-Hole Sonic Logging.

### Integrity Testing

Everybody with experience in reinforced concrete construction has encountered columns that, upon dismantling of the forms, exhibit air voids and honeycombing. Although these columns may have been cast with good-quality concrete, in properly assembled forms and with careful vibration, they still exhibit defects. Cast-

in-situ piles are also columns, but instead of forms made of wood or metal we have a hole in the ground. This hole may pass through layers of dumped fill, loose sand, organic matter, and ground water, which may be fast flowing or corrosive. Obviously, such conditions are not conducive to a high-quality end product. The fact that on most sites we still manage to get excellent piles is only a tribute to a dedicated team that makes this feat possible: geotechnical engineer, structural engineer, quantity surveyor, contractor, site supervisor and quality control laboratory. This is obviously a chain, the strength of which is determined by the weakest link.

A flaw is any deviation from the planned shape and/or material of the pile. A comprehensive list of events, each of which can lead to the formation a flaw in a pile: use of concrete that is too dry, water penetration into the borehole, collapse in soft strata, falling of boring spoils from the surface, tightly-spaced rebars etc.

Therefore, we have to face the fact that on any given site some piles may exhibit flaws. Of course, not all flaws are detrimental to the performance of the pile. Only a flaw that, because of either size or location, may detract from the pile's load carrying capacity or durability is defined as a defect. The geotechnical engineer and the structural engineer are jointly responsible to decide which flaw comprises a defect.

The two techniques currently dominating pile integrity testing, namely the Low Strain Method and Cross-Hole Sonic Logging, both utilize sound waves (Amir et al 2009).

### Low Strain Method

The low strain (sonic) method for the integrity testing of piles is aimed at routinely testing complete piling sites. To perform this test, a sensor (usually accelerometer) is pressed against the

top of the pile while the pile is hit with a small hand-held hammer. Output from the sensor is analyzed and displayed by a suitable computerized instrument, the results providing meaningful information regarding both length and integrity of the pile.



Figure 1. Pile Integrity Tester - PIT-QV

The sonic test is fast and inexpensive, with less than a minute needed to test a given pile.

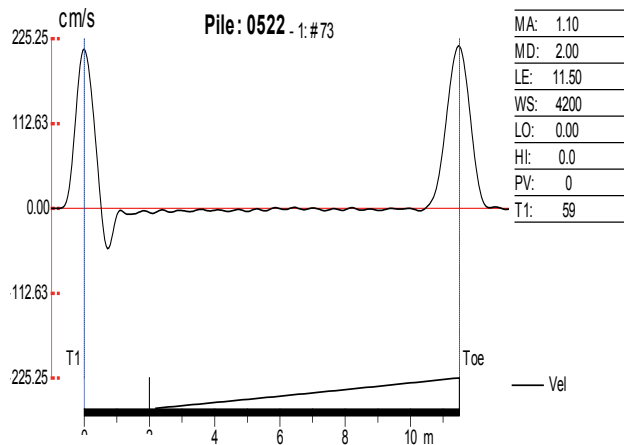


Figure 2. Example of normally result graph

The surface vibrations are measured by means of an accelerometer attached to the top of the pile. Although the acceleration curve could be interpreted directly, integration to velocity generally enhances the record by bringing out details otherwise overlooked. The pile top acceleration signal, is therefore digitized and stored in the PIT device memory, and it is numerically integrated to produce a velocity signal. It should be noted

that  $v$  is a particle velocity, i.e., the actual velocity of movement of the pile top surface.

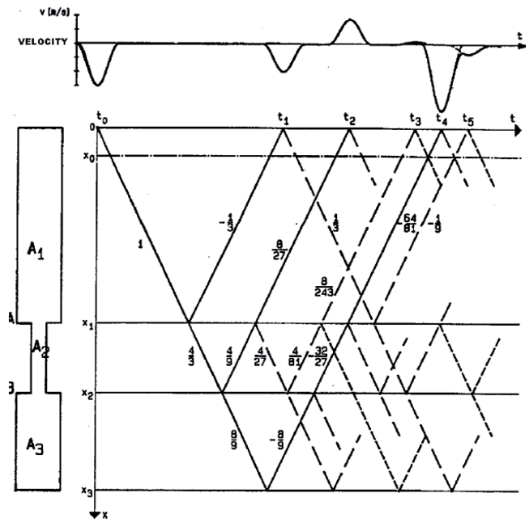


Figure 3. Characteristics for a rod with a reduced cross-section ( $A_2=A_1/2$ ,  $A_3=A_1$ )

### Wave Speed in Concrete

The Impact wave speed in concrete depends on the quality of the concrete and for in-situ casted piles the curing time of the concrete. The wave speed is used to determine the length of the pile based on the return signal. An example of the wave speed in concrete is shown below.

Table 1. Soil Properties Used in Analysis

Concrete quality	Impact wave speed (m/s)
Bad	<2.700
Acceptable	2.700-3.300
Good	3.300-3.800
Very good	3.800-4.000
Excellent	4.000-4.500
Unlikely normal conditions	>4.500

### Interpretation results obtained by Low Strain Method

An assessment by this method can give a rapid and accurate appraisal of pile integrity. An integrity test will indicate when a pile should be investigated further but it cannot give information about any load carrying capacity of the pile.

Interpretation of the results obtained must take into account the specific pile circumstances, i.e. construction technique and localized soil conditions. An anomaly does not necessarily

indicate a deficiency in the pile, but would certainly merit further investigation to establish the cause of the anomaly. Full interpretation of the signal responses must only be undertaken by fully trained personnel.

For interpretation ten classes are distinguished:

PILE PROFILE	DESCRIPTION	REFLECTOGRAM
	Straight pile	
	Straight pile	
	Straight pile	
	Increased	
	Decreased	
	Locally	
	Locally	
	High L/D ratio	
	Multipole reflections from	
	Irregular profile	

Figure 4. Typical piles with respective reflectograms

**Low Strain Testing Constraints**

The following items may often be detected:

- Pile length.
- Inclusions of foreign material with different acoustic properties.
- Cracking perpendicular to the axis.
- Joints and staged concreting.
- Abrupt changes in cross section.
- Distinct changes in soil layers.

All physical measurements have limitations, and low strain (sonic) test probably has more limitations than any other test. For instance, the sonic test will normally not detect the following items:

- The toe reflection when the L/D ratio roughly exceeds 20 (In hard soils) to 60 (In very soft soils).
- Gradual changes in cross-section.
- Minor inclusions and changes in cross-section.
- Impedance changes of small axial dimension.
- Small variations in length.
- Features located below either a fully-cracked cross section or a major (1:2) change in impedance.

- Debris at the toe.
- Deviations from the straight line and from the vertical.
- Load-carrying capacity.
- The consistency of concrete cover.
- The length of reinforcement.

**Cross-Hole Sonic Logging**

The Low Strain method belongs to the external test-methods, as it accesses only the top of the pile. Ultrasonic logging, on the other hand, is intrusive and necessitates the prior installation of access tubes (usually two or more) in the pile.

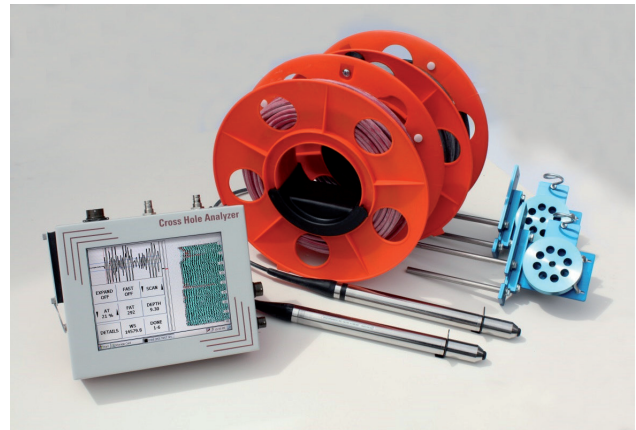


Figure 5. Cross-Hole Sonic measuring device – CHAMP: computer, cable, depth encoders, test probes

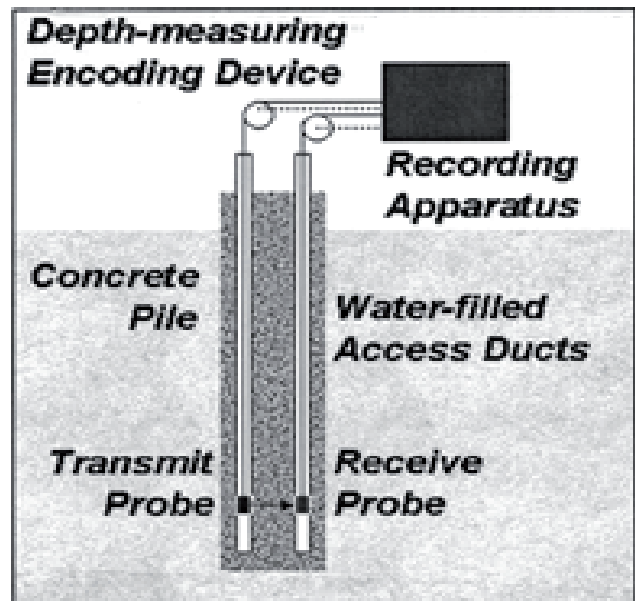


Figure 6. Test Arrangement

Before the test they have to be filled with water (to obtain good coupling) and two probes

are lowered inside two of the tubes. One of these probes is an emitter and the other a receiver of ultrasonic pulses. Having been lowered to the bottom, the probes are then pulled simultaneously upwards to produce an ultrasonic logging profile. The transmitter produces a series of acoustic waves in all directions. Some of these waves do eventually reach the receiver.

The testing instrument then plots the travel time between the tubes versus the depth. As long as this time is fairly constant, it shows that there is no change in concrete quality. A sudden increase of the travel time at any depth may indicate a flaw at this depth.

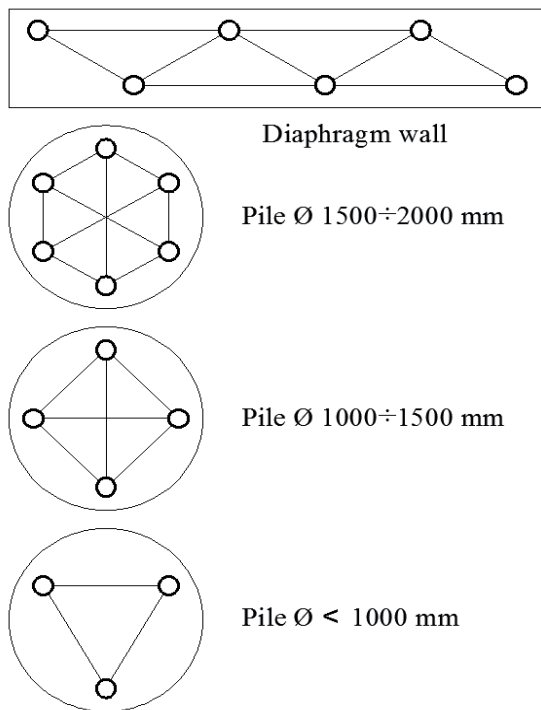


Figure 7. Typical Access Duct Configurations

The number of access tubes cast in the pile concrete is a function of the pile diameter, the importance of the pile and, of course, economic consideration. A good rule of thumb is to specify one tube per each 30 cm of pile diameter. Thus for a pile with a diameter of 1.2 m, four tubes will normally do. For best effect, the tubes should be equally spaced inside the spiral reinforcement and rigidly attached to it by wire or spot welding. Where tubes are extended below the reinforcement cage, they have to be stabilized by suitable steel hoops.

**Cross-Hole Sonic Logging Results**

Usually the report includes presentation of Cross-Hole Sonic logs for all tested tube pairs including:

- Presentation of the traditional signal peak diagram as a function of time plotted versus depth.
- Computed initial pulse arrival time or pulse wave speed versus depth.
- Computed relative pulse energy or amplitude versus depth.

A Cross-Hole Sonic log will be presented for each tube pair. Defect zones, if any, will be indicated on the logs and their extent and location discussed in the report text. Defect zones are defined by an increase in arrival time of more than 20 percent relative to the arrival time in a nearby zone of good concrete, indicating a slower pulse velocity.

**Tomography by the data of Cross-Hole Sonic Logging**

The same procedure, which is carried out in two dimensions on a single profile, can be used in three dimensions for the whole pile. In this case, the pile is divided into elementary voxels, or volume pixels, this process is usually called a tomography.

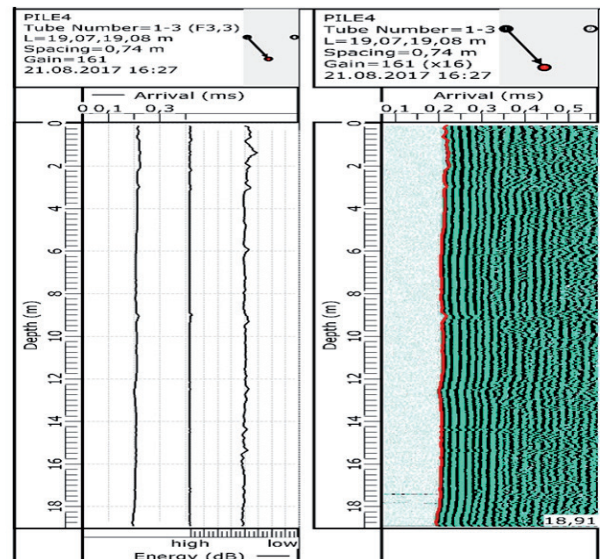


Figure 8. Typical Ultrasonic Profile

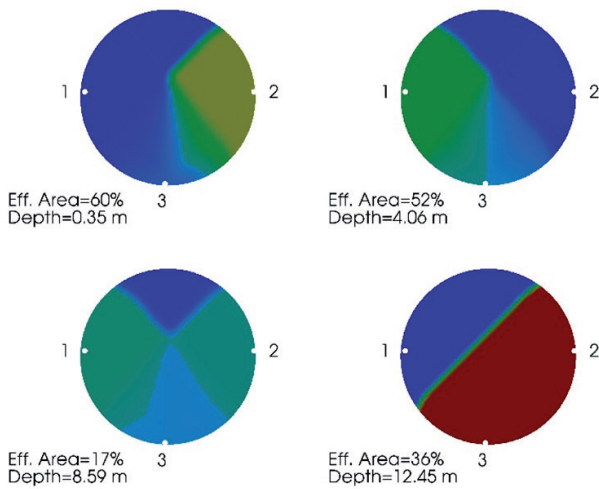


Figure 9. Horizontal cross-sections of pile in PDI-TOMO software

Tomography is a mathematical procedure that is applied to Crosshole Sonic Logging (CSL) data, providing the user with a visual image of a shaft’s internal defects. The procedure involves solving a system of equations based on First Arrival Times (FAT) in order to calculate wave speeds at various points within the shaft. Tomography wave speeds distributed throughout the shaft are directly proportional to density, indicating concrete quality. PDI-TOMO is an extension of the CHA-W software designed for superior tomographic analysis results from CHAMP data with increased efficiency for the user.

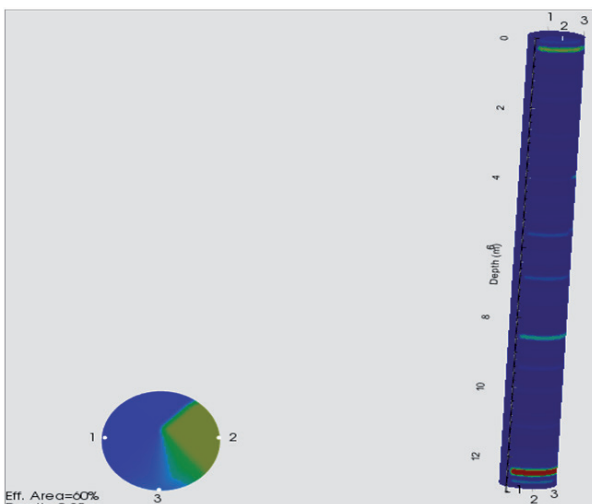


Figure 10. Three-dimensional visualization in PDI-TOMO software

PDI-TOMO software features:

- Provides a more precise location, shape and size of defective areas within a shaft.
- Offers an intuitive visual identification of the damaged areas and generates easily comprehensible and professional outputs for the consumer of the CSL reports.
- Provides a valuable add-on service for the testing engineer.

**Cross-Hole Sonic Testing Constraints**

The Cross-Hole Sonic Test will normally detect the following items:

- Finds multiple defects, depth and quadrant.
- Finds “soft bottoms” if tubes go to bottom.
- Finds voids better than soil inclusions.
- Finds larger defects easier than small defects.
- Waterfall, FAT (First arrival time), & energy all help find defect.
- Not sensitive to surrounding soils or pile length.

The Cross-Hole Sonic Test will normally not detect the following items:

- Cannot find diameter changes or bulges.
- If too few tubes, can miss a defect.
- Can find defect on direct path.
- Cannot find defect outside cage.
- Major diagonal defects more difficult to find.
- Need more than 4 tubes for 1500 mm pile (recommend 6 tubes for shaft this size).

**Comparison test results obtained by two methods**

In 2017-2018 at the construction site of LRT in Astana city, more than 1500 bored piles were integrity tested by using two methods: 45 % by Cross-Hole Sonic Logging and other 55 % by Low Strait Test. Chinese customer gives a technical assignment for integrity testing piles:

- if one foundation of the bridge consists of four bored piles, then one pile is tested by Cross-Hole Sonic Logging and other three piles tested by Low Strait Test.
- if one foundation of the bridge consists of six bored piles, then two pile is tested by Cross-

Hole Sonic Logging and other four piles tested by Low Strain Test.

One of the tested pile PR16-2 contained a serious defect of integrity.

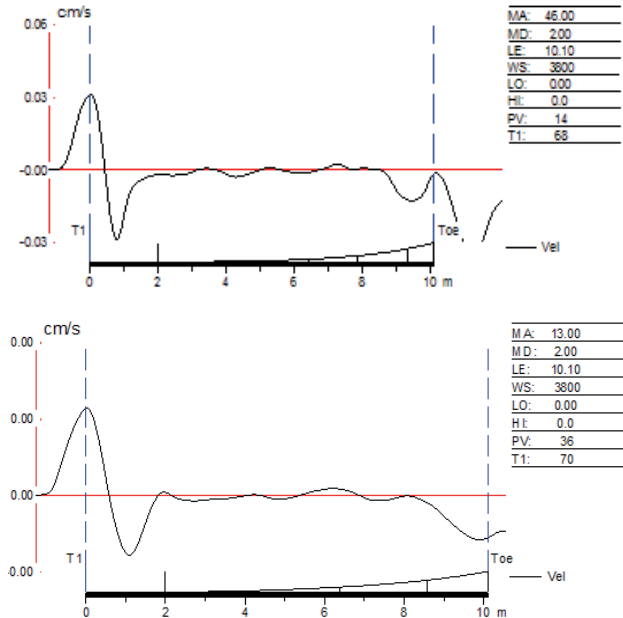


Figure 11. Two reflectograms of one bored pile PR16-2 obtained by Pile Integrity Tester - PIT-QV.

any depth. Cross-Hole Sonic Test provide more useful information about integrity and allows the engineer to evaluate the seriousness of the problem and the possibility of using this pile in foundation.

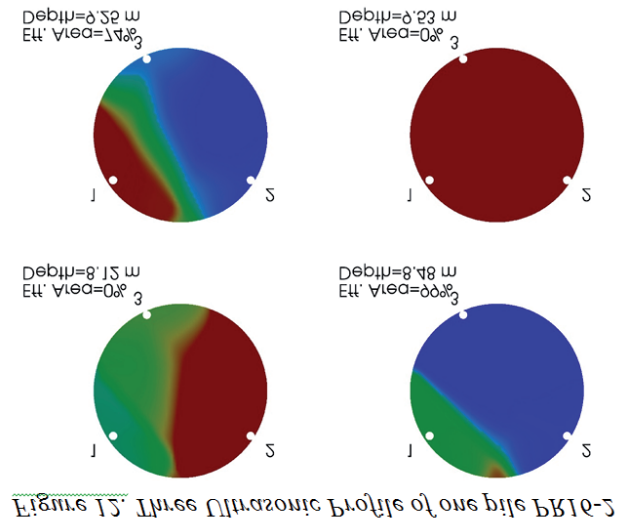


Figure 13. Horizontal cross-sections of pile PR16-2 in PDI-TOMO software

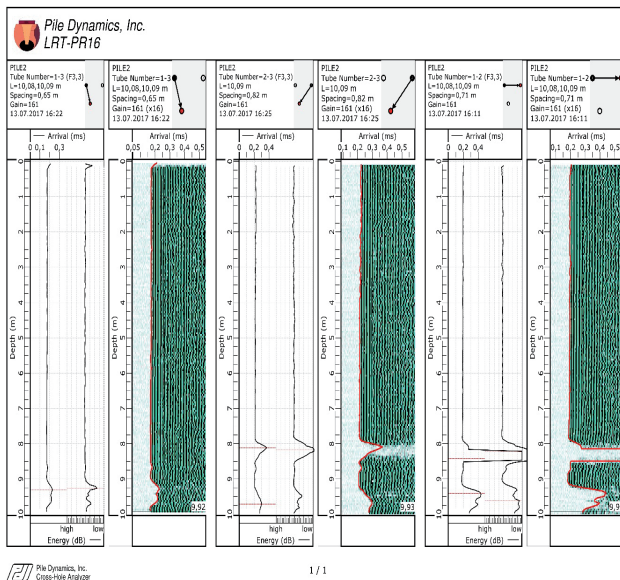


Figure 14. Three-dimensional visualization in PDI-TOMO software for bored pile PR16-2

Figure 12. Three Ultrasonic Profile of one pile PR16-2

Analyzing the data obtained by Low Strain Test (Fig. 11) we can say only that at the depth 8.5 m this pile has crack and its cross-section is decreasing.

Analyze the data of Cross-Hole Sonic Test can show 3D location of cracks, approximately size of cracks, effective cross-section of pile at

**Conclusions**

The cost of a quality control program for each construction site is very reasonable, and in any case much lower than the potential loss caused by an undetected defect of foundation. The Low Strain test is a powerful quality-control tool, not so expensive and need about one minute for application but we must never forget that it is

not omnipotent. Since the sonic method is based on the use of stress-waves, it can identify only those pile attributes that influence wave propagation and have a fairly large size.

Cross-Hole Sonic Logging method more accurate, allow to estimate the size and position of cracks. Although the access tubes introduce an extra expense item, the cross-hole test compensates for this by allowing the testing equipment

to approach potential flaws. An additional advantage of this test is the enhanced resolution: while the sonic test uses a wavelength of at least two meters, the cross-hole method utilizes ultrasonic frequencies, with typical wave lengths of 50 to 100 mm. Since resolution is strongly dependent on the wave length, the cross-hole method enables us to detect much smaller flaws with high accuracy.

## REFERENCES

1. Joram M.A. (2009). *Pile Integrity Testing*, Israel.
2. ASTM Standard D 5882 (2000). “*Standard Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations*,” ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
3. ASTM Standard D 6760 (2002). “*Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing*,” ASTM International, West Conshohocken, PA, www.astm.org.
4. White, B., Nagy, M. & Allin, R. (2008) “*Comparing cross-hole sonic logging and low-strain integrity testing results*,” Proceedings of the 8th International Conference of Application of Stress Wave Theory to Piles, Lisbon, 471-476.
5. Bungenstab, F.C. and Beim, J.W. (2015) “*Continuous Flight Auger (CFA) Piles – A Review of the Execution Process and Integrity Evaluation by Low Strain Test*,” Buenos Aires, Argentina; 414-421. IOS Press.
6. Massoudi, N. and Teferra, W. (2004). “*Non-Destructive Testing of Piles Using the Low Strain Integrity Method*”. Proceedings of the Fifth International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering: New York, NY; 1–6.

УДК 004.056.5  
МРНТИ 81.93.29

## К ВОПРОСУ О ПРОБЛЕМЕ СОВРЕМЕННЫХ ТЕНДЕНЦИЙ КРИПТОГРАФИИ

Н.А. КАПАЛОВА<sup>1,2</sup>, ANDRZEJ KOTYRA<sup>3</sup>, А.Ж. АБИШЕВА<sup>1,2</sup><sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК<sup>2</sup>Казахский Национальный университет имени аль-Фараби<sup>3</sup>Люблинский технический университет, Польша

**Аннотация:** Данная статья раскрывает понятие криптографии. Описывает существующие методы и проблемы криптосинтеза. Криптографические исследования несомненно впечатляют и являются важным вкладом в будущее. В данной работе рассматриваются криптографические алгоритмы, т.е. строительные блоки, используемые для разработки систем и протоколов. Проведен анализ в распространенных криптосистемах, которые связаны именно с недостатками проектирования и реализации. Пока нет оснований полагать, что этот тренд в ближайшее время изменится, поэтому наравне с теоретическими исследованиями нельзя забывать и о повышении качества работы инженеров, проектирующих, разрабатывающих и внедряющих системы, использующие криптографию. Приведенные различные примеры показывают как важна криптография на сегодняшний день и как эта наука будет развиваться в дальнейшем.

**Ключевые слова:** шифрование, криптография, ключевое и бесключевое хеширование, аутентификация, сертификат открытого ключа

## TO THE QUESTION OF THE PROBLEM OF MODERN TRENDS OF CRYPTOGRAPHY

**Abstract:** This article reveals the concept of cryptography. Describes existing methods and problems of cryptosynthesis. Cryptographic research is undoubtedly impressive and an important contribution to the future. In this paper, cryptographic algorithms are considered, i.e. building blocks used to develop systems and protocols. An analysis is made in common cryptosystems that are associated precisely with design and implementation flaws. While there is no reason to believe that this trend will change in the near future, therefore, along with theoretical research, one should not forget about improving the quality of work of engineers who design, develop and implement systems using cryptography. The various different examples show how important cryptography is today and how this science will develop in the future.

**Keywords:** encryption, cryptography, key and keyless hashing, authentication, public key certificate

ЗАМАНАУИ КРИПТОГРАФИЯЛЫҚ ТЕНДЕНЦИЯЛАРДЫҢ  
МӘСЕЛЕЛЕРІ ТУРАЛЫ

**Аңдатпа:** Бұл мақалада криптография ұғымы ашылады. Криптосинтездің қолданыстағы әдістері мен мәселелерін сипаттайды. Бүгінгі криптографияның маңыздылығы және болашақта бұл ғылымның даму барысы жайлы айтылады. Аталған еңбекте жүйелер мен хаттамаларды жасау үшін пайдаланылатын құрылыс блоктары, яғни криптографиялық алгоритмдер қарастырылған. Талдау дәл жобалау мен іске асырудағы қателіктермен байланысты жалпы криптожүйелерде жасалады. Бұл тенденция жақын арада өзгереді деп айтуға негіз жоқ, сондықтан теориялық зерттеулермен қатар криптографияны қолдана отырып, жүйелерді жобалау, әзірлеу және енгізу инженерлердің жұмыс сапасын жақсарту туралы ұмытпау керек. Әртүрлі мысалдар криптографияның бүгінгі күннің қаншалықты маңызды екендігін және болашақта бұл ғылымның қалай дамидынын көрсетеді.

**Түйінді сөздер:** шифрлау, криптография, кілттік және кілтсіз хештер, аутентификация, ашық кілт сертификаттары

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, например, средства электронной почты используются не только для общения между людьми, но и для передачи контрактов и конфиденциальной финансовой информации. Web-сервера используются не только для рекламных целей, но и для распространения программного обеспечения и электронной коммерции. Электронная почта, доступ к Web-серверу, электронная коммерция, VPN требуют применения дополнительных средств для обеспечения конфиденциальности, аутентификации, контроля доступа, целостности и идентификации [2]. В настоящее время в качестве таких средств используется стойкая криптография.

На протяжении всей своей истории человечество нуждается в шифровании той или иной информации. Из такой потребности выросла целая наука – **криптография**. Ранее криптография служила только интересам государства, но с появлением интернета ее методы стали интересовать и частных лиц. На сегодняшний день криптография широко используется хакерами, борцами за свободу информации и простыми пользователями, желающими защитить свои данные в сети.

Чтобы понять, как развивалась наука криптография, обратимся к ее истории. **Криптография** (с греческого – «тайнопись») – наука о защите информации с использованием математических методов. Первый труд о криптографии был написан еще до Рождества Христова. Первые уже надежные системы защиты информации были разработаны в Китае. Чаще всего шифрование информации использовалось в военных делах [3].

Криптография активно развивалась в Средние века, шифрованием сообщений часто пользовались дипломаты и купцы. Одним из самых известных шифров Средних веков называют кодекс *Scipiale* – изящно оформленную рукопись с водяными знаками, не расшифрованную до сих пор. Во времена Эпохи Возрождения Френсис Бэкон описал 7 методов скрытого текста, а также он предложил двоичный метод шифрования. Во

время Первой мировой войны криптография стала признанным боевым инструментом. Вторая мировая война послужила своеобразным катализатором развития компьютерных систем – через криптографию [6]. Использованные шифровальные машины (немецкая «Энигма» (рис. 1), английская «Бомба Тьюринга» (рис. 2)) ясно показали жизненную важность информационного контроля [1, с. 2].

В XX веке сформировался современный подход к криптографии. Эта наука была разделена на две части: криптосинтез и криптоанализ. Криптосинтез обеспечивал защиту информации, а криптоанализ ищет пути взлома системы. Как упоминалось ранее, в криптографии определены некоторые методы. Их можно подразделить в зависимости от количества ключей, которые используются в соответствующих алгоритмах [4]:

- двухключевые;
- одноключевые;
- бесключевые.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В двух ключевых алгоритмах используется два ключа: открытый и секретный. В одноключевом используется обычный секретный ключ. И в бесключевом алгоритме не используются какие-либо ключи вообще. Следует также отметить и остальные криптографические методы.

Электронная подпись, где алгоритм использует два вида ключей: секретный и открытый. Используется для подтверждения целостности данных и авторства.

Аутентификация. Данный метод позволяет определить действительно ли пользователь является тем, за кого себя выдает.

Методы криптографического контрольного суммирования:

- вычисление имитоприставок;
- ключевое и бесключевое хеширование;
- использование кодов аутентификации сообщений.



Рис. 1 – Шифровальная машина Третьего рейха «Энигма»

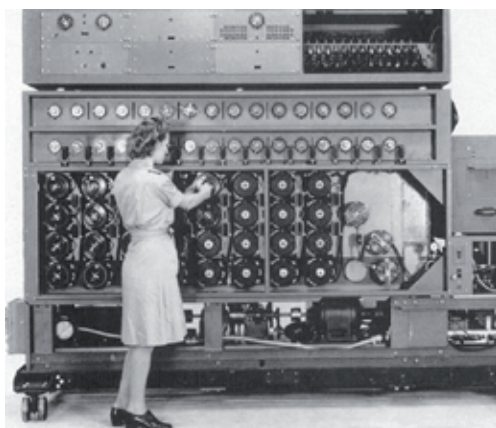


Рис. 2 – Шифровальная машина «Бомба Тьюринга»

Все эти методы применяются в защите данных, когда нельзя использовать электронную подпись, и в разных схемах аутентификации [5].

Генераторы случайных и псевдослучайных используются в криптографии, в частности:

- для генерации секретных ключей;
- в большинстве алгоритмов электронной подписи;
- в большинстве схемах аутентификации.

Как видно из рис. 3 алгоритмы шифрования можно разделить на две категории:

- алгоритмы асимметричного шифрования;
- алгоритмы симметричного шифрования.

Криптография с открытым ключом представляет собой форму обеспечения кон-

фиденциальности сообщений, подразумевающую создание *открытого* и *закрытого* ключей. Закрытый ключ хранится в секрете, а открытый ключ передается другим лицам. Хотя ключи математически связаны, закрытый ключ нельзя легко вычислить с помощью открытого ключа. Открытый ключ можно использовать для шифрования данных, которые сможет расшифровать только соответствующий закрытый ключ. Это может использоваться для шифрования сообщений для владельца закрытого ключа.

Аналогичным образом владелец закрытого ключа может шифровать данные, которые могут быть расшифрованы только с помощью открытого ключа. Такое использование – это основа цифровых сертификатов, в которых сведения, содержащиеся в сертификате, зашифрованы владельцем закрытого ключа, подразумеваемым автором содержимого. Поскольку ключи шифрования и расшифровки разные, они называются *асимметричными* ключами [7].

Как сертификаты, так и асимметричные ключи представляют собой способы асимметричного шифрования. Сертификаты часто используются как контейнеры для асимметричных ключей, так как они могут содержать дополнительные данные, например, о датах окончания действия и поставщиках. Не существует различий между двумя механизмами для алгоритма шифрования, равно как и различий в надежности при одинаковой длине ключа. Как правило, сертификат используется для шифрования других типов ключей шифрования в базе данных или подписи программных модулей [8].

Сертификаты и асимметричные ключи можно применять для расшифровки данных, зашифрованных другим способом. Обычно асимметричный ключ используется для шифрования симметричного ключа перед его сохранением в базе данных. В отличие от сертификата открытый ключ не имеет определенного формата, и его нельзя экспортировать в файл.

Несомненно, криптография будет развиваться дальше весьма активно. Одна из ее

задач на будущее – разработка скоростных методов шифрования с высоким уровнем секретности. Эта задача обусловлена большим количеством каналов связи (беспроводные сети, сотовая связь), по которым передаются очень большие объемы информации.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В алгоритме симметричного шифрования обычно используется тот же самый ключ, которым зашифровывали данные, или используют другой ключ, который связан с основным ключом простым соотношением. А в алгоритме асимметричного шифрования используется ключ зашифрования  $k_1$ , который легко вычисляется из ключа  $k_2$  таким образом, что обратное вычисление невозможно [9, с. 28].

Несмотря на новизну криптографии как науки, у нее уже имеются нерешенные проблемы. На сегодняшний день специалисты выделяют несколько проблем в криптографии [10]. К ним относят:

- ограниченность рабочих схем с открытым ключом;

- отсутствие перспектив;
- увеличение размера шифруемых блоков данных и ключей к ним;
- ненадежность фундамента шифрования.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Рассмотрим каждую из них в отдельности.

**Ограниченность рабочих схем с открытым ключом.** Несмотря на то, что в криптографии существует множество алгоритмов для шифрования данных, о чем говорилось ранее, которые могут быть получены путем комбинации разных простых изменений, каждая схема основывается на, так называемой, «нерешаемой» задаче. Таким образом, мы понимаем, что количество криптографических схем крайне ограничено [11].

**Отсутствие перспектив.** В настоящее время в теории науки криптография существуют *квантовые вычисления* – эффективная вычислительная модель, основанная на параллелизации вычислительных процессов за счет преобразования входной инфор-



Рис. 3 – Классификация криптографических методов

мации. Это значит, что можно одновременно вычислить значение функции для всех её аргументов за один вызов функции. Такие вычисления позволят в будущем решать задачи гораздо быстрее, чем на обычных компьютерах, а значит будущее криптографии весьма туманно.

**Увеличение размера шифруемых блоков данных и ключей.** Быстрые темпы развития вычислительной техники приводят к увеличению размеров блоков, данных и их ключей. В доказательство приведем пример. Изначально для создания криптосистемы RSA было достаточно 512 бит, а сейчас рекомендуемый объем составляет не менее 4096 бит. Аналогичная ситуация происходит и в других методах шифрования. В традиционной криптографии объем памяти для создания системы увеличился всего лишь в 2 раза [12].

**Ненадежность фундамента шифрования.** В рамках теории вычислительной сложности доказана связь между сложновычисляемыми задачами и их аналогами. Это значит, что, если будет подобран ключ к одной криптосистеме, то откроются и остальные, так как аналогичные задачи имеют одинаковую или весьма похожую основу.

## ВЫВОДЫ

Из вышесказанного можно сделать вывод о том, что сейчас в криптографии актуальны проблемы усложнения криптосистем, повышение стойкости алгоритмов, а также уменьшение размеров блоков данных.

Но следует помнить о том, что криптографические алгоритмы – это всего лишь строительные блоки, используемые для разработки систем и протоколов. Почти все самые громкие уязвимости в распространенных криптосистемах связаны именно с недостатками проектирования и реализации. Пока нет оснований полагать, что этот тренд в ближайшее время изменится, поэтому наравне с теоретическими исследованиями нельзя забывать и о повышении качества работы инженеров, проектирующих, разрабатывающих и внедряющих системы, использующие криптографию.

Работа выполнена за счет средств программно-целевого финансирования научных исследований на 2018-2020 годы по проекту «Разработка программных и программно-аппаратных средств для криптографической защиты информации при ее передаче и хранении в инфокоммуникационных системах и сетях общего назначения».

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нил Стивенсон. Криптономикон. – Нью-Йорк, 1999. – 928 с.
2. Партыка Т.Л., Попов И.И. Информационная безопасность. Учебное пособие для студентов учреждений среднего профессионального образования. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2002. – 243 с.
3. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке СИ. – М.: изд.-во ТРИУМФ, 2002. – 816 с.
4. Введение в криптографию / Под. общей ред. В.В. Ященко. – 3-е изд. – М.: МЦНМО, 2000. – 288 с.
5. Столлингс В. Криптография и защита сетей. Принципы и практика. – М.: «Вильямс», 2001. – 698 с.
6. Бабаш А.В., Шанкин Г.П. История криптографии. Часть 1. – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 240 с.
7. Алферов А.П., Зубов А.Ю., Кузьмин А.С., Черемушкин А.В. Основы криптографии: Учебное пособие. 2-е изд. – М.: Гелиос АРВ, 2002. – 480 с.
8. James M. Stewart, Mike Chapple, Darril Gibson. CISSP: Certified Information Systems Security Professional Study Guide, 6th Edition. - Sybex, 2012. 936 p.
9. Shon Harris, CISSP All-in-One Exam Guide, 6th Edition -McGrawHill, 2012. 1216 p.
10. Бунин О. Занимательное шифрование // Журнал «Мир ПК». – 2003. – № 7.
11. Панасенко С.П., Ракитин В.В. Аппаратные шифраторы // Журнал «Мир ПК». – 2002. – № 8.
12. Lieven, M.K. et al. Experimental realization of Shor's quantum factoring algorithm using nuclear magnetic resonance // Nature 414. 20–27 Dec. 2001.

УДК 691.3 (574)  
МРНТИ 67.09.33

**ANALYSIS OF THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY OF ISOLATION OF  
MICROSPHERES FROM ASH WASTE IN THE WORLD AND  
THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**I.V. KOLESNIKOVA, MARLEN DIAS**

*Kazakh Leading Academy of Architecture and Civil Engineering*

**Abstract:** *The possibility of solving environmental issues of the use of waste fuel and energy complex of Kazakhstan in the production of building materials. Comparison of aluminosilicate microspheres with the nearest analogues. The analysis of possibilities of technology of production of aluminosilicate microspheres (cenospheres) from ash and slag waste of thermal power plant in the Republic of Kazakhstan is carried out. And also shows examples of solving environmental problems, based on the experience of developed countries, through the use of waste in the production of building materials.*

**Keywords:** *glass microspheres, “Shirasu ballons”, perlite microspheres, cenospheres, industrial wastes of thermal power plant*

**ӘЛЕМДЕ ЖӘНЕ ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА КҮЛ-ҚОЖ  
ҚАЛДЫҚТАРЫНАН МИКРОСФЕРАЛАРДЫ БӨЛУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ  
ДАМУЫН ТАЛДАУ**

**Аңдатпа:** *Құрылыс материалдарын өндіруде Қазақстанның отын-энергетикалық кешенінің қалдықтарын қолданудың экологиялық мәселелерін шешу мүмкіндігі қарастырылуда. Алюмосиликатты микросфераларды жақын аналогтармен салыстыру. Қазақстан Республикасында ЖЭО күл-қож қалдықтарынан алюмосиликатты микросфералар (ценосфер) алу технологиясының мүмкіндіктеріне талдау жүргізілді. Сонымен қатар, құрылыс материалдарын өндіру саласында қалдықтарды қолдану арқылы әлемнің дамыған елдерінің тәжірибесіне сүйене отырып, экологиялық проблемаларды шешу мысалдары көрсетілді.*

**Түйінді сөздер:** *шыны микросфералар, «Shirasu ballons», перлитті микросфералар, ценосфералар, отын электр станцияларының өнеркәсіптік қалдықтары*

**АНАЛИЗ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫДЕЛЕНИЯ МИКРОСФЕР ИЗ  
ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТХОДОВ В МИРЕ И РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН**

**Аннотация:** *Рассматривается возможность решения экологических вопросов применения отходов топливно-энергетического комплекса Казахстана в производстве строительных материалов. Сравнение алюмосиликатных микросфер с ближайшими аналогами. Проведен анализ возможностей технологии получения алюмосиликатных микросфер (ценосфер) из золошлаковых отходов ТЭЦ в Республике Казахстан. А также показаны примеры решения экологических проблем, опираясь на опыт развитых стран мира, путем применения отходов в области производства строительных материалов.*

**Ключевые слова:** *стеклянные микросферы, «Shirasu ballons», перлитовые микросферы, ценосферы, промышленные отходы ТЭС*

The most valuable component in the composition of fly ash is aluminosilicate microspheres (cenospheres) – a light fraction of fly ash. Aluminosilicate microspheres are a loose fine powder consisting of thin-walled hollow particles of a rounded shape, aluminosilicate composition, with a diameter of several hundred microns. At thermal power plants, ash and slag waste is removed in the form of pulp, due to its low density, aluminosilicate microspheres float to the surface of water pools of ash dumps, forming various thin foam layers on the surface of the ash dump. (Fig.1)



Fig.1. Aluminosilicate microspheres in the form of a “foam layer” on the surface of the ash dump. Almaty, Kazakhstan.

In the United States of America, in the European Union, as well as in other developed countries, a special industry was created for the disposal of ash and slag waste in certain industries. Most often, aluminosilicate microspheres are used as fillers of various composite materials based on inorganic and organic binders. Their cost may exceed \$ 1000 per ton.

The closest analogues of aluminosilicate microspheres are glass microspheres. Their history of obtaining is closely related to each other.

Development of technology for the production of hollow microspheres began in the United States in the 50s of the last century. The main goal was to develop a technology for the production of glass microspheres. The patent for the production of hollow microbeads from solutions of alkaline metal silicates was introduced by the American Corporation “Standart Oil Co.”. The

specialists of this Corporation proposed to reduce the pure loss of petroleum products by evaporation from the exposed surfaces of storage, due to the coating of a layer of light particles on the surface of the storage, which later could be removed if necessary. An unambiguous solution to the problem was to obtain hollow microspheres of glass. The method consisted in the fact that the main property of solutions of sodium silicates and potassium silicates during the heating process with a sharp increase in volume – to foam. Today, the industrial production of hollow glass microspheres is carried out not only in the United States, but also in all industrialized countries of America, Asia and Europe. The high choice of the product range and its quality are determined by the fields of application. [1]

To date, most hollow glass microspheres are obtained by passing small particles through the high-temperature zone of gas-flame burners. (Fig.2) In these zones, due to the high temperature, they melt and soften, and the gas formed as a result of combustion processes forms cavities inside the particles, expanding them. One of the main manufacturers in the world market specializing in the production of hollow glass microspheres is the American company “3M - Minnesota Mining Manufacturing Co”, which has developed an original way to obtain them. The essence of this method is that the microspheres are made of ordinary glass, crushed to tens of microns and, subsequently, processed in pairs at elevated temperatures.[2]

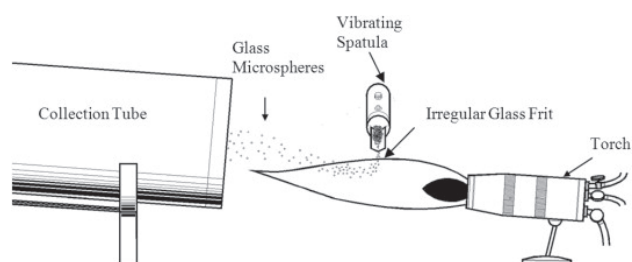


Fig.2. The process of obtaining glass microspheres.

In the early 70-ies of the last century, Japanese specialists of the Technological Institute on lake Kyushu (Agency of Industrial Science and Technology) conducted comprehensive studies of natural mineral raw materials “shirasu”. Due to this natural material under the influence of

heavy rains in the South of Kyushu there were landslides. The purpose of these studies was to determine the possibility of using this mineral in industry. In the process of research it was found that when firing fine-grained fractions “shirasu” under certain conditions it is possible to obtain small hollow balls (“Shirasu balls”).[3,4]

The technological scheme of the process of obtaining “Shirasu balloons” consists of three stages [4,5].

1. Grinding of mineral raw materials “shirasu” to fractions of 40-250 microns;
2. Mixing with agglomerating additives and with foam at 800 - 1200°C for 10 minutes;
3. Separation of the material is carried out in water or in a separating centrifuge. Industrial production of such microspheres is carried out in tubular rotary kilns. (Fig.3)

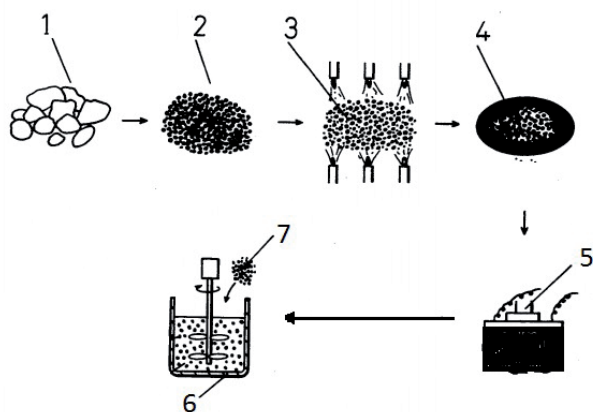


Fig.3. Technological scheme of microspheres based on natural mineral raw materials “shirasu”.

1 - initial mineral raw materials; 2 - the crushed mineral raw materials to fraction of 40-250 microns; 3 - mixing of raw materials with sintering additives; 4 - the received mix;

5 - the process of swelling at a temperature of 800 - 1200°C; 6 - the process of separation of the material in water; 7 – obtained microspheres floating on the water surface.

Compared with glass microspheres, “shirasu” microspheres have a number of defects, they include: the thickness of the walls of spheres, irregular shape, cellular structure, etc., which causes their low strength and high density. However, the aluminosilicate composition of the product

provides high resistance to acids and alkalis, heat resistance and less hygroscopicity.

Huge reserves of inexpensive raw materials, simple production technology and low cost of microspheres can make them promising materials. This is evidenced by new developments of Japanese scientists aimed at improving the properties of these microspheres. However, the problem of production technology of microspheres from natural raw materials are engaged not only in Japan but also around the world. So us experts have put forward their development to produce hollow microspheres of perlite – a common volcanic rock.

Production of lightweight building materials from industrially processed perlite rocks is most developed in the United States, where there are large branched network of processing plants owned by large firms. [5,6,7] At that time, Italy ranks first in the production of expanded perlite in Europe. Industrial processing of perlite is also developed in Germany, Hungary, Bulgaria and England. [8,9] Also huge reserves of perlite are located on the territory of the former USSR. Kazakhstan ranks 3rd in the identified areas of perlite raw materials, behind Armenia and Ukraine, followed by Azerbaijan, Georgia and Tajikistan. [10]

Swelling of perlite in vertical gas-flame furnaces of tubular type is still the main industrial method.[11,12,13] The basic principle of this method – crushed perlite is poured into an upward flow of hot gases coming from the gas burner, perlite is expanded and carried away with the combustion products into the precipitator. Non-foamed particles fall out of the working chamber into the collection located under the working chamber. The temperature is in the range of 1000-1200°C.

However, all attempts to manufacture hollow microspheres from perlite led to the fact that the finished product did not meet the characteristics, although its particles were chemically inert and adaptable to high temperature conditions[14]. These microspheres had a cellular structure, which adversely affects their application in liquid systems, as they lost their emptiness. The liquid filled all the voids, displacing the

gases in them. Hence the increased finite density of the system. Therefore, the production of hollow spherical balls from perlite raw materials remains relevant to this day.

At the moment, experts from the United States are actively engaged in the development of technology for producing hollow microspheres from natural perlite raw materials. The most active companies are «General Refractories Co», «Manvill Service Соф», «Johns Manvill Corp» - USA.

The process of ash removal at thermal power plants of the Republic of Kazakhstan is largely similar to the system of hydraulic ash removal used in thermal power plants of the Russian Federation. (Fig.4) The features of these systems are determined by the ash collection system adopted at the station and the design of slag removal devices. Devices with screw or scraper feed are mainly used to remove ash and slag waste from the boiler hopper,

Fig. 7 shows the scheme of ash removal at a thermal power plant [15]

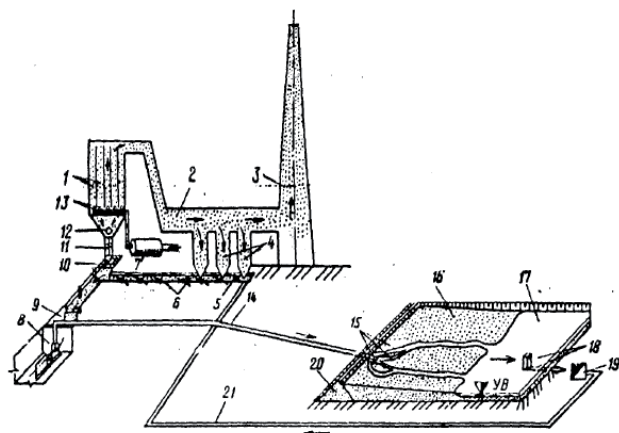


Fig.4. The scheme of ash removal at a thermal power plant.

1 - boiler unit; 2 - smoke channel; 3 - smoke stack; 4 - ash catcher; 5 - flush channel; 6 - motive nozzles; 7 - pulverized coal mill; 8 - bagger pump; 9- sump; 10 - filter of large slag inclusions; 11 - slag crushers; 12- slag mine; 13 - nozzles for pulverized coal fuel supply; 14 – slurry pipeline; 15- the flow of pulp; 16 - surface slope of alluvium; 17 - sedimentation tank; 18 - well; 19 - pumping plant; 20 - dump dam; 21 - purified water supply.

In the United States, where about 30 million tons of ash are formed annually by combustion of 300 million tons of coal, several methods of microspheres selection have been developed: electrostatic deposition, flotation, sieving [16].

At the moment, more than 600 million tons of ash and slag waste have accumulated on the territory of Kazakhstan, every year these figures grow by 19 million tons. If the use of ash and slag waste remains at the same level, by 2020 the volume of waste will exceed 650 million tons, and by 2030 – 1 billion tons. To date, a small number of private companies are engaged in the processing of ash in Kazakhstan. Less than 1.9 million tons of ash and slag waste is processed annually. Only a small part of the ash microspheres used in industry - oil and gas industry, engineering, chemical industry, in the production of various building materials. Basically, microspheres are exported to the EU countries: Spain, Sweden, Poland, Germany, Slovakia, etc.

Manufacturing and application of microspheres is a dynamically developing field of technology, and it is no coincidence that over the past 30 years (since the first publications on ash microspheres) the annual number of publications has increased by more than 10 times. World experience of consumption of ash microspheres amounted to approximately 60-80 thousand tons per year and is constantly increasing. Large suppliers of ash microspheres from the EU and the USA, such as “Omega Minerals” (Germany), “Microfine Minerals Ltd” (UK), “Sphere Services” (USA), systematically study new commodity markets of microspheres, focusing primarily on sources from India, China, Russia and Kazakhstan.

The development of rational methods of isolation of microspheres from fly ash, selection of microspheres in ash dumps of power plants, as well as their subsequent processing is an urgent problem for industry in many countries.

Introduction of technology of processing of ash and slag waste in order to obtain aluminosilicate microspheres and their subsequent use in the industry of the Republic of Kazakhstan is economically and environmentally sound. Based on international experience.

REFERENCES

1. Асланова М.С. и др. Полые неорганические микросферы.// Химическая промышленность за рубежом. – 1981. – №9. – С. 33-51.
2. Pat. 3, 365, 315, USA, Cl. 106 - 40. Glass bubbles prepared by reheating solid glass particles. Warren R. Beck. Appl. № 304. Filed 23.08.63. Patented 23.01.68.5 p.
3. Заявка Японии № 57-25919. Кл. С 03 В 19/08; В 07 В 7/12; В 01 j 13/02. Способ и устройство для изготовления полых стеклянных микросфер. Заявитель Когё гидзюцу интё. Заяв. 24.12.75. Оpubл. 14.12.82.
4. Исаёма Юкио. Стеклянные пустотелые микрошарики «Shirasu Balloons»// Сэрамикуусу, 1971. – Т. 6. – Хо 11. – С. 899-905.
5. Пат. 4557883 США. Кл. В 29 Н 7/20. Способ обработки и вспучивания мелких частиц перлитовой руды. Заявитель Manville Service Corp. Заявл. 05.02.82. Оpubл. 10.12.85.
6. Ковельман И.А. Перлит и его применение в строительстве США. // Бюл. Строительной техники. 1955. – №24.
7. Ковельман И.А. Производство и применение вспученного перлита в строительстве за рубежом. // Опыт строительства. – 1957. – № 9.
8. Albert J. Der expandierte Perlit Ziegelindustrie. 1959,- № 2. -S. 53 - 54.
9. Albert J. Geblahter, seine Herstellung und Verwendung als Zuschlagstoff. // Silikattechnik. 1958, -М 10. -S. 453 - 457.
10. Тимофеева Н.М. Состояние и перспективы развития производства вспученного перлита и изделий на его основе. // Промышленность керамических стеновых материалов и пористых заполнителей. ВНИИЭСМ. – 1981. – Вып. 5.
11. Pat. 4, 347,155 USA. Cl. С 04 В 31/26; С 04 В 31/22. Energy efficient perlite expansion process. Kenneth L. Jenkins. Appl. № 245. 421. Filed 19.03.1981. Patented 31.08.82. 5 p.
12. Pat. 4,290,749 USA. Cl. F 27 В 14/00. Perlite expansion process and apparatus therefor. Andre R. de Muinck. Appl. № 953.376. Filed 23.10.78. Patented 22.09.81.7p.
13. Овчаренко Е.Г., Зеньковский А.Г. Регулирование режимов в зоне вспучивания вертикальных перлитовых печей и свойства готового продукта.// Строительные материалы. – 1984.
14. Заявка Франции. № 2. 529. 879. Cl. С 04 В 31/40; С 03 С 11/00; С 04 В 21/00.Оpubл. 13.01.84.16 с.
15. Справочное пособие под ред. В.А. Мелентьева «Состав и свойства золы и шлака ТЭС». – Ленинград: Энергоатомиздат, Ленинградское отделение, 1985.
16. Tracy Wandell. Cenospheres: From Waste to Profits.// The American Ceramic Society Bolletin. 1996, -V75, -№6 (Yune) -P.79-81.

УДК 51.74; 627.81  
МРНТИ 27.35.21; 30.17.51

## NEW APPROACHES FOR SOLVING PROBLEMS OF THE SIMULATION OF FLOOD WAVES AND BREAKTHROUGH TO JUSTIFY PROTECTIVE MEASURES

T.ZH. MAZAKOV<sup>1,2</sup>, SH.A. DZHOMARTOVA<sup>2</sup>, P. KISALA<sup>3</sup>,  
G.Z. ZIYATBEKOVA<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>*Institute of information and computational technologies CS MES RK, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Al-Farabi Kazakh National University, Kazakhstan*

<sup>3</sup>*Lublin Technical University, Poland*

**Abstract:** *The article is devoted to the development of river flow modeling methods. This paper discusses possible approaches to modeling fluid flow. The analysis of recent floods and measures to protect agricultural lands from flooding based on computer simulation of the spread of flood and breakthrough waves. Preferred various examples show that the most optimal way to prevent the breakthrough of hydraulic structures is a constant automated monitoring of water level. This information is used to predict the emergency situation in the future.*

**Keywords:** *flood, flood and breakthrough waves, computer simulation, turbulent hydrodynamics, monitoring system, protection of the territory from flooding*

## ҚОРҒАНЫС ШАРАЛАРЫН НЕГІЗДЕУ ҮШІН СУ ТАСҚЫНЫН ЖӘНЕ СЕРПІНДІ ТОЛҚЫНДАРДЫ МОДЕЛЬДЕУДІҢ МІНДЕТТЕРІН ОРЫНДАУҒА АРНАЛҒАН ЖАҢА ЖОЛДАР

**Аңдатпа:** *Мақала өзен ағынын модельдеу әдістерін әзірлеуге арналған. Онда ағынды модельдеудің ықтимал тәсілдері қарастырылады. Су тасқынының және серпінді толқындардың таралуын компьютерлік модельдеу негізінде соңғы болған су тасқыны мен ауылиаруашылық жерлерін су басудан қорғау шараларына талдау жүргізілді. Су деңгейіне автоматтандырылған бақылау жүргізу гидротехникалық құрылымдардың серпілісіне жол бермеудің оңтайлы тәсілі болып табылады. Бұл ақпарат болашақта төтенше жағдайды болжау үшін қолданылады.*

**Түйінді сөздер:** *су тасқыны мен серпінді толқындар, су басу, компьютерлік модельдеу, турбулентті гидродинамика, бақылау жүйесі, аумақты су басудан қорғау*

## НОВЫЕ ПОДХОДЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ О МОДЕЛИРОВАНИИ ПАВОДКОВЫХ И ПРОРЫВНЫХ ВОЛН ДЛЯ ОБОСНОВАНИЯ ЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

**Аннотация:** *Статья посвящена разработке методики моделирования речного потока. В данной работе рассматриваются возможные подходы моделирования течения жидкостей. Проведен анализ недавних наводнений и мероприятий по защите сельскохозяйственных земель от затопления на основе компьютерного моделирования распространения паводковых и прорывных волн. Приведенные различные примеры показывают, что самым оптимальным способом предотвращения прорыва гидротехнических сооружений является постоянный автоматизированный мониторинг уровня воды. Данная информация впоследствии используется для прогнозирования аварийной ситуации.*

**Ключевые слова:** *наводнение, паводковые и прорывные волны, компьютерное моделирование, турбулентная гидродинамика, система мониторинга, защита территорий от затопления*

## Introduction

In recent years, the world has seen an increase in the number and extent of flooding and the associated social and economic losses. Currently, floods as a natural disaster cannot be entirely prevented everywhere, they can only be attenuated, localized and with timely warning of light to minimize material damage. For example, flooding in different regions of the country in 2018 led to the death of crops on an area of several thousand hectares. The situation was so critical that in the Central and Northern regions of Kazakhstan the authorities were forced to evacuate the population.

The most common methods of protection against flooding are the construction of dams. Due to the considerable length of the protection objects for determining the parameters of protective structures, the use of numerical hydrodynamic modeling is promising. On its basis, the distribution of flood and breakthrough waves is estimated and the calculation of flood zones in the river valley is carried out.

The use of existing software to identify areas of potential flooding as a result of the passage of a flood or a breakthrough wave is possible only by highly qualified specialists using expensive equipment, while their cost is quite high. At the same time, the applied modeling techniques and software products do not offer an operational solution to the problems associated with the assessment of the consequences of catastrophic floods. Development of express technology for modeling flood and breakthrough waves to justify measures to protect agricultural land from flooding is an important area of research.

By express technology we mean scientific activities that allow us to quickly and effectively justify measures to protect agricultural land from flooding.

Currently, there are many examples of emergency situations (ES) associated with flooding caused by the spread of flood and breakthrough waves. At this time in our country there is a task of protection of agricultural lands and settlements from flooding. Flooding of agricultural land occurs when large-scale floods are missed, as well as other natural and man-made factors, such as:

- with the passage of extreme costs, the reservoir may overflow and disrupt the normal

operation of the discharge facilities, which leads to water overflow through the dam crest and the formation of a blockage;

- due to the long service life, the main structures of the dam and hydromechanical equipment can wear out, which can lead to the formation of a block in the dam;

- due to personnel errors related to the lack of monitoring of hazardous situations and insufficient forecasting data on floods;

due to a possible terrorist act leading to the destruction of the dam.

We present some cases of flooding that caused significant damage to agricultural land and human settlements.

Dozens of dead, thousands of injured and billions of tenge, “drowned” in the water. In recent years, the arrival of spring in Kazakhstan is marked not only by the awakening of nature, but also by destructive floods. The flood problem is becoming more acute. The situation when in various regions of the country populated areas literally go under water has become the norm. At the same time, budget funds are still used to eliminate the consequences of floods, instead of preventing them. Kazpravda.kz correspondents recalled the most terrible leashes, found out what could happen this year, how to act in case of flooding and what measures are taken by the state to prevent and eliminate floods.

In Kazakhstan, a bus with schoolchildren was washed off the road by a flash flood. Video of the incident appeared on the network. In the video you can see how the bus that has moved down into the ditch is poured over the windows with stormy streams of melt water. Rescuers on the boat rescue the bus passengers through the upper hatch.

The incident occurred on April 16 in Sandyktau district on the Atbasar-Kokshetau highway, between the villages of Balkashino and Maksimovka, reports sputniknews.kz. “The bus of model “PAZ” left Derzhavinsk with 10 children, accompanied by teachers to the event in Kokshetau. On the road, the bus pulled out because of the meltwater overflow, the children were not injured, they were evacuated and placed in the school,” the police said.



Figure 1 - Flood in Kazakhstan (April 2018)

Flooding is a phase of the water regime, which is characterized by an intense, usually short-term increase in discharge and water levels, and is caused by rain or snowmelt during thaws. The spring flood is a seasonal phenomenon, and, in fact, this phenomenon has lately been more or less impossible to avoid.

In 2017, Akmola, Aktobe, East Kazakhstan, Karaganda, Kostanay, Pavlodar and North Kazakhstan regions suffered the most from the water-related hazard. Most of the 4715 evacuated people were taken out of Akmola (1340 people), Karaganda (1850) and Aktobe (1174) regions.

Severe flood damage was caused to the city of Atbasar in the Akmola region. The water flow there was so strong that the dam that defended the city was destroyed by a flood over 5 meters high. The water level on the first floors of Atbasar houses exceeded 1 meter.

Unfortunately, 2018 is no exception. Already in early March, alarming news began to appear: residents of the village Tuzdybastau evacuated the residents of the village of Tuzdybastau in the Almaty region, and the villages of Ornek, Akyrtope, Teremuzek and Mamai were flooded in the Zhambyl region. There was a difficult flood situation in Akmola, East Kazakhstan, Karaganda and North Kazakhstan regions.

**Research methods.** Attempts to resolve the conflict between the need to use floodplain and

coastal lands and losses from possible floods have been repeatedly undertaken by many specialists. But so far this conflict has not been resolved. In order to solve the problem of the possibility of using coastal lands, it is necessary to analyze the possible damage caused by floods. In agricultural areas, the losses caused by the flooding of agricultural land are especially high due to annual floods. Flooding causes damage to crops, damages various engineering and melioration systems.

Modern problems of land use require control and reliable forecast of the quality of land as a result of possible emergencies associated with flooding.

In the case of a flood or breakthrough wave, the quality of the land deteriorates significantly. Even a short-term rise of water in a river during a flood can cause flooding of coastal lands, which invariably entail significant losses associated with both possible crop loss and deterioration of land quality. In case of destruction of the pressure front of the dam, the most dangerous situation is observed. In this case, the resulting wave of breakthrough will cause huge damage, possibly flooding not only agricultural but also land settlements, which will bring catastrophic damage.

As measures to prevent damage caused by a possible flood, it is necessary to carry out such engineering measures as:

- monitoring and regulation of flood flow of rivers using various engineering structures: weirs, dams, strengthening of river banks, straightening of channels, etc.;

- design and rational placement of infrastructure elements and residential buildings in accordance with the potentially hazardous areas of possible flooding; in areas with frequent floods, it is possible to build houses on stilts, or transfer the first floors of buildings to non-residential premises;

- ensuring the sustainability of work, taking into account the possible occurrence of emergencies, important infrastructure elements: bridges, communication lines, etc.

All of the above flood control measures require precise engineering justification. Often, huge expenditures are required, both material and temporary, to conduct such research. To con-

duct a qualitative simulation of the breakthrough wave in existing software systems, high-class specialists, expensive equipment are required, the cost of the software itself is also high. All this requires huge financial investments, in turn, the available techniques do not offer a quick solution to the tasks.

It is worth noting that the main way today is the construction of embankment dams. The erection of embankment dams requires precise determination of the size of the dams themselves, since when they overflow through them, the dams turn out to be washed away. It is necessary to accurately determine the construction sites of the embankment dams, in order to prevent further spread of water. Due to the fact that the cost of building embankments directly depends on their length and height, it is necessary to optimize their parameters. The most rational conclusion could be the use in the design and construction of shore protection means, the simulation of river flow to determine possible areas of flooding. Further, based on the obtained simulation results, it is possible to calculate the parameters of embankment dams. Such calculations will allow to select the optimal parameters of bank protection means of protecting territories from the effects of flooding.

The founder of meliorative science in Russia was A.N. Kostyakov. In his fundamental work "Fundamentals of reclamation" [1] he described the ways of reclamation of floodplains and flooded lowlands. The concept of soil degradation, including the influence of anthropogenic factor was described in the works of A.A. Izmailskiy and B.A. Shumakov [2]. In the works of B.A. Brudastov the method of surface water drainage with the help of closed collectors was described. [3] Works of S.F. Averyanov on the management of water regime of reclaimed lands, on the methods of calculation of drainage for water drainage are widely used in the design of land reclamation measures [4].

To solve the problem of modeling flood and breakthrough waves and substantiate measures to protect agricultural land from flooding, the analysis of the literature describing possible approaches to modeling the flow of fluids has been carried out.

Для решения задачи о получении зон затопления в результате паводка возможны следующие способы получения результатов:

1. Physical models;
2. Conduct analytical calculations;
3. Numerical simulation.

To date, it has been shown that it is only possible to determine the propagation parameters of flood and breakthrough waves using numerical computer simulation.

Fluid flows are divided into two strongly different from each other type: laminar (smoothly changing, regular) and turbulent (disordered). In cases of the propagation of flood and breakthrough waves, the fluid flow will be turbulent.

P. Bradshaw (1971) [5] put forward the following definition of turbulence: "this is a three-dimensional unsteady motion in which, due to the stretching of vortices, a continuous distribution of velocity pulsations in the wavelength range from the minimum determined by viscous forces to the maximum determined by the boundary conditions of the flow is created. It is the normal state of a moving fluid, with the exception of flows at low Reynolds numbers".

The existence of laminar and turbulent flow regimes was observed in the first half of the 19th century, but the beginning of the theory of turbulence was described in the works of Osborne Reynolds (1883) [6]. Reynolds established the existence of a general criterion for the dynamic similarity of viscous incompressible fluid flows, the so-called Reynolds number:

$$Re = \frac{UL}{\nu}, \quad (1)$$

where: U - characteristic speed, m/c; L — characteristic length scale in the current under consideration, m;  $\nu$  — kinematic viscosity coefficient,  $m^2/s$ .

It has been discovered that if the Re number is sufficiently small, then the fluid flow is laminar. When the number Re reaches the critical value, the fluid motion becomes turbulent.

The first attempt to describe the processes of momentum transfer in turbulent flows belongs to

Boussinesq (1877) [6, 7]. These ideas were developed in the work Prandtl (1925) [8]. The modern formulation of the hypothesis of “locality” was defined in the work of LG. Loitsyanskyi (1958) [9]. In Richardson’s works, a cascade mechanism of energy transfer in a turbulent flow is described. (1922) [6]. Then in the works of Jeffrey Taylor (1935) [6] the concept of homogeneous and isotropic turbulence was introduced. Later, Russian scientist Andrey Nikolaevich Kolmogorov (1941) [10] made significant results in the creation of a holistic theory of locally isotropic turbulence. Important studies of the semi-empirical theory of near-wall turbulence were made in the 50s in the works of E. Van Driest (1956) [11] and F. Clauser (1956). An important role in the development of the theory of turbulence, based on the use of equations for the second moments, was played by the works of A.N. Kolmogorov (1942) and Prandtl-Weghardt (1945), in which a hypothesis was put forward, which relates the coefficient of turbulent viscosity and the kinetic energy of turbulence. Recently, alternative approaches for modeling turbulence have been actively developed. Thus, direct numerical simulation (DNS — Direct Numerical Simulation) was formulated. Of the works that describe the results obtained by this method are W. Schumann, G. Gretzbach, L. Kleiser (1984), [12]). (1984), [12]). Due to the limitations of the methods of direct numerical simulation (DNS) of turbulent flows, the methods of large eddy simulation (LES-methods) have been developed. The main idea of the LES method is a formal mathematical separation of large and small structures by means of some operation. Main works in this area: F. Durst, B.E. Launder (1982), J. Ferziger (1977)), Smagorinsky (1963, 1971) [6], (D. Lilly, 1967).

Then, a new approach to modeling turbulent flows was the method called - Detached Eddy Simulation (DES), (work of M.H. Streletc, F. Spalart (USA), etc. (1997). Recently, combined LES - DES methods for modeling turbulent flows have also been developed.

Currently there is a wide variety of algorithms and programs. Due to the rapid growth of computer technology, the calculation speed has increased markedly, which allows for high-quality

modeling. But it is worth noting that in real-life tasks, it becomes more important to obtain high-quality raw data. Inaccuracy of such data can minimize the advantage of using complex computer models. The most well-known and applied in practice are the programs: MIKE 11, developed by the Danish Hydraulic Institute and HEC-RAS, developed by the US Department of Defense. The HEC-RAS software package allows one-dimensional modeling of river flow and can be applied to rivers and canals. Software product MIKE 11, allows simulation of hydrodynamic processes such as dam destruction, breakthrough and flood waves, sediment transport and others. The MIKE 11 module makes it possible to find solutions to the implicit Abbott finite-difference scheme based on one-dimensional Saint-Venant equations. For two-dimensional modeling of river flow, the software package MIKE 21 was created.

The advantages of software systems are that they have a user-friendly interface, and the models used have a sufficient degree of reliability. The disadvantages include the high cost of software products and the complexity of setting the initial data for the simulation

Among the Russian programs for river flow modeling should be noted a series of programs: “HYDRA”, “WAVE”, «Hydro Grash», developed by the CJSC Research and design center of Risk research and Safety Expertise, as well the Programs developed at the Scientific research Institute of energy structures under the guidance of A.N. Militeev, V.V. Belikov, S.Ya. Shkolnikov. Also worth mentioning is the RIVER program developed by A.N. Militeev, V.V. Belikov, V.V. Kochetkov, designed to calculate the costs, levels and zones of flooding on the basis of its own algorithm for the joint solution of the one-dimensional Saint-Venant equation and the continuity equation.

When a wave propagates along a flood plain, the use of one-dimensional Saint-Venant equations is inefficient, and two-dimensional equations need to be solved. A simulation based on solving two-dimensional Saint-Venant equations is represented by the “BOR” program created by V.V. Belikov, which allows for calculations of flood currents in rivers and river valleys.

It should be noted that the use of three-dimensional models is required to obtain an accurate picture of the fluid motion in the simulation of a breakthrough wave or a flood wave near the structures. Numerical simulation requires the solution of three-dimensional Navier-Stokes evolution equations. This approach is implemented in Los Alamos Lab Flow3D software package. It is also possible to carry out numerical 3D modeling in the software package Apsus 14, developed by the American company ANSYS Inc. It is worth noting about the software product Flow Vision from the developed. It allows to solve various hydrodynamic problems, including three-dimensional stationary and unsteady flows of compressible, weakly compressible and incompressible fluid using different turbulence models.

Thus, all existing software systems can be divided into one-dimensional, two-dimensional and three-dimensional. Numerical simulation in the one-dimensional and two-dimensional cases greatly simplifies the model under study and does not provide a complete picture of the processes occurring during the propagation of a breakout wave or a flood wave, which will be shown below. Thus, the use of three-dimensional numerical simulation will be most accurate for the calculation of flood and breakthrough waves.

In most cases, the basic system for hydrodynamic modeling is the three-dimensional system of Navier-Stokes evolution equations. The problem of river flow modeling is an important issue. Currently, there is no single solution for forecasting river flow. The constant aspiration to

simplification of methods leads to a loss of quality in results of a research. But more complex models require multiple observations, which are often not available, so we have to simplify the models. One-dimensional models of river flow simulation can be used only for preliminary calculations. For a more accurate study, higher-level models should be used.

**Conclusion.** The paper shows that it is possible to determine the propagation parameters of flood and breakthrough waves only with the use of numerical computer simulation. All considered methods do not allow to receive quickly initial data for justification of flood control measures and demands considerable material and time resources. Thus, it is obvious that it is necessary to create a simplified technology for engineering substantiations of flood control measures that are comparable in terms of the reliability of obtaining results with existing ones, but at the same time have an advantage in speed of modeling and ease of implementation. The technology should, with a minimum set of initial data, make it possible to simulate the propagation of a flood wave or a breakthrough wave, the results of which provide a two-dimensional map of the study area with flood zones ranked by depth, as well as other parameters characterizing the propagation of waves.

This research has been conducted at the expense of the grant financing of scientific research for 2018-2020 under the project AP05131027 “Development of biometric methods and information protection tools”

## REFERENCES

1. Kostyakov A.N. Fundamentals of land reclamation. - M.: Kolos, 1960. - P.862.
2. Dobrovolskyi G.V. Degradation and soil conservation. - M.: MGU Publishing House, 2002. - P.654.
3. Brudastov A.D. Drainage of mineral and marsh land. - M.: Selkhozgiz, 1955. – P.444.
4. Averyanov S.F. Filtration from canals and its influence on the groundwater regime. - M.: Kolos, 1982. -P.237.
5. P. Bredshaw. Introduction to turbulence and its measurement. - M.: Mir, 1974. – P.239. Godunov S.K. Equations of mathematical physics. - M.: Science, 1971. – P.416.
6. Godunov S.K. Equations of mathematical physics. - M.: Science, 1971. - 416 p.
7. Kuchment L.S., Gelfan A.N., Demidov V.N. Development of physical and mathematical models of river flow formation and experience of their application with a lack of hydrometric observations

// Abstracts of reports of the VIth All-Russian Hydrological Congress. - SPb.: Gidrometeoizdat. - 2004.

8. Prandtl L. Uber die ausgebildeteturbulenz. – ZAMM, 1928, No.5.
9. Loitsyanskyi L.G. Fluid and gas mechanics. - M.: Science, 1987. -P.904 p.
10. Kolmogorov A.N. Local turbulence structure in an incompressible fluid for very large Reynolds numbers // Rep. Academy of Sciences of the USSR, V. 30, No.4, 1941. – pp. 299-303.
11. Van-Driest E.R. On turbulent flow near a wall // J. Aeronaut. Sci, 1956, v. 23, No.10.
12. Kollman V. (ed.) Methods of calculating turbulent flows. - M.: Mir, 1984. – P.464.

УДК 574; 582.4; 581.4;  
МРНТИ 34.35.01; 34.29.25; 34.31.33

## СОХРАНЕНИЕ IN VITRO МЯГКОПЛОДНИКА КРИТМОЛИСТНОГО MALACOCARPUS CRITHMIFOLIUS – РЕЛИКТОВОГО ВИДА МАНГЫШЛАКА

В.К. МУРСАЛИЕВА<sup>1</sup>, А.А. ИМАНБАЕВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Институт биологии и биотехнологии растений

<sup>2</sup>Мангышлакский экспериментальный ботанический сад

**Аннотация:** Приведены результаты введения в культуру *in vitro* и микроклонального размножения эндемичного вида *Malacocarpus crithmifolius*, произрастающего на территории полуострова Мангышлак. Установлено, что оптимальным эксплантом для культивирования является сегмент генеративного побега с незрелыми соцветиями. При культивировании первичного экспланта на индуцирующей среде отмечается прямая регенерация адвентивных побегов из пазухи прилистника. Массовое тиражирование исходного растительного материала со средней эффективностью 1:8 достигается путем пассирования побегов на индуцирующую среду с цитокинином и ауксином с последующим укоренением отдельных побегов на среде с индолмасляной кислотой. Разработанный биотехнологический способ ускоренного размножения мягкоплодника критмолистного *in vitro* рекомендован для сохранения и дальнейшего научно-практического использования уникальных генетических ресурсов реликтового вида в нефтедобывающем регионе.

**Ключевые слова:** мягкоплодник критмолистный, *Malacocarpus crithmifolius*, реликтовый вид, *in vitro*, микроклональное размножение, Мангышлак

## IN VITRO CONSERVATION OF MALACOCARPUS CRITHMIFOLIUS - RELICT SPECIES OF MANGYSHLAK

**Abstract:** The results of *in vitro* cultivation and micropropagation of *Malacocarpus crithmifolius* - endemic species from the Mangyshlak Peninsula in Western Kazakhstan are given. Generative shoot segment with an immature inflorescence is the optimal explant for cultivation. Direct regeneration of axillary shoots from primary explant is induced on the nutrient medium supplemented by cytokinin and auxin. Multiplication with average efficiency 1:8 during cultivation is achieved. Rooting of shoots on the medium with indole butyric acid is received. The developed technique *in vitro* is recommended for the conservation and scientific and practical using genetic resources of *Malacocarpus crithmifolius* in the oil producing region.

**Keywords:** *Malacocarpus crithmifolius*, relict species, culture *in vitro*, micropropagation, Mangyshlak

## МАҢҒЫШЛАҚТЫҚ IN VITRO КӘДІМГІ ЖҰМСАҚ ЖЕМІС MALACOCARPUS CRITHMIFOLIUS – РЕЛИКТІК ТҮРІН САҚТАУ

**Аңдатпа:** Маңгышлақ түбегінің аумағында өсетін *Malacocarpus crithmifolius* эндемиялық түрінің *in vitro* әдісімен микроклоналдық көбеюінің нәтижелері келтірілген. Өсіру үшін оңтайлы экспланттар – жетілмеген генеративті өскіндер сегменттері болып табылатыны анықталды. Жетілмеген гүл шоғыры бар генеративті өскін сегменттерін өсіру үшін тиімді эксплант болып табылатыны анықталды. Индуциялаушы ортада бастапқы эксплант өсіру кезінде жапырақты бұтақшалардың қуыстарынан адвентивті өскіндердің тікелей регенерациясы байқалады. Орташа тиімділігі 1:8 болатын бастапқы өсімдік материалын жаппай тираждауға цитокининмен және ауксинмен индуцирлеуші ортаға өскіндерді пассаждаумен, кейіннен индолмай қышқылы бар ортада жекелеген өскіндерді тамырлау арқылы қол жеткізіледі.

Тездетін көбейтудің әзірленген *In vitro* биотехнологиялық тәсілі реликті түрдің бірегей генетикалық ресурстарын сақтау және мұнай өндіру аймағында одан әрі ғылыми-практикалық пайдалану үшін ұсынылады.

**Түйінді сөздер:** кәдімгі жұмсақ жеміс, *Malacocarpus crithmifolius*, реликті түр, *in vitro*, микрклоналды көбею, Маңғышлақ

### Введение

В настоящее время проблема сохранения биологического разнообразия имеет глобальный характер и отражена в международных и национальных стратегических документах, которые являются законодательной основой для устойчивого использования биоресурсов [1, 2].

Важнейшей частью биоразнообразия являются растения – незаменимый источник жизненно важных для человека природных веществ и материалов. Согласно Международной Конвенции ООН о биологическом разнообразии две трети видов растений в мире находятся под угрозой исчезновения вследствие антропогенного воздействия и изменения климата. В связи с этим одной из задач Глобальной стратегии для сохранения растений является «secure 75 per cent of threatened plant species in accessible *ex situ* collections probably in the country of origin, and 20 per cent of them included in recovery and restoration programmers» [1, 3].

Мангышлакская область, расположенная в пустынной зоне на западе Республики Казахстан, является одной из крупных и интенсивно осваиваемых нефтегазоносных регионов и характеризуется сложными физико-географическими условиями: резко континентальным аридным климатом, разнообразием ландшафтно-климатических зон, каждая из которых отличается своеобразным и уникальным комплексом видов. В настоящее время флористический состав Мангистауской области, согласно опубликованным данным Мангышлакского экспериментального ботанического сада (МЭБС), насчитывает 675 видов из 300 родов и 69 семейств [4]. Список редких дикорастущих видов местной флоры включает около 40 видов, многие из которых внесены в Красную книгу Казахстана и в перечень редких и находящихся под угрозой исчезно-

вания видов растений [5, 6]. Уникальность и неповторимость генетических растительных ресурсов данного региона обуславливают также произрастающие только здесь реликтовые виды [7].

Одним из таких растений является мягкоплодник критмолистный (кәдімгі жұмсақ жеміс) *Malacocarpus crithmifolius* (Retz.) С.А. Меу – реликтовый представитель древнейшего монотипного ирано-южнотуранского рода *Malococarpus* из семейства Пегановых *Peganaceae*.

*M. crithmifolius* единственный вид из флоры Казахстана, который занесен в 2008 году в Красный список Международного союза по охране природы (МСОП) как уязвимый вид категории III (VU) с низкой численностью популяций и ограниченным ареалом [8].

По жизненной форме растение представляет собой ягодную полукустарниковую лиану высотой до двух метров со стелющимися длинными стеблями с неправильно дважды рассеченными на ланцетно-линейные доли листьями (другое название вида - мягкоплодник рассеченнолистный). Основные местонахождения природных популяций сосредоточены на Восточном побережье Каспийского моря – Мангышлак, Бузачи, чинки Устюрта. Растет мягкоплодник на глинистых и песчаных почвах, на равнинах, на каменистых склонах предгорий и на обрывках чинков [9].

Мягкоплодник критмолистный является слабо конкурентоспособным видом, встречается спорадически и, как правило, в угнетенном состоянии. Естественное возобновление вида происходит от пня. Размножение семенами отмечается только в благоприятные по осадкам годы при достаточном количестве света среди древесно-кустарникового редколесья. Однако, в природе небольшое число особей выживает самосевом [9].

Мягкоплодник является перспективным пищевым и декоративным растением для широкого использования на засоленных неудобных землях и для введения в культуру в качестве ягодного растения в промышленных районах Мангышлака и Устюрта и в пустынных районах Центральной Азии. Сочные оранжево-красные ягоды мягкоплодника содержат много витамина С, богаты сахарами и органическими кислотами [10]. В листьях растения выявлено высокое содержание алкалоидов, идентифицирован анабазин, гидрохлорид которого используется в качестве средства, снижающего никотиновую зависимость [11]. Растение рекомендовано для использования в садоводстве для вертикального декоративного озеленения [12]. В аридной Аралокаспийской зоне мягкоплодник играет значительную роль в кормовом рационе овец и лошадей [13].

Целью исследования является разработка способа ускоренного размножения мягкоплодника критмолистного *M. crithmifolius* методом культуры тканей *in vitro*, применение которого позволит сохранить эндемичный вид, провести интродукцию и предотвратить исчезновение генетических ресурсов этого реликтового растения.

### Экспериментальная часть

Семена *M. crithmifolius* из коллекции МЭБС были высажены в условия теплицы для получения донорных растений. Для введения в культуру *in vitro* использовали экспланты вегетативных побегов с верхушечной почкой и генеративных побегов с соцветиями. Введение первичных эксплантов проводили в весенний период с горшечного растения и летний период с полевых растений на этапе их вегетации-цветения.

В экспериментах применяли общепринятую методику культивирования изолированных эксплантов растений на питательной среде в условиях *in vitro* [14]. Для культивирования использовали основную среду Мура-сиге и Скуга (МС) с внесением стимуляторов роста: ауксинов; 2,4 – дихлорфеноксиуксусная кислота (2,4 Д), индолилмасляная кислота (ИМК), индолилуксусная кислота (ИУК); цитокинина - 6- бензиламинопурина (БАП).

Для стерилизации исходные побеги в условиях ламинарного бокса стерилизовали 70% этиловым спиртом, затем 0,1% раствором сулемы. После стерилизации в асептических условиях каждый побег делили на узловы-ые сегменты длиной 1,5 см и высаживали на питательную среду.

Высаженный на питательную среду материал переносили в условия световой комнаты, где поддерживали 16-часовой фотопериод, освещенность 3000 люкс, 60% влажности и температуру 24-26°C. Ежедневно визуаль-но оценивали жизнеспособность, рост и развитие эксплантов. Перенос (пассирование) материала на свежую питательную среду проводили через каждый месяц культивирования. Коэффициент размножения (Кр) определяли, как общее количество образующихся побегов в варианте, деленное на число первичных эксплантов или пассированных микропобегов.

### Результаты и их обсуждение

Установлено, что экспланты вегетативных побегов с верхушечной почкой не обладают регенерационной способностью в условиях *in vitro*. При их культивировании на индуцирующей среде с БАП происходила витрификация верхушки побега и листьев, дальнейшего роста и пролиферации дополнительных почек не наблюдалось (рисунок 1 а).

При культивировании эксплантов генеративных органов на индуцирующей питательной среде отмечалась ответная морфогенетическая реакция эксплантов. Выявлено существенное влияние гормонального состава питательной среды на реализацию регенерационного потенциала эксплантов.

Основная среда МС с 1 мг/л 2,4 Д вызывала образование неморфогенного каллуса на поверхности эксплантов соцветий, который некротировался в ходе пассирования (рисунок 1 б). Тогда как культивирование на среде с внесением БАП в сочетании с ауксинами приводило к закладке дополнительных почек в пазухах прилистников (рисунок 1 в).

Приживаемость сегментов генеративных побегов была высока (72%), но морфогенетическая реакция отмечалась только у 33% вве-

денных эксплантов через неделю культивирования на среде с 4 мг/л БАП + 0,25 мг/л ИМК.

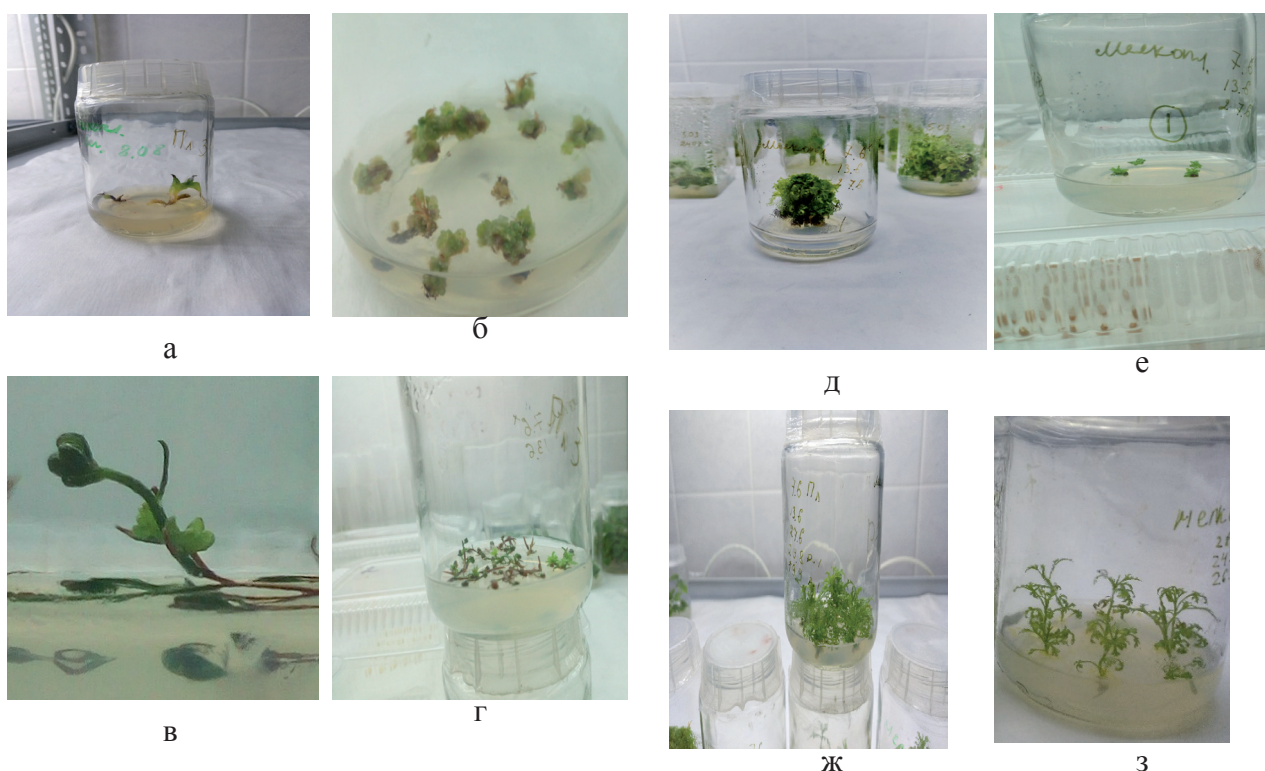
В пазухах прилистников отмечалось появление кустистых образований (рисунок 1 г), которые увеличивались в размерах и без пассирования достигали через 2,5 месяца высоты 3 см (рисунок 1 д).

При отделении вновь образованных кустистых побегов (рисунок 1 е) и их пассирования на свежие среды с пониженным уровнем БАП до 1 мг/л можно было отделить единичные побеги в количестве 8-10 штук и разделить оставшийся

плотный конгломерат на отдельные кусты для следующей пересадки (рисунок 1 ж).

В целом за 4 пассажа (введение – III пассаж) от одного исходного экспланта было получено в зависимости от гормонального состава среды от 20 до 32 побегов (таблица).

Из приведенных в таблице данных следует, что дополнительное внесение в питательную среду цитокинина БАП и ауксина ИМК или ИУК стимулирует закладку дополнительных почек и развитие из них адвентивных побегов, которые при дальнейшем трехкратном



а – верхушка вегетативного побега, б – каллус на эксплантах соцветий, в – развитие пазушных побегов в пазухах прилистников на генеративных побегах; г – регенерация кустистых побегов на эксплантах генеративных побегов; д – конгломерат побегов на 70 день на первичной среде; е – отделенные кусты, 1 пассаж; ж – развитые побеги, 3 пассаж; з – этап укоренения побегов, 5 пассаж

Рис. 1 – Микрочлoнальное размножение мякоплодника критмолистного *Malacosarpus crithmifolius* в условиях *in vitro*

**Таблица – Регенерационная способность эксплантов цветочных побегов мякоплодника критмолистного *Malacosarpus crithmifolius***

Гормональный состав среды МС	Количество отделенных побегов (кустов) в ходе пассирования, шт				К о э ф ф и ц и е н т размножения Кг	Укоренение по неделям после пассирования на индуцирующую среду, %		
	0	I	II	III		I	II	IV
4 БАП + 0,25 ИМК	1	4	8,5	32	8	12,5	37,5	100
1,5 БАП + 0,1 ИУК	1	5	3,5	20	4			

пассировании также продуцируют новые побеги, т.е. происходит процесс клонирования исходного растительного материала (микрорепликационное размножение). Этап собственно размножения можно многократно повторять, чтобы увеличить коэффициент тиражирования и получить клоновый растительный материал, генетически не отличающийся от первоначального донорного растения.

Для получения полноценных растений-регенерантов полученные побеги пересаживали на среду для укоренения с половинной концентрацией макро- и микросолей  $\frac{1}{2}$  МС с внесением ауксина. Формирование корней у асептических побегов отмечали через неделю выращивания на среде  $\frac{1}{2}$  МС с внесением 0,5 мг/л ИМК. В ходе дальнейшего месячного культивирования ризогенез отмечали у всех пассированных побегов (рисунок 1 з).

Таким образом, в результате проведенных исследований выявлен оптимальный для

регенерации *in vitro* эксплант генеративного побега с молодыми соцветиями, при культивировании которого на среде с БАП и ИМК/ИУК достигается прямая регенерация путем закладки дополнительных почек в пазухах прилистников. Последовательное пассирование позволяет провести собственно микро-размножение исходной культуры и получить полноценные растения-регенеранты мягкоплодника критмолистного для перевода в почвенный субстрат и адаптации к условиям *ex vitro*.

Разработанный способ микроклонального размножения предназначен для сохранения, массового воспроизводства и хозяйственного использования генетических ресурсов дикорастущей культуры в суровых почвенно-климатических условиях пустынной Прикаспийской зоны (для озеленения городов и поселков, в садово-парковом строительстве, в фитомелиоративных мероприятиях, как плодородной культуры и др.).

*Работа выполнена в рамках НТП на 2018-2020 гг. (№ BR05236506).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Convention on Biological Diversity. United Nations, 1992. 30 pp.
2. Национальная стратегия и План действий по сохранению и сбалансированному использованию биологического разнообразия в Республике Казахстан. – Кокчетав, 1999.
3. Рябушкина Н.А., Абугалиева С.И., Турусбеков Е.К. Проблемы изучения и сохранения биоразнообразия флоры Казахстана // Eurasian Journal of Applied Biotechnology. – 2015, N. 3. Электронный источник: <http://www.biotechlink.org/3-2016/article2>
4. Каталог растений Мангышлакского экспериментального ботанического сада. – Актау, 2009. – 136 с.
5. Красная книга Казахстана. – Изд. 2-е, переработанное и дополненное. – Т. 2: Растения (колл. авторов). – Астана, ТОО «АртPrintXXI», 2014. – 452 с.
6. Перечень редких и находящихся под угрозой исчезновения видов растений. Постановление Правительства Республики Казахстан от 31 октября 2006 года.
7. Кудабаяева Г.М. Растения Меловых Гор Северный Актау // Вестник КазНУ, экологическая серия. – 2009. – № 3 (26). – С. 19-20.
8. The IUCN Red List of Threatened Species. Электронный источник: <https://www.iucnredlist.org>.
9. Shomurodov H.F., Saribayeva Sh. U., Akhmedov A. Distribution pattern and modern status of rare plant species on the Ustyurt plateau in Uzbekistan // Arid Ecosystems. – 2015. – V5, N. 4. – P. 261-267
10. Белоусова Л.С., Денисова Л.В., Никитина С.В. Редкие растения СССР. – М., 1979. – С. 201.
11. Жарекеев В.Х., Тележенетская М.В., Юнусов С.Ю. Изучение алкалоидов *Malacocarpus crithmifolius* // Химия природных соединений. – 1971. – №4. – С. 538-539.

12. Мурзова Р.М. Мягкоплодный критмолистный – *Malococarpus crithmifolius* (Retz.) C. A. Mey и биологические предпосылки к введению его в культуру: Автореф. дис. . . канд. биол. наук. – Ташкент, 1958. – 16 с.
13. Нурушев М.Ж., Нурушева Г.М. Эколого-экономические аспекты продуктивного коневодства Казахстана // Известия Оренбургского госуд. аграрного университета. – 2005. – Т. 3. – № 7-1. – С. 43-45.
14. Калинин Ф.Л., Сарнацкая В.В, Полищук В.Е. Методы культуры тканей в физиологии и биохимии растений. – Киев: Наукова думка, 1980. – 487 с.

УДК 004.89  
МРНТИ

RESEARCH OF MULTIAGENT SYSTEM IN A DYNAMICALLY CHANGING ENVIRONMENT USING REINFORCEMENT LEARNING ALGORITHMS

A. PRENOV, A. AKSHABAYEV

<sup>1</sup>JSC «Kazakh-British Technical University»

**Abstract:** Nowadays, betting has become one of the most well-known facilities in the modern world. Thus, there occurred a plenty of bookmakers which got profitable in the very short period of time. Sport prediction is very important and interesting problem for machine learning algorithms. Research explores the usage of one of the most mind-blowing phenomenases - the multi-agent system in the study of the world of bets. Since, Reinforcement Algorithms are the irreplaceable ones in the study of gamblings, we'll show the implementation and the meaning of the reinforcement algorithm. Study will consider the role of reinforcement algorithm used by multi-agents to determine the winners and losers. We'll examine the efficiency of a given algorithm in the obscure surroundings. Moreover, we'll show the process of transferring the data among agents and demonstrate its efficiency. Finally, we'll provide cases where this solution can be useful in terms of business, mathematics, etc.

**Keywords:** sports betting, multi-agent systems, q-learning, reward, state, action

ДИНАМИКАЛЫҚ ӨЗГЕРІСТЕГІ ОРТАДАҒЫ МУЛЬТИАГЕНТТІК ЖҮЙЕНІ КҮШЕЙТЕ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІ НЕГІЗІНДЕ ЗЕРДЕЛЕУ

**Аңдатпа:** Қазіргі таңда спорт сайыстарына ұтыс тігу заманауи қоғамның ең танымал ойын-сауық түрлерінің біріне айналды. Спорттық бәс тігулер кең етек жая түсумен бірге, сан алуан мәселелер де бетке шыға бастады. Зерттеу, бүгінгі күннің ең өзекті терминдердің бірін, мультиагенттік жүйелердің спорт сайыстарына ұтыс тігудегі қолданысын қарастырады. Нығайту алгоритмдері құмар ойындарды зерттеудегі таптырмас құрал болғандықтан, осы алгоритмнің жүзеге асуын және қолданысын анықтап көрсетеміз. Жазылған жұмыс мультиагенттік жүйелердің нығайту алгоритмінің арқасында спорт ойындарындағы ұтыскерлер мен ұтылғандарды анықтап, есептеу тәсілін көрсетеді. Сол үшін алгоритмнің тиімділігін шынайы ортада тексеріп, нәтижелерін шығарамыз. Сондай-ақ мультиагенттердің өздерінің арасында ақпаратты қаншалықты тиімді таситынын зерттейміз. Қорыта келе, алгоритмнің қолдану аялары мен болашақтағы мүмкіншіліктері туралы жан-жақты зерделенеді.

**Түйінді сөздер:** спорт сайыстарына ұтыс тігу, мультиагенттік жүйелер, q-оқыту, олжа, жай-күйі, іс-қимыл

ИССЛЕДОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ В ДИНАМИЧЕСКИ ИЗМЕНЯЕМОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АЛГОРИТМОВ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ

**Аннотация:** Ставки на спорт являются одним из самых популярных видов развлечений современного мира на сегодняшний день. Вследствие чего букмекерские конторы стали невероятно прибыльными за очень короткое время, что за собой привлекло немало проблем, о которых приводится ниже. Исследование рассматривает один из самых умопомрачительных феноменов сегодняшнего дня, то есть мультиагентные системы в мире спортивных ставок. Рассматривается реализация и смысл обучения с подкреплением, в виду того, что данный вид обучения незаменим в изучении спортивных

ставок. Алгоритмы обучения с подкреплением незаменимы в анализе азартных игр, поэтому исследование рассмотрит роль обучения, используемых мультиагентами, чтобы определить победителей и проигравших. Протестирована эффективность алгоритма в реальной среде. Также демонстрируется процесс передачи данных среди мультиагентов и результативность процесса, сферы применения алгоритма.

**Ключевые слова:** ставки на спорт, мультиагентные системы, q-обучение, награда, состояние, действие

**Introduction**

First of all, I would like to introduce a problem I want to face. At the present time, there are a lot of problems caused by a betting establishments. Many families have getting divorced. There are a bunch of bankrupt, gambling addictions, anxiety and depression, even suicide risks. I personally believe that these facilities have to go under.

The disclosure of the work patterns of betting offices would turn the world upside down for all intents and purposes. There is still no precise way to attain a formula to compute the probability of win. Many researchers tried to beat the bookmakers. However, all attempts were futile.

The objective of the research is to show the work principle of one of the most profitable businesses - betting establishments and try to beat them. Relevance of this research can't be underestimated since Machine Learning is the main tool in the study of bets, sports and forecasting in general.

**Target-setting**

In light of technology age, most bookmakers have their own web-site. The most popular ones are olimp.kz, 1xbet.kz, profitbet.kz, tennisi.kz, etc.

I chose Kazakhstan's betting office named tennisi as the example of the bookmaker.

I was focused on a tennis due to plenty of facts. First of all, there are only two options in tennis: player 1 wins and player 2 loses or vice-versa, player 2 wins and player 1 loses. It means that computing the probability of win or lose would be much easier because we don't need to consider a draw situations. Usually game is played to 6 points. If draw occurs players continue their game adding 2 points required to win. For example, if the score is 5-5, player needs to win with 7-5.

Secondly, tennis game doesn't depend on external factors such as the weather, health of players, etc. So, we're minimizing the 'domain' of probability calculation by eliminating these

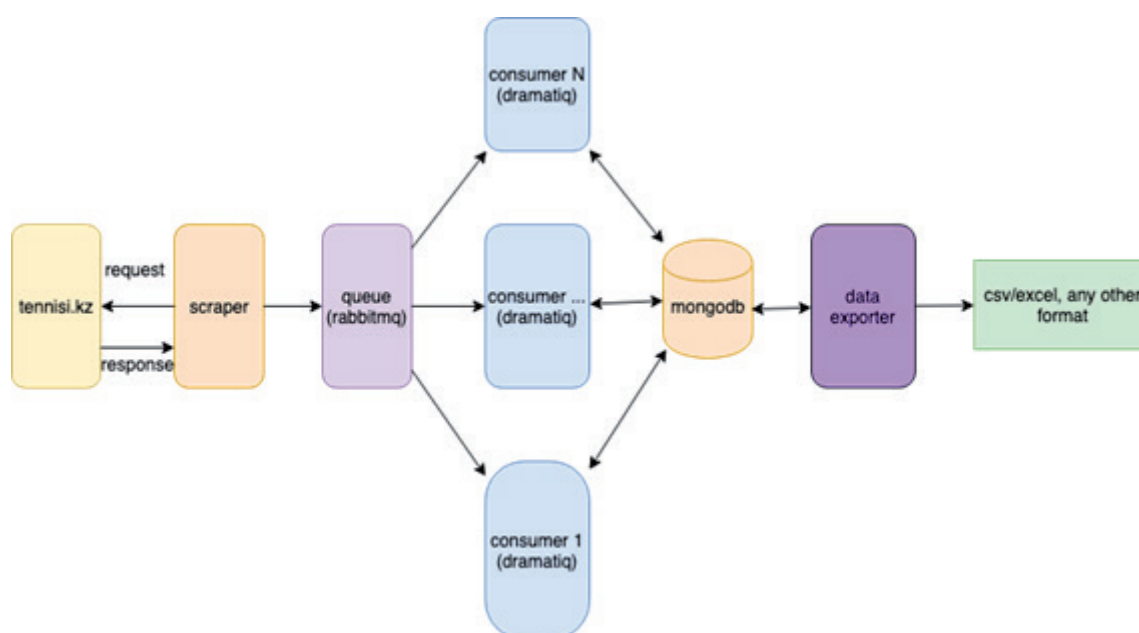


Fig. 1. Data Processing Process

factors above in order to make the process easier and convenient.

**Data Processing**

As you can see, scraper collects all the data from web-site and puts it into a queue. I added queue because of the potential enormous amount of data. If all requests handled immediately, it will lead to overloading of the server and the next situation might happen: one request is still loading, but the next one is already handled, and everything goes in the wrong order. Therefore, I use message-broker which will handle all requests in a right time. After queue the information is stored in a DBMS (Database Management System), MongoDB, in this case. Then, this data can be exported in a CSV (or any other) format.

**Introduction to Q-Learning:**

In this research I used q-learning algorithm as the reinforcement algorithm which is based on the Q function that calculates the optimal road to a goal (or just win).

The function adds new reward to maximum amount of previous reward multiplied by discount factor.

First, we need to initialize our q-function and q-table where initial values are zero. Then agent

starts exploring the environment and performing actions. Each action gives certain result: negative, positive or neutral (just zero). So, agent starts learning based on empirical knowledge.

1. Initialization  
 $V(s) \in \mathbb{R}$  and  $\pi(s) \in \mathcal{A}(s)$  arbitrarily for all  $s \in \mathcal{S}$
2. Policy Evaluation  
 Repeat  
 $\Delta \leftarrow 0$   
 For each  $s \in \mathcal{S}$ :  
 $v \leftarrow V(s)$   
 $V(s) \leftarrow \sum_{s',r} p(s',r|s,\pi(s)) [r + \gamma V(s')]$   
 $\Delta \leftarrow \max(\Delta, |v - V(s)|)$   
 until  $\Delta < \theta$  (a small positive number)
3. Policy Improvement  
 $policy\_stable \leftarrow true$   
 For each  $s \in \mathcal{S}$ :  
 $a \leftarrow \pi(s)$   
 $\pi(s) \leftarrow \operatorname{argmax}_a \sum_{s',r} p(s',r|s,a) [r + \gamma V(s')]$   
 If  $a \neq \pi(s)$ , then  $policy\_stable \leftarrow false$   
 If  $policy\_stable$ , then stop and return  $V$  and  $\pi$ ; else go to 2

Fig. 2. Pseudocode for Q-Learning

**Application of Q-Learning**

Next action is importing the information from a database and sending it to an agent.

First, let's see what agent is. Agent is an entity that do some independent actions in order to achieve a certain goal. In addition, agent

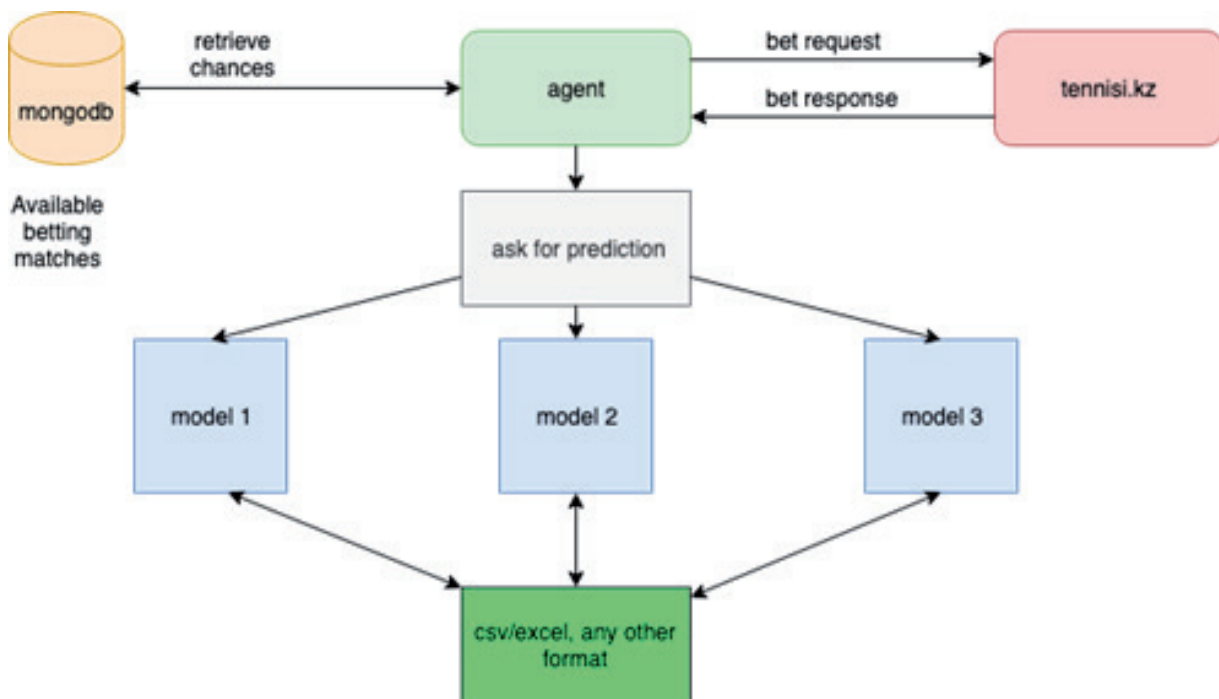


Fig. 3. Learning Algorithm

can not only use the previous downloaded and programmed knowledge, but also learn something new to reach this goal. In other words, agent can use its empirical knowledge (knowledge based on past experience).

Agent sends request to several models (we can use only q-learning based model or several independent models with different algorithms) and asks their predictions. After getting a prediction, agent submits it to bookmaker and gets the result if it's correct or not. This is how the agents learn.

The classical model of machine learning divides the data into two sets: train data set and test data set. However, nowadays we use train, validation and test data division.

**Comparison**

To summarize, let's compare all reinforcement learning algorithms with q-learning algorithm.

	Q-learning	Other reinforcement algorithms
Policy	Off-policy (explores the environment)	On-policy (doesn't explore)
Environment	Discrete, but can also work in continuous environment	Either discrete or continuous
Based on	Q-function	Other
Model	Model-free	Model-free
Function type	Directe	Direct, Recursive

**Conclusion**

To sum up, the research shows abilities of machine learning, q-learning, to be exact, in the study of the world of bets. As a consequence, the solution can be applied on many fields of game theory and discover the new opportunities in this area.

Therefore, many similar problems can be solved such as exchange rates forecasting, frauds in gambling and so on. In other words, we will have a real 'mind' which does all the calculations, analysis without any mistakes in them.

Research provides a great usage of multi-agent systems in sports betting and considers one of the large betting establishments, namely tennisi.

The prototype which is written on Python 3.7 can be used in a future investigation. Project is flexible and can be overwritten in many languages with many algorithm types of reinforcement learning.

Work discovers potential power of the q-learning in modern world with application in sports betting.

We achieved great results in this period of time. As a future work, I want to develop my ideas and improve the performance rate, minimize time and memory consuming and expand the use cases.

**REFERENCES**

1. Huang, S. Introduction to Various Reinforcement Learning Algorithms. Part I (Q-Learning, SARSA, DQN, DDPG). (2018) Retrieved from <https://towardsdatascience.com/introduction-to-various-reinforcement-learning-algorithms-i-q-learning-sarsa-dqn-ddpg-72a5e0cb6287>
2. Choudhary, A. A Hands-On Introduction to Deep Q-Learning using OpenAI Gym in Python (2019). Retrieved from <https://www.analyticsvidhya.com/blog/2019/04/introduction-deep-q-learning-python/>
3. Violante, A. Simple Reinforcement Learning: Q-Learning. (2019). Retrieved from <https://towardsdatascience.com/simple-reinforcement-learning-q-learning-fcddc4b6fe56>
4. Garant, D., Castro, B., Lesser, V. Accelerating Multi-agent Reinforcement Learning with Dynamic Co-learning.(2014). Cambridge: Massachusetts Institute of Technology.
5. McCabe, A., Trevathan, J. Artificial Intelligence in Sports Prediction. (2008). Retrieved from [https://www.researchgate.net/publication/220841301\\_Artificial\\_Intelligence\\_in\\_Sports\\_Prediction](https://www.researchgate.net/publication/220841301_Artificial_Intelligence_in_Sports_Prediction)
6. Prenov, A. Code Sample. Retrieved from <https://github.com/aibaq/betting>

УДК: 691.555, 661.68  
МРНТИ

## ВЛИЯНИЕ РАКУШЕЧНИКА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЦЕПТУРЫ

Н.Б. РАХМЕТ, Е.С. ОРЫНБЕКОВ

*МОК Казахская головная архитектурно-строительная академия*

*Аннотация:* В этой статье предложена возможность получения сухих строительных смесей на основе ракушечника и влияние добавок на физико-механические свойства сухих строительных смесей. Найдены предполагаемые рецептуры состава сухих строительных смесей по данным соответствующих публикаций и научных работ в области исследования.

*Найдены предполагаемые изменения реологических, технологических и физико-механических свойств растворов на основе сухих строительных смесей и различных дозировок добавок.*

**Ключевые слова:** сухие строительные смеси, диатомит, белая сажа, цементные смеси, химические добавки, физико-механические свойства

## THE EFFECT OF LIMESTONE ON THE PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF DRY CONSTRUCTION SMESA DEPENDING ON THE RECIPE

*Abstract:* In this article the possibility of obtaining dry building mixes on the basis of shell rock and the influence of additives on the physical and mechanical properties of dry building mixes is proposed.

*The presuppositions of the composition formulation of dry building mixtures according to the relevant publications and scientific works in the field of research are found.*

*It is found that changes in rheological, technological and physical mechanical properties of solutions based on dry Builder mixtures in the effect of composition and different dosages of additives are assumed.*

**Keywords:** dry building mixes, diatomite, white soot, cement mixes, chemical additives, physical and mechanical properties

## ҰЛУТАСТЫҢ РЕЦЕПТУРАҒА БАЙЛАНЫСТЫ ҚҰРҒАҚ ҚҰРЫЛЫС ҚОСПАЛАРЫНЫҢ ФИЗИКА-МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІНЕ ӘСЕРІ

*Аңдатпа:* Бұл мақалада ұлутас негізіндегі құрғақ құрылыс қоспаларын алу мүмкіндігі және қоспалардың құрғақ құрылыс қоспаларының физикалық-механикалық қасиеттеріне әсері ұсынылған.

*Зерттеу саласындағы ғылыми жұмыстар мен тиісті жарияланымдардың деректері бойынша құрғақ құрылыс қоспаларының құрамы рецептурасының болжамдары табылды.*

*Құрғақ құрылыс қоспалар негізінде ерітінділердің реологиялық, технологиялық және физика-механикалық қасиеттерінің құрамы мен қоспалардың әртүрлі дозаларының ықпалына сай өзгеруінің болжанған белгілері анықталды.*

**Түйінді сөздер:** құрғақ құрылыс қоспалары, диатомит, ақ күйе, цемент қоспалары, химиялық қоспалар, физика-механикалық қасиеттері

Проведенный обзор научных публикаций по вопросам производства сухих строительных смесей, и обзор показал, что основными компонентами являются вяжущие наполнители, заполнители, химические добавки (при необходимости) [1-10].

В качестве заполнителя для сухих строительных смесей применяют природные минеральные или искусственно полученные материалы определенного гранулометрического состава. Они являются необходимыми для всех видов сухих строительных смесей и составляют до 4/5 всего объема строительных растворных смесей, появляется возможность сократить расход вяжущих без большого падения прочности, и уменьшить усадочные деформации. Заполнители и наполнители в растворе способствуют ослаблению механических напряжений, которые возникают вследствие его усадки.

Добавка для сухих строительных смесей должна быть: во первых – сухой и не способной поглощать много влаги; во вторых – распределяться в смеси при сухом смешении компонентов и быть устойчивой к химическим влияниям; в третьих – быть быстрорастворимой; в четвертых – быть нетоксичной, не быть огнеопасной, взрывоопасной и быть устойчивой к химическим опасностям.

Использование диатомита и белой сажи, являющиеся наполнителем сухой смеси и активной минеральной добавкой для новых рецептов, является актуальной задачей.

Использование в качестве наполнителя и активных минеральных добавок в производстве сухих строительных смесей позволит снизить проницаемость затвердевших растворов, снизить водоотделение и повысить водоудерживающие свойства растворов, повысить когезионную прочность; придать вязкое свойство растворам для выполнения работ по поверхностям (вертикальным и наклонным).

Для проведения испытаний использованы ссылки на следующие ГОСТ-ы: ГОСТ 31357-2007. Смеси сухие строительные на цементном вяжущем; ГОСТ 8736-93 Песок для строительных работ. ГОСТ 23732-2011.

Вода для бетонов и строительных растворов; ГОСТ 30744-2001. Цементы; ГОСТ 33083-2014 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем для штукатурных работ; ГОСТ 31108-2003. Цементы общестроительные; ГОСТ 31189-2015 Смеси сухие строительные; ГОСТ 31356-2013 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем.

В данном направлении интересны исследования ученых (России): Труды Логанина В.И. Теплоизоляционные сухие строительные смеси с применением модифицированного диатомита; Пустовгар А.П. Опыт применения активированного диатомита в производстве сухих строительных смесей; Большаков Е.А. Сухие смеси для отделочных работ. Штукатурные растворы. Реферативный журнал. Строительство и архитектура. Серия 7. Строительные материалы. Выпуск. 6. – М. 1989. – С. 3

Сухие смеси находят самое различное применение в строительстве // Строительство и строительная индустрия. – 1996. – № 2. – С. 52-53. [1, 2, 3,11,12,13].

#### **Материалы и методы исследования**

Объектом исследования являются природные ракушечник Жетыбайского месторождения, белая сажа и диатомит (активные минеральные добавки).

#### **Сырьевые материалы**

Ракушечник – использован в соответствии с требованиями стандарта по технологической документации; цемент – ПЦ 400-Д20; BERMOCOLL – редиспергируемое связующее на основе сополимеров винилацетата и этилена; ELOTEX – редиспергируемое связующее на основе сополимеров винилацетата и винилверсатата; С-3 – сухой пластификатор представляет собой полидисперсный коричневый порошок, который добавляют в сухую строительную смесь; Technocel 500 1 – армирующие волокна, целлюлозные.

#### **Определение зернового состава ССС**

Для определения зернового (гранулометрического) состава ССС просеивают через

сита с отверстиями: 5; 2,5; 1,25; 0,63; 0,315; 016; 0,14; 005 мм. После просеивания остатка на каждом сите взвешивали и вычисляли величину каждого остатка в процентах от массы.

Затем вычисляли полный остаток на каждом отдельном сите в процентах. Под полным остатком на каждом сите понимают сумму частных остатков, где на всех ситах с большим размером отверстий в процентах плюс остаток на данном сите в процентах.

### **Определение насыпной плотности сухой смеси**

Насыпную плотность определяли взвешиванием массы высушенной пробы ССС в мерном сосуде.

Подвижность смеси определяется с помощью эталонного конуса:

Подвижность растворной смеси характеризуется измеряемой в сантиметрах глубиной погружения в нее эталонного конуса. Для проведения испытаний используют прибор для определения подвижности – стальной стержень.

### **Определение водоудерживающей способности**

Сущность метода заключается в определении количества воды, удерживаемой растворной смесью после затворения ее водой, и распределении на пористом, поглощающем воду основании.

### **Определение водопоглощения при капиллярном подсосе**

Водопоглощение при капиллярном подсосе  $W_{\text{кп}}$  определяют по объему воды, поглощенной образцом, высушенным до постоянной массы, при атмосферном давлении за счет капиллярных или адсорбционных сил.

### **Экспериментальная часть**

Для проведения испытаний были изготовлены смеси на основе двух рабочих составов диатомита и белой сажи (аморфного микрокремнезема). Рецептура сухих строительных смесей представлена в таблицах 1,2.

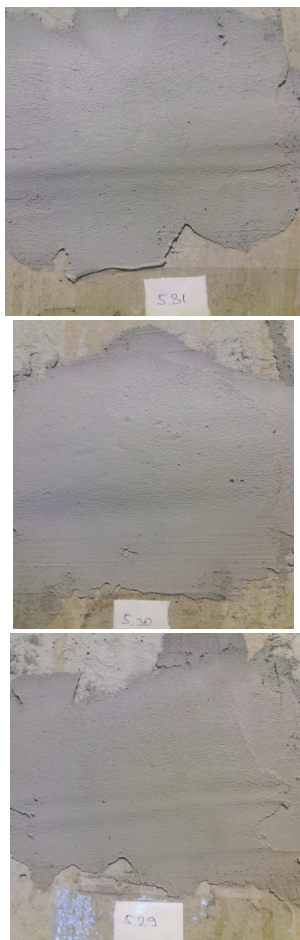
Составы №1-20 показали хорошую трещиностойкость на бетонную поверхность. Толщина штукатурки 0,5-2 см, рисунок 1.

**Таблица 1 – Состав сухих строительных смесей №1 включает**

Рецептура	Состав в %									
	№1	№2	№3	№4	№5	№6	№7	№8	№9	№10
Цемент	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8	26,8
Ракушечник	71,2	69,2	67,2	65,2	63,2	71,2	69,2	67,2	65,2	63,2
Белая сажа	1	3	5	7	9	-	-	-	-	-
С 3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Technocel 500 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Диатомит	-	-	-	-	-	1	3	5	7	9

**Таблица 2 – Состав сухих строительных смесей №2 включает**

Рецептура	Состав в %									
	№11	№12	№13	№14	№15	№16	№17	№18	№19	№20
Цемент	26,140	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14	26,14
Ракушечник	71,76	69,76	67,76	65,76	63,76	71,76	69,76	67,76	65,76	63,76
Белая сажа	1	3	5	7	9	-	-	-	-	-
BERMOCOLL	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ELOTEX	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Диатомит	-	-	-	-	-	1	3	5	7	9



а) с применением белой сажи (активная минеральная добавка)

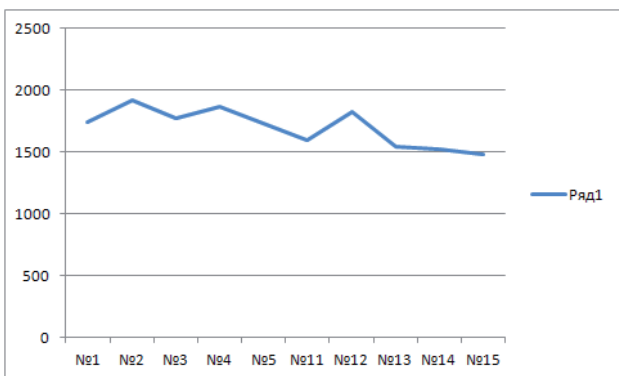
Рис. 1 – Образцы, соответствующие требованиям каменной ССС

Таблица 3 – Физико-механические свойства сухих строительных смесей с применением белой сажи

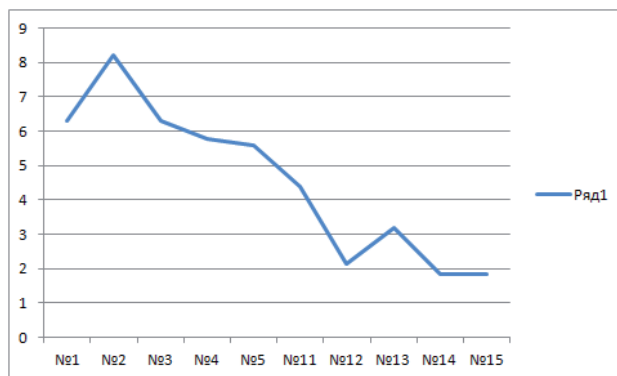
Рецептура	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на R <sub>изг</sub> , МПа	Прочность на R <sub>сжат</sub> , МПа	Водопоглощение при капиллярном подсосе, %	Водопоглощение по объёму, %
№1	1735	6,3	4,4	27,54	13
№2	1922	8,2	6,9	7,2	10,6
№3	1771	6,3	3,7	15,3	15
№4	1868	5,78	8,5	7,2	10,9
№5	1729	5,58	7,52	8,1	12,5
№11	1589	4,38	2,2	13,8	15,5
№12	1819	2,15	3,5	10,1	13,2
№13	1540	3,19	2,1	14,9	19,4
№14	1522	1,84	2,54	15,6	19,3
№15	1479	1,82	3,3	19	21,7

Таблица 4 – Физико-механические свойства сухих строительных смесей с применением диатомита

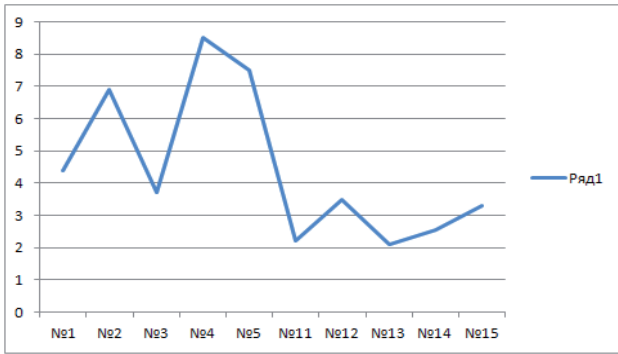
Рецептура	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на R <sub>изг</sub> , МПа	Прочность на R <sub>сжат</sub> , МПа	Водопоглощение при капиллярном подсосе, %	Водопоглощение по объёму, %
№6	1767	3,8	3,95	15,2	15,3
№7	1757	3,8	4,47	15,4	15,5
№8	1812	3,6	4,58	15	15,9
№9	1777	3,6	4,38	17,4	17
№10	1746	2,59	2,85	20,6	20,1
№16	1572	2,93	1,1	22	22
№17	1567	3,33	1,14	24,5	23,8
№18	1572	3,42	1,67	22,3	21,3
№19	1553	3,27	1,47	22,5	20,2
№20	1610	4,11	1,67	22,3	21,9



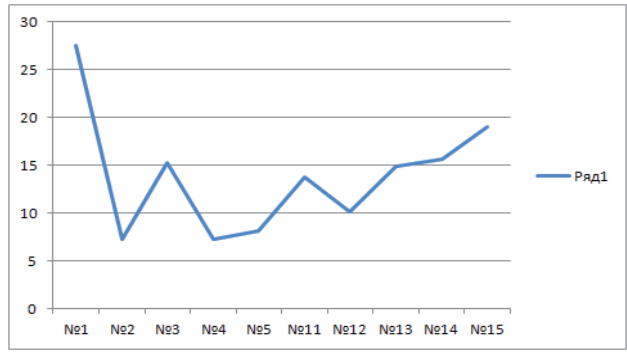
Плотность №2 1922 кг/м<sup>3</sup> №14 1522 кг/м<sup>3</sup>



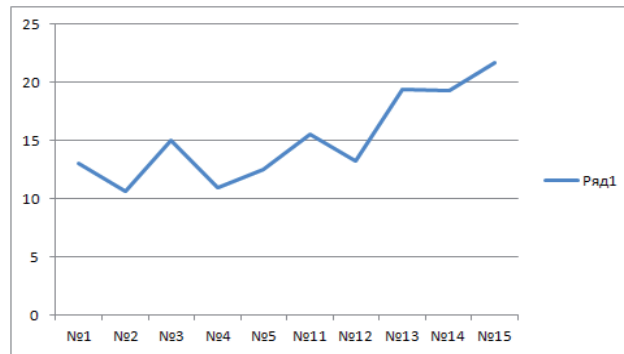
Прочность на R<sub>изг</sub> №2 8,2МПа №15 1,82МПа



Прочность на  $R_{сжат}$  №4 8,5МПа №15 2,1МПа

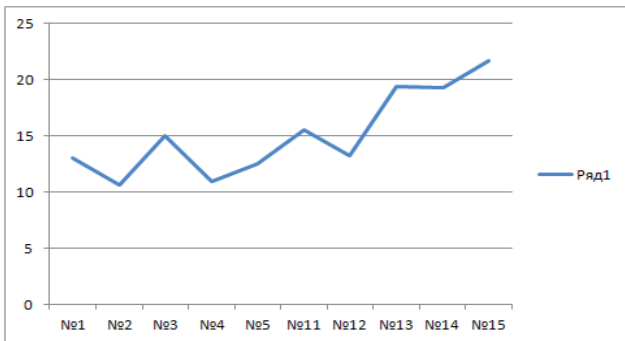


Водопоглощение при капиллярном подсосе №1 27,54 №4 -7,2

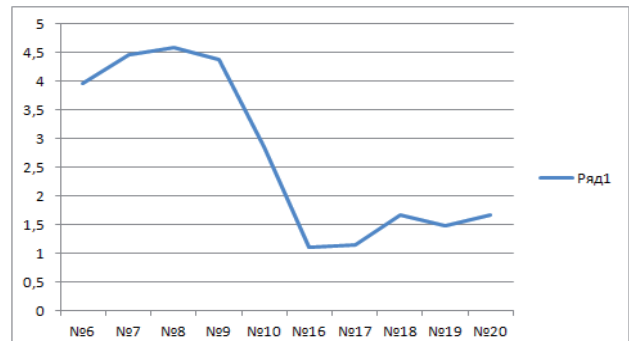


Водопоглощение по объёму №1 21,7 №4 10,6

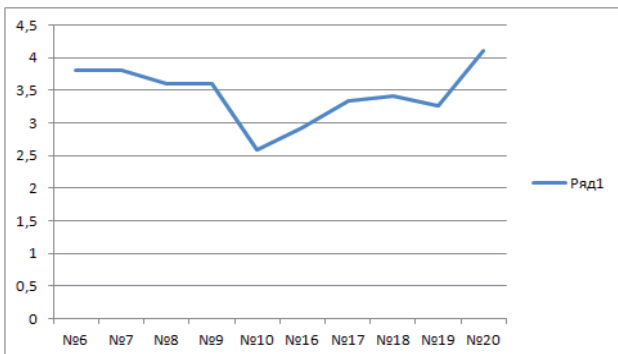
Рис. 2 – Физико-механические свойства сухих строительных смесей с применением белой сажи



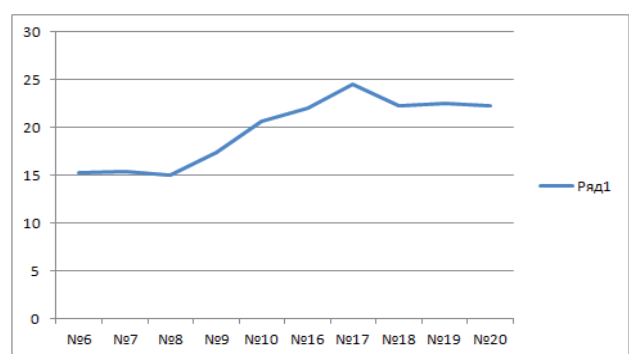
Плотность №8 1812 №19 1553



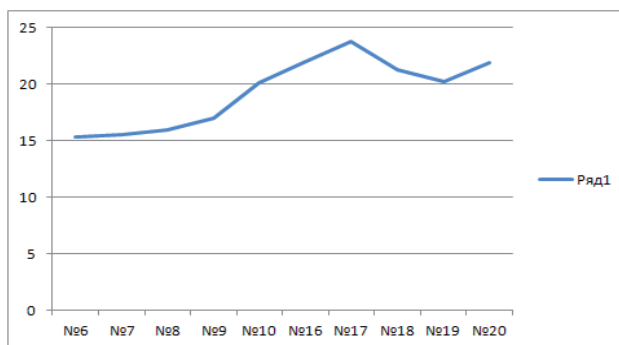
Прочность на  $R_{сжат}$  №9 4,58МПа №10 2,93МПа



Прочность на  $R_{изг}$  №20 4,11 МПа №10 2,93 МПа



Водопоглощение при капиллярном подсосе №17 24,5 №8 15



**Водопоглощение по объёму №17 23,8 №6 15,3**

Рис. 3 – Физико-механические свойства сухих строительных смесей с применением диатомита

Подвижность смеси определяется с помощью эталонного конуса. Режим испытания: стальной сосуд в форме усеченного конуса высотой 180 мм, диаметром верхнего основания 250 мм и диаметром нижнего основания 150 мм заполняли растворной смесью на 1 см ниже его краев, штыковали 25 раз и уплотняли 5-6-кратным легким постукиванием о стол.

Эталонный конус опускали до соприкосновения с растворной смесью, закрепляли стопорный винт и снимали первый отсчет по шкале, после чего отпускали стопорный винт и дают конусу свободно погружаться в раствор. По окончании погружения снимали второй отсчет по шкале (таблица 5).

**Таблица 5 – Подвижность смеси**

№ состава	Подвижность/см	Марка по подвижности
№11-5	от 4 до 7,5	Пк2-3
№6-10	от 6 до 7	Пк2
№11-15	от 11 до 11,5	Пк2-3
№16-20	от 10 до 11	Пк2-3

Анализируя рисунки и графики, представленные на рис. 1,2,3, можно утверждать, что в многокомпонентной системе оптимальная рецептура актуальна для белой сажи рецептуры №4,5,14, а для диатомита рецептуры №7,8,9,10.

**Выводы**

1. Найдены закономерности изменения реологических и технологических свойств сухих строительных смесей на основе минеральной активной добавки в зависимости от состава и физико-механических свойств компонентов сухой смеси.

2. Подобраны предварительные составы цементно-ракушечниково-диатомитовой и цементно-ракушечниково-белой сажи в сухих строительных смесях. Введение минеральной активной добавки приводит к стабилизации цементного теста – заполнению пространства между зернами цемента, увеличению числа контактов между ними, при этом возрастают силы сцепления между частицами, что значительно уменьшает возможность расслоения растворной смеси. Увеличение интенсивности сил взаимодействия между частицами, повышение плотности упаковки приводит к увеличению способности удерживать воду в цементном тесте.

3. Выявлена зависимость реотехнологических характеристик в системе «ракушечник-цемент-диатомит-добавка-вода» и «ракушечник-цемент-белая сажа-добавка-вода» от генетического типа кремнезёмсодержащего сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логанина В.И. Теплоизоляционные сухие строительные смеси с применением модифицированного диатомита // Современные научные исследования и инновации. – 2014. – № 10.
2. Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Влияние активации диатомита на свойства известковых композиций // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 3. – С. 20-23.
3. Никифоров Е.А., Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Особенности структурообразования известковых композитов с применением модифицированного диатомита // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 4-8.
4. Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Исследования закономерностей влияния золя кремниевой кислоты на структуру и свойства диатомита // Строительные материалы. – 2011. – № 12. – С. 62-65.
5. Черкасов В.Д., Бузулуков В.И., Емельянов А.И., Кисилев Е.В., Черкасов Д.В. Активная минеральная добавка на основе химически модифицированного диатомита // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 12. – С. 50-55.
6. Логанина В.И., Давыдова О.А., Симонов Е.Е. Структурообразование известковых композитов на основе модифицированного диатомита // Приволжский научный журнал. – 2012. – № 2. – С. 68-72.
7. Карпова О.В., Логанина В.И., Симонов Е.Е. Эффективность применения известково-диатомитовой декоративной штукатурки для отделки ограждающих конструкций // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 5. – С. 44-47.
8. Логанина В.И. Влияние поверхностной активности наполнителя на структурообразование отделочных покрытий на основе сухих смесей / В.И. Логанина, И.С. Великанова // Известия вузов. Строительство, 2005. – № 5. – С. 58-60.
9. Макаревой М.С. Сухие строительные смеси для штукатурных работ с тонкодисперсными минеральными добавками // Автореферат. – 2005.
10. Симонов Е.Е. Теплоизоляционные декоративные сухие строительные смеси с применением модифицированного диатомита // Автореферат. – 2013.
11. Большаков Е.А. Сухие смеси для отделочных работ. Штукатурные растворы. Реферативный журнал. Строительство и архитектура. Серия 7. Строительные материалы. – Выпуск. 6. – М., 1989. – С. 3.
12. Сухие смеси находят самое различное применение в строительстве // Строительство и строительная индустрия. – 1996. – № 2. – С. 52-53.

УДК 004.89  
МРНТИ 28.23.27

## РАЗРАБОТКА SMART-СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ БИОИНСПЕРИРОВАННЫХ АЛГОРИТМОВ

Т.И. САМИГУЛИН<sup>1,2</sup>, О.И. ШИРЯЕВА<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Казахстанско-Британский технический университет

<sup>2</sup>Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева

<sup>3</sup>Институт информационных и вычислительных технологий КН МОН РК

**Аннотация:** Статья посвящена разработке алгоритма управления многомерным и многосвязным процессом очистки газа в дистилляционной колонне на основе алгоритма клональной селекции (CLONAG) и генетического алгоритма (GA). Произведен сравнительный анализ и выбор наилучшего критерия качества для реализации ПИ-регулирования изолированными подсистемами. В работе объясняется актуальность внедрения разработанной системы для задач управления сложными технологическими производствами нефтегазовой отрасли, а также перспективность применения процедур искусственного интеллекта при решении задач оптимизации многопараметрическими процессами.

**Ключевые слова:** Smart-система, управление сложными объектами, эволюционные алгоритмы, биоинспирированные алгоритмы, ПИ-регулирование

## DEVELOPMENT OF SMART-SYSTEM OF MANAGEMENT OF COMPLEX TECHNOLOGICAL PROCESS OF OIL AND GAS INDUSTRY WITH APPLICATION OF BIO-INSPECTED ALGORITHMS

**Abstract:** The article is devoted to the development of a control algorithm for a multidimensional and multiply connected gas purification process in a distillation column based on clonal selection algorithm (CLONAG) and a genetic algorithm (GA) using the decoupling procedure. A comparative analysis and the selection of the best quality criterion for the implementation of PI control were made. The paper explains the relevance of the implementation of the developed system for the control of complex technological production in the oil and gas industry, as well as the prospect of using artificial intelligence procedures to solve optimization problems by multi-parameter processes.

**Keywords:** Smart-system, control of complex objects, evolutionary algorithms, decoupling procedure, PI control

## БИО-ПАЙДАЛАНЫЛҒАН АЛГОРИТМДЕРДІ ҚОЛДАНУ МҰНАЙЫ ЖӘНЕ ГАЗ ӨНЕРКӘСІПТІҢ КОМПЛЕКС ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ТӘСІЛІН БАСҚАРУДЫҢ SMART-ЖҮЙЕСІН ДАМЫТУ

**Аңдатпа:** Мақала ыдырау процедурасын қолдану арқылы клондық таңдау алгоритмі (CLONAG) және генетикалық алгоритм (GA) негізінде дистилляциялық бағандағы көпөлішемді қосылған газды тазарту процесін басқару алгоритмін жасауға арналған. Салыстырмалы талдау және PI регулятор енгізу үшін ең жақсы сапа критерийін таңдау жасалды. Мақала мұнай-газ саласындағы күрделі технологиялық өндірісті басқарудың дамыған жүйесін ендірудің өзектілігін, сондай-ақ көп параметрлі процестер

арқылы оңтайландыру мәселелерін жүзеге асыруда жасанды интеллектуалды процедураларды қолдану туралы жан-жақты түсіндіреді.

**Түйінді сөздер:** Smart-жүйе, күрделі нысандарды басқару, эволюциялық алгоритмдер, биопайдаланылған алгоритмдер, ыдырау процедурасы, PI-регулятор

## 1. Введение

В современном промышленном производстве для эффективного управления технологическими процессами актуально применение новых подходов, где широкое распространение получили методы искусственного интеллекта, такие как генетические алгоритмы, алгоритмы колонии муравьев, искусственных иммунных систем. Данные приложения позволяют решать задачи, связанные с оптимальным регулированием переменных технологического процесса, диагностикой и прогнозированием состояния промышленного оборудования, выполнять расчёты экстремальных задач. Основными преимуществами искусственного интеллекта являются высокая точность, быстрое действие и возможность решения сложных математических задач, обусловленных распределёнными параметрами в режиме реального времени.

В научном труде [1] генетические алгоритмы применяются для оптимизации профилактического обслуживания газовых турбин. Основной целью предлагаемого алгоритма является обеспечение баланса между затратами на техническое обслуживание газовой турбины Siemens SFT600 и затратами времени простоя при сохранении доступности системы на заранее определенном уровне. При этом общая стоимость обслуживания снижена более чем на 80%.

Исследование [2] рассматривает модифицированный генетический алгоритм с алгоритмом колонии муравьев (ACO) для задачи оптимизации метода попеременного нагнетания в нефтяную залежь воды и газа (WAG), являющийся сложной нелинейной проблемой, требующей большое количество вычислительных расчётов и времени. Комбинация GA с ACO показала себя эффективной для задачи WAG, повышающей конечный объем нефтедобычи.

В работе [3] представлен новый подход к задаче оптимального размещения скважин на нефтяных месторождениях с использованием эволюционных вычислений. Предлагается использовать клеточные генетические алгоритмы (с англ. Cellular genetic algorithms), которые гарантируют улучшенное разнообразие популяции при выполнении итераций. Эксперименты с резервуаром UNISIM-I показывают увеличение в 6-10 раз конечного NPV при сравнении с классическим генетическим алгоритмом. Данные модели полезны не только для проблем нефтегазовой отрасли, но и для любой задачи целочисленной оптимизации, в которой используются эволюционные алгоритмы.

Метод оптимизации маршрутов полётов беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для сети нефтегазопроводов на базе эволюционных алгоритмов рассмотрен в научной работе [4]. Применение БПЛА позволяет повысить надежность и безопасность сети коммуникаций нефтепроводов путём проверки на утечку, а также документирования фактических происшествий. В исследовании произведен сравнительный анализ генетического алгоритма, алгоритма имитации отжига (SA) и адаптивного алгоритма генетической имитации отжига (AGASA) при решении задачи планирования маршрутов полётов. В результате подтвердилась эффективность алгоритма AGASA ввиду лучшей стабильности и сходимости.

В исследовании [5] рассматривается три гибридных алгоритма для управления частотой вращения асинхронного двигателя, такие как PID-PSO, Fuzzy-PSO, и GA-PSO. В сравнении с классическими методами ПИД-управления, данные методы позволяют снизить пульсации крутящего момента и устранить помехи, влияющие на характеристики привода.

В настоящее время разработано большое количество биоинспирированных методов для синтеза оптимального управления для одномерных (single input single output) систем, в том числе, таких как искусственные иммунные системы (AIS) [6]. Такие алгоритмы имеют ряд существенных особенностей, таких как высокая точность вычислений, быстрое действие, возможность работы алгоритмов при отсутствии полноты информации о технологическом объекте управления. Алгоритм искусственных иммунных систем (AIS) показал [7], что он способен находить глобальное оптимальное решение в отличие от классических методов настройки регуляторов, имея ряд преимуществ, таких как: отсутствие перерегулирования, установившейся ошибки регулирования, высокой точности решения и скорости сходимости.

Одним из видов AIS является алгоритм клональной селекции (CLONAG), применение которого даёт более эффективные результаты при решении задач оптимизации и настройки регуляторов. Теория клональной селекции подразумевает применение механизмов иммунного ответа при распознавании иммунными клетками образов чужих антигенов антителами [8]. Основным преимуществом данного алгоритма является способность к самообучению.

Исходя из литературных источников, описанных выше, можно утверждать, что применение интеллектуальных подходов широко распространено в нефтегазовой отрасли и актуально развитие данной области.

### 1. Процесс очистки газа в дистиляционной колонне

В качестве объекта нефтегазовой отрасли рассматривается дистиляционная колонна, которая является наиболее распространенным инструментом для процесса очистки природного газа от различных примесей. Математическая модель, разработанная в [9], системы управления очистки газа в дистиляционной колонне основываются на структуре баланса энергии. В этой структуре входами являются скорость потока жидкости,  $L$ , и скорость потока пара,  $V$ , а выходами – концентрации продуктов  $\chi_D$  и  $\chi_B$ .

Модель дистиляционной колонны может быть представлена системой с двумя входами и двумя выходами [9], что соответствует двумерной системе управления:

$$\begin{cases} \frac{d\chi_D(t)}{dt} = -\frac{1}{1.9588} \cdot \chi_D(t) + \frac{0.0042}{1.9588} \cdot L(t) - \frac{0.0062}{1.9588} \cdot V(t) \\ \frac{d\chi_B(t)}{dt} = -\frac{1}{1.9588} \cdot \chi_B(t) + \frac{0.0072}{1.9588} \cdot V(t) - \frac{0.0052}{1.9588} \cdot L(t) \end{cases}$$

где  $L(t)$  – скорость потока жидкости;  
 $V(t)$  – скорость потока пара;

$\chi_B$  – концентрация жидкости в нижней части колонны;

$\chi_D$  – концентрация жидкости в дистилляте.

Данный процесс характеризуется многосвязной структурой, как показано на рисунке 1.

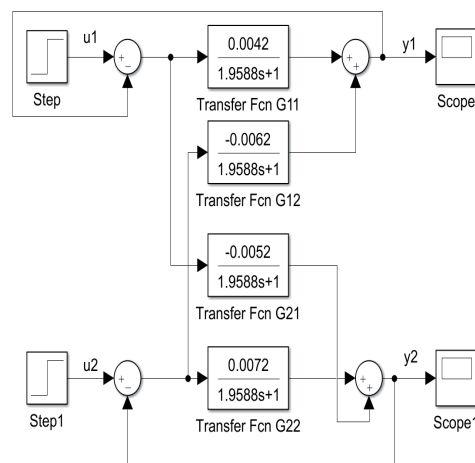


Рис. 1 – Многосвязная структура модели дистиляционной колонны

Наличие взаимосвязей на выходные сигналы существенно влияет на управление контурами  $G_{11}$ ,  $G_{22}$ . Для решения этой проблемы в дальнейшем необходимо выполнить операцию развязки (англ. decoupling), заключающейся в компенсации элементов  $G_{12}$ ,  $G_{21}$ .

В работе [9] произведена процедура развязки, для которой необходимо рассчитать регуляторы для двух независимых контуров:

$$G_{11}(s) = \frac{0.0042}{1.9588s + 1} \tag{1}$$

$$G_{22}(s) = \frac{0.0072}{1.9588s + 1} \quad (2)$$

Необходимо выбрать закон типовых регуляторов для решения задачи стабилизации выходных сигналов независимых контуров (1), (2).

### 2. Постановка задачи

На основе алгоритма клональной селекции CLONAG и генетического алгоритма GA необходимо рассчитать параметры регуляторов для подсистем (1,2), сложной системы управления очистки газа в дистилляционной колонне, обеспечивающей минимум интегрального квадратичного критерия качества:

$$ISE_i = \int_{t=0}^{\infty} e_i^2(t) dt, \quad i = \overline{1,2}. \quad (3)$$

где  $e_i(t)$  – ошибка рассогласования между желаемыми сигналами и сигналами выхода,  $y_1, y_2$ ;  $i = \overline{1, n}$  – количество подсистем.

Типовым законом управления предлагается выбрать ПИ-регулирование для двух контуров (1,2):

$$C_{PI1}(s) = P_1 + I_1 \frac{1}{s} \quad (4)$$

$$C_{PI2}(s) = P_2 + I_2 \frac{1}{s} \quad (5)$$

Произвести сравнительный анализ генетического алгоритма и алгоритма клональной селекции и выбрать лучший.

### 3. Метод клональной селекции

Основой для применения алгоритма CLONALG для решения синтеза типовых регуляторов для МИМО-систем является формирование понятий, соответствующих теории иммунных систем и алгоритму клональной селекции. В контексте постановки задачи для системы управления (3) обобщённая форма антител соответствует вектору аргументов:

$$Ab = (y_1, y_2, u_1, u_2), \quad (6)$$

и представляет собой набор решений системы.

В качестве антигенов используются критерии качества (3), выраженные в виде функций:

$$Ag = f(e_1, e_2, u_1, u_2). \quad (7)$$

Формально алгоритм клональной селекции для решения задач синтеза оптимального управления сложными системами можно представить в виде [12]:

$$CLONALG = (Ag, Ab, G, S, C, M, f, d, t),$$

- где  $Ag$  – подмножество антигенов;
- $Ab$  – популяция антител;
- $G$  – представление пространства;
- $S$  – оператор селекции;
- $C$  – оператор клонирования;
- $M$  – оператор мутации;
- $f$  – критерий качества;
- $d$  – количество антител, подлежащих замене новыми;
- $t$  – номер поколения.

В среде MATLAB сформирована программа, которая позволяет получить график определения минимальных точек критериев качеств и значений параметров регуляторов. Начальные условия и значения параметров алгоритма представлены в таблице 1.

Для формирования первоначальных границ изменения параметров  $x_{\min}$ ,  $x_{\max}$  получены параметры PI-регуляторов на основе метода рабочего инструмента PID Tuner среды программирования MATLAB (рисунок 2).

	Tuned	Block
P	248.1916	248.1916
I	380.2635	380.2635
D	n/a	n/a
N	n/a	n/a

	Tuned	Block
P	144.7784	144.7784
I	221.8204	221.8204
D	n/a	n/a
N	n/a	n/a

Рис. 2 – Параметры PI-регуляторов

Выражения для регуляторов (5), (6), настроенных на основе алгоритма клональной селекции:

$$C_{PI1}(s) = 19.54 + 48.12 \frac{1}{s},$$

$$C_{PI2}(s) = 22.73 + 23.86 \frac{1}{s}.$$

#### 4. Генетические алгоритмы

Основная идея алгоритма заключается в организации структуры «естественного отбора» среди множества решений. В связи с тем, что ГА используют биологические подходы, вводится свойственная им терминология. Под популяцией подразумевают группу всех пробных решений, в то время как единичное решение, которое записано в двоичном коде, называют хромосомой либо особью.

Имеется набор пробных решений (популяция). Необходимо создать на основе исходной популяции новую, таким образом, чтобы пробные решения находились ближе к глобальному минимуму заданной целевой функции. Сформируются брачные пары для скрещивания из исходной популяции.

Процесс работы генетического алгоритма состоит из нескольких этапов (рисунок 3) [10]:

1. Генерация начальной популяции, состоящей из  $n$  хромосом.
2. Вычисление пригодности каждой отдельной хромосомы.
3. Выборка пар хромосом-родителей с помощью одного из известных способов отбора.
4. Кроссинговер пар родителей с произведением двух потомков, с вероятностью  $p_c$ .
5. Мутация потомков с вероятностью  $p_m$ .
6. Повтор итераций 3-5 до тех пор, пока не будет сгенерировано новое поколение популяции, которое будет содержать  $n$  хромосом.
7. Повтор итераций 2-6 до тех пор, пока не будет выполнен критерий останова процесса.

Критерием останова процесса работы

ГА может быть заданным количеством  $m$  поколений или сходимостью популяции.

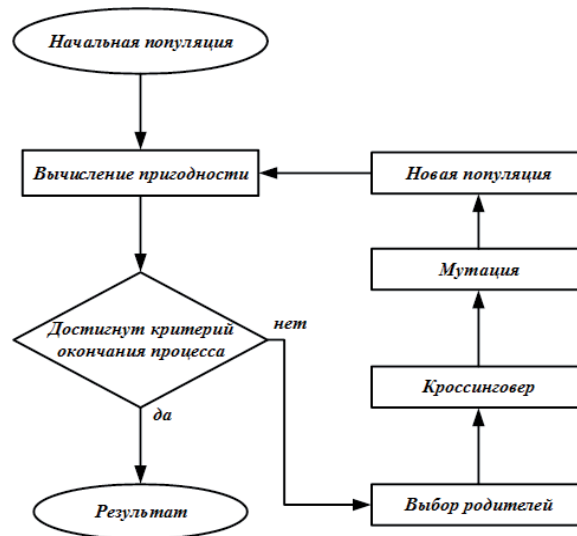


Рис. 3 – Схема простого генетического алгоритма

Для решения задачи используются следующие параметры: количество особей в популяции – 50; число хромосом, автоматически попадающих в следующую популяцию – 0.05 от размера популяции; коэффициент скрещивания – 0.08.

Закон управления для ПИ-регуляторов, настроенных с помощью генетического алгоритма, имеет вид:

$$C_{PI1}(s) = 29.94 + 59.984 \frac{1}{s},$$

$$C_{PI2}(s) = 29.592 + 29.972 \frac{1}{s}.$$

#### 5. Результаты моделирования

На рисунке 4 представлена модель, описывающая регулирование с помощью алгоритмов CLONALG и GA. Результаты моделирования изолированных подсистем с PI-регуляторами (рисунок 5,6) показывают, что переходные процессы сходятся к желаемым сигналам.

Алгоритм клональной селекции систем и генетический алгоритм позволяет реализовывать ПИ-регуляторы, обеспечивающие минимум заданного критерия качества.

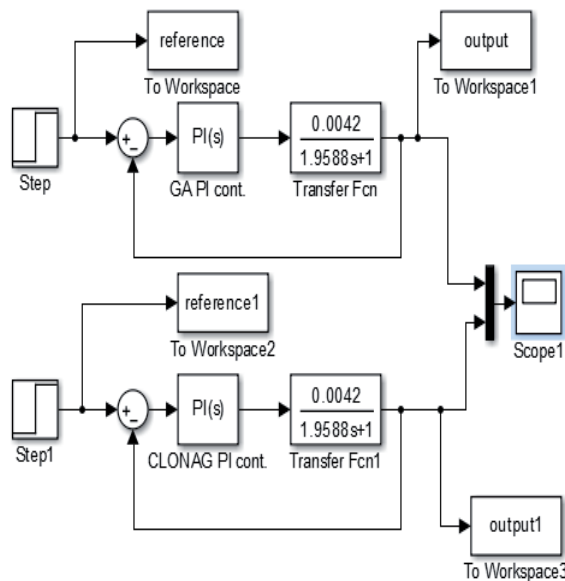


Рис. 4 – Модель Simulink

В первой изолированной подсистеме оба регулятора имеют одинаковое время регулирования, однако в GA имеется перерегулирование в размере 6.5%.

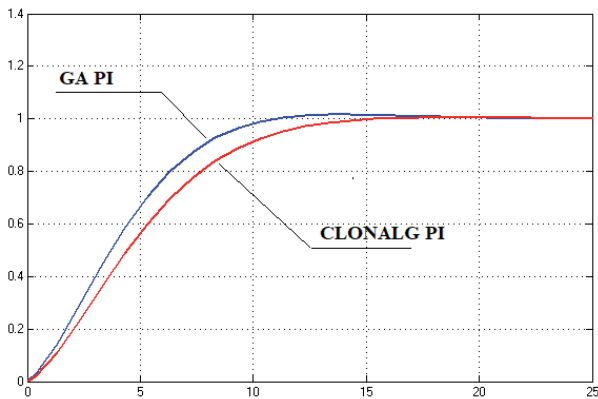


Рис. 5 – Переходной процесс первой подсистемы

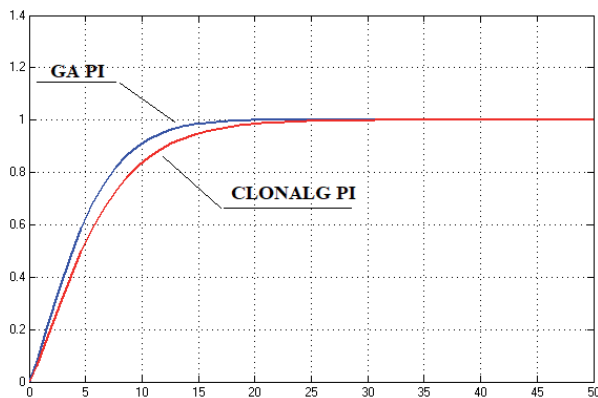


Рис. 6 – Переходной процесс второй подсистемы

Во второй подсистеме время переходного процесса ниже у регулятора, настроенного с помощью генетического алгоритма (рисунок 6):

### 6. Заключение

В результате проведенных экспериментов (таблица 1) можно утверждать, что генетический алгоритм имеет лучшее быстродействие, в отличие от алгоритма CLONALG, однако менее стабильный (возможно перерегулирование). Алгоритм клональной селекции незначительно уступает в быстродействии, но имеет ряд других преимуществ. Так, например, при поиске оптимальных параметров регулятора алгоритм менее подвержен преждевременной сходимости и отсутствует перерегулирование. Применение обоих методов позволяет существенно сократить время и затраты на создание систем управления сложными объектами нефтегазовой отрасли.

Таблица 1 – Сравнение алгоритмов

Подсистема/ алгоритм	Время регулирования (сек)	Перерегулирование (%)
GA 1	16,36	6,5
CLONALG 1	17,41	0
GA2	17,39	0
CLONALG 2	25,04	0

*Работа выполнена по гранту КН МОН РК №AP05130018 по теме: «Разработка когнитивной Smart-технологии для интеллектуальных систем управления сложными объектами на основе подходов искусственного интеллекта» (2018-2020 гг.).*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Fatemeh Moinian, Hamed Sabouhi, Jafar Hushmand, Ahmad Hallaj, Hiwa Khaledi, Mojtaba Mohammadpour. Gas turbine preventive maintenance optimization using genetic algorithm // International Journal of System Assurance Engineering and management. – 2017. – Vol. 8, Issue 3. – P. 594-601.
2. Menad Nait Amar, Nourddine Zeraibi, Kheireddine Redouane. Optimization of WAG process using dynamic proxy, genetic algorithm and ant colony optimization // Arabian Journal for Science and Engineering, - 2018. – Vol. 42, Issue 11. – P. 6399-6412.
3. Alexandre Ashade L. Cunha, Giulia Duncan, Alan Bontempo, Marco Aurelio C. Pacheco. Optimum wells placement in oil and fields using cellular genetic algorithms and space efficient chromosomes / Proceeding of SAI Intelligent Systems Conference // IntelliSys 2016: Intelligent Systems and Applications. – Springer Cham. – 2017. – P. 15-38.
4. Yamin Yan, Yongtu Liang, Haoran Zhang, Wan Zhang, Huixia Feng, Bohong Wang, Qi Liao. A two-stage optimization method for unmanned aerial vehicle inspection of an oil and gas pipeline network // Petroleum Science. Chine University of Petroleum (Beijing). – 2019. – Volume 16, Issue 2. – P. 458-468.
5. Ghoulemallah Boukhalifa, Sebti Belkacem, Abdesselem Chiklhi, Said Benaggoune. Genetic algorithm and particle swarm optimization tuned fuzzy PID controller on direct torque control of dual star induction motor // Journal of Central South University. - 2019. – Vol. 26, Issue 7. – P. 1886-1896.
6. Minian F, Sabouhi H., Hushmand J., Hallaj A., Khaledi H., Mohammadpour M. Gas turbine preventive maintenance optimization using genetic algorithm // International Journal of System Assurance Engineering and Management. – Springer, 2016. – Vol. 8. – P. 594-601.
7. Changdar Ch., Pal R. K., Mahapatra G. S. A genetic ant colony optimization based algorithms for solid multiple travelling salesman problem in fuzzy rough environment // Soft Computing. – Springer, 2018. – Vol. 21, Issue 16. – P. 4661-4675.
8. Castro L., Zuben F. The clonal selection algorithm with engineering applications. – Las Vegas, USA: Workshop on Artificial Immune Systems and Their Applications. In Workshop Proceeding of GECCO`00. – 2000. – P. 36-37.
9. Самигулин Т.И., Ширяева О.И., Самигулина Г.А. Программное обеспечение Genetic Regulator для решения задач управления сложными объектами / Т.И. Самигулин, О.И. Ширяева, Г.А. Самигулина. – Астана: Свидетельство о государственной регистрации прав на объект авторского права (на программу ЭВМ). – 2016. – №005733. – 25 с.
10. Бураков М.В. Генетический алгоритм: теория и практика / М.В. Бураков. – СПб.: ГУАП, 2008. – 164 с.

УДК 004.048  
МРНТИ 20.19.01

## EXTRACTING HIDDEN FEATURES OF HUMAN MOBILITY AND PREDICTING INFLOW AND OUTFLOW OF BIKE SHARING STATIONS

E.S. SEITBEKOVA<sup>1,2</sup>, B.K. ASILBEKOV<sup>1</sup>, A.B. KULJABEKOV<sup>1</sup>, I.K. BEISEMBETOV<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Satbayev University

<sup>2</sup>Kazakh-British Technical University

**Abstract:** Huge amounts of spatial-temporal data are generated daily from all kinds of citywide infrastructures. Understanding and predicting accurately such a large amount of data could benefit many real world applications.

This paper provides an analysis of human mobility data in an urban area using the amount of available bikes in the stations of the bicycle sharing program. Based on data sampled from the operator's website, it is possible to detect temporal and geographic mobility patterns within the city. These patterns are applied to predict the number of available bikes for any station some hours ahead. Our methodology first identifies and quantifies the latent characteristics of different spatial environments and temporal factors through tensor factorization. Our hypothesis is that the patterns of spatial-temporal activities are highly dependent on or caused by these latent spatial-temporal features. We model this hidden dependent relationship as a Gaussian process, which can be viewed as a distribution over the possible functions to predict human mobility.

**Keywords:** human mobility, spatio-temporal, hidden features, tensor, Tucker decomposition, Gaussian process, prediction

## АДАМДАРДЫҢ ШАПШАҢДЫЛЫҒЫНЫҢ ЖАСЫРЫН ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН АНЫҚТАУ ЖӘНЕ ВЕЛОСИПЕД БӨЛІСУ СТАНЦИЯЛАРЫНЫҢ ВЕЛОСИПЕД АҒЫНЫН БОЛЖАУ

**Аңдатпа:** Кеңістік-уақыттық деректердің үлкен көлемі күнделікті барлық қалалық инфрақұрылымдардан жасалады. Осындай үлкен көлемді мәліметтерді түсіну және болжау көптеген нақты әлемдік қосымшаларға пайда әкелуі мүмкін.

Бұл мақала велосипед бөлу станциясының деректерін пайдалана отырып, қалалық жерлердегі адамдардың мобильділігі туралы деректерді талдайды. Оператордың веб-сайтынан алынған мәліметтер негізінде қалада кеңістік-уақыттық ұтқырлық анықталуы мүмкін. Осы схемалар бірнеше сағат бұрын кез келген станция үшін қолжетімді велосипедтердің санын болжау үшін пайдаланылады. Біздің әдістемеміз алдымен тензорлы факторизация арқылы түрлі кеңістік-уақыттық факторлардың жасырын ерекшеліктерін анықтайды және сандық түрде айқындайды. Ал гипотеза кеңістік-уақыттық белсенділіктің үлгісі жасырын ерекшеліктерге тәуелді. Бұл тәуелділікті Гаусс үдерісі ретінде модельдейміз.

**Түйінді сөздер:** кеңістік-уақыттық сипаттамалары, жасырын ерекшеліктері, тензоры, Такердің ыдырауы, Гаусс үдерісі, болжау

## ВЫЯВЛЕНИЕ СКРЫТЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МОБИЛЬНОСТИ ЛЮДЕЙ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ПРИТОКА/ОТТОКА ВЕЛОСИПЕДОВ НА СТАНЦИЯХ СОВМЕСТНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

**Аннотация:** Огромное количество пространственно-временных данных генерируется из всех типов городской инфраструктуры. Точное понимание и прогнозирование такого большого объема данных может принести пользу многим реальным приложениям.

*В этой статье представлен анализ данных о мобильности людей в городских районах с использованием данных со станции совместного использования велосипедов. На основе данных, взятых с веб-сайта оператора, можно определить временную и географическую мобильность в пределах города. Эти схемы используются для прогнозирования количества доступных велосипедов для любой станции на несколько часов вперед. Наша методология сначала идентифицирует и количественно определяет скрытые характеристики различных пространственных сред и временных факторов посредством тензорной факторизации. Гипотеза авторов состоит в том, что закономерности пространственно-временной активности сильно зависят от этих скрытых пространственно-временных особенностей. Мы моделируем это как зависимые отношения, как гауссовский процесс, который можно рассматривать как распределение.*

**Ключевые слова:** *мобильность людей, пространственно-временные характеристики, скрытые особенности, тензор, разложение Такера, гауссовский процесс, прогнозирование*

### Introduction

Public bike sharing systems are becoming more and more popular in the past few years. A still growing list of cities which provides such service systems can be found at the Bike sharing world map [1]. The three big cities of Kazakhstan have such systems. They are: AlmatyBike, AstanaBike and ShymkentBike [2]. There are 200 stations in Almaty, 180 stations in Astana and 40 bike sharing stations in Shymkent. For optimal performance of such systems there must be (a) the possibility to find a bike when a user wants to start his/her journey and (b) the possibility to leave the bike in the user's destination. Without oversizing the system, there are basically two ways to solve these problems: Inform the user in advance about the best places to pick up or leave the bikes and improve the redistribution of bikes from full to empty stations.

In this study we aim to contribute to the solution of these problems via the analysis of cyclic mobility patterns which lead to short term predictions of the number of available bikes in the stations by prediction inflow and outflow between stations. Such predictions would allow us to improve the current web-service of AlmatyBike, AstanaBike and ShymkentBike and in turn increase users' satisfaction with the system. Once this type of information is available, users may use mobile devices to access it. Knowledge of those patterns could lead to an optimization of the bike sharing system itself, allowing the operator to predict shortage or overflow of bicycles in certain stations well

in advance and adapt its redistribution schedule accordingly on the fly.

Furthermore, we intend to show that this type of data also allows us to infer the activity of city population as well as the spatial-temporal distribution of their displacements. Such knowledge may be interesting for city planners and may also represent a cheap way to compare the activity cycles between different cities.

Big Data trend brings great opportunities for tackling many real-world challenges. In this paper, we propose a novel methodology for prediction of spatial-temporal activities using latent spatial and temporal factors extracted from existing mobility datasets at a city level. Of spatial-temporal activities, we are interested in human mobility, especially the inflow and outflow of people in neighborhoods/areas during certain time periods. Understanding the inflow/outflow of people in urban environments spatially and temporally and predicting them correctly are essential to solve many real-world problems. Such as optimization bike sharing systems. To achieve these goals, we use spatial-temporal data, which has been obtained from New York Cities bike sharing systems open data. Website provides all historical and real time data about the number of bicycles available for the users in a certain moment in time in every one of the approximately 700 different stations, and information about all rent done by users from 2013 year.

The rest of the paper is organized as follows. We first review related work on the subject in

2 and give a more detailed description of the mobility spatio-temporal data in 2.1. Section 3 describes the tensor model of human mobility and the extraction of latent spatial and temporal features. Section 4 presents the prediction methodology through modeling the relationship between latent features and human mobility as a Gaussian process. Section 5 demonstrates the performance of our methodology through a series of experiments with the bike trips in New York. Finally, we present the conclusions in Section 6.

### 1. Related work

Given the importance of gaining a deeper understanding of many spatial-temporal activities, like human mobility, and predicting them accurately, related work in this area has been published in various fields, such as computer science, urban planning, sociology, and other areas. In this section, some of the works relevant to different aspects of mobility patterns are overviewed.

Some studies have visualized bike sharing systems activity, identifying trends, usually based on the performance analysis of connecting stations, observing the number of trips starting and ending at the station level [3] [4] [5]. The number of studies analyzes bike sharing systems imbalances caused by various levels of attractiveness and generation of station-level trips [6], often they provide efficient bike redistribution strategies [7] [8].

With a similar goal of introducing a more balanced systems, other studies modeled demand [9] or developed models that optimize the location of stations [10]. Significant number of studies have recently focused on the GPS analysis of casual cyclists' routes [11]. A couple of studies have focused on the exploration of real bike routes. First, the route choice analysis performed by Khatri [12], based on approximately 12,000 trips collected through the Phoenix BSS bikes equipped with built-in GPS trackers, second, the research published by Wergin and Buehler [13], analysing 3596 trips obtained by introducing GPS trackers into 94 bikes in the Washington DC BSS in 2015, and the study to visualise the cycling flow derived from Madrid bike sharing

system activity, obtained by processing over 250,000 GPS routes, and provide an analysis of how this flow is distributed across the urban street network at different moments [14].

### 2.1 CitiBike NYC bike sharing system

The methodology described in this paper is tested on open data available on web site <https://www.citibikenyc.com/system-data>. There can be found data about all trips done by user of system CitiBike New York and annual reports per month from May 2013. CitiBike system start his operation in May 2013. On average, there are 43,604 rides per day, with each bike used 3.5 times per day. It has 8,629 annual members and 61,715 casual members signed up or renewed during the month. There are 757 active stations at the end of the month. The average bike fleet is 12,744 with 12,793 bikes in the fleet. Citi Bike staff rebalances on average 22,280 bicycles per month. The Service Delivery Department utilizes box trucks, vans, contracted trikes, articulated trikes ('bike trains'), valets, and member incentives ('Bike Angels') to redistribute bikes system-wide.

CitiBike system publish downloadable files of CitiBike trip data. The data includes: Trip Duration (seconds), Start Time and Date, Stop Time and Date, Start Station Name, End Station Name, Station ID, Station Lat/Long, Bike ID, User Type (Customer = 24-hour pass or 3-day pass user; Subscriber = Annual Member), Gender (Zero=unknown; 1=male; 2=female), Year of Birth. This data has been processed to remove trips that are taken by staff as they service and inspect the system, trips that are taken to/from any of "test" stations, and any trips that were below 60 seconds in length (potentially false starts or users trying to re-dock a bike to ensure its secure).

### 3. Tensor model and extracting latent features

Tensor is a array with 3 or more dimensions. Decompositions of a higher-order tensor can be used to extract and explain the properties among the tensor. Tensor decomposition is widely

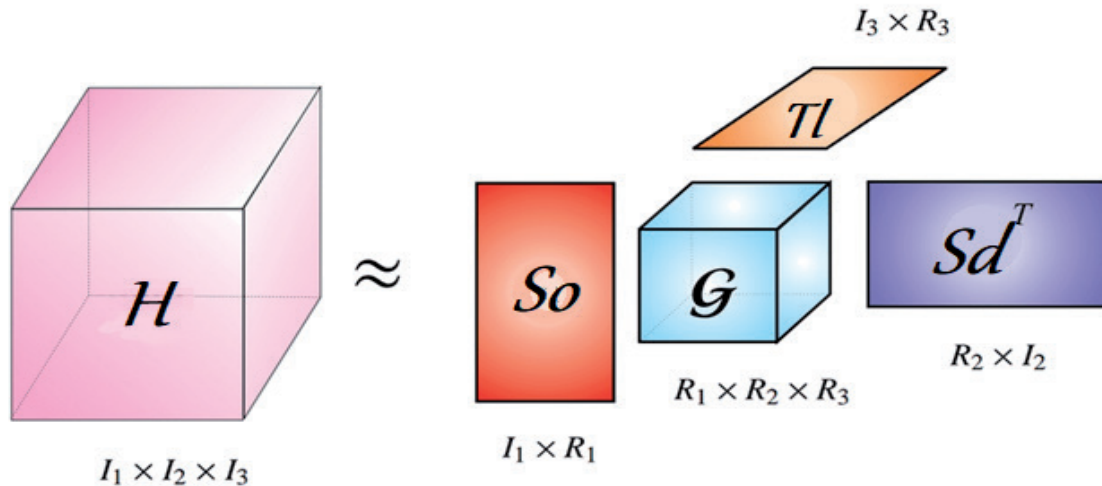


Figure 1. Tensor decomposition

used in computer vision, numerical analysis, data mining, neuroscience, graph analysis etc. [15]. In this paper, we propose to model human flow between different neighborhoods with a 3-dimensional tensor  $H \in \mathbb{R}^{N \times N \times L}$ , as shown in Figure 1. The first dimension of the tensor  $H$  denotes  $N$  origin neighborhoods, the second dimension denotes  $N$  destination neighborhoods, and the third dimension denotes  $L$  time slots, respectively. Each entry of the tensor  $H(i, j, l)$  stores the average number of trips starting from neighborhood  $i$  to neighborhood  $j$  during time period  $l$ .

With this tensor model, we extract the latent spatial features of each origin neighborhood, destination neighborhood, and the latent temporal feature of each time slot through a Tucker decomposition. The Tucker decomposition can be thought of as the form of higher-order Principal Component Analysis (PCA). It decomposes a tensor into a core tensor multiplied by a matrix along each dimension [15]. In our case, we decompose the tensor  $H$  into three matrices

$S_o^{N \times P}$ ,  $S_d^{N \times Q}$ ,  $\mathcal{T}^{L \times R}$ , and a core tensor  $G^{P \times Q \times R}$ , as shown in Figure 1. Mathematically, this relationship can be expressed as in Equation 1:

$$\mathcal{H} \approx G \times_1 S_o \times_2 S_d \times_3 \mathcal{T} \quad (1)$$

#### 4. Predicting using latent features

After the extraction of latent spatial-temporal features, we mathematically model

the relationship between spatial-temporal activities such as human mobility and the extracted latent features for prediction. For this, we assume that people’s mobility is generated from a smooth and continuous process. This process has typical amplitude and variations in the function which takes place over spatial, temporal, and other characteristics. For example, to predict the volume of outflow  $x_{o,i,l}$  in the neighborhood  $i$  during time period  $l$  (or the volume of inflow  $x_{i,l}$ ), we can model the relationship as below:

$$x_{o,i,l} = g(S_{o,i}, \mathcal{T}_{l}, x_{o,i,l-1}, \dots) \quad (2)$$

$$x_{i,l} = g(S_{di}, \mathcal{T}_{l}, x_{i,l-1}, \dots) \quad (3)$$

Note that instead of relating this relationship to some specific models such as linear, quadratic, cubic, or even non-polynomial models, which may have numerous possibilities, we modeled this relationship as a free-form Gaussian process. One reason for using the Gaussian process is that for any spatial-temporal activity  $y$  (e.g.,  $x_{o,i,l}$ ) to be predicted, it will likely be generated by the same process and have similar values as the historical processes that share similar latent spatial-temporal features. We can take advantage of this relationship and use it for prediction. The Gaussian process is described properly in the work of Rasmussen [16].

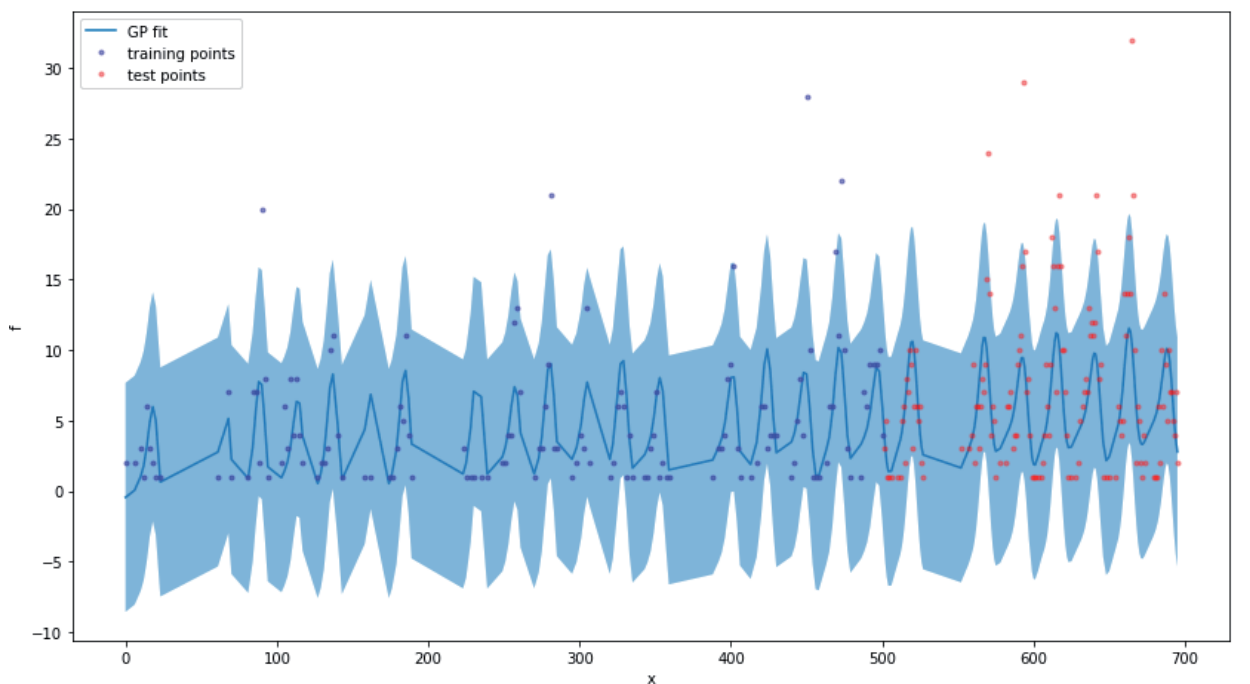


Figure 2. Results of prediction

## 5. Results

The mathematical model and all calculations are done in programming language python with help of libraries. Three-dimensional tensor was created with numpy library. Generated tensor is decomposed by Tucker decomposition algorithm using tensorly library, that is highly recommended for tensor learning in python. Gaussian regression was done by library GPy. In order to verify our assumptions, the data set was divided into two part: train data and test data. Taking a look at the training data, we can see a number of features that occur in the data. There is a clear periodic trend that is daily or weekly. We can use this prior information in our choice of kernel to give some meaning to the Gaussian process fit. In the Figure 2 you can see the prediction of outflow of one station for one month. In figure vertical axis is the number of bikes taken from that station, horizontal axis is the number of hours in month. For example, 0 is first hour (00:00-00:59) of first day of month, 39 is time period 14:00-14:59 of second day of month (39-24=15).

For prediction accuracy measurements, we used the mean squared error (MSE) and mean absolute scaled error. MSE in average is 1919 and MASE is 0.38.

## Conclusion

In this work, we proposed a new methodology for the prediction of spatial-temporal human mobility, especially the inflow and outflow of bikes from one station to another during certain time periods. Our methodology comprised two steps: (1) use of a 3D tensor to model human mobility and extract latent spatial and temporal features of different stations and time periods through tensor factorization; and (2) modeled relationship between mobility patterns and the extracted latent spatial and temporal features as a Gaussian process for prediction of human mobility. For validation of the proposed methodology, we experimented with New York City's bike trips. The results showed that our extracted latent features successfully distinguish between bike sharing stations with diverse unique characteristics.

This work has done under the project № AP05134776 «Location Analytics Techniques for Prediction of Mobility Patterns» of the Ministry of Education and Sciences of the Republic of Kazakhstan.

REFERENCES

1. Bike sharing world maps web site. URL: [www.bikesharingmap.com](http://www.bikesharingmap.com)
2. Kazakhstani bike sharing systems web sites. URL: <https://velobike.kz/>, <https://almatybike.kz/>, <https://shymkentbike.kz/>
3. Borgnat, P., Robardet, C., Abry, P., Flandrin, P., Rouquier, J-B., & Tremblay, N. (2013). A dynamical network view of Lyon ' S V ' Elo ' v shared bicycle system. *Dynamics on and of Complex Networks*, 2, 267–284.
4. O'Brien, O., Cheshire, J., & Batty, M. (2014). Mining bicycle sharing data for generating insights into sustainable transport systems. *Journal of Transport Geography*, 34, 262–273. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966692313001178>
5. Zaltz Austwick, M., O'Brien, O., Strano, E., Viana, M., & Gomez-Gardenes, J. (2013). The structure of spatial networks and communities in bicycle sharing systems. *PLoS ONE*, 8(9), e74685, 1–17.
6. Goodman, A., & Cheshire, J. (2014). Inequalities in the London bicycle sharing system revisited: Impacts of extending the scheme to poorer areas but then doubling prices. *Journal of Transport Geography*. Retrieved from <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0966692314000659>
7. Lin, J. H., & Chou, T. C. (2012). A geo-aware and VRP-based public bicycle redistribution system. *International Journal of Vehicular Technology*, 2012, 1–14.
8. Raviv, T., Tzur, M., & Forma, I. A. (2013). Static repositioning in a bike-sharing system: Models and solution approaches. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 2(3), 187–229. Retrieved from <http://link.springer.com/10.1007/s13676-012-0017-6>
9. Systems, D. T. & Lackner, B. (2013). Modeling demand for bicycle sharing systems – Neighboring stations as a source for demand and a reason for structural breaks. *TRB*, 1–19.
10. García-Palomares, J. C., Gutiérrez, J., & Latorre, M. (2012). Optimizing the location of stations in bike-sharing programs: A GIS approach. *Applied Geography*, 35(1–2), 235–246.
11. Romanillos, G., Zaltz Austwick, M., Ettema, D., & De Kruijf, J. (2016). Big data and cycling. *Transport Reviews*, 36(1), 114–133.
12. Khatri, R. (2015). Modeling route choice of Utilitarian Bikeshare users from GPS Data. University of Tennessee. Retrieved from [http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4837&context=utk\\_gradthes](http://trace.tennessee.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=4837&context=utk_gradthes)
13. Wergin, J., & Buehler, R. 2018. Where do bikeshare bikes actually Go? An analysis of capital bikeshare trips using GPS data. *Transportation Research Record*, (January), 2662, 12–21.
14. Gustavo Romanillos, Borja Moya-Gómez, Martin Zaltz-Austwick & Patxi J.Lamíquiz-Daudén (2018) The pulse of the cycling city: visualising Madrid bike share system GPS routes and cycling flow, *Journal of Maps*, 14:1, 34-43, DOI: 10.1080/17445647.2018.1438932
15. Kolda, T. G., & Bader, B. W. (2009). Tensor decompositions and applications. *SIAM Review*, 51, 455–500.
16. Rasmussen, C. E. (2006). “Gaussian processes for machine learning.”

УДК 551.24  
МРНТИ 38.53

**КОРРЕЛЯЦИЯ СТРАТИГРАФИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА С ОЦЕНКОЙ ПРОГНОЗНЫХ РЕСУРСОВ УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ ОСАДОЧНЫХ БАССЕЙНОВ ЮЖНОГО КАЗАХСТАНА (ШУ-САРЫСУЙСКОГО, ИЛИЙСКОГО И ПРИБАЛХАШСКОГО)**

**Ж.С. ТУЛЕМИСОВА, В.В. КОРОБКИН, М.М. БУСЛОВ**

*Казахстанско-Британский технический университет*

**Аннотация:** Рассмотрен перечень вопросов, связанных с нефтегазоносностью осадочных бассейнов Южного Казахстана и оценкой их прогнозных ресурсов. Для оценки прогнозных ресурсов осадочных бассейнов Южного Казахстана (Шу-Сарысуйского, Илийского, Прибалхашского) были рассчитаны основные параметры: 1) площадь осадочного бассейна; 2) мощности нефтематеринских комплексов; 3) содержание в нефтематеринских комплексах органического вещества; 4) объемы нефтематеринских пород. Данные по площадям осадочных бассейнов взяты по результатам построения литолого-палеогеографических и палинспастических карт, данные по толщинам получены в результате проведения детальных литолого-стратиграфических исследований, данные по содержанию органического вещества получены путем проведения рентгеноструктурного и термического анализов нефтематеринских пород. Прогноз ресурсов УВ нефтегазоносных бассейнов осуществлялся в следующей последовательности: 1) качественная оценка с целью выявления геологических факторов, благоприятных для генерации, последующей аккумуляции и консервации углеводородного сырья; 2) количественная оценка ресурсов и их распределение по площади и разрезу осадочного чехла.

В связи с недостаточной изученностью геологического строения и отсутствием данных по бурению глубоких скважин в данной работе приведены расчеты только по количественной оценке ресурсов для всей суммы углеводородов. При возрастании степени изученности ресурсы нефти, газа и конденсата будут оцениваться раздельно. Количественная оценка прогнозных ресурсов проведена на предположительных и рассчитанных параметрах на основе геологических представлений и аналогии с другими более изученными регионами.

**Ключевые слова:** осадочный бассейн, нефтегазоносность, литолого-стратиграфический анализ, структурный и палеотектонический анализ, прогнозные ресурсы

**CORRELATION OF A STRATIGRAPHIC SECTION WITH THE ESTIMATION OF FORECAST RESOURCES OF HYDROCARBON POTENTIAL OF SEDIMENTARY BASINS OF SOUTH KAZAKHSTAN (SHU-SARYSU, ILI AND PRIBALKHASH)**

**Abstract:** The list of questions related to the petroleum potential of sedimentary basins of South Kazakhstan and the assessment of undiscovered potential resources was considered. For calculation of undiscovered potential resources of sedimentary basins of South Kazakhstan (Shu-Sarysu, Ili, Pribalkhash) the main parameters were calculated: 1) area of sedimentary basin; 2) thickness of oil source complexes; 3) organic content of oil source complexes; 4) volume of oil source rocks. The data on the areas of sedimentary basins is taken from the results of constructing lithologic-paleogeographic and palinspastic maps, the thickness data is obtained as a result of detailed lithologic-stratigraphic studies, the data on the content of organic matter is obtained by X-ray structural and thermal analyzes of oil source rocks. The forecast of the hydrocarbon resources of oil and gas bearing basins was carried out in the following sequence: 1) qualitative assessment for the purpose to identify geological factors favorable for the formation, subsequent accumulation and conservation of hydrocarbon; 2) quantitative assessment of resources and their distribution over the area and section of the sedimentary cover. Due to the insufficient study of a geological structure and lack of data on drilling of deep wells calculations only for quantitative assessment of resources for entire amount of hydrocarbons are given in this work. With

*increasing of study degree the oil, gas and condensate resources will be estimated separately. The quantitative assessment of the undiscovered potential resources was carried out on the basis of presumable parameters based on general geological representations and analogy with other more studied regions.*

**Keywords:** *sedimentary basin, petroleum potential, lithologic-stratigraphic analysis, structural and paleotectonic analysis, undiscovered potential resources*

## **ОҢТҮСТІК ҚАЗАҚСТАННЫҢ ШӨГІНДІ БАССЕЙНДЕРІНІҢ (ШУ-САРЫСУ, ІЛЕ ЖӘНЕ БАЛҚАШ МАҢЫ) КӨМІРСУТЕК ШИКІЗАТЫНЫҢ БОЛЖАМДЫ РЕСУРСТАРЫН БАҒАСЫМЕН, СТРАТИГРАФИЯЛЫҚ ҚИМАНЫ КОРРЕЛЯЦИЯЛАУ**

**Аңдатпа:** *Оңтүстік Қазақстанның мұнай-газды шөгінді бассейндері және олардың болжамды қорларын бағалау туралы бірнеше мәселелер қарастырылды. Оңтүстік Қазақстанның (Шу-Сарысу, Іле, Балқаш маңы) шөгінді бассейндерінің болжамды қорларын санау үшін негізі параметрлері есептелді: 1) шөгінді бассейнің ауданы; 2) мұнайтудырушы комплекстің қалыңдығы; 3) мұнайтудырушы комплекстегі органикалық заттың көлемі; 4) мұнайтудырушы тау жыныстың көлемі. Шөгінді бассейндердің ауданы бойынша ақпараттар литология-палеогеографиялық және палинспастикалық карталарды құрастыру арқылы анықталды, қалыңдығы бойынша ақпараттар литолого-стратиграфиялық зерттеулердің қорытындысынан алынды, органикалық заттың көлемі туралы ақпараттар мұнайтудырушы тау жынысқа рентгенқұрылымды және термо зерттеу арқылы алынды. Мұнай-газды бассейндердегі көмірсутек қорларын болжау келесі ретпен орындалады: 1) көмірсутектерді қалыптастыру, кейіннен жинақтау және сақтау үшін қолайлы геологиялық факторларды анықтау үшін сапалы бағалау; 2) қорларды сандық бағалау және олардың аудан және қима бойынша шөгінді қабатта орналасуы.*

*Геологиялық құрылыстың жеткіліксіз зерттелуіне және терең ұңғымаларды бұрғылау жөніндегі деректердің болмауына байланысты осы жұмыста көмірсутектер үшін ресурстарды сандық бағалау бойынша ғана есептеулер келтірілген. Зерттелу дәрежесі өскен кезде мұнай-газ және конденсат ресурстары бөлек бағаланады. Болжамды ресурстарды сандық бағалау жалпы геологиялық көріністер мен басқа да зерттелген өңірлермен ұқсастықтар негізінде болжамды параметрлер бойынша жүргізілді.*

**Түйінді сөздер:** *шөгінді бассейн, мұнай-газдылық, литология стратиграфиялық зерттеу, құрылымдық және палеотектоникалық зерттеу, болжамды қорлар*

При геолого-экономической оценке нефтегазового потенциала осадочных бассейнов одним из наиболее важных этапов является прогнозирование объема возможных ресурсов углеводородного сырья [1, 2].

Для оценки нефтегазового потенциала осадочных бассейнов Южного Казахстана (Шу-Сарысуийского, Прибалхашского, Илийского) были использованы многочисленные геолого-геофизические данные [1-8]. Помимо этого привлечены результаты следующих исследований: 1) стратиграфических; 2) литолого-фациальных; 2) тектонических и геодинамических; 4) данные глубинного сейсмического зондирования земной коры; 5) обобщения данных грави-, магнито- и электрораз-

ведки, а также каротажа буровых скважин; б) проведено изучение вещественного состава керна скважин и результатов термического и рентгеноструктурного изучения образцов горных пород. Полученные данные являются важными параметрами при учете прогнозных ресурсов углеводородного сырья.

Для расчета прогнозных ресурсов осадочных бассейнов Южного Казахстана (Шу-Сарысуийского, Илийского, Прибалхашского) были рассчитаны основные параметры. К числу основных расчетных параметров относятся: 1) площадь осадочного бассейна; 2) мощности нефтематеринских комплексов; 3) содержание в нефтематеринских комплексах органического вещества;

5) объемы нефтематеринских пород. Данные по площадям осадочных бассейнов взяты по результатам построения литолого-палеогеографических и палинспастических карт, данные по толщинам получены в результате проведения детальных литолого-стратиграфических исследований, данные по содержанию органического вещества получены путем проведения рентгеноструктурного и термического анализов нефтематеринских пород [5, 6].

Остальные данные были получены путем соответствующих расчетов. Подсчет прогнозных ресурсов был осуществлен объемно-статистическим методом по формуле Л.Г. Уикса [2]:

$$Q = q_v \cdot V,$$

где  $Q$  – начальные геологические ресурсы;  $q_v$  – объемная плотность ресурсов;  $V$  – объем осадочного выполнения. Л.Г. Уикс не использует термины «седиментационный» или «нефтегазоносный бассейн», но при этом указывает, что оценки величины объемной плотности ресурсов ( $q_v$ ) корректны для больших объемов осадочного заполнения (в понимании Вассоевича Н.Б. и Ронова А.Б.) [13, 14].

### Шу-Сарысуйский бассейн

Нефтегазоносность Шу-Сарысуйского осадочного бассейна изучена детально в юж-

ной ее части (Кокпансорский и часть Мойынкумского прогибов) [5, 11]. С этими районами связаны известные газовые месторождения. Извлекаемые запасы большей части относятся к категории мелких и средних (Амангельдинское и Придорожное) объектов.

Для оценки ресурсов углеводородного сырья были привлечены данные геолого-геофизических работ [1, 4-6], которые позволили оценить величины суммарных объемов осадочных комплексов Жезказганского (северная часть), Тасбулакско-Сузак-Байкадамского (центральная часть) и Мойынкумского (южная часть) районов. Собрана информация о литолого-стратиграфических особенностях их осадочного заполнения, наличии и особенностях строения коллекторов и покрышек.

Для количественной оценки прогнозных ресурсов были выбраны методы оценки по степени геолого-геофизической изученности и аналитические данные по содержанию органического углерода в нефтегазоносных и перспективных нефтегазоносных комплексах [3, 5, 6].

По ареалу фамен-каменноугольного комплекса Шу-Сарысуйская впадина имеет среднестатистические длину 825 км и ширину 337 км, площадь всего бассейна достигает 278 025 км<sup>2</sup>. С учетом палинспастических реконструкций площадь бассейна возрастает в 1,4-1,5 раза [5, 11].

**Таблица 1 – Прогнозные ресурсы углеводородного сырья Шу-Сарысуйского бассейна**

Элементы районирования	Стратиграфические единицы	Площадь районов, км <sup>2</sup> , без учета палинспастики	Мощность нефтегазоносного комплекса, км	Объем нефтегазоносного комплекса, км <sup>3</sup>
Жезказганская	D <sub>3</sub> fm-C <sub>3</sub>	107 500	2.0	215 000
	P	52 075	1.0	52 075
Центральная часть бассейна (Тасбулакско-Сузак-Байкадамская)	D <sub>3</sub> fm- C <sub>3</sub>	96 275	1.7	163 667.5
	P	68 906	1.0	68 906
Южная часть бассейна – Мойынкумская	D <sub>3</sub> fm- C <sub>3</sub>	74 250	1.0	74350
	P	46 363	0.8	37 090

Элементы районирования	Категории ресурсов	Объем комплекса км <sup>3</sup>	Всего (ресурсы) в млн. тонн	Стратиграфические единицы	Литология коллектора	
				Палеозой		
Жезказганская	Д <sub>1</sub>	215 000	2 580.0	D <sub>3</sub> fm- C <sub>3</sub>	карбонатный	
		52 075	624.9	P		смешанный
Центральная часть бассейна (Тасбулакско-Сузак-Байкадамская)	Д <sub>1</sub>	163 667.5	1 964.0	D <sub>3</sub> fm- C <sub>3</sub>	карбонатный	
		68 906	826.9	P		смешанный
Южная часть бассейна – Мойынкумская	Д <sub>1</sub>	74 250	891.0	D <sub>3</sub> fm- C <sub>3</sub>	карбонатный	
		37 090	445.1	P		смешанный
Итого			7 331.9			

По площади развития пермского нефтегазоносного комплекса получены следующие данные: протяженность 637,5 км и ширина 262,5 км, площадь бассейна осадконакопления достигает 167 344 км<sup>2</sup>. Объемная плотность ресурсов принята 12 000 т/км<sup>3</sup> [2, 3].

#### *Прибалхашский бассейн*

К настоящему времени значимых объектов УВ сырья в пределах Прибалхашской впадины не открыто. На южном борту р. Или – в скважине Г-3 Кайралганского газового проявления вскрыт эффузивно-осадочный комплекс перми. Породы комплекса представлены кливажированными вулканитами и песчаниками, из которых в интервалах 2992-2997 м и 2969-2971 м получены притоки разгазированной хлоридно-кальциевой воды дебитом 32 м<sup>3</sup>/сут и газовым фактором 18 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Газ азотный с содержанием гелия 2,5%, метана 0,15%, углекислого газа 2% [2, 3, 9]. Газ находится в перенасыщенном растворе и при снижении пластового давления может выделяться в свободную фазу. Из аркозовых и вулканомиктовых песчаников нижней перми в интервалах 2861-2880 м и 2842-2770 м получены притоки хлор-кальциевой воды с растворенным газом, содержащим метан в количестве 22,7%.

В кайнозойском комплексе газопроявления имеются в пределах Илийской впадины в структурах Актау, Койбынской и Жамбылбастауской [1, 5, 9]. В эоцен-олигоценых отложениях в блоке Бестобе установлен горизонт песчаников с газопоказаниями до 9%. Эти отложения на Баскунчакской площади характеризовались частым разгазированием глинистого раствора. Содержание углеводородных компонентов в пробах растворенного газа составляло до 12-19%. При испытании опорной скважины в песчаных горизонтах неогена был получен газ или вода с газом с содержанием метана от 0,87 до 11,75% [9].

Было проведено изучение органического вещества в разнообразных по составу и возрасту породах термическим и рентгенодифрактометрическими методами. Предыдущие исследования показали [4], что относительно повышенной насыщенностью органическим

веществом обладают пермские отложения. Так в пермских алевролитах был определен битум в количестве 0,19-0,39%. В триасовых отложениях отмечено содержание битума до 0,01%.

В Прибалхашском осадочном бассейне региональными покрывками (флюидоупорами) являются палеогеновые и миоценовые глины. В восточной части бассейна предположительно нефтегазоматеринскими толщами может быть угленосная песчано-глинистая юрская толща, в которой фиксируется чередование пластов угля и битуминозных сланцев. Данная толща находится в благоприятной термодинамической обстановке для преобразования органического вещества. Юрские угли, толщина которых достигает 16 м (скважина Г-6), прошли стадию катагенеза [9].

На рассматриваемой территории ввиду отсутствия промышленных месторождений (запасы углеводородного сырья) углеводородов, прогнозная оценка перспектив нефтегазоносности мезозойского комплекса будет произведена по категории оценки прогнозных запасов. В связи со слабой изученностью геологического строения и отсутствием данных по бурению глубоких скважин в отчете приведены расчеты только по количественной оценке ресурсов для всей суммы углеводородов.

Прибалхашский осадочный бассейн относится к типу предгорных впадин. В низовьях реки Или располагается Южно-Балхашское буроугольное месторождение. По степени изученности оценка ресурсов углеводородного сырья проводится по категории Д<sub>1</sub> [2], к этой категории ресурсов относят литолого-стратиграфические комплексы, нефтегазоносность которых прогнозируется на основании комплекса геолого-геофизических данных. Для мезозойского бассейна (нижне-среднеюрского): протяженностью 225 км, шириной 112 км, площадью прогиба 25 200 км<sup>2</sup>, объемная плотность ресурсов с учетом допусков принята 12 000 т/км<sup>3</sup> [2, 3].

#### *Илийский бассейн*

Ранними геологоразведочными работами было установлено, что повышенная гелиона-

Таблица 2 – Прогнозные ресурсы углеводородного сырья Прибалхашского бассейна

Элементы районирования	Стратиграфические единицы	Площадь районов, км <sup>2</sup> , без учета палинспастики	Мощность нефтегазоносного комплекса, км	Объем нефтегазоносного комплекса, км <sup>3</sup>
Западная часть бассейна (Нижнеилийский угленосный бассейн)	T <sub>2</sub> -J	25 200	0.3	7 560

Элементы районирования	Категории ресурсов	Объем комплекса км <sup>3</sup>	Всего (ресурсы) в млн. тонн	Стратиграфические единицы
Западная часть бассейна (Южно-Балхашский угленосный бассейн)	D <sub>1</sub>	7 560	90.720	T <sub>2</sub> -J
Итого			90.720	

сыщенность газов выявлена на двух участках Восточно-Илийской впадины – Кайралган (южный борт) и Жамбылбастау-Койбын (северный борт) [9].

В пределах южной части впадины находится Кайралганское газопроявление. Здесь скважиной Г-3 установлено, что проявления газа связаны с эффузивно-осадочной толщей перми. Коллекторы сложены трещиноватыми вулканитами и песчаниками, из которых в интервалах 2992-2997 м и 2971-2969 м получен приток разгазированной хлоридно-кальциевой воды дебитом 32 м<sup>3</sup>/сут с газовым фактором 18 м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>. Газ азотный с содержанием гелия 2,5%, метана 0,15%, углекислого газа 2%. Газ находится в перенасыщенном растворе и при снижении пластового давления может выделяться в свободную фазу. Из аркозовых и туфовых песчаников нижней перми в интервалах 2861-2880 м и 2842-2770 м получены притоки хлор-кальциевой воды с растворенным газом, содержащим метан в количестве 22,7% [9].

В верхнепермской толще в скважинах Г-3 и Г-6 по результатам газового каротажа выделяются аномалии с содержанием метана до 15%, приуроченные к песчаным коллекторам.

Триасовые и юрские отложения изучены в скважине Г-3, где растворенные в воде азотные газы содержат гелий до 1,0-1,2%. Дебиты воды из триаса составляют – 123 м<sup>3</sup>/сут.

Меловая толща была исследована скважиной Г-5 Бестюбинская. Меловые породы представлены аргиллитами с прослоями известковистых песчаников. Суммарное содер-

жание горючих газов меняется от 23 до 63%.

В кайнозойских отложениях газопроявления зафиксированы в структурах Актау, Койбынской и Жамбылбастауской. В структуре Актау наблюдался выброс горючего газа из песчаной пачки олигоцена, а на Койбынской и Жамбылбастауской зафиксированы проявления азотно-гелиевых газов (содержание гелия от 1 до 6%).

В эоцен-олигоценых отложениях на структуре Бестобе встречен горизонт песчаников с газопоказаниями до 9%. В этих отложениях на Баскунчакской структуре в процессе бурения происходило разгазирование глинистого раствора. Содержание углеводородных компонентов в пробах растворенного газа составляло до 12-19%. При испытании в неогеновых отложениях в опорной скважине № 10 из песчаных горизонтов были получены газ или вода с газом с содержанием метана от 0,87 до 11,75%.

Газопроявления в кайнозойских отложениях, по мнению многих исследователей, имеют вторичный характер. Гелиеносность вод связана с разгрузкой ювенильных растворов по разломам, а химический состав и степень минерализации обнаруживает сходство с пермскими водами. В структурном отношении локальные поднятия, где получены газопроявления, примыкают к Актау-Хоргосскому разлому, являющемуся каналом миграции газов из более глубоких горизонтов.

Песчаники нижнего-среднего триаса обладают пористостью 18-23% и проницае-

мостью 8-45 мД. Близкие фильтрационно-емкостные свойства имеет песчано-конгломератовая толща верхнего триаса. Пористость песчаников, занимающих до 70% объема юрской толщи, составляет 20-26%, проницаемость до 40 мД. Меловые песчаники характеризуются пористостью 20-30%. В кайнозойских отложениях фиксируется уменьшение величины коллекторских свойств. Тем не менее, проницаемые толщи встречаются по всему разрезу. Плиоценовые песчаники обладают пористостью 10-22%. Подземные воды впадины характеризуются разнообразным составом. Воды нижнепермских отложений относятся к хлоридно-кальциевому типу с минерализацией 8,5 г/л. Состав растворенных газов позволяет предполагать присутствие залежей углеводородных газов в пермской вулканогенно-терригенной толще. Для подземных вод меловых отложений характерна высокая минерализация (0,35-0,9 г/л) и высокие дебиты (до 6,5 тыс. м<sup>3</sup>). Воды палеогена имеют контрастную минерализацию от 4,8 до 36,7 г/л [9].

Неогеновая толща пород представляет собой водоупор. Подземные воды образуют здесь изолированные резервуары с повышенным напором. Минерализация нарастает от бортов к центру впадины – от 3 до 50 г/л, состав вод сульфатный, сульфатно-хлоридный и хлоридно-натриевый. Плиоцен-четвертичные отложения являются верхним гидрогеологическим этажом с артезианским режимом в центральной части впадины. Данный этаж является зоной развития инфильтрационных вод. В составе предполагаемого нефтегазоматеринского субстрата выделяются вулканогенно-терригенная пермская и угленосная песчано-глинистая юрская толщи, которые находятся в наиболее благоприятной термодинамической обстановке для преобразования органического вещества. На дневной поверхности юрские бурые угли имеют толщину пласта до 16 метров. На перспективность верхнепалеозойских толщ в нефтегазоносном отношении указывает обнаружение пачек битуминозных известняков визейского яруса нижнего карбона в восточной части хр. Кетмень.

В соответствии с инструктивным документом [2, 3] прогнозные ресурсы структурно-вещественных комплексов в пределах рассматриваемого района прогнозируются на основе имеющихся геолого-геохимических и геофизических данных [5, 6]. Прогноз ресурсов УВ нефтегазоносного района представляет собой: 1) качественную оценку с целью выявления геологических факторов, благоприятных для формирования, последующего накопления и консервации углеводородного сырья; 2) количественную оценку ресурсов и их распределение по площади и разрезу осадочного чехла.

Илийская впадина относится к осадочному бассейну типа межгорных впадин, для оценки величины начальных геологических (потенциальных) ресурсов был применен объемно-статистический метод.

Илийский осадочный бассейн относится к типу межгорных впадин, формировавшийся в мезозой-кайнозойское время. На границе с КНР находятся два угольных месторождения (Колжатское и Ойкарагайское). По степени изученности оценка ресурсов углеводородного сырья проводится по категории Д<sub>1</sub> [2]. Ареал мезозойского (среднетриас-юрского) комплекса Илийская впадина распадается на два прогиба: 1) Восточно-Илийский (Колжатский) и 2) Копинский (западная часть) бассейна, параметры этих сегментов приведены в таблице. Протяженность Восточно-Илийского прогиба в казахстанской части 188 км и ширина 135 км, а площадь его достигает на территории Казахстана – 25 380 км<sup>2</sup>.

Для мезозойского комплекса параметры Западно-Илийского (Копинского) прогиба: длина – 90 км, ширина – 38 км, площадь достигает 3420 км<sup>2</sup>. Для кайнозойского (палеоген-неогенового) комплекса, протяженность казахстанской части 113 км, ширина 90 км, площадь 10170 км<sup>2</sup> [5].

Для кайнозойского комплекса параметры Западно-Илийского (Копинского) прогиба следующие: протяженность 150 км, ширина 38 км, площадь 5700 км<sup>2</sup>.

Для расчета прогнозных ресурсов был выбран объемно-статистический метод, ис-

Таблица 3 – Прогнозные ресурсы углеводородного сырья Илийского бассейна

Элементы районирования	Стратиграфические единицы	Площадь районов, км <sup>2</sup> , без учета палинспастики	Мощность нефтегазоносного комплекса, км	Объем нефтегазоносного комплекса, км <sup>3</sup>
Восточно-Илийский прогиб –Казахстанская часть	T <sub>5</sub> -J	25 380	1.8	45 684
	KZ	10170	2.2	22 374
Копинский прогиб (запад бассейна)	T <sub>5</sub> -J	3420	1.3	4 446
	KZ	5700	2.0	11 400

Элементы районирования	Категории ресурсов	Объем комплекса км <sup>3</sup>	Всего (ресурсы) в млн. тонн	Стратиграфические единицы	Литология коллектора
Восточно-Илийский прогиб – Казахстанская часть	Д <sub>1</sub>	45 684	456.84	T <sub>5</sub> -J	терригенный
		22 374	223.74	KZ	терригенный
Копинский прогиб (запад бассейна)	Д <sub>1</sub>	4 446	44.46	T <sub>5</sub> -J	терригенный
		11 400	114.00	KZ	терригенный
Итого			839.04		

пользован расчет ресурсов по формуле Л.Г. Уикса. При расчете прогнозных ресурсов объемная плотность  $g_v$  для межгорных впадин принята равной 10000 т/км [2].

Таким образом, на основании обобщения и анализа геолого-геофизического материала в пределах Шу-Сарысуйского, Балхашского, Илийского и Алакольского осадочных бассейнов проведен вероятностный количественный расчет прогнозных ресурсов углеводородного сырья. Для выяснения особенностей геологического строения осадочных бассейнов Южного Казахстана были использованы данные разнообразных методов: 1) стратиграфического; 2) литолого-фациального; 3) тектонического и геодинамического; 4) анализа данных глубинного сейсмического зондирования земной коры; 5) данные других геофи-

зических методов (грави-, магнито- и электроразведки и др.); 6) изучение вещественного состава керн скважин; 7) термическое и рентгеноструктурное изучение образцов горных пород. Для нефтегазоносных и перспективных нефтегазоносных комплексов и определены значения их мощности. Использован комплект литолого-палеогеографических карт (9 карт). На основании анализа этих карт и литолого-стратиграфических разрезов установлены значения толщин, площади распространения нефтегазоносных и перспективных нефтегазоносных комплексов, а также содержание в них органического углерода (с помощью термического и рентгеноструктурного анализов). Все эти данные в полной мере были использованы при подсчете прогнозных ресурсов углеводородного сырья.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана: в 3 т. / под ред. С. Ж. Даукеева [и др.]. – Алматы: 2002. – Т. 1. Глубинное строение и геодинамика. – 224 с.; Т. 3. Нефть и газ. – 272 с.
2. Методическое руководство по количественной оценке прогнозных ресурсов углеводородного сырья Республики Казахстан / Акчулаков У.А., Жылкайдаров И.С., Жолтаев Г., Жылкайдаров С.Е., Парагульгов Х.Х., Рабинович А.А. – Алматы, 2002. – 72 с.
3. Инструкция по классификации запасов месторождений, перспективных и прогнозных ресурсов нефти и природного углеводородного газа: утв. приказом Министра энергетики и минеральных ресурсов Республики Казахстан от 27 октября 2005 года, № 283.
4. Воцалевский Э.С., Булекбаев З.Е., Искужиев Б.А., Камалов С.М., Корстышевский М.Н., Куандыков Б.М., Куантаев Н.Е., Марченко О.Н., Шудаев К.С., Матлошинский Н.Г.,

- Нажметдинов А.Ш., Филиппев Г.П., Шабатин И.В., Шахабаев Р.С. Шудабаев К.С. / Справочник «Месторождения нефти и газа Казахстана». – Алматы. – 1999. – 326 с.
5. Атлас литолого-палеогеографических, структурных, палинспастических и геоэкологических карт Центральной Евразии. – Колл. автор. – Алматы, 2002. – 26 с., 37 карт.
  6. Атлас нефтегазоносных и перспективных осадочных бассейнов Республики Казахстан // коллектив авторов: Акчулаков У., Жолтаев Г., Исказиев К.О., Коврижных П.Н., Куандыков Б.М., Огай Е.К. – Алматы, Казахстан, 2015. – 97 с.
  7. Жолтаев Г.Ж. Геодинамические модели и нефтегазоносность палеозойских осадочных бассейнов Западного и Южного Казахстана: автореф. д. г.-м. н. – М., 1992. – 50 с.
  8. Жолтаев Г.Ж., Куандыков Б.М. Геодинамическая модель строения Юга Евразии. – Алматы: Нефть и газ, 1999. – Вып. 2. – С. 62-73.
  9. Ли А.Б. Тектоника и перспективы нефтегазоносности Южного Казахстана. – Алма-Ата: Наука КазССР, 1975. – 220 с.
  10. Парагульгов Х.Х. Эволюция и нефтегазоносность осадочных бассейнов Восточного Казахстана: автореф. дис. д.г.-м.н. – Алматы: ИГН, 2005. – 45 с.
  11. Korobkin V.V. Buslov M.M. Tectonics and geodynamics of the western Central Asian Fold Belt (Kazakhstan Paleozoides) Reference: RGG574 Journal title: «Russian Geology and Geophysics», New York. – 2011. – V. 50, № 12. – P. 1585-1603.
  12. Быкадоров В.А., Волож Ю.А., Антипов М.П. Возраст и тектоническая позиция солянокупольных структур Чу-Сарысуьской впадины (Центральный Казахстан) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел Геологический/ 2014. – №6. – С. 3-11.
  13. Вассоевич Н. Б. Избранные труды: Нефтегазоносность осадочных бассейнов. – М.: Наука, 1988. – 260 с.
  14. Ронов А.Б., Хаин В.Е., Сеславинский Н.Б. Атлас литолого-палеогеографических карт Мира. Поздний докембрий и палеозой континентов. – Л., 1984. – 70 с.

МРНТИ 38.53  
УДК 553.98. (571.1)

**ВОЗМОЖНОСТИ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ ВЫСОКОТОЧНОЙ  
МАГНИТОРАЗВЕДКИ, ГРАВИРАЗВЕДКИ И ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ ПОИСКАХ  
УГЛЕВОДОРОДНОГО СЫРЬЯ**

**Ж.С. ТУЛЕМИСОВА, З.А. БЕКМУХАМЕТОВА**

*Казахстанско-Британский технический университет*

**Аннотация:** Подробно анализируются геофизические методы обнаружения месторождений углеводородов с использованием новой аппаратуры и обработки полученных данных. Дан обзор проблемных вопросов при проведении поисково-разведочных работ на углеводороды. Особое внимание уделено методике проведения высокоточной магнитной съёмки, которая позволяет осуществлять прямые поиски залежей углеводородов по признакам приуроченности нефтегазоперспективных структур к зонам спокойных, малоамплитудных, большегабаритных отрицательных магнитных аномалий. На основе анализа материалов современной гравirazведки было установлено, что залежам УВ в гравитационном поле соответствуют локальные отрицательные аномалии, которые оконтуривают эти залежи в плане. Важно, что эти аномалии над залежами в гравитационном поле не зависят от типа ловушек и коллекторов. По величине амплитуды локальных аномалий можно оценивать прогнозные ресурсы углеводородов. Эффективность современной электроразведки при поисковых работах на УВ достаточно высока. Обоснование возможности применения метода электроразведки при поисках месторождений УВ связано с двумя моментами. Во-первых, с резким увеличением суммарного электрического сопротивления нефтегазоносной залежи по отношению к вмещающим её водоносным коллекторам (нефтегазовые залежи обладают повышенным суммарным электрическим сопротивлением) – прямой признак. Во-вторых, косвенный признак, наличием над залежью участков с дисперсными рудными минералами вблизи дневной поверхности.

**Ключевые слова:** геофизические методы, магниторазведка, гравirazведка, электроразведка, углеводороды, аномалии

**OPPORTUNITIES FOR USING HIGH-PRECISION MAGNETIC EXPLORATION,  
ENGRAVING EXPLORATION AND ELECTRIC EXPLORATION FOR HYDROCARBON  
RAW MATERIALS EXPLORATION**

**Abstract:** The geophysical methods for detecting hydrocarbon deposits using new equipment and processing the data are analyzed in detail. A review of problematic issues during hydrocarbon exploration is given. Particular attention is paid to the method of conducting high-precision magnetic surveys, which allows direct searches for hydrocarbon deposits by signs of the confinement of oil and gas prospective structures to areas of calm, low-amplitude, large-sized negative magnetic anomalies. Based on the analysis of materials of modern gravity exploration, it was found that hydrocarbon deposits in the gravitational field correspond to local negative anomalies, which are an indirect sign. They outline these deposits in plan. It is important that these anomalies above the deposits in the gravitational field do not depend on the type of traps and collectors. By the magnitude of the amplitude of local anomalies, the predicted hydrocarbon resources can be estimated. The effectiveness of modern electrical exploration during prospecting for hydrocarbons is quite high. The rationale for the possibility of applying the electric prospecting method in the search for hydrocarbon deposits is associated with two points. Firstly, with a sharp increase in the total electrical resistance of the oil and gas bearing reservoir relative to the host aquifers (oil and gas deposits have increased total electrical resistance) is a direct sign. Secondly, an indirect sign, the presence of areas with dispersed ore minerals near the surface above the reservoir.

**Keywords:** *geophysical methods, magnetic exploration, gravity exploration, electrical exploration, hydrocarbons, anomalies*

## **КӨМІРСУТЕК ШИКІЗАТЫН ІЗДЕУ КЕЗІНДЕ ЖОҒАРЫ ДӘЛДІКТІ МАГНИТТІК БАРЛАУДЫ, ГРАВИБАРЛАУДЫ ЖӘНЕ ЭЛЕКТРБАРЛАУДЫ ПАЙДАЛАНУ БОЙЫНША МҮМКІНДІКТЕР**

**Аңдатпа:** *Жаңа жабдықты қолдана отырып, көмірсутектердің кен орындарын анықтаудың және деректерді өңдеудің геофизикалық әдістері жан-жақты талданады. Көмірсутектерді барлау кезінде сыни мәселелерге шолу келтірілген. Мұнай мен газдың перспективалық құрылымдарын жуас, төмен амплитудалық, ірі көлемді теріс магниттік ауытқулар аймақтарына қою белгілері бойынша көмірсутегі кен орындарын тікелей іздеуге мүмкіндік беретін жоғары дәлдіктегі магниттік зерттеулерді жүргізу әдісіне ерекше көңіл бөлінеді. Қазіргі гравитациялық зерттеулерден алынған материалдарды талдау негізінде гравитациялық өрістегі көмірсутек кен орындары жоспардағы осы кен орындарын сипаттайтын жергілікті теріс ауытқуларға сәйкес келетіні анықталды. Гравитациялық өрістегі кен орындарының үстіндегі осы ауытқулар тұтқышы мен коллекторлардың түріне байланысты болмауы маңызды.*

*Жергілікті ауытқулардың амплитудасы бойынша болжамды көмірсутек қорларын бағалауға болады. Көмірсутек шикізатын іздеудегі заманауи электрлік зерттеулердің тиімділігі өте жоғары. Көмірсутек кен орындарын іздеуде электр іздеу әдісін қолдану мүмкіндігінің негіздемесі екі тармаққа байланысты, өйткені біріншіден, негізгі сулы қабатқа қатысты мұнай мен газ қоймасының жалпы электр кедергісінің күрт артуы (мұнай мен газ кен орындары көтеріңкі электр кедергісіне ие) тікелей белгі болып табылады. Екіншіден, кен минералдары бар аудандардың болуы, жанана белгі, резервуар үстіндегі беткейге жақын жерде таралған.*

**Түйінді сөздер:** *геофизикалық әдістер, магниттік барлау, гравитациялық барлау, электрлік барлау, көмірсутектер, ауытқу*

Поиски залежей нефти и газа являются одной из трудоемких задач поисковой геофизики. Следует отметить, что в последнее время в аппаратурном и методическом плане были достигнуты определенные успехи. Это связано с тем, что были разработаны и внедрены в практику геологоразведочных работ высокоточные цифровые измерительные приборы нового поколения. К их числу относятся протонные и квантовые магнитометры с чувствительностью 0.01-0.001 нТл [1], компьютеризированные гравиметры, представляющие собой автоматы с чувствительностью 0.0001 мГал [2]. Разработаны и апробированы новые более совершенные методики геолого-геофизической съёмки и технологии сбора и обработки полевых данных. Но проблема надежного поиска углеводородов остаётся по-прежнему, сложной задачей. Здесь следует отметить два момента. Во-первых, большая глубина залегания объекта поисков – от 1.5-3.0 км – 5.0-6.0 км до 10 км и глубже. Во-вторых, природные зале-

жи углеводородов (нефть и газ) почти никак себя не проявляют в физических полях, даже при гораздо меньших глубинах. Сложность задачи усугубилась ещё и тем, что появилась необходимость в проведении поисковых работ не только для осадочного чехла, перекрывающего фундамент, но и сам фундамент стал объектом поисков на предмет наличия в нём возможных резервуаров с нефтью (преимущественно) и (или) газом. К настоящему времени в Мире уже эксплуатируются более ста месторождений нефти и газа подобного типа, среди которых есть и гигантские [3]. Изменился взгляд на генезис месторождений углеводородов (УВ) [3-5]. Полагают, что подъём углеводородов из верхней мантии и далее в земную кору происходит циклами, по субвертикальным разломам (шовным зонам глубинного заложения). В этой связи, в поисковых целях появился интерес не только к субгоризонтальным или листрическим разломам глубинного заложения, но и к вертикальным разломным

структурам, что является новым при проведении геофизических работ на нефть и газ.

Выясним, какие потенциальные возможности открываются перед геофизической службой на современном этапе для успешных поисков углеводородов.

1. *Возможности высокоточной магниторазведки [1, 13 14].*

Нефть является диамагнетиком. Магнитная восприимчивость нефти порядка  $\chi = -10 \times 10^{-6}$  СГС. Породы-коллекторы, такие как песчаники, алевролиты, известняки, доломиты, обычно, слабо магнитны ( $\chi = 25 \times 10^{-6}$  СГС). Разность в магнитной восприимчивости нефти и вмещающих её пород составляет всего  $30 \times 10^{-6}$  СГС. Так, что ожидать заметных магнитных аномалий над залежами нефти (тем более с учетом глубины её залегания) не приходится. Поэтому целенаправленные поиски возможны, главным образом только по косвенным признакам. Нефть является достаточно агрессивной средой и обладает высокой миграционной способностью. Флюидоупорные пласты (в основном глины, аргиллиты, соль), экранирующие ловушки не способны абсолютно надежно удерживать углеводороды. Последние, в своем стремлении к перемещению вверх находят пути (каверны, поры, трещины) и в конечном итоге достигают дневной поверхности. В процессе движения они вступают в реакции с вышележащими породами и со временем, существенно понижают их намагниченность [6]. За счёт этого над залежью УВ обычно отмечается спокой-

ная, ограниченная в границах проекции залежи на дневную поверхность, отрицательная магнитная аномалия интенсивностью обычно 5-20 нТл реже до 100-200 нТл, которая становится своеобразным индикатором наличия углеводородов на глубине. Одновременно, в результате химических реакций при наличии эманаций УВ и определенного вида бактерий, в приповерхностном слое на глубине 100-400 м за счет железосодержащих минералов в осадочном чехле, над залежью могут образовываться участки дисперсного вторичного магнетита и пирита. За счёт магнетита над нефтегазоносными залежами появляются своеобразные мозаичные поля, так называемая «магнитная рябь». Обычно, это малоамплитудные (первые единицы или десятки нТл), знакопеременные, малоразмерные аномалии (размеры – первые десятки-сотни метров), которые надёжно фиксируются при детальных и высокоточных съёмках (с точностью  $\pm 1-2.5$  нТл с шагом 10 м), тем более, что соседствующие с ними участки (а это обычно слабомагнитные осадочные толщи) создают спокойный близкий к нулевому фон согласно рисункам 1 и 2.

В некоторых случаях возможна и другая ситуация. Свойства пород-коллекторов могут меняться в зависимости от наличия в них магнитных минералов. Последние (магнетит, титаномагнетит, ильменит, пирротин) обычно высоко магнитны ( $\chi = 1000-5000 \times 10^{-6}$  СГС до  $10000-1000000 \times 10^{-6}$  СГС), но содержатся в осадочных породах в качестве аксессуарных

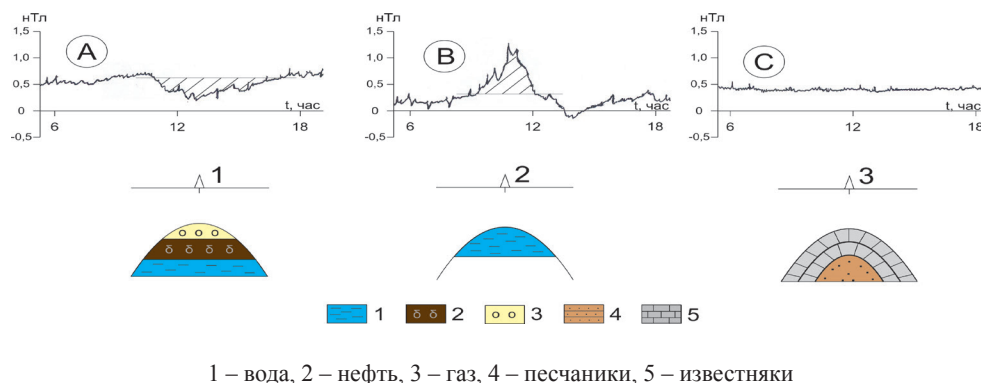
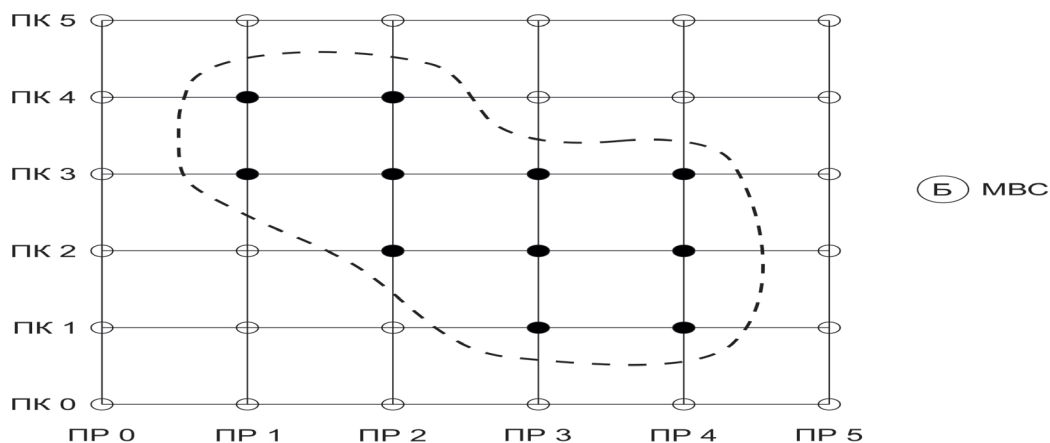


Рис. 1 – Схематические разрезы и предпочтительные места установки МВС над залежью углеводородов (1), над линзой с водой (2) и в случае с «пустой» структурой (3)



Фигура 1.

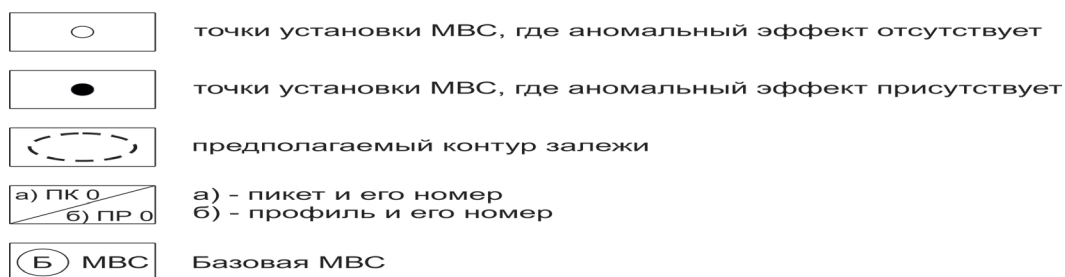


Рис. 2 – Схема расстановки МВС на предполагаемом участке и контур залежи, проведенный по результатам съёмки

минералов и поэтому не могут существенно повлиять на намагниченность пород (она увеличивается до значений  $200-500 \times 10^{-6}$  СГС). В подобной ситуации, над залежами углеводородов могут наблюдаться спокойные, слабо амплитудные магнитные аномалии положительного знака. Но в самом общем случае изменения намагниченности пород над залежами углеводородов связано с потерей магнитных свойств.

Эти две особенности магнитного поля над залежами УВ относительно легко выявляются современными высокочувствительными магнитометрами (со старыми приборами сделать это было достаточно проблематично – их чувствительность составляла 2-3 нТл, а ошибки съёмки составляли 7-10 нТл, т.е. были соизмеримы с интенсивностью полезных аномалий). Таким образом, магнитные съёмки высокой точности и детальности могут быть с успехом использованы для прямых поисков месторождений нефти и газа [1]. Кроме прямых поисков нефти и газа, магниторазведка является прекрасным картировочным методом. В условиях закрытых территорий

она решает задачи картирования поверхности фундамента под чехлом осадочных отложений, выделения магматических комплексов, тектонического районирования территории, выделения зон мощного осадконакопления, установления простирания геологических структур, поисков рудных месторождений [1]. Магнитные съёмки просты в исполнении, не требуют больших затрат, сил и средств, обеспечивают качественный информативный материал в помощь картированию и поискам, и поэтому широко используются в практике геологоразведочных работ (ГРР) в наземном, аэро- и морском вариантах, на всех этапах проведения ГРР. Итак, констатируем – с применением высокоточных магнитных съёмок появилась реальная возможность проводить прямые поиски залежей углеводородов по признакам приуроченности нефтегазоперспективных структур к зонам спокойных, малоамплитудных, большегабаритных отрицательных (в редких случаях положительных) магнитных аномалий на региональном этапе работ – обычно в аэро- и морском вариантах и на участках мозаичного, знакопеременно-

го, магнитного поля (на участках «магнитной ряби») на этапе поисков – в наземном варианте или с использованием низковысотных съёмок [7,8, 13, 14].

2. *Возможности высокоточной гравиразведки [2]*

Нефть и газ имеют пониженную плотность по сравнению с законтурной частью нефтегазовых залежей на 0.10-0.25 г/см<sup>3</sup> для газа и 0.10-0.15 г/ см<sup>3</sup> для нефти. По плотностным свойствам нефти делятся на две группы: легкие (менее 0.85 г/см<sup>3</sup>) и тяжелые (более 0.85 г/ см<sup>3</sup>). Плотность осадочных пород нефтегазовых бассейнов, содержащий в своем геологическом разрезе залежи УВ выше, чем у нефти и газа. Так каменная соль, гипс имеют плотность 2.0-2.3 г/ см<sup>3</sup>, песчаники – 2.1-2.4 г/ см<sup>3</sup>, алевролиты – 2.1-2.5 г/ см<sup>3</sup>, глины и аргиллиты – 2.2-2.5 г/ см<sup>3</sup>, известняки – 2.4-2.6 г/ см<sup>3</sup>, доломиты – 2.5-2.6 г/ см<sup>3</sup>, ангидриты – 2.8 г/ см<sup>3</sup>. Таким образом, нефтегазосодержащие коллекторы обладают наименьшей плотностью. Плотность пластовой воды, в зависимости от её минерализации колеблется от 1.00 г/см<sup>3</sup> до 1.5 г/см<sup>3</sup>. В связи с существующей разностью плотностей залежи УВ отражаются в гравитационном поле аномалиями отрицательного знака. Этому способствует также снижение плотности пород, залегающих над залежами, вверх по разрезу [2]. Нефтяным залежам (мощностью 40-50 метров) и газовым (мощностью 20-80 метров) соответствуют относительно отрицательные локальные аномалии поля силы тяжести амплитудой 0.08-0.10 мГал. Теоретические расчёты, подтвержденные практикой, свидетельствуют, что нефтяная залежь суммарной мощностью 100 м на глубине 1-3 км создают аномалию амплитудой 0.3-0.4 мГал, а газовые залежи той же мощности – до 0.7-0.8 мГал. Сложности выделения полезных аномалий в гравитационном поле, возникали в силу низкой точности измерений (имевшей место до недавнего времени), а также за счёт неопределенностей при учете многочисленных поправок. Поэтому были предложены различные трансформации наблюдаемых гравитационных полей. Из них наиболее распространенным является способ

обработки гравиметрических данных (ГОНГ) [2] и согласно последним публикациям высокоточные гравиметрические съёмки в 85-95% случаев оправдывают прогнозы на наличие УВ [9,10] Гравиразведка до недавнего времени считалась и остается, в основном, структурно-картировочным методом, который применяется при изучении региональных структурных единиц, погребенных под осадочными отложениями. В гравитационных полях находят отражение крупные поднятия или прогибы земной коры, а также петрографические неоднородности кристаллического фундамента основания земной коры при условии резкой смены плотности пород, слагающих этот фундамент. Гравиразведка традиционно является надёжным прямым методом поисков солянокупольных структур, массивных тел железных руд и хромитов. И только с появлением новых высокоточных гравиметров и инновационных технологий обработки и интерпретации результатов гравиметрических съёмок появилась реальная возможность прямых поисков залежей УВ. На основе анализа материалов современной высокоточной гравиразведки было установлено, что залежам УВ в гравитационном поле соответствуют локальные отрицательные аномалии, которые оконтуривают эти залежи в плане. Важно, что аномалии над залежами в гравитационном поле не зависят ни от типа ловушек, ни от типа коллектора, а по величине амплитуды локальных аномалий можно оценивать прогнозные запасы углеводородов. Следовательно, высокоточная гравиразведка на региональном этапе должна стать ведущим методом комплекса. Она востребована и на поисковом этапе. Для этого требуется выполнять высокоточные (погрешность съёмки не более 0.05 мГал) гравиметрические наблюдения, по параллельным профилям в крест простирания залежи с шагом 100 м. Длина маршрутов в 7-10 раз должна превышать глубину до объекта. Цель гравиметрических наблюдений на поисковом этапе состоит в выделении наиболее крупных ловушек: оконтуривание их в плане, определение их размеров, глубины залегания и оценка прогнозных ресурсов.

Высокоточные гравиразведка и магниторазведка масштаба 1:200 000 составляют обязательный комплекс геофизических методов при изучении нефтегазовых провинций, и помогают в решении основных задач ГРП на этапе поисковых исследований.

### 3. Возможности высокоточной электроразведки [11]

В последнее время достигнуты существенные успехи в создании аппаратуры и технологии проведения электроразведочных работ. Согласно последним публикациям эффективность современной электроразведки при поисковых работах на УВ достаточно высока и, как следствие, появилось понятие высокоразрешающая электроразведка при поисках нефти и газа. Обоснование возможности применения метода электроразведки при поисках месторождений УВ связано с двумя моментами. Во-первых, с резким увеличением суммарного электрического сопротивления нефтегазоносной залежи по отношению к вмещающим её водоносным коллекторам (нефтегазосодержащие залежи обладают повышенным суммарным электрическим сопротивлением на 30-500%) – *прямой признак*. Во-вторых, с наличием над залежью участков с дисперсным магнетитом и пиритом, вблизи дневной поверхности – *косвенный признак*. Электроразведка обладает большим арсеналом возможных методов и современными технологиями, на базе новейшей высокоразрешающей аппаратуры. Это позволяет выбрать три, наиболее эффективных, проверенных на практике метода, которые успешно используются при решении поисковых задач на углеводороды. Это метод МТЗ (магнитотеллурическое зондирование), МВТ (метод вертикальных токов), метод индукционной вызванной поляризации (ИВП).

*Метод МТЗ* до последнего времени не находил должного применения в геолого-геофизических изысканиях. Причины этого – не было удобной, высокочувствительной, специализированной аппаратуры и достаточных наработок в области количественной интерпретации получаемых данных. Но метод имеет очевидные достоинства – используется

естественное электромагнитное (магнитотеллурическое) поле, проникающее на глубины в сотни километров, что позволяет изучать осадочный чехол, фундамент и верхнюю мантию. Метод отличается низкой стоимостью, простота в организации работ и важность получаемой геологической информации. МТЗ обеспечивает изучение разреза вне зависимости от его сложности (наличия высокоомных, экранирующих горизонтов, мощного чехла осадочных пород и т.п.). Наиболее целесообразно использовать МТЗ при решении структурных задач на этапе региональных исследований. По данным МТЗ строят структурные карты поверхности высокоомного горизонта (фундамента). Учитывая характер изменений удельного сопротивления отложений с глубиной, можно делать выводы об их литолого-фациальных особенностях и устанавливать глубинные разломные зоны и, что особенно важно, выделять среди высокоомных пород фундамента круто наклонные высокопроводящие каналы («геосолитоновые трубки»), по которым могут подниматься восходящие флюидопотоки [5]. Это благоприятные признаки, указывающие на нефтегазоносность территории. По результатам МТЗ в метаморфизованных породах фундамента выделяются участки с низким сопротивлением, что обычно свидетельствует о наличии пористости а, следовательно, о возможных резервуарах для углеводородов.

По результатам МТЗ по профилям отстраивают геоэлектрические разрезы до глубин в десятки и сотни километров, на которых просматривается рельеф фундамента и определяется характер слоистости перекрывающего его осадочного чехла. Применение МТЗ, как регионального геофизического метода, нацелено на изучение крупнейших структур земной коры, осадочных бассейнов и отдельных минерагенических зон. Но как свидетельствуют многие факты, методом МТЗ наблюдаются множество *малоразмерных* объектов в породах кристаллического фундамента и осадочного чехла. Эти локальные аномалии являются наиболее важными целевыми объектами, что делает МТЗ одним из наиболее высоко-

разрешающих (по латерали) геофизических методов при изучении фундамента.

Метод зондирования вертикальными токами (МВТ) был разработан группой российских ученых и защищен 2 американскими и 7 российскими патентами. Метод зондирования вертикальными токами совмещает в себе достоинства традиционного электроразведочного метода в нефтепоисковых работах – ЗСБ, (зондирования становлением поля в ближней зоне), но отличается очень высокой чувствительностью к локальным геоэлектрическим неоднородностям, обусловленным глубоко залегающими месторождениями нефти и газа [12]. Разработаны специальные алгоритмы подавления помех, что позволяет проводить исследования в районах с высоким уровнем промышленных электромагнитных помех. Программное обеспечение позволяет выполнять всю необходимую обработку: фильтрацию и отбраковку помех, обработку площадных материалов на всех временах измерения и в итоге – расчет и подготовку куба данных, который в дальнейшем позволяет отображать информацию с помощью различных пакетов визуализации информации. Применение метода ЗВТ при решении нефтепоисковых задач основано на контрасте по электропроводности коллекторов, содержащих нефть, и коллекторов без нефти. Методом ЗВТ также регистрируются ореольные изменения, возникающие над залежью нефти, которые происходят при миграции летучих углеводородов. Решаемые геологические задачи: оконтуривание нефтяных залежей; оценка флюидонасыщения (наличие или отсутствие залежи углеводородов) на исследуемой площади.

*Способы ИВП (индукционная вызванная поляризация) [13]*

Было установлено, что процесс становления электрического поля сопровождается относительно низкочастотной осцилляцией (0.2-2Гц), которые обусловлены эффектом ИВП. Эффект ИВП в проводящей среде по-

сле включения или выключения источника тока изменяется не резко, а плавно. Чем больше глубина залегания слоя, тем позже наступает поляризация. При этом возникает дополнительный источник вызванной поляризации, что приводит к изменению характера поляризации, вначале к росту по абсолютной величине, а затем к затуханию. Чем больше глубина залегания поляризуемого слоя, тем на более поздних временах проявляется эффект ИВП. По результатам ВП, на графиках над залежами УВ появляются четкие аномалии как положительного знака (над нефтяными залежами), так и отрицательного знака (над залежами природного газа). Результативность ВП обусловлена повышенной пиритизацией над залежами УВ в приповерхностных отложениях на глубине от 200 до 400 метров. Таким образом, появления аномалий кажущейся поляризуемости ( $\eta_k$ ) будет свидетельствовать о наличии в приповерхностном слое низкоомного объекта, за счёт которого величина аномалии  $\eta_k$  может достигать 15% на фоне 2-3%. Обогащение пиритом участка над залежью УВ – своеобразный маркер наличия углеводородов в аномальной зоне.

Предлагаемый комплекс геофизических методов должен обеспечить успешное решение задач поиска месторождений нефти и газа, оперативно и с большим экономическим эффектом. Измерения магнитного, гравитационного и магнитотеллурических полей должны выполняться современными, высокоточными, стабильными, малоинерционными, быстродействующими приборами и сопровождаться надежными средствами плановой и высотной спутниковой привязки (GPS или ГЛОНАСС). Использование методов МВТ и ИВП планируется проводить на завершающей стадии работ, в ограниченных объёмах, на этапе заложения разведочных скважин для окончательной уверенности в надежности полученных результатов.

*Работа выполнена при финансовой поддержке МОН РК, по программе № BR05236800 «Решение стратегических и прикладных задач в нефтегазовой отрасли Казахстана» по разделу «1. Формирование геодинамических моделей нефтегазоносных бассейнов Казахстана с целью выделения крупных нефтегазоперспективных зон на основе анализа данных современных геолого-геофизических исследований» согласно договору № 208 от 19 марта 2018 г.*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Магниторазведка. Справочник геофизика / Под ред. В.Е. Никитского, Ю.С. Глебовского. – М.: Недра, 1990. – 470 с.
2. Гравиразведка. Справочник геофизика. – М. Недра, 1990. – С. 518-519.
3. Поспелов В.В. Кристаллический фундамент: геолого-геофизические методы изучения коллекторского потенциала и нефтегазоносности. – Москва: Ижевск, 2005. – 258 с.
4. Шустер В.Л., Левянт В.Б., Элланский М.М. Нефтегазоносность фундамента. – М.: Техника, 2003. – 175 с.
5. Бембель Р.М., Мегеря В.М., Бембель С.Р. Геосолитоны: функциональная система Земли, концепция разведки и разработки месторождений углеводородов. – Тюмень: Вектор Бук, 2003. – 311 с.
6. Номоконова Г.Г., Гарус П.И., Коровин М.А. Эпигенетические изменения на месторождениях углеводородов по геофизическим данным // Геофизические методы при разведке недр. – 2011. – С. 198-201.
7. Трипольский В.П., Тулемисова Ж.С. Роль высокоточной магнитосъемки на этапе поисков залежей углеводородов // Вестник КБТУ. – № 4(23). – 2012. – С. 15-18.
8. Трипольский В.П., Тулемисова Ж.С. Особенности методики магнитных съёмок при поисках углеводородов // Матер. Междунар. науч. конф. «Проблемы инновационного развития нефтегазовой индустрии». – Алматы: КБТУ, 2013. – Т.1. – С. 165-167.
9. Михайлов И.Н., Чертовских К.А. Гравиразведка на нефть и газ // Разведка и охрана недр. – 2001. – №4. – С. 19-22.
10. Михайлов А.К., Веселов А.В. Извольский и др. // Разведка и охрана недр. – 2002. – №3-4. – С. 33-36.
11. Хмелевский В.К., Бондаренко В.М. Электроразведка. Справочник Геофизика. – М.: Недра, 1989. – Кн.1. 438 с. – Кн.2. 378 с.
12. Могилатов В.С., Балашов Б.П. Зондирование вертикальными токами (ЗВТ) // Изв. РАН. Серия Физика Земли. – 1994. – №6. – С. 73-79.
13. Пат. 27356 РК, МПК<sup>7</sup>G 01 V 11/00 Способ поисков залежей углеводородов путем наблюдений за суточными вариациями геомагнитного поля / Трипольский В.П., Бекмухаметова З.А., Коробкин В.В.; заявитель и патентообладатель АО «Казахстанско-Британский технический университет»; заявл. 08.11.2012, решение 29.05.2013.
14. Пат. № 2012/1301.1 на получение инновационного патента «Способ оконтуривания в плане границ залежи углеводородов путем наблюдений за суточными вариациями геомагнитного поля» / Трипольский В.П., Бекмухаметова З.А., Коробкин В.В.; заявитель АО Казахстанско-Британский технический университет; заявл. 11.12.2012, решение от 24.10.2013.

УДК 691.32  
МРНТИ 67.09.33

## О ТРАДИЦИОННЫХ И СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДАХ И УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОЧНОСТИ БЕТОНА

Е.Б. УТЕПОВ<sup>1,2</sup>, А.Б. КАЗКЕЕВ<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Евразийский Национальный университет имени Л.Н. Гумилева

<sup>2</sup>ТОО «CSI Research & Lab»

**Аннотация:** В статье представлен обзор традиционных и сравнительный анализ современных методов и приборов для контроля прочности бетона. На основе проведенных исследований был разработан прототип встраиваемого датчика для контроля прочности и мониторинга температуры и влажности бетона в период его твердения. Себестоимость прототипа составила около 10 000 тенге. Приведен пример расчета допустимой стоимости датчика для казахстанского потребителя, равной 15 000 тенге за штуку, также рассчитан потенциальный экономический эффект для строительных объектов, и приведен долгосрочный эффект от анализа больших данных, собираемый при помощи разрабатываемого решения.

**Ключевые слова:** прочность бетона, датчик, контроль прочности, испытание образцов, мониторинг железобетонных конструкций

## ON TRADITIONAL AND MODERN METHODS AND DEVICES FOR CONTROLLING THE STRENGTH OF CONCRETE

**Abstract:** The article presents an overview of traditional and comparative analysis of modern methods and instruments for monitoring the strength of concrete. Based on the research, a prototype of the embedded sensor was developed for monitoring the strength and monitoring the temperature and humidity of concrete during its hardening. The cost of the prototype was about 10,000 tenge. An example is given of calculating the allowable cost of a sensor for a Kazakhstani consumer equal to 15,000 tenge per share, the potential economic effect for construction sites is also calculated, and the long-term effect of big data analysis collected using the developed solution is given.

**Keywords:** concrete strength, sensor, strength control, sample testing, monitoring of reinforced concrete structures

## БЕТОННЫҢ БЕРІКТІГІН БАҚЫЛАУҒА АРНАЛҒАН ДӘСТҮРЛІ ЖӘНЕ ЗАМАНАУИ ӘДІСТЕР МЕН ҚҰРЫЛҒЫЛАР ТУРАЛЫ

**Аңдатпа:** Мақалада бетонның беріктігін бақылау үшін қазіргі заманғы әдістер мен аспаптардың дәстүрлі және салыстырмалы талдауы көрсетілген. Жүргізілген зерттеулер негізінде бетонның беріктігін бақылау және оның қатаю кезеңінде температурасының және ылғалдылығының мониторингі үшін орнатылатын датчиктің прототипі әзірленді. Прототиптің өзіндік құны шамамен 10 000 теңгені құрады. Сонымен қатар, құрылыс объектілері үшін әлеуетті экономикалық тиімділік есептелген және әзірленген шешімнің көмегімен жиналатын үлкен деректерді талдаудан ұзақ мерзімді тиімділік келтірілген.

**Түйінді сөздер:** бетон беріктігі, датчик, беріктікті бақылау, үлгілерді сынау, темір-бетон конструкцияларының мониторингі

### Введение

Своевременное обнаружение момента зрелости железобетонной конструкции (ЖБК) и принятие решения о ее нагружении позволяет получить дополнительную прибыль за счет сокращения сроков строительства. Очевидно, что на твердение бетона влияет множество факторов, способных как ускорять процесс набора прочности, так и замедлять его. Знание и понимание процессов, происходящих в теле бетона, позволяет определить полную картину набора его прочности, в результате чего можно добиться максимального качества и долговечности конструкции, при этом обеспечивая экономию за счет сокращения сроков строительства и снижения трудозатрат [1]. Так, например, за счет оптимизации циклов удаления опалубки, можно экономить время, снижать накладные расходы и трудозатраты.

На сегодняшний день выделяют два основных способа контроля прочности бетона: неразрушающий и разрушающий. Неразрушающий контроль прочности – контроль свойств и параметров бетона, при котором его структурная целостность и эксплуатационные характеристики не нарушаются [2]. Существует несколько методов неразрушающего контроля прочности, основывающихся на таких косвенных характеристиках как: отпечаток на бетоне; энергия, затраченная на удар; напряжение, приведшее к местному разрушению бетона и т.д. [3]. Выделить какой-то

один метод невозможно, так как все они обладают своими достоинствами, недостатками и ограничениями в применении. Сущность разрушающего контроля заключается в подготовке и испытании на сжатие при помощи пресса специальных бетонных образцов. При таком испытании пробные образцы изготавливаются из контролируемого состава бетонной смеси или извлекаются из самой конструкции путем выбуривания отборных проб (кернов). Последний процесс отличается особой сложностью и трудоемкостью, так как не всегда удается получить образцы с ровной поверхностью, из-за чего в последующем приходится вручную выравнять грани, иначе результаты испытания окажутся недостоверными [4].

Наиболее распространенными методами разрушающего и неразрушающего контроля прочности являются испытание на сжатие стандартных образцов и метод ударных импульсов (рисунок 1) [5].

При испытании стандартных образцов существует большая разница между разрушаемым образцом бетона в лаборатории и бетоном на строительной площадке, обусловленная различными условиями твердения: совершенно иные значения температуры окружающей среды и влажности воздуха, что в результате приводит к искажению показателей испытаний [6]. Данный недостаток частично решен ударно-импульсным методом, сущность

РАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ:



а)

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ:



б)

Рис. 1 – Традиционные методы контроля прочности бетона:  
а) – сжатие стандартных образцов; б) – метод ударных импульсов

которого заключается в регистрации энергии удара, которая возникает в момент соударения бойка специального прибора с поверхностью бетона [7]. Недостатком ударно-импульсного метода является ограниченный радиус работы прибора – определение прочности возможно лишь в конкретно испытываемой области в слое глубиной до 50 мм, а не всей конструкции. Таким образом для получения полной картины о наборе прочности необходимо проведение испытаний во множестве точек одного и того же элемента [8]. Очевидно, что оба перечисленных традиционных метода довольно трудоемки и относительно дороги. Существует альтернативный метод, основывающийся на современных технологиях, таких как встроенные в бетон датчики и сенсоры, машинное обучение и искусственный интеллект. За счет непрерывного мониторинга внутреннего состояния железобетонной конструкции достигается оперативность получения измерений, в результате чего возможно осуществление демонтажа опалубки раньше ожидаемого срока, экономии времени, и, следовательно, экономии финансовых ресурсов. Несмотря на тот факт, что в Казахстане применение подобных методов определения прочности бетона невозможно ввиду отсутствия соответствующих нормативно-технических документов, регламентов и стандартов, авторами данной статьи была проделана работа по разработке прототипа датчика, способного при погружении его в тело бетона производить измерения температуры и влажности и передавать результаты беспроводным путем на мобильное устройство (смартфон) посредством Bluetooth, которое в свою очередь по известным методикам рассчитывает текущую прочность бетона.

Данная статья посвящена разработке прототипа встраиваемого беспроводного датчика для неразрушающего контроля и мониторинга железобетонных конструкций.

Для достижения поставленной цели были поставлены и выполнены следующие задачи:



- 1) анализ и сравнение существующих решений;
- 2) выявление недостатков зарубежных аналогов;
- 3) описание разработки прототипа датчика;
- 4) расчет допустимой стоимости датчика для казахстанского потребителя;
- 5) расчет экономического эффекта.

Несмотря на текущую ситуацию на казахстанском рынке, данная разработка представляет большую актуальность в сфере строительства. Зарубежный опыт показывает, что применение встраиваемых датчиков при заливке бетона позволяет снижать последующие накладные расходы, а также существенно экономить время при осуществлении монолитных работ. Ввиду неприменимости зарубежных датчиков на строительных площадках нашей страны, особую актуальность приобретает разработка отечественного аналога со схожим функционалом, но при этом имеющего ряд собственных отличительных преимуществ, способного конкурировать как на внутреннем, так и на внешнем рынке.

#### **Сравнение существующих аналогов**

Аналоги датчиков для неразрушающего контроля прочности представлены несколькими основными зарубежными производителями: «SmartRock2», выпускаемые канадской компанией Giatec, «CS100» и «CS200» от американской компании ConcreteSensors, а также датчики компании COMMAND Center Wireless (США). Для выявления сильных и слабых сторон аналогов было проведено их детальное сравнение по основным пунктам. Данные для сравнения были внесены в таблицу 1 для более наглядного сравнения.

Таблица 1 – Существующие на рынке беспроводные датчики мониторинга ЖБК

Параметры	Giatic SmartRock2 (Канада)	Concrete Sensors (Великобритания)	COMMAND Center Wireless (США)
			
Беспроводная сеть	Bluetooth, GPS	Bluetooth	Bluetooth в модуле
Измерения*	T, R	T, W, R	T, R
Температурный диапазон	от -30 до +60°C	от -40 до +85°C	от -30 до +85°C
Точность	T: ±1 °C	T: ±0,4 °C, W: ±3%	T: ±1 °C
Глубина заложения	От 5 см	От 5 до 15 см	Длина кабеля до 4м
Диапазон передачи данных	До 8 м	До 20 м	До 9 м
Интервал измерений	30 мин	30 мин	Настраиваемый
Память	Достаточный	Достаточный	2048 измерений
Срок службы аккумулятора	До 4 месяцев	До 2 лет	До 10 лет
Требуемое количество	2 шт. на 76,5 м <sup>3</sup>	5 шт. на 1400-1900 м <sup>2</sup>	5 шт. на 76,5 м <sup>3</sup>
Наличие приложения	iOS и Android	iOS	iOS
Формат отчетности	PDF, CSV	PDF, CSV	PDF, XLS
Стоимость за ед. без доставки	\$85	\$150-200	\$2100 (3 модуля, 50 датчиков)

\*Т – температура, W – влажность, R – прочность

По результатам сравнения можно сделать следующие выводы: из трех датчиков один производит контроль температуры, влажности и прочности, а два других – лишь температуры и прочности. Обмен данными со смартфоном у всех аналогов происходит посредством протокола Bluetooth, из-за чего глубина заложения датчика в теле бетона составляет от 5 до 15 см. Это обусловлено ограниченным радиусом действия Bluetooth, в результате чего диапазон передачи данных составляет от 8 до 20 м. При этом стоит учитывать, что смартфон в состоянии подключаться по Bluetooth только к одному датчику одновременно, это также обусловлено ограничениями данного протокола. Температурный диапазон работы у датчиков сопоставимый и составляет в среднем от -30 до +85°C. Срок службы аккумулятора сильно варьируется: от 4 месяцев до 10 лет и зависит от физических размеров корпуса и режима работы датчика. Однако, стоит отметить, что требуется около месяца для достаточного набора прочности бетона, поэтому 10-летний срок работы является избыточным. Оптимальной продолжительностью работы

датчика можно считать 3-4 месяца. Цены на датчики также сильно варьируются: от \$85 до 200 за штуку или \$2100 за 3 модуля и 50 датчиков.

**Разработка прототипа датчика.** Сущность работы прототипа заключается в следующем: перед началом заливки датчик помещается в корпусе бетона посредством крепления его к арматуре с помощью хомута. После этого устройство запускается, задается интервал, с которым датчик будет производить измерения температуры и влажности в теле бетона. Далее полученные данные передаются на смартфон с помощью протокола беспроводной передачи Bluetooth. Специально разработанное мобильное приложение для смартфона анализирует эти данные и выдает отчет о фактической прочности бетона. Особенностью прочностного контроля с помощью датчиков является предварительный лабораторный анализ. На основе результатов этого анализа выстраивается корреляционная зависимость между температурой, влажностью и прочностью, позволяющая определить

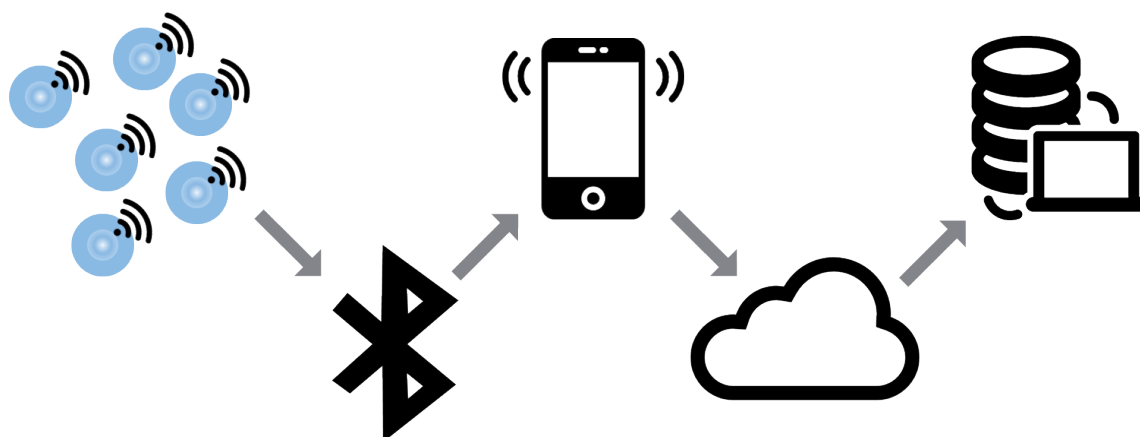


Рис. 2 – Архитектура прототипа

текущую прочность бетона через встроенный датчик.

Архитектура прототипа основана на концепции интернета вещей (IoT). IoT архитектура включает в себя: с одной стороны – большое количество периферийных устройств с низкой вычислительной мощностью, низким энергопотреблением, высокой скоростью реакции на события, с другой стороны – облачные серверы с высокой вычислительной мощностью для обработки больших объемов данных, их хранение и классификация, часто с элементами машинного обучения и аналитики (рис. 2).

Корпус прототипа напечатан на 3D-принтере из материала акрилонитрил-бутадиен-стирол (АБС-пластик) и имеет габариты

86×86×49 мм. Он состоит из нижней части и верхней (крышки), соединяющихся друг с другом посредством 8 болтов. Водонепроницаемость соединения обеспечивается за счет резиновой прокладки.

Функционал прототипа реализован на базе микроконтроллера Arduino Nano 3.0 с возможностью подключения к нему дополнительных модулей. Применение Arduino в качестве основы позволило значительно упростить и ускорить процесс разработки за счет уже имеющихся встроенных модулей, а также специальных слотов расширения, которые позволили подключить к микроконтроллеру Bluetooth-модуль, а также датчик температуры с кабелем 100 см. Датчик влажности встроен внутрь корпуса и также подключен к

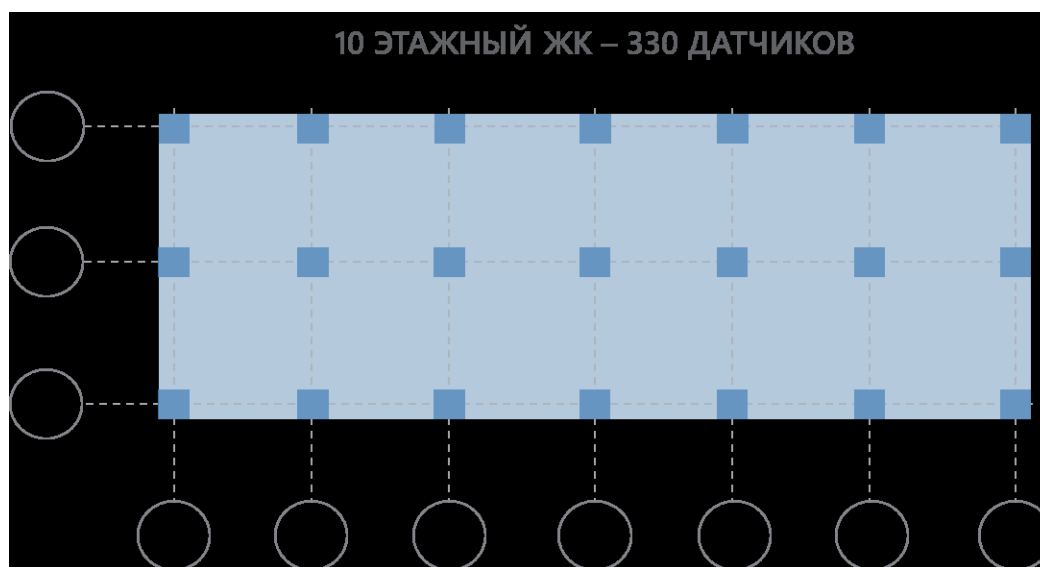


Рис. 3 – Монолитный каркас

микроконтроллеру через слот расширения. Модуль памяти встроен в микроконтроллер, его объема в несколько мегабайт достаточно для хранения данных об измерениях на несколько месяцев. Питание прототипа осуществляется от трех батарейных аккумуляторов типа АА.

Конечная стоимость разработки прототипа составила 10200 тенге, что составляет около \$27.

**Расчет допустимой стоимости.** Относительно низкая стоимость конечного продукта является боль-

шим конкурентным преимуществом не только на внутреннем, но и на зарубежном рынке. Для расчета допустимой стоимости для потенциального потребителя перейдем к следующему примеру. В среднем для монолитного каркаса 10-этажного здания с количеством пролетов 8×2 и шириной пролета 6 метров потребуется около 330 датчиков (рис. 3). При розничной стоимости датчиков 15 тыс. тенге и себестоимости 10 тыс. тенге, доход организации с одного здания составит 1 млн. 650 тыс. тенге. Учитывая объемы и темпы монолитного домостроения в Казахстане, рассчитанная цифра может оказаться намного выше.

**Экономический эффект.** Для строительных компаний экономический эффект обеспечивается за счет снижения трудоемкости и ускорения темпов строительства. Так, при ускорении возведения монолитного каркаса одного этажа аналогичного здания на один день и средневзвешенной стоимости накладных расходов в 1 млн. тенге, за вычетом розничной стоимости 330 датчиков, экономия составит 5 млн. 50 тыс. тенге (рис. 4).

Одной из отличительных особенностей разрабатываемых датчиков является непрерывный сбор данных о состоянии железобетонных конструкций, вплоть до разрядки аккумулятора, даже после окончания моно-



Рис. 4 – Расчет экономического эффекта

литных работ. Данное свойство датчиков способствует накоплению больших данных (Big Data) на сервере, представляющих из себя огромное количество различной количественной и качественной информации о скорости набора прочности железобетонных конструкций, составе бетонной смеси, условий окружающей среды и других параметрах. В дальнейшей перспективе на основе больших данных можно составлять аналитические отчеты о качестве инертных материалов бетона местных и зарубежных производителей, отчеты по надежности монолитного каркаса строительных объектов на регионах, давать рекомендации строительным компаниям по улучшению качества монолитных работ и многое другое. Также эти данные могут быть применены в информационном моделировании зданий (BIM) для формирования более точных и полных отчетов о состоянии монолитного каркаса зданий и сооружений (рис. 5).

**Выводы.** На сегодняшний день в Казахстане не существует производства встроенных датчиков для беспроводного контроля прочности бетона. Зарубежные аналоги неприменимы в Казахстане по следующим причинам:

1) методы испытаний и расчет прочности не регламентированы в казахстане;

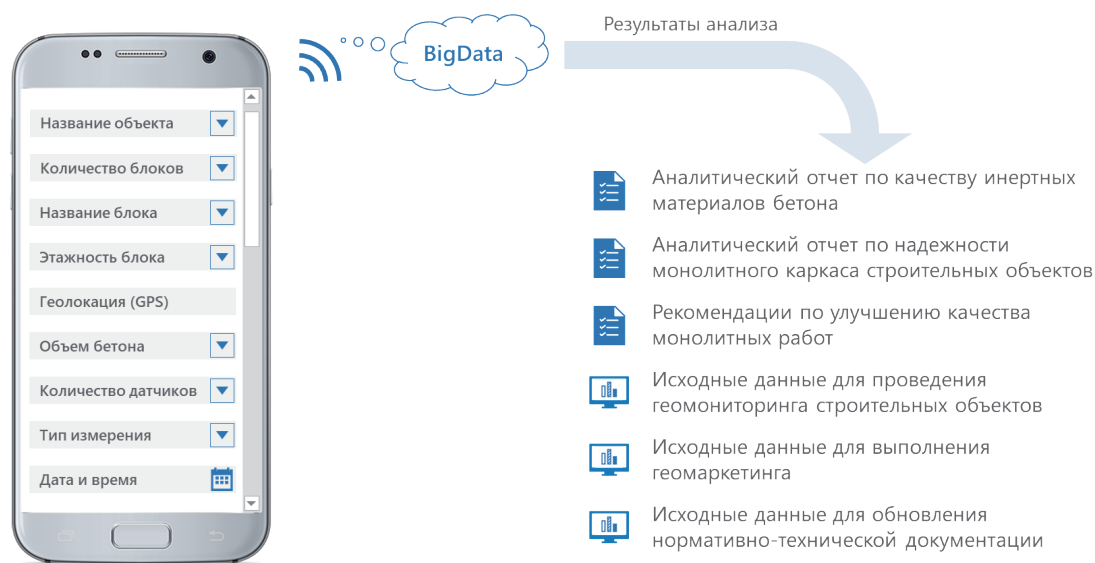


Рис. 5 – Долгосрочный эффект от анализа больших данных

2) расчет прочности осуществляется на основе результатов лабораторных испытаний того же состава бетона, что заливается на строительной площадке, однако в случае аналогов – подобрать состав с идентичными свойствами инертных материалов за рубежом не получится;

3) стоимость зарубежных аналогов невыгодна для казахстанского потребителя;

4) через Bluetooth можно одновременно подключаться только к одному датчику, поэтому строителям приходится ловить сигналы датчиков по отдельности, что создает неудобство и тратит время.

На основе этих выводов планируется дальнейшая модернизация датчика.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградова Е.В. Проблемы управления качеством бетонных работ // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 21. – № 3. – С. 711-714.
2. Романенко Е.Ю. и др. Роль неразрушающего контроля формирования параметров качества монолитного строения // «Строительство-2006»: Материалы международной научно-практической конференции. – Ростов-на-Дону: РГСУ, 2006. – С. 29-30.
3. Бербеков Ж.В. Неразрушающие методы контроля прочности бетона // Молодой ученый. – 2012. Т. – 11. – № 46. – С. 20-23.
4. Улыбин А.В. О выборе методов контроля прочности бетона построенных сооружений // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – Т. – 4. – № 22. – С. 10-15.
5. Букин А.В., Патраков А.Н. Определение прочности бетона методами разрушающего и неразрушающего контроля // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2010. – № 1. – С. 89-94.
6. Thandavamoorthy T.S. Determination of concrete compressive strength: A novel approach // Adv. Appl. Sci. Res. 2015. – Т. 21. – № 3. – С. 88-96.
7. Клименко Н.Е. Ударно-импульсный метод определения прочности бетона // Прорывные научные исследования как двигатель науки. Сборник статей Международной научно-практической конференции. – Магнитогорск: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2018. – С. 61-63.
8. Несветаев Г.В., Коллеганов А.В., Коллеганов Н.А. Особенности неразрушающего контроля прочности бетона эксплуатируемых железобетонных конструкций // Интернет-журнал Науковедение. – 2017. – Т. 9. – № 2.

# ЭКОНОМИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНО- ГУМАНИТАРНЫЕ НАУКИ

---

МРНТИ 20.53.19

УДК 004.94

## МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА НАУЧНО- ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВУЗА

И. УВАЛИЕВА<sup>1</sup>, Л. СУЛЕЙМЕНОВА<sup>1</sup>, Ж. САГАНДЫКОВА<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*D. Serikbaev East Kazakhstan state technical university*

<sup>2</sup>*Regional specialized IT-School-Lyceum*

**Аннотация:** Для развития образования уже недостаточно влияния человеческого капитала. Возникает потребность изменения самой образовательной среды, т.е. не просто наращивать объёмы образования трудовых ресурсов, должны качественно измениться методы, инструменты и среды управления бизнес-процессами образования, необходимо использование инструментов самодиагностики и механизмы предсказания состояния бизнес-процессов, подключения «интеллектуальных» сервисов к главным системам образовательных учреждений.

В данной работе описана технология мониторинга научно-образовательной деятельности вуза, объединяющая методы и модели управления знаниями в вузе, алгоритм Staking-ансамблирования методов интеллектуального анализа данных образовательных бизнес-процессов, а также модель повышения эффективности управления деятельностью научно-педагогического персонала вуза.

**Ключевые слова:** обработка данных, smart технологии, информационные технологии в образовании, научные знания, интеллектуальный анализ данных

## METHODS AND MODELS OF TECHNOLOGY FOR MONITORING RESEARCH AND EDUCATION IN UNIVERSITY

**Abstract:** The influence of human capital is no longer sufficient for the development of education. There is a need to change the educational environment and to change methods, tools and business management, to use self-diagnosis to predict business processes and to connect “intelligent” services to the main systems of educational institutions. This paper describes a technology for monitoring research and education in the University. It is achieved by combining methods and models of knowledge management at the University, algorithm of Staking-assembling methods of intellectual analysis of educational business processes data, as well as a model of effective personnel management.

**Keywords:** data processing, smart technologies, information technologies in education, scientific knowledge, data mining

## ЖОҒАРЫ ОҚУ ОРНЫНЫҢ ҒЫЛЫМИ-БІЛІМ БЕРУ ҚЫЗМЕТІН МОНИТОРИНГТЕУ ТЕХНОЛОГИЯСЫНЫҢ ӘДІСТЕРІ МЕН МОДЕЛІ

**Аңдатпа:** Қазір білім беруді дамыту үшін адами капиталдың ықпалы жеткіліксіз. Білім беру ортасының өзін өзгерту қажеттілігі туындап отыр, яғни еңбек ресурстарының білім көлемін арттыру ғана емес, білім берудің бизнес-үдерістерін басқару әдістері, құралдары мен ортасы сапалы өзгеруі

тііс, бизнес-үдерістердің жай-күйін болжау тетіктері мен өзін-өзі диагностикалау құралдарын пайдалану, білім беру мекемелерінің басты жүйелеріне “зияткерлік” сервистерді қосу қажет. Бұл мақалада ЖОО білімді басқару әдістері мен модельдерін, білім беру бизнес-үдерістерінің, деректердің, талдаудың зияткерлік әдістерінің Staking-ансамбльдеу алгоритмі біріктіретін ЖОО-ның ғылыми-білім беру қызметін мониторингтеудің технологиясын әзірлеу және енгізу, сонымен қатар ЖОО-ның ғылыми-педагогикалық құрамының қызметін басқарудың тиімділігін арттыру моделі ұсынылған.

**Түйінді сөздер:** деректерді өңдеу, smart технологиялар, білім берудегі ақпараттық технологиялар, ғылыми білім, деректерді интеллектуалды талдау

### Введение

В настоящее время умные или Smart-технологии меняют нашу жизнь и общество на более новый качественный уровень, чем когда-либо прежде. Решения на основе смарт-технологий работают с использованием различных интеллектуальных информационных технологий. В связи с этим сегодня вузы согласно концепции государственной программы “Цифровой Казахстан”, стратегическому плану развития Республики Казахстан до 2025 г. требуют внедрения современных интеллектуальных технологических решений.

Прикладное решение проекта связано с исследованием по следующим направлениям: автоматизированная подсистема составления оптимального расписания учебных занятий в ВУЗе при организации учебного процесса; подсистема управления научными знаниями вуза, подсистема комплексного интеллектуального анализа данных научно-образовательной деятельности, а также подсистема управления деятельностью научно-педагогического персонала вуза.

В связи с совершенствованием системы управления ВУЗами на основе вычислительных и информационных систем все более актуальными становятся следующие вопросы: автоматизация составления оптимального расписания учебных занятий в вузе при организации учебного процесса; исследование проблем управления знаниями и разработка системы управления научными знаниями вуза.

Научная новизна исследования заключается в разработке концепции и вычислительной ИТ-инфраструктуры на основе технологии подсистем системы управления ВУЗами,

объединяющая «гибкие» методы и алгоритмы, гибридные алгоритмы, а также технологический подход к управлению научными знаниями вуза.

Анализ зарубежных и отечественных разработок в области научной деятельности вузов показал, что к настоящему времени отсутствует универсальная онтология научных знаний вуза, которую можно было бы положить в основу проектирования семантического портала научных знаний вуза [1]. Также не существует единого подхода к построению решений (семантических порталов), реализованных на базе технологий Semantic Web.

Для учебного заведения очень важно получать финансирование, которое обеспечит привлечение высококвалифицированных сотрудников и позволит создать развитую инфраструктуру вуза. Для этого требуется иметь высокие показатели эффективности деятельности вуза, которые обеспечиваются с большим трудом в конкурентной борьбе. В этом важную роль оказывает ППС, а механизмом управления является система материального стимулирования работников высшей школы. Традиционные подходы в системе стимулирования труда работников вуза не обеспечивают высокие достижения в профессиональной деятельности сотрудников и вуза в целом. Для реального повышения результативности их деятельности необходим эффективный инструментальный распределения стимулирующих выплат на основе комплексного учета всех показателей, отвечающий требованиям современных рыночных отношений [2].

Методологическую основу исследований составляют: теория управления знаниями; положения и методы теории принятия решений, системного анализа, онтологического инжиниринга; методы машинного обучения; методы модульного, структурного и объектно-ориентированного программирования; теория проектирования информационных систем.

### 1. Онтологическая модель научных знаний вуза

Онтологическая модель научных знаний вуза, включающая в себя основные классы и отношения объектов научной деятельности, обеспечивающие формирование научного профиля и мониторинг развития научных школ вуза [3]. Для разработки данной модели необходимо реализовать процедуру обработки информационных ресурсов вуза, которая является одним из инструментов управления научными знаниями вуза и включает этапы, представленные на рисунке 1.

Этап 1. Реализация методики извлечения терминологических коллокаций научных тек-

стов на основе статистических методов и морфологических шаблонов фильтров для выявления ключевых терминов по определённой предметной области. Для этого разработан и описан алгоритм извлечения терминологических коллокаций предметной области. В качестве метода для выявления коллокаций используется критерий  $\chi^2$  [2].

Этап 2. Разработан алгоритм выбора признаков для сокращения размерности пространства признаков и эффективности обучения классификаторов. В качестве метода определения признаков выбран метод взаимной информации (Mutual Information) [4].

Этап 3. Предложен метод формирования научного профиля на основе классификаций информационных ресурсов по научным направлениям. Классификация текстов по научным направлениям осуществляется методом kNN [3].

Этап 4. В результате обработки научных ресурсов вуза формируются профили документов. Профиль документа определяется как вектор всех его релевантных классов. В результате формируется профиль докумен-



Рис. 1 – Этапы процедуры обработки информационных ресурсов вуза

та посредством создания индивидов класса «Информационные ресурсы» онтологии научных знаний [3].

Этап 5. Следующим этапом в интеграции и обеспечении совместного доступа к научным знаниям вуза является разработка семантического портала научных знаний на основе онтологической модели и методов интеллектуальной обработки научных ресурсов вуза.

В качестве исходных данных выступают показатели научной деятельности ППС ВКГТУ им. Д.Серикбаева. Модель научной деятельности отдельного научного сотрудника определяется с помощью факторов научной активности. Эти факторы в онтологической информационной модели сгруппированы в следующие классы: события, проекты, публикации. Управление научными знаниями как процесс идентификации знаний и умений позволяет решать задачу подбора научных экспертов. Онтологическая модель может быть использована при подборе научных экспертов для оценки научных проектов, а также для подбора рецензентов научных работ.

## **2. Гибридный алгоритм Stacking-ансамблирования методов интеллектуальной обработки данных научно-образовательного процесса**

Гибридный алгоритм Stacking-ансамблирования методов интеллектуальной обработки данных научно-образовательного процесса используется для решения аналитических задач процесса и получения более точных результатов оценки бизнес-процессов научно-образовательной деятельности (как, например, выявление проблемных групп обучающихся, прогнозирование результатов сессии, определение причин академической задолженности, и т.д.) [5]. Алгоритм объединяет усилия нескольких интеллектуальных методов на основе создания ансамбля моделей-предикторов. Для построения ансамбля моделей на данных образовательной статистики был использован алгоритм Stacking, который агрегировал следующие 3 типа интеллектуальных моделей: алгоритм Байеса (БК), алгоритм дерева решений (ДР) и ней-

ронная сеть (НС). Обучение производилось на единственном наборе данных. Данные метауровня, используемые для обучения мета-модели, будут представлять собой результаты предсказания моделей для каждого из полей [6]. Для возможности использования в качестве мета-модели БК, включим в данные метауровня поля класса числом для БК, ДР и НС. Таким образом, алгоритм stacking-ансамблирования пытается обучить каждый классификатор, используя алгоритм метаобучения, который позволяет обнаружить лучшую комбинацию выходов базовых моделей.

Наиболее общим способом уменьшить перекосы, вызванные неудачным сэмплингом, является повторение всего процесса обучения и тестирования несколько раз при различных случайных выборках. На каждой итерации определенная доля данных (например, 2/3) случайно отбирается для обучения, а оставшиеся используются для тестирования. Для этого необходимо определить число итераций разбиения исходных данных. Далее задается вектор, в который собираются данные для обучения мета-модели.

Для реализации экспериментального исследования проверки алгоритма Staking-ансамблирования будут проанализированы показатели научно-образовательной деятельности для прогнозирования набора переводного балла GPA и трудоустройства выпускника вуза. Вычислительный эксперимент будет проведен на данных образовательного портала ВКГТУ им. Д.Серикбаева за 2009-2020 гг. по всем уровням и различным формам обучения (это более 1 млн. записей).

## **3. Модель повышения эффективности управления деятельностью научно-педагогического персонала вуза**

Модель повышения эффективности управления деятельностью научно-педагогического персонала вуза основана на системе показателей эффективности деятельности научно-педагогического персонала, дополненная показателями деятельности, обеспечивающей дополнительное внебюджетное финансирование, и показателями деятельности,

обеспечивающей развитие вуза в перспективе [7]. Данная модель является гибридной и динамически изменяемой, основана на весовых коэффициентах показателей иерархической структуры и системе ограничений, обеспечивающей баланс между требованиями мониторинга эффективности вуза, целями и ресурсами. Реализация данной модели включает в себя следующие этапы.

Этап 1. Расчет диапазонов суммарных значений по каждому показателю.

Этап 2. Перерасчет плановых и рекомендуемых показателей на одного преподавателя, в зависимости от его типа.

Этап 3. Деятельность преподавателей по выполнению показателей.

Этап 4. Мониторинг выполнения показателей и информирование преподавателей об отклонениях от запланированных суммарных значений выполнения показателей с целью побуждения их к самостоятельной корректировке своих действий.

Этап 5. Оплата деятельности преподавателей за прошедший период.

Этап 6. Перерасчет размеров оплаты за единицу выполненных показателей, значения выполнения которых по результатам мониторинга отклоняются от рекомендованных.

Этап 7. Переход к шагу 3.

Этап 8. В случае экономии премиального фонда после завершения учебного года, расчет и выплата дополнительных разовых премий.

Достоверность проведенных исследований и полученных результатов будет обеспечена аргументацией выдвигаемых положений, обоснованным и корректным применением математического аппарата, результатами вычислительного эксперимента и результатами использования разработок.

Реализация ИТ-сервисов Smart-технологий должна быть реализована в виде динамической библиотеки. Реализация различ-

ных ИТ-сервисов в виде отдельной динамической библиотеки позволит использовать данную библиотеку в различных программных продуктах, а также впоследствии производить расширение её возможностей. Для реализации библиотеки будет использована среда разработки MSVisualStudio 2017, которая позволяет разрабатывать ПО на базе MS.NetFramework. В качестве языка программирования будет использован язык C#.

## 5. Программная реализация

Для построения метамодели будем использовать алгоритмы БК, ДР и НС. На рисунке 3 представлено окно подсистемы анализа данных образовательной статистики она основе алгоритма Staking-ансамблирования.

Использование нескольких моделей дает следующие преимущества:

- реализовывать предсказание выходного показателя образовательной статистики как в численном виде (НС) так и в виде классификации (ДР и БК), что определяет разнообразие возможных методов визуализации результатов;

- согласованность результатов по всем моделям позволяет сделать вывод об их достоверности [8].

Далее представлены результаты алгоритма Staking-ансамблирования, реализованного в подсистеме анализа данных. Обучение на основе базовых классификаторов для анализа данных первой задачи образовательного мониторинга показало следующие результаты. Окно программы с результатами обучения базового классификатора на основе алгоритма БК содержит следующие вкладки отображения взаимодействия между прогнозируемыми атрибутами и входными атрибутами для таблицы вариантов: сеть зависимостей; профили атрибутов; характеристики атрибута; сравнение атрибутов.

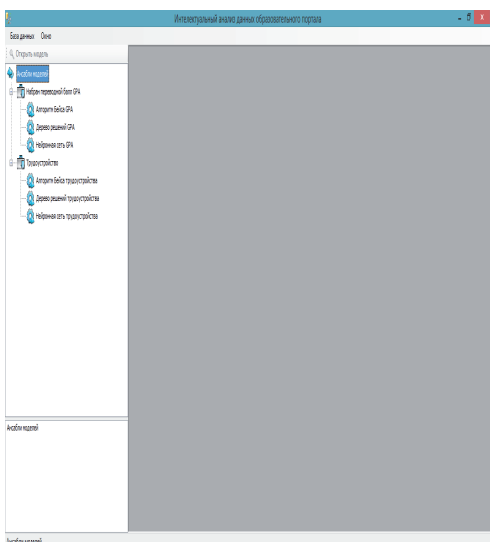


Рис. 3 – Главное меню подсистемы Staking-ансамблирования

На основе данных образовательной статистики были получены результаты обучения базового классификатора на основе алгоритма БК для анализа данных набора GPA.

Вкладка сеть зависимостей окна подсистемы отображает зависимости между входными показателями образовательной статистики вуза и прогнозируемым показателем, характеризующим набран ли GPA. Ползунок слева от средства просмотра выступает в качестве фильтра, привязанного к прочности зависимостей. При движении ползунка вниз отображаются только самые прочные из них. Условные обозначения в нижней части окна подсистемы связывают цветовые коды с типом зависимости на графе. Как видно из рисунка 4 на показатель «Набран GPA» влияют такие показатели образовательной статистики как число неосвоенных дисциплин за предыдущий курс обучения, общий балл GPA за предыдущий курс обучения.

Основой второго базового классификатора послужил алгоритм дерева принятия решений, результаты которого представлены на рисунке 4. Данный алгоритм поддерживает классификацию и регрессию, используется для прогнозирующего моделирования дискретных и непрерывных атрибутов.

Результаты обучения базового классификатора на основе алгоритма ДР показал,

что набор GPA имеет зависимость со следующими показателями образовательной статистики вуза: число неосвоенных дисциплин за предыдущий курс, общий балл GPA за предыдущий курс обучения, специальность и балл ЕНТ.

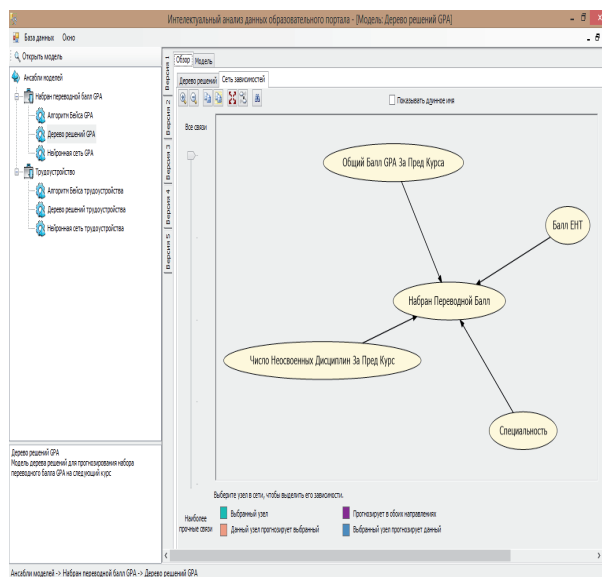
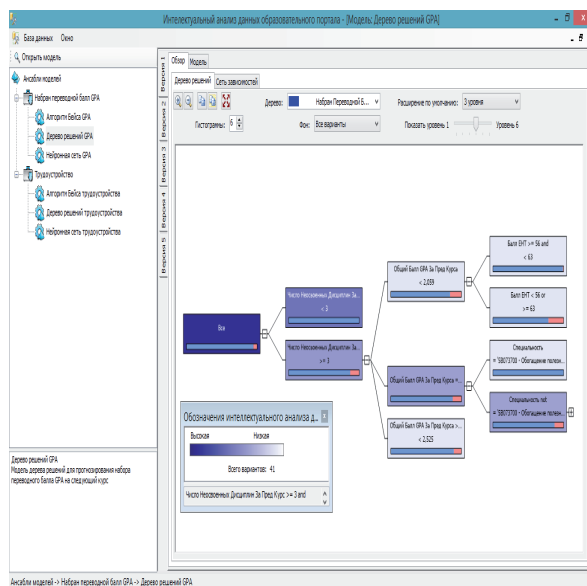


Рис. 4 – Окно с результатами обучения базового классификатора на основе алгоритма ДР для анализа данных набора GPA

Мета-классификатор Staking-ансамблирования был построен на основе алгоритма БК. Результаты точности прогноза реализации Staking-ансамблирования на основе матрицы классификации представлены на рис. 5.

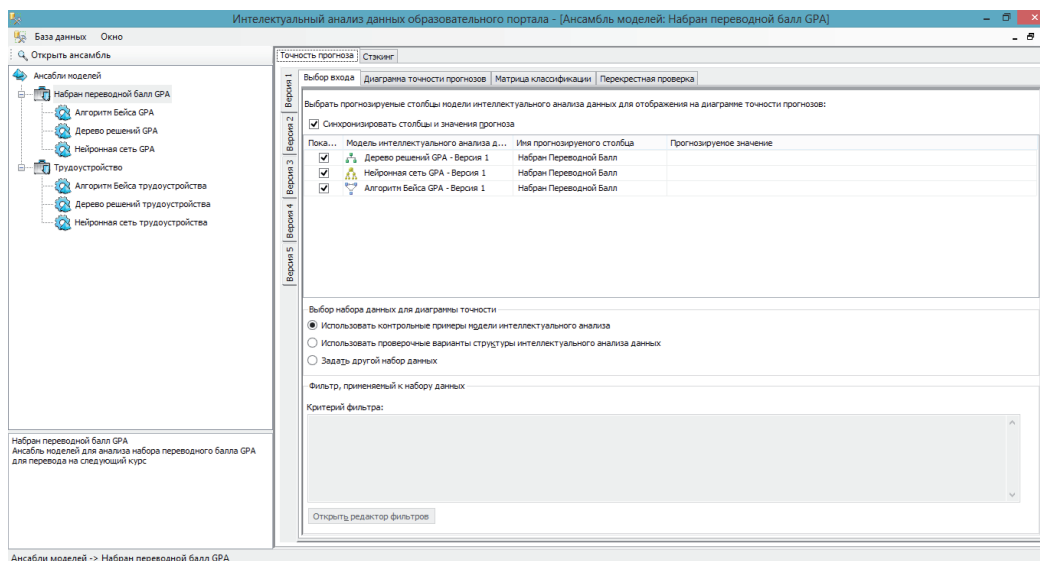


Рис. 5 – Окно с параметрами оценки точности реализации алгоритма Staking-ансамблирования

Результаты обучения мета-классификатора на вариационной выборке показали, что показатель образовательной статистики «Набран GPA» имеет зависимость с такими показателями как число неосвоенных дисциплин за предыдущий курс, общий балл GPA за предыдущий курс обучения, Базовое образование и Курс.

### Заключение

Таким образом, данное научное исследование внесет значимый вклад по следующим направлениям: повышение эффективности реализации государственной программы

“Цифровой Казахстан” и стратегического плана развития Республики Казахстан до 2025 г.; развитие системы управления вузом на основе современных научных и технических решений, реализованные в Smart-технологии для управления качеством образовательной и научной деятельности вуза; повышение эффективности оценки научно-педагогической деятельности участников образовательного процесса; возможность выявления научных школ вуза и их использование в системе управления знаниями; формирование и укрепление научной школы по направлению исследования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Жомарткызы Г., Балова Т.Г. Разработка онтологии образовательных ресурсов вуза //Труды международной научной конференции студентов, магистрантов и молодых ученых «Ломоносов 2012». I-часть. – Астана: Казахстанский филиал МГУ им. В.М. Ломоносова, 2012. – С. 130-132.
2. Дюсекеев К.А. Методика формирования требований к системе показателей эффективности деятельности сотрудников вуза [текст] / Дюсекеев К.А., Нань Фэн, Шиккульская О.М. // Материалы X Международной научно-практической конференции «Перспективы развития научно-технического сотрудничества стран-участниц Евразийского экономического союза». – г. Астрахань. – 9-11 ноября 2016 г. – С. 278-283.
3. Балова Т.Г., Жомарткызы Г. Автоматическое извлечение терминологических коллокаций научных текстов. //Вестник КазНТУ. – 2013. – №3(97). – С. 342-346.
4. Zakharov V. The distributive and statistical analysis as a tool to automate the formation of semantic fields (on the example of the linguocultural concept of “empire”) //Академия наук Республики Татарстан. – 2018. – С. 182.

5. Uvalieva I., Garifullina, Z., Utegenova, A., Toibayeva, S., Issin, B. Development of intelligent system to support management decision-making in education // e-Book of Papers. 6th International Conference on Modelling, Simulation and Applied Optimization. - Istanbul, Turkey. – 2015. pp.1-7.
6. Uvaliyeva I.M., G.Soltan, G.Sarsembayeva. Comprehensive monitoring of educational objects based on educational statistics // Herald of the Kazakh-British technical university. – Алматы. 2016. – Volume 13, Issue 2,3 – pp.166-173.
7. SolodovnikovaDarja, Niedrite Laila, Niedritis Aivars. Architecture Enabling Adaptation of Data Integration Processes for a Research Information System. Foundations of Computing and Decision Sciences, Volume: 43, Issue: 2, Pages: 129-149 Published: JUN 2018.
8. Uvaliyeva I.M. The architecture of information-analytical system of educational statistics // Herald of the Kazakh-British technical university. – Алматы. 2015. – Volume 12, Issue 2. – pp.66-76.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1.	<b>Абишева А.Ж.</b>	докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
2.	<b>Акшабаев А.</b>	PhD, профессор, АО «КБТУ»
3.	<b>Алимсеитова Ж.К.</b>	ст. преподаватель, Алматинский университет энергетики и связи
4.	<b>Андрей Котыра</b>	ассоц. профессор, Люблинский технический университет, Польша
5.	<b>Асилбеков Б.К.</b>	ВНС, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева
6.	<b>Ахметов Б.Б.</b>	к.т.н., доцент, ректор, Есенов университет
7.	<b>Байбазарова Э.А.</b>	магистр, ст. преподаватель, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
8.	<b>Бакранова Д.И.</b>	PhD, СНС, АО «КБТУ»
9.	<b>Балановская Л.Л.</b>	магистрант, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова
10.	<b>Балгимбаева У.А.</b>	МНС, АО «КБТУ»
11.	<b>Бейсембетов И.К.</b>	ректор, PhD, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева
12.	<b>Бейсенбаев О.К.</b>	д.т.н., профессор, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова
13.	<b>Бейсенханов Н.Б.</b>	д.ф.-м.н, профессор, ГНС, АО «КБТУ»
14.	<b>Бекетова Г.С.</b>	PhD доктор, ст. преподаватель, Кызылординский государственный университет им. Коркыт Ата
15.	<b>Бекмухаметова З.А.</b>	PhD, ассоц. профессор, АО «КБТУ»
16.	<b>Бектемиров Р.И.</b>	магистрант, университет им. Сулеймана Демиреля
17.	<b>Бектұрған қызы Б.</b>	к.х.н., Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
18.	<b>Бузова О.В.</b>	Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова
19.	<b>Буслов М.М.</b>	д.г.-м.н., профессор, заместитель директора, Институт геологии и минералогии СОРАН
20.	<b>Волчихин В.И.</b>	д.т.н., профессор, президент, ФБГОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Россия
21.	<b>Джаксылыкова А.Б.</b>	докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
22.	<b>Джанмулдаева Ж.К.</b>	к.т.н., доцент, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова
23.	<b>Джомартова Ш.А.</b>	д.т.н., профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
24.	<b>Есжан ұлы М.</b>	к.х.н., ассоц. профессор, Іле педагогикалық университеті, ҚХР
25.	<b>Жаркенов Е.Б.</b>	докторант, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева

26.	<b>Жаркенова А.Б.</b>	преподаватель, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева
27.	<b>Жахан Л.О.</b>	магистрант, Кызылординский государственный университет им. Коркыт Ата
28.	<b>Жукабаева Т.К.</b>	Phd, ассоц.профессор, ВНС, Институт информационных и вычислительных технологий
29.	<b>Жумадилов И.Т.</b>	докторант, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева
30.	<b>Жусупбеков А.Ж.</b>	д.т.н., профессор, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева
31.	<b>Закиров Б.С.</b>	д.х.н., директор, Институт общей и неорганической химии АН РУЗ, Узбекистан
32.	<b>Зияден А.А.</b>	магистрант, АО «КБТУ»
33.	<b>Зиятбекова Г.З.</b>	докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
34.	<b>Ивахненко А.П.</b>	PhD, доктор наук, профессор, АО «КБТУ»
35.	<b>Иманбаева А.А.</b>	к.б.н., генеральный директор, Мангышлакский экспериментальный ботанический сад
36.	<b>Имангалиева А.Н.</b>	PhD-докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
37.	<b>Кадынцева Т.А.</b>	зав. лабораторией, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова
38.	<b>Казкеев А.Б.</b>	магистрант, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ТОО «CSI Research & Lab»
39.	<b>Кантарбаева С.М.</b>	магистр, ст. преподаватель, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
40.	<b>Капалова Н.А.</b>	к.т.н., Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
41.	<b>Кейнбай С.</b>	PhD, МНС, АО «КБТУ»
42.	<b>Кисала П.А.</b>	ассоц. профессор, Люблинский технический университет, Польша
43.	<b>Клепиков В.А.</b>	магистрант, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова
44.	<b>Колесникова И.В.</b>	д.т.н., профессор, Казахская головная архитектурно-строительная академия
45.	<b>Комада П.</b>	факультет электротехники и информатики, Люблинский технологический университет, Польша
46.	<b>Коробкин В.В.</b>	к.г.-м.н., ассоц. профессор, АО «КБТУ»
47.	<b>Кудреева Л.К.</b>	к.х.н., и.о. доцента, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
48.	<b>Кульджабеков А.Б.</b>	ВНС, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева
49.	<b>Қалиева А.</b>	заведующая, КГКП «Региональная инфекционная больница, г. Талдыкорган

50.	<b>Қамысбаев Д.Х.</b>	д.х.н., профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
51.	<b>Қоқанбаев Ә.Қ.</b>	к.х.н., профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
52.	<b>Мазаков Т. Ж.</b>	д.ф.-м.н., профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
53.	<b>Марденов Е.</b>	магистр, инженер, Институт информационных и вычислительных технологий
54.	<b>Марлен Д.</b>	магистрант, Казахская головная архитектурно-строительная академия
55.	<b>Матниязова Г.К.</b>	PhD доктор, доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
56.	<b>Мендигалиева Г.Е.</b>	магистрант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
57.	<b>Мурсалиева В.К.</b>	к.б.н., ВНС, Институт биологии и биотехнологии растений
58.	<b>Нуркей У.Т.</b>	магистрант, университет им. Сулеймана Демиреля
59.	<b>Нурлыбаева А.Н.</b>	PhD, д.х.н., доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
60.	<b>Нурлыбай С.А.</b>	Актюбинский региональный государственный университет им. К. Жубанова
61.	<b>Нусупов К.Х.</b>	д.ф.-м.н., профессор, ГНС, АО «КБТУ»
62.	<b>Орынбеков Е.С.</b>	Казахская головная архитектурно-строительная академия
63.	<b>Пренов А.</b>	магистр, АО «КБТУ»
64.	<b>Рахмет Н.Б.</b>	магистрант, Казахская головная архитектурно-строительная академия
65.	<b>Рахым А.Б.</b>	PhD-докторант, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
66.	<b>Рахымбекұлы Ж.</b>	магистрант, АО «КБТУ»
67.	<b>Сагындыкова Ж.</b>	зам. директора, КГУ «Областная специализированная ИТ-школа-лицей»
68.	<b>Садиева Х.Р.</b>	к.т.н., доцент, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
69.	<b>Самигулин Т.И.</b>	докторант PhD, сеньор-лектор, АО «КБТУ»
70.	<b>Сейлханова Г.А.</b>	д.х.н., профессор, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
71.	<b>Сейтбекова Е.С.</b>	лектор, АО «КБТУ»
72.	<b>Смайлов Б.М.</b>	докторант, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова
73.	<b>Серікбаев Б.А.</b>	к.х.н., и.о. доцента, Казахский Национальный университет им. аль-Фараби
74.	<b>Сулейменов Э.Н.</b>	зам. заведующего ИЛ «Перспективные материалы и технологии», АО «КБТУ»
75.	<b>Сулейменова Л.</b>	ст.преподаватель, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева

76.	<b>Султан А.А.</b>	магистрант, АО «КБТУ»
77.	<b>Тайкулаков Е.</b>	докторант, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева
78.	<b>Танырбергенова Г.К.</b>	ст.преподаватель, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева
79.	<b>Глеуов А.С.</b>	профессор, д.т.н., Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова
80.	<b>Глеуова С.Т.</b>	к.т.н. доцент, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова
81.	<b>Тулемисова Ж.С.</b>	MSc, докторант, сениор-лектор, заместитель декана, АО «КБТУ»
82.	<b>Увалиева И.</b>	PhD, доцент, Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева
83.	<b>Утелбаев Б.Т.</b>	д.т.н., профессор, ВНС, АО «КБТУ»
84.	<b>Утепов Е.Б.</b>	Ph.D, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева
85.	<b>Шакирова Н.У.</b>	докторант, Евразийский Национальный университет им. Л.Н. Гумилева
86.	<b>Шарипов Р.Х.</b>	НС, АО «КБТУ»
87.	<b>Ширяева О.И.</b>	к.т.н, ассоц. профессор, Казахский Национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева
88.	<b>Шолак А.</b>	к.т.н., профессор, Таразский государственный университет им. М.Х. Дулати
89.	<b>Эдиева К.</b>	магистрант, АО «КБТУ»
90.	<b>Ярочкина В.И.</b>	магистрант, Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова

ҚАЗАҚСТАН-БРИТАН ТЕХНИКАЛЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ  
**ХАБАРШЫСЫ**

**HERALD**  
OF THE KAZAKH-BRITISH TECHNICAL UNIVERSITY

**ВЕСТНИК**  
КАЗАХСТАНСКО-БРИТАНСКОГО ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Ответственный за выпуск	Есбергенов Досым Бектенович
Редакторы	Далабаева Айсара Касымбековна Садганова Эльмира Абуовна
Компьютерный дизайн	Аязбаева Зарина Козубековна
Компьютерная верстка	Ескали Гульсим Багдатовна

Редакция журнала «Вестник КБТУ» не несет ответственность за содержание публикуемых статей. Содержания статей целиком принадлежат авторам, и размещаются в журнале исключительно под их ответственность.

Подписано в печать 20.12.2019 г.  
Тираж 300 экз. Формат 60x84 1/16. Бумага тип.  
Уч.-изд.л. 13,3. Заказ №140.

Издание Казахстанско-Британского технического университета  
Издательский центр КБТУ, Алматы, ул. Толе би, 59